

Marta Fajfara, Anna Porębska

Parametryzacja sal audytoryjnych

w celu zastosowania technologii scenografii multimedialnej

Kraków 2020

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Projekt badawczy realizowany w ramach umowy A-2/11/2020/P

SPIS TREŚCI:

- 1. Wprowadzenie**
 - 1.1. Problem badawczy i stan badań**
 - 1.2. Cel badań**
 - 1.3. Metoda badań**
 - 1.4. Zakres badań**
- 2. Architektura sal audytoryjnych – parametryzacja**
 - 2.1. Sale audytoryjne i teatralne w obiektach wielofunkcyjnych**
 - 2.1.1. Małopolski Ogród Sztuki / Teatr im. Juliusza Słowackiego: Scena MOS*
 - 2.1.2. Centrum Kongresowe ICE: S1*
 - 2.1.3. Centrum Kongresowe ICE: S2*
 - 2.2. Sale w teatrach dramatycznych**
 - 2.2.1. Narodowy Stary Teatr: Duża Scena*
 - 2.2.2. Teatr im. Juliusza Słowackiego: Duża Scena*
 - 2.2.3. Teatr Ludowy: Duża Scena*
 - 2.2.4. Teatr Ludowy: Scena Pod Ratuszem*
 - 2.3. Sale w teatrach lalki i maski**
 - 2.3.1. Teatr Groteska: Scena Kopułowa*
 - 2.4. Sale w teatrach muzycznych**
 - 2.4.1. Teatr Variété*
 - 2.5. Sale w operach, operetkach i filharmoniach**
 - 2.5.1. Opera Krakowska*
- 3. Mul7media w przestrzeni sztuki: możliwości i ograniczenia w opinii twórców**
 - 3.1. Badanie opinii: metoda**
 - 3.2. Badanie opinii: wyniki**
- 4. Mul7media w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja**
 - 4.1. Rozdzielczość i percepcja: metoda**
 - 4.2. Rozdzielczość i percepcja: wyniki**
- 5. Wnioski końcowe**
- 6. Bibliografia**
- 7. Załączniki**
 - 7.1. Multimedia w przestrzeni sztuki: możliwości i ograniczenia. Formularz ankiety.**
 - 7.2. Multimedia w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja. Materiały.**
 - 7.3. Multimedia w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja. Dokumentacja fotograficzna.**

1. Wprowadzenie

1.1. Problem badawczy i stan badań

Przedstawione wyniki badań opracowano we współpracy z firmą Atomy Studio, która realizuje projekt *Nowoczesne rozwiązania medialne Atomy Studio stworzone dzięki badaniom w zakresie łącznia wiedzy z dostępną technologią*, RPMA.01.02.00-14-9415/17-01, projekt współfinansowany ze środków Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020. Pierwsza część opracowania koncentruje się na badaniach naukowych w ramach pracy badawczej wykonanych dla firmy, druga prezentuje wyniki badań firmy.

Historia wykorzystywania projekcji w przestrzeni sztuki liczy sobie ponad sto lat, odkąd w dziewiętnastowiecznych teatrach pojawiły się latarnie magiczne. Projekcje filmowe zaczęły przenikać do odgrywanych na żywo przedstawień już na przełomie pierwszej i drugiej dekady XX wieku. Jednym z pierwszych takich „rozszerzonych” spektakli był pokaz *GerXe the Dinosaur* Winsora McCay’a (1914), w którym animowany dinozaur zdawał się reagować na to, co działo się na scenie.

Wielowarstwowa narracja, po którą chętnie sięgali progresywni twórcy lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego wieku nabrała rozpędu wspomagana postmodernistycznymi paradygmatami, by eksplodować pod koniec wieku wraz z nastaniem rewolucji cyfrowej. Mimo to, jak podkreśla między innymi Steve Dixon, przywołując wątpliwości Susan Sontag sprzed ponad półwiecza, związek teatru i multimedialności wciąż jest przez niektórych twórców, krytyków i teoretyków teatru oceniany jako rodzaj mezaliansu efemerycznej, osadzonej w czasie rzeczywistym i trójwymiarowej, żywej dziedziny teatru oraz martwej, bo zarejestrowanej wcześniej, dwuwymiarowej płaszczyźnie projekcji. Taka opinia nie jest obca wielkim reformatorom — jednym z największych oponentów wykorzystania projekcji w teatrze był Jerzy Grotowski.

Projekcje multimedialne, tak jak każdy z elementów przedstawienia, w zależności od sposobu wykorzystania, może sprowadzać się do odwracającej uwagę widza redundancji. Lyn Gardner, krytyczka teatralna współpracująca z *The Guardian*, przyrównuje projekcje multimedialne do włączania telewizora w pokoju, w którym toczy się intymna rozmowa. Niezależnie od tego, co dzieje się na scenie, uwaga widza skupi się na wyświetlanym obrazie. Jak podkreśla Dixon za Phaedrą Bell, multimedia w teatrze ani nie muszą pełnić roli dominujące (*primary medium*), ani nie muszą być sprowadzane wyłącznie do roli dekoracyjnej (*secondary medium*). Istnieje trzecia, być może najtrudniejsza droga, którą ponad sto lat temu wybrał McCay - droga dialogu i synergii w każdej warstwie twórczej: narracji, scenografii, oświetlenia, etc.

Kwerenda przeprowadzona na potrzeby badań (słowa kluczowe #theatre #multimedia #multimedia theatre #digital performance #stage design #theatre hall design w bazach danych Elsevier i Google Scholar, pierwsze 100 rekordów dla każdego słowa kluczowego oraz #teatr #multimedia #prezentacje multimedialne #projektowanie sal teatralnych w repozytorium PK) potwierdziła istnienie pewnej luki badawczej jaką jest równoczesne uwzględnienie aspektów teoretycznych, estetycznych, praktycznych, technicznych i przestrzennych, którego próbę stanowi niniejsze opracowanie.

Najliczniej reprezentowaną i najbardziej zróżnicowaną tematycznie grupę publikacji, zarówno w języku polskim, jak i angielskim, stanowią teksty poświęcone multimedialności w kontekście teoretycznym i twórczym. Spośród opracowań poświęconych projektowaniu sal teatralnych na tle współczesnych tendencji opublikowanych w języku polskim wymienić należy monografię autorstwa dr hab. inż. arch. Magdaleny Kozień Woźniak, prof. PK (2016). Z kolei publikacje dotyczące parametrów urządzeń i rozwiązań technicznych ukazują się raczej w prasie branżowej, niż czasopismach i wydawnictwach naukowych. Przeprowadzając kwerendę nie natrafiono na publikację, która próbowałaby łączyć perspektywę twórcy, technika i architekta, czyli materię sztuki i konieczność jej realizacji w konkretnej, zastanej przestrzeni, co w przestrzeni sal teatralnych nie powinno stanowić takiego wyzwania, jak w przypadku instalacji typu *site specific*. Niniejsze opracowanie wpisuje się w nurt badawczy, zgodnie z którym problematyka związana z projekcjami multimedialnymi w teatrze nie ogranicza się wyłącznie do gabarytów sceny i możliwości technicznych projekcji, ale uwzględnia pozostałe elementy spektaklu, od aktora i jego ruchu po przestrzeń sali.

1.2. Cel badań

Celem badań jest określenie parametrów architektonicznych, technicznych i ekonomicznych determinujących możliwości wykorzystania projekcji multimedialnych w przestrzeniach sal audytoryjnych ze szczególnym uwzględnieniem sal teatralnych na przykładzie obiektów zlokalizowanych w Krakowie. Wyniki badań mają umożliwić optymalizację rozwiązań zarówno z punktu widzenia podmiotu zlecającego badania jak i z punktu widzenia twórców czy instytucji zarządzających, mogą również posłużyć jako wytyczne przy planach modernizacyjnych i inwestycyjnych.

1.3. Metoda badań

Parametryzacja została przeprowadzona w odniesieniu do czynników mających bezpośredni wpływ na możliwość wykorzystania narzędzi multimedialnych i technik wizualnych w przestrzeniach sal audytoryjnych. Na podstawie badań wstępnych i konsultacji określono następujące parametry przyporządkowane do czterech grup:

parametry architektoniczne:

- typ obiektu: historyczny / współczesny; teatralny / adaptowany) i data realizacji / modernizacji widowni i sceny z uwzględnieniem form ochrony (rejestr zabytków / ewidencja zabytków)
- gabaryty sali i sceny
- wymiary portalu scenicznego
- zaplecze sceny (kulisy tylne i boczne)
- układ lub układy widowni i sceny
- pojemność widowni
- przeszkody architektoniczne: elementy architektoniczne, rozwiązania konstrukcyjne uniemożliwiające montaż projektora ze względu na jego ciężar lub gabaryty, etc.
- kabina projekcyjna / kabina elektroakustyczna / kabina reżyserska: usytuowanie i parametry (typ, usytuowanie, wyposażenie: szyba projekcyjna, wentylacja, etc.)

parametry techniczne:

- uśrednione możliwości projekcyjne modeli referencyjnych dla projekcji przedniej:
 - jasność: 12000 ANSI lumen
 - moc lampy: 3000 W
 - współczynnik obrazu: 1,0-1,5
 - jakość: 4K
 - źródło światła: laser
 - waga: ok. 60 kg
 - głośność pracy (projektor + wentylacja)
- uśrednione możliwości projekcyjne modeli referencyjnych dla projekcji górnej:
 - jasność: 12000 ANSI lumen
 - moc lampy: 3000 W
 - współczynnik obrazu: 0,8
 - jakość: 4K
 - źródło światła: laser
 - waga: ok. 60 kg
 - głośność pracy (projektor + wentylacja)
- uśrednione możliwości projekcyjne modeli referencyjnych dla projekcji tylnej:
 - jasność: 12000 ANSI lumen
 - moc lampy: 3000 W

- współczynnik obrazu: 0,5
- jakość: 4K
- źródło światła: laser
- waga: ok. 60 kg
- głośność pracy (projektor + wentylacja)
- wymagania techniczne:
 - zasilanie
 - wentylacja
 - głośność pracy
 - sposób montażu
 - komunikacja pomiędzy urządzeniami: łączność bezprzewodowa, łączność przewodowa, oprogramowanie, media, serwery, sprzęt, etc.
- przeszkody techniczne
 - istniejące i kolidujące elementy wyposażenia technicznego (np. instalacja oświetleniowa)
 - brak odpowiednich elementów wyposażenia technicznego (por. wyżej).

parametry ekonomiczne:

- koszt zakupu/wynajmu projektora;
- koszt dodatkowych urządzeń i instalacji (zasilanie, wentylacja, etc.);
- koszt dodatkowych elementów wyposażenia (optyka);
- koszt eksploatacji.

parametry percepcji:

- rzeczywista wielkość piksela na ekranie
- ostrość obrazu;
- odległość od ekranu.

Parametryzację przeprowadzono na podstawie uśrednionych możliwości projekcyjnych modeli referencyjnych dobranych według najkorzystniejszej relacji jakości do ceny (stan na czerwiec 2020). Dla każdej sali przedstawiono możliwość kompensacji przeszkód technicznych i/lub architektonicznych poprzez zastosowanie sprzętu o wyższych parametrach (współczynnik projekcji, niska głośność pracy, system chłodzenia, skrzynia wentylacyjna, etc.) i, co za tym idzie, wyższych kosztach uwzględniając ścisłą zależność pomiędzy poszczególnymi grupami parametrów. Badania zostały uzupełnione o perspektywę twórców — reżyserów, scenografów i autorów projekcji multimedialnych — i ich ocenę przeszkód architektonicznych, technicznych i ekonomicznych określoną na podstawie przeprowadzonej ankiety internetowej. W badaniach nie uwzględniano parametrów istotnych przy instalacjach site-specific i mappingu zewnętrznym.

Badania z zakresu rozdzielczości i percepcji ze szczególnym uwzględnieniem ostrości obrazu i przedziałów występowania zjawiska rozpikselowania obrazu przeprowadzono z wykorzystaniem modelu referencyjnego projektora do projekcji przedniej (por. wyżej).

1.4. Zakres badań

Epidemia Covid-19 trwająca od marca 2020 r. utrudniła lub uniemożliwiła przeprowadzenie badań terenowych poza siedzibą jednostki badawczej wykonującej zlecenie. Wymuszone okolicznościami ograniczenie zakresu terytorialnego badań pozwoliło skupić się na rynku lokalnym właściwym dla firmy zlecającej badania jakim są sale audytoryjne w Krakowie.

2. Architektura sal audytoryjnych – parametryzacja

Parametryzacją objęto sale o układzie audytoryjnym w obiektach wielofunkcyjnych (Małopolski Ogród Sztuk, Centrum Kongresowe ICE), teatrach dramatycznych (Narodowy Stary Teatr im. Heleny Modrzejewskiej, Teatr w Krakowie im. Juliusza Słowackiego, Teatr Ludowy), teatrach lalki i maski (Teatr Groteska), teatrach muzycznych (Teatr Variété) oraz operach i operetkach (Opera Krakowska). Z badań wyłączono sale o płaskiej podłodze (Filharmonia Krakowska), audytoria uniwersyteckie oraz mniejsze lub mniej formalne sale teatralne (Stary Teatr: Nowa Scena, Strefa B, Teatr im. Słowackiego: Scena Miniatura, Teatr Łaźnia Nowa, Teatr Nowy, Teatr Współczesny, Teatr Barakah, Teatr KTO, Teatr Szczęście, Teatr Bez Rzędów). a także obiekty zakwalifikowane wstępnie do grupy badawczej, dla których — ze względu na związane z sytuacją epidemiczną obostrzenia — nie udało się uzyskać lub sporządzić stosownej dokumentacji (Nowohuckie Centrum Kultury, Teatr Bagatela, Teatr STU, Stary Teatr: Scena Kameralna).

Badania przedstawiono w formie kart przykładów w następującej kolejności:

2.1. Sale audytorjne i teatralne w obiektach wielofunkcyjnych

- 2.1.1. *Małopolski Ogród Sztuki / Teatr im. Juliusza Słowackiego: Scena MOS*
- 2.1.2. *Centrum Kongresowe ICE: S1*
- 2.1.3. *Centrum Kongresowe ICE: S2*

2.2. Sale w teatrach dramatycznych

- 2.2.1. *Narodowy Stary Teatr: Duża Scena*
- 2.2.2. *Teatr im. Juliusza Słowackiego: Duża Scena*
- 2.2.3. *Teatr Ludowy: Duża Scena*
- 2.2.4. *Teatr Ludowy: Scena Pod Ratuszem*

2.3. Sale w teatrach lalki i maski

- 2.3.1. *Teatr Groteska: Scena Kopułowa*

2.4. Sale w teatrach muzycznych

- 2.4.1. *Teatr Variété*

2.5. Sale w operach, operetkach i filharmoniach

- 2.5.1. *Opera Krakowska*

W każdej karcie przedstawiono krótką charakterystykę sali z uwzględnieniem przeszkód architektonicznych i technicznych oraz prognozą powiązanych z nimi potencjalnych przeszkód ekonomicznych wynikających z konieczności stosowania niestandardowych rozwiązań. Ważnym elementem kart są schematyczne rzuty i przekroje każdej z sal przedstawiające zoptymalizowane rozwiązania dla każdego typu projekcji — przedniej, górnej i tylnej — z uwzględnieniem parametrów technicznych modeli referencyjnych. Parametrów oznaczonych jako „brak danych” nie udało się zweryfikować. Parametry, które nie mają zastosowania w danym przypadku oznaczono znakiem „—”.

2.1.1. Małopolski Ogród Sztuk (MOS) / Teatr im. Juliusza Słowackiego (Scena MOS)

adres: ul. Rajska 12, Kraków

data projektu / realizacji / data modernizacji sali: 2005-2008 / 2013 / —

projekt: Krzysztof Ingarden & Jacek Ewý

układ: scena otwarta / black box; widownia w układzie schodkowym bez przesunięcia rzędów w systemie mobilnym garażowanym pod posadzką, galerie boczne pełniące funkcje dojść technicznych i potencjalnie zaplecza technicznego.

scena: —

portal sceniczny: —

kulisy: brak

maksymalna pojemność widowni: 299 (187 sektor A + 112 sektor B)

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina reżyserska / balkon / brak wentylacji dostosowanej do potrzeb projekcji

przeszkody architektoniczne:

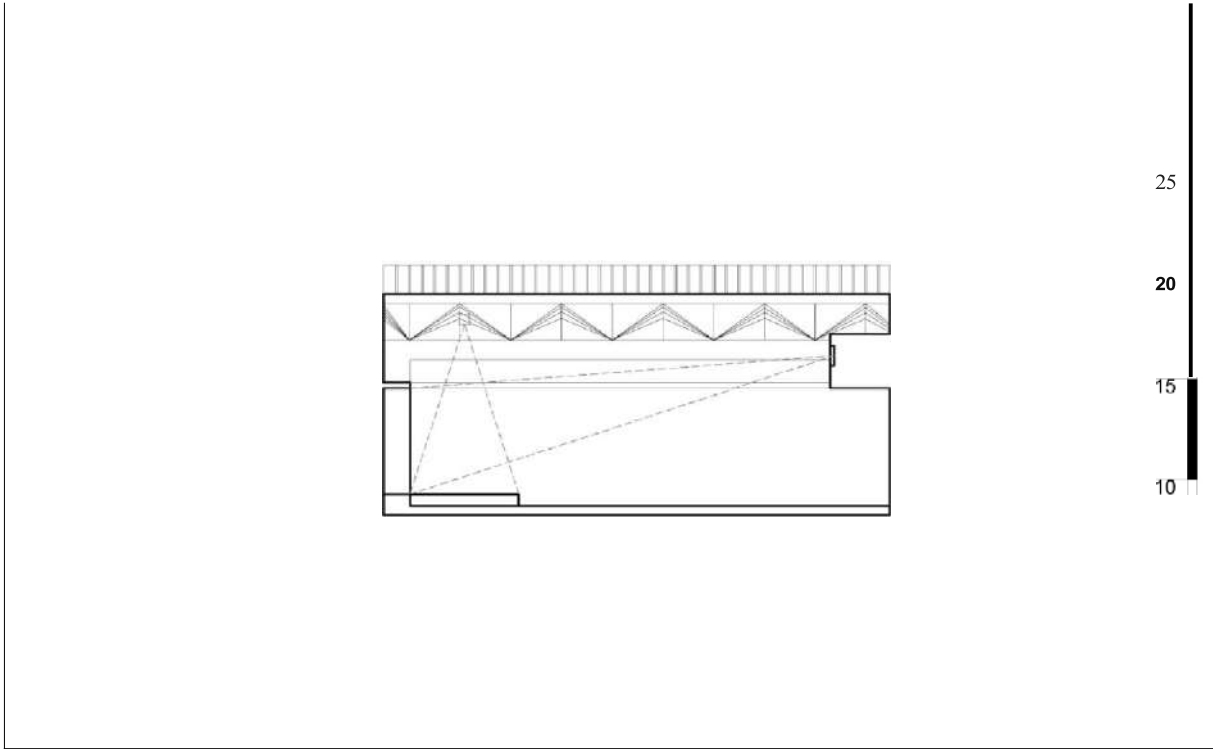
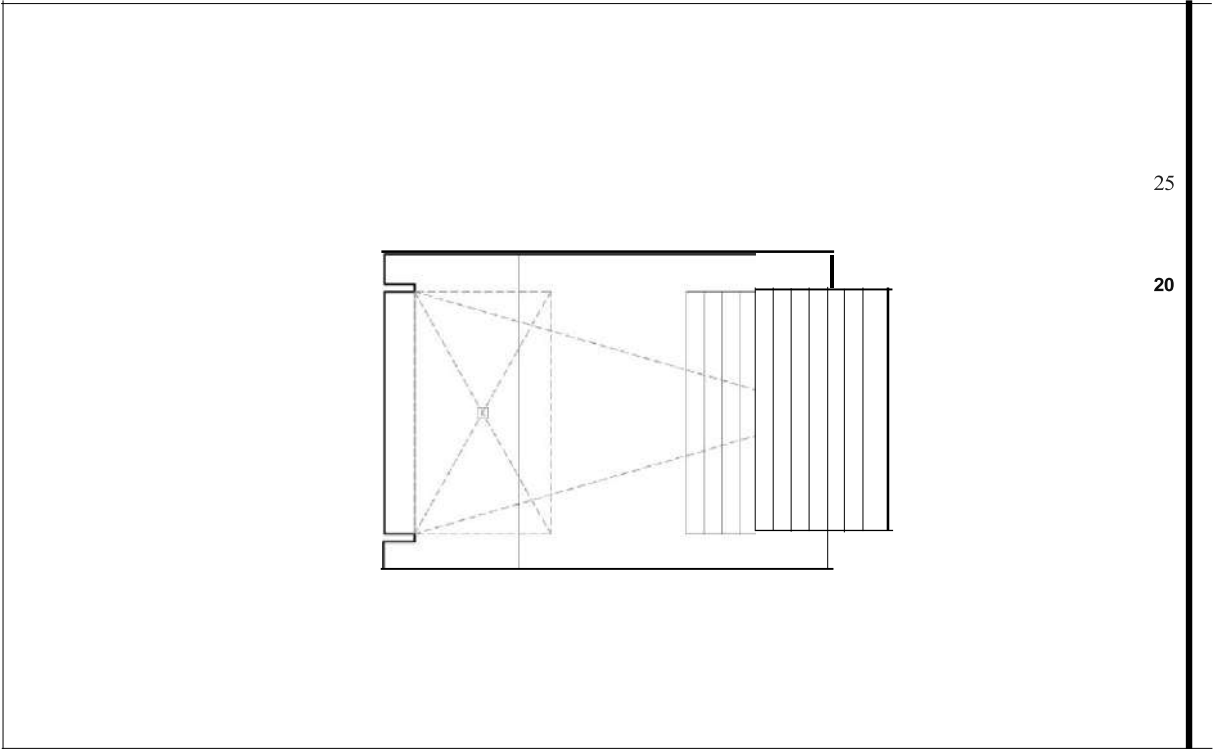
Kabina reżyserki usytuowana na balkonie technicznym nie posiada gabarytów i wentylacji umożliwiającej montaż projektora referencyjnego. Brak kabiny projekcyjnej częściowo kompensowany obecnością balkonów (galerii) technicznych oraz prostokątnym rzutem sali i dość gęsto rozmieszczonymi sztankietami. Brak kulisy bocznych i tylnych ogranicza możliwości projekcji w układzie tradycyjnym sceny i wyklucza projekcję tylną. W układzie otwartym możliwości projekcji mogą być określone wyłącznie na podstawie specyficznych wytycznych właściwych dla realizowanego projektu (projekcja boczna z balkonów lub projekcja górna z projektorów podwieszanych do sztankiet). Dla każdego układu projekcje ze strefy widowni wymagają stosowania skrzyń maskująco-wyciszających z instalacją wentylacyjną. Przy projekcji przedniej z kabiny reżyserskiej konieczne jest stosowanie teleobiektywu.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: jeden projektor z teleobiektywem, zainstalowany w kabinie reżyserskiej (ograniczone możliwościach wentylacji) uzupełniony o projekcje z balkonów bocznych lub z widowni (konieczność zastosowania skrzyń maskująco-wyciszających z instalacją wentylacyjną);

projekcja na podłogę: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,7 podwieszony nad sceną na wysokości 8,4 m do sztankiet ruchomych; możliwość pokrycia projekcją całego pola gry.

projekcja tylna: brak możliwości zastosowania.



2.1.2 Centrum Kongresowe ICE / Sala Audytoryjna im. Krzysztofa Pendereckiego (S1)

adres: ul. Marii Konopnickiej 17, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: 2008-2011 / 2014 / —

projekt: Krzysztof Ingarden & Jacek Ewý

układ: pół-winnica z przesunięciem rzędów w systemie częściowo mobilnym garażowanym pod posadzką; balkony tylne i boczne.

scena: wielosegmentowa

portal sceniczny: brak

kulisy: tylne (przejście za ekranem)

maksymalna pojemność widowni: 1915

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina elektroakustyczna i kabina projekcyjna / balkon środkowy

przeszkody architektoniczne:

Podwieszany ekran szerokości 16 m będący na wyposażeniu sali nie jest przystosowany do łatwej i szybkiej zmiany usytuowania. Kolejną przeszkodą z punktu widzenia projekcji są wiszące nad sceną panele akustyczne oraz krótkie sztankiety. Brak szyby projekcyjnej (stan na wrzesień 2020) wynikający z konieczności demontażu wcześniej zainstalowanej szyby nie spełniającej parametrów szyby projekcyjnej wymusza stosowanie skrzyń wyciszających mimo zapewnionej w kabinie wentylacji. Duża odległość od ekranu do kabiny projekcyjnej wynosi 43 metry. Uzyskanie jakości jest możliwe wyłącznie przy zastosowaniu projektora o podwyższonych parametrach optycznych.

Optymalne rozwiązanie dla projekcji podłogi z wykorzystaniem dwóch projektorów podwieszonych do sztankiet wymusza podniesienie ekranów akustycznych, co wpływa negatywnie na ich skuteczność i nie zapewnia pokrycia całego pola gry. Może to być kompensowane projekcją z balkonów bocznych z wykorzystaniem większej liczby projektorów. Wiąże się to z całkowitym lub częściowym wykluczeniem balkonów z użytkowania oraz koniecznością stosowania skrzyń maskująco-wyciszających z wewnętrzną wentylacją.

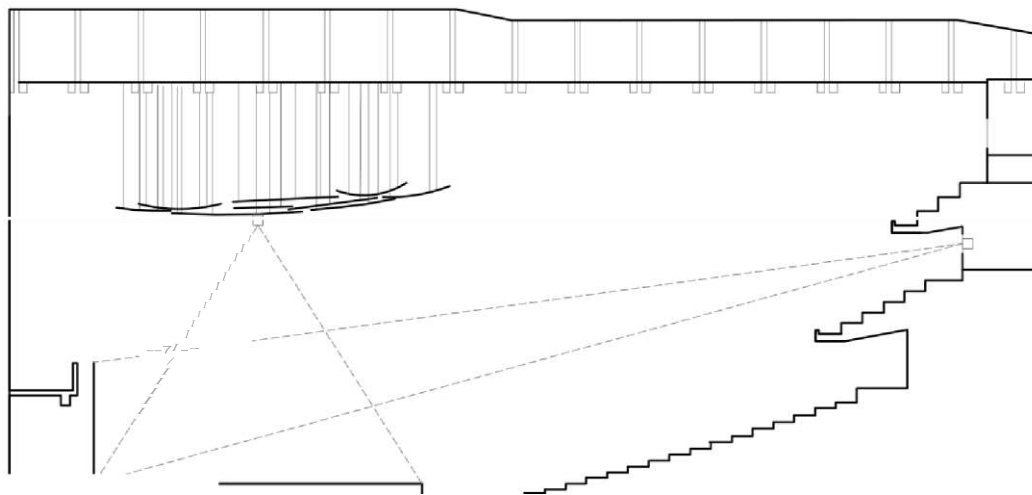
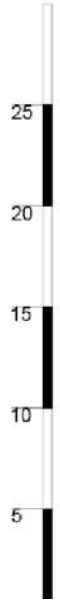
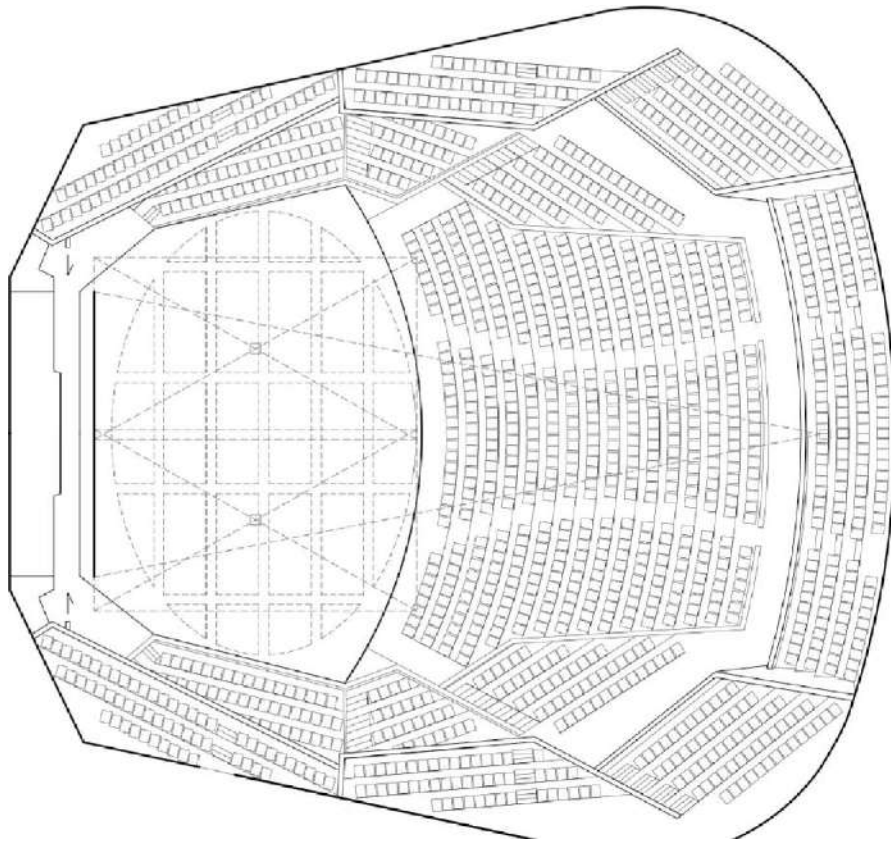
Dodatkową przeszkodą architektoniczną jest brak obsługi wszystkich poziomów przez windy techniczne i brak ciągłości przejść fizycznych w poziomie pomiędzy wszystkimi strefami obsługi sali.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: jeden projektor z teleobiektywem, zainstalowany w kabinie projekcyjnej (dla ekranu znajdującego się na wyposażeniu sali).

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,8 podwieszane nad sceną na wysokości 12,8 m do sztankiet ruchomych dla strefy centralnej; dla pełnego pokrycia pola konieczne jest zastosowanie dodatkowych projektorów usytuowanych na balkonach bocznych.

projekcja tylna: brak możliwości zastosowania



2.1.3 Centrum Kongresowe ICE / Sala Teatralna (S2)

adres: ul. Marii Konopnickiej 17, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: 2008-2011 / 2014 / —

projekt: Krzysztof Ingarden & Jacek Ewý

układ: black box / tradycyjny z proscenium; widownia w układzie schodkowym bez przesunięcia rzędów w systemie mobilnym garażowanym w ścianie tylnej widowni; 3 poziomy balkonów bocznych, 2 poziomy balkonów tylnych

scena: szerokość ok. 14 m, głębokość ok. 14 m, wysokość ok. 20 m

portal sceniczny: szer. 14 m, wys. 8 m

kulisy: tylne i boczne

maksymalna pojemność widowni: 594

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina elektroakustyczna, kabina projekcyjna / za widownią dolnego balkonu

przeszkody architektoniczne:

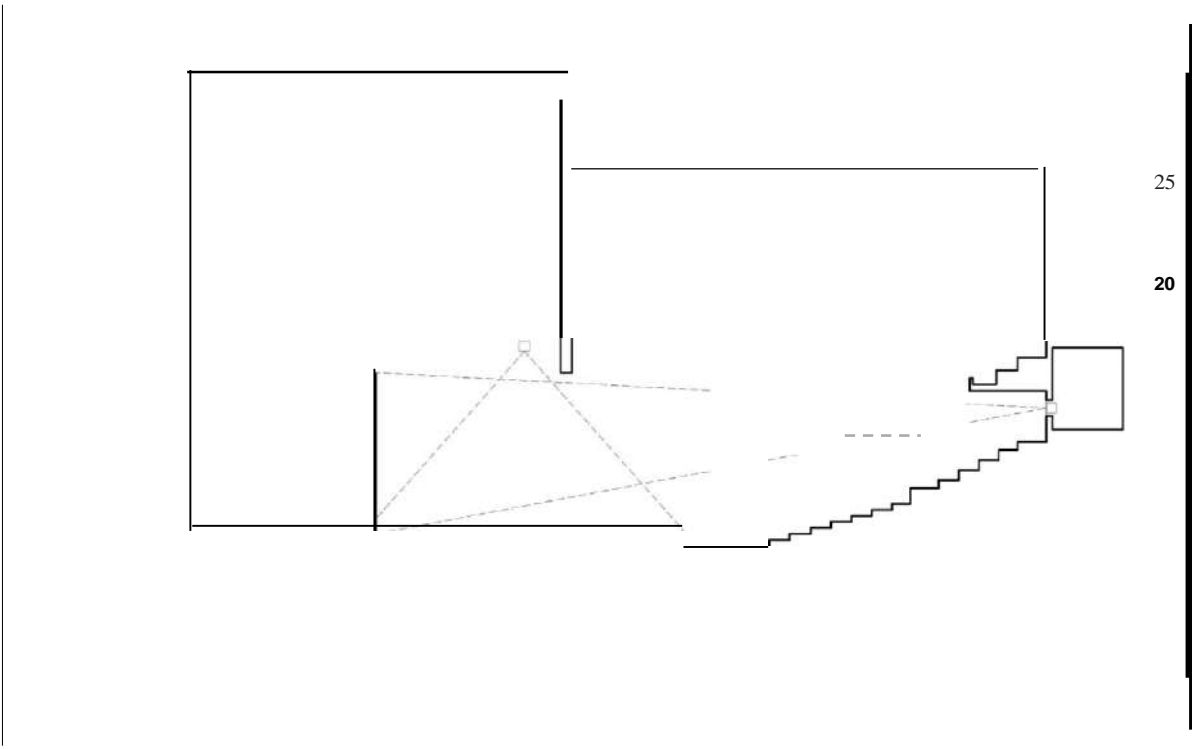
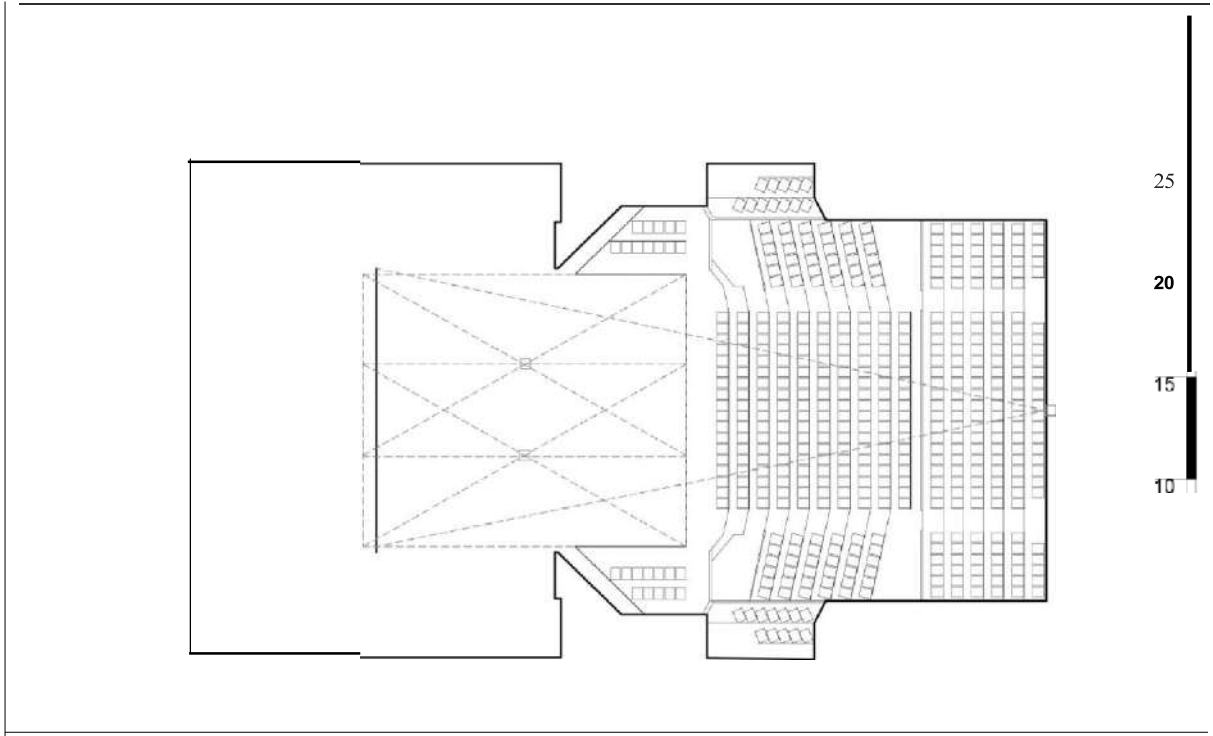
Szeroki i bardzo niski w stosunku do wysokości całej sali portal sceniczny w połączeniu z wysokim usytuowaniem kabiny projekcyjnej zdecydowanie utrudnia projekcję przednią przy maksymalnej głębokości sceny ze względu na cień rzucający przez portal. Zachodzi konieczność stosowania rozwiązań hybrydowych (np. dodatkowej projekcji górnej i/lub tylnej) lub znaczne spłytenie pola gry. Szyba w kabinie projekcyjnej nie spełnia wymaganych parametrów, co wiąże się z koniecznością jej demontażu i stosowania skrzyń maskująco-wyciszających z wewnętrzną wentylacją niezależnie od wentylacji zapewnionej w kabinie. Duża odległość i niekorzystne położenie wymuszają stosowanie teleobiektywów.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: jeden projektor z teleobiektywem zainstalowany w kabinie projekcyjnej; zacienienie generowane przez portal sceniczny kompensowany projekcją górną i / lub tylną.

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 1,0 podwieszane nad sceną na wysokości 9 m do sztankiet ruchomych; możliwość pokrycia projekcją całego pola gry.

projekcja tylna: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,5. Rozwiązanie, ze względu na znaczną głębokość kulis, ograniczone wyłącznie ruchem scenicznym.



2.2.1 Narodowy Stary Teatr im. Heleny Modrzejewskiej: Duża Scena

adres: ul. Jagiellońska 5, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: — / 1798-1841-1906 / 2010

projekt: Szczepan Humbert (1798-99), Karol Kremer i Tomasz Majewski (1841-43) / projekt przebudowy: Tadeusz Stryjeński i Franciszek Mączyński (1903-06), Bronisław Opaliński i Marcin Bukowski (1942-43), Andrzej Kadłuczka (1999-2013)

układ: tradycyjny z proscenium; widownia w układzie schodkowym bez przesunięcia rzędów, częściowo demontowalna

scena: szerokość 9,67 m, głębokość 13,48 m, wysokość 10,36 m

portal sceniczny: szerokość 7,84 m, wysokość 4,9 m

kulisy: tylne i boczne

maksymalna pojemność widowni: 350

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina elektroakustyczna / balkon

przeszkody architektoniczne:

Wykorzystanie strefy technicznej usytuowanej na balkonie na potrzeby projekcji multimedialnych wymaga zapewnienia dodatkowej wentylacji i jej wyciszenia. Projekcja na podłogę pokrywająca całe pole gry wymaga zastosowania dwóch projektorów, z czego jeden musi być zainstalowany przed portalem scenicznym, co wiąże się z koniecznością maskowania, wentylacji i wyciszenia. Płytkie kulisy ograniczają możliwości projekcji tylnej.

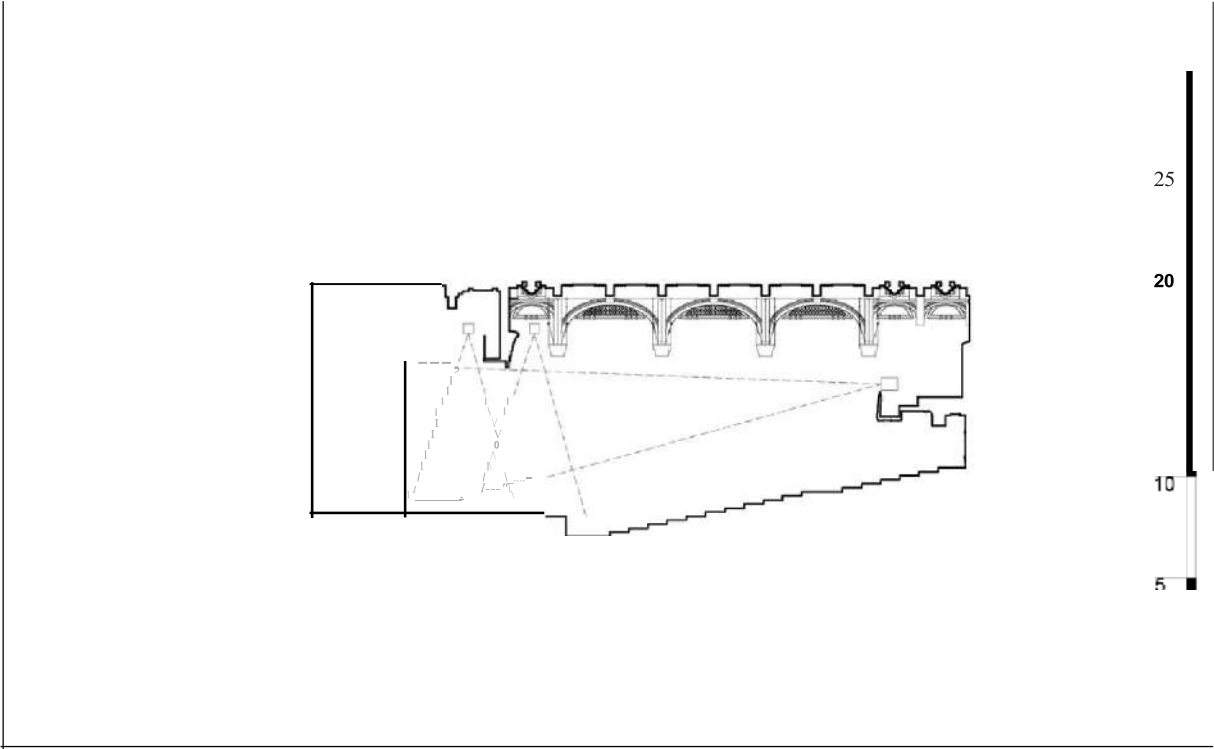
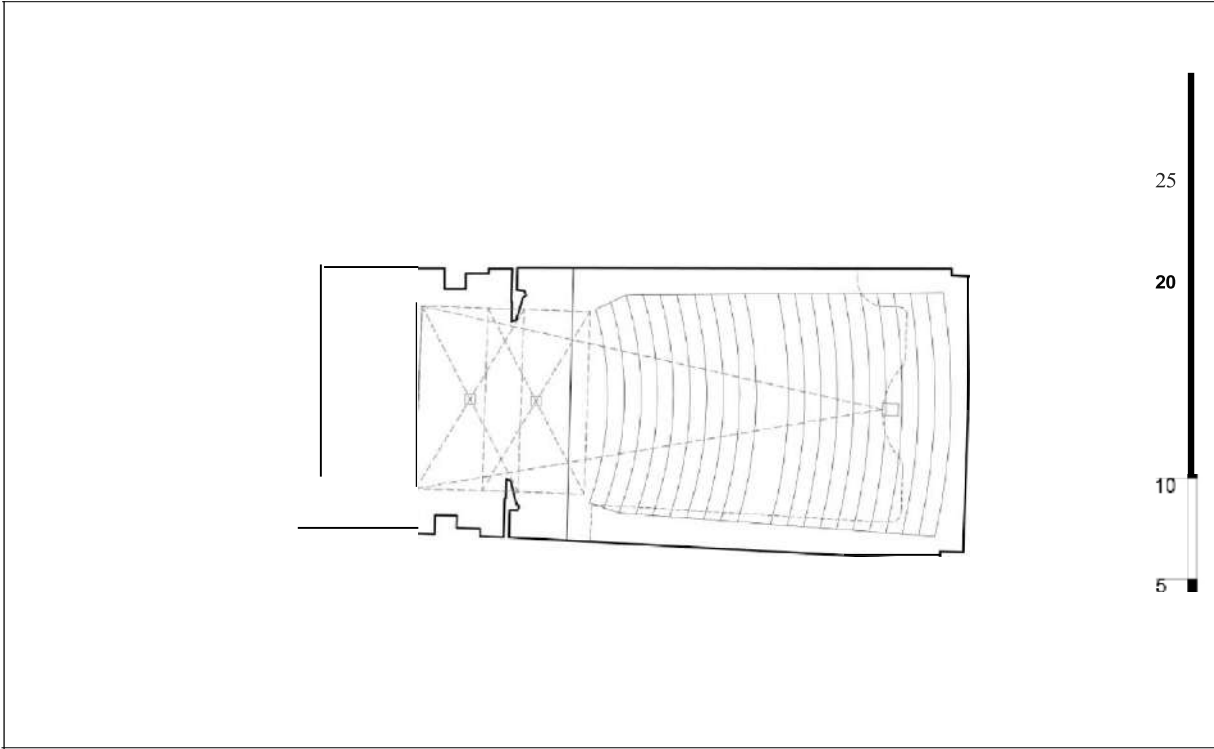
Obiekt wpisany do rejestru zabytków — brak możliwości ingerencji w strukturę i elementy wyposażenia.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: jeden projektor z teleobiektywem zainstalowany na balkonie w skrzyni maskująco-wyciszającej z wewnętrzną wentylacją.

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 1,0 podwieszane nad sceną na wysokości 9 m do sztankiet ruchomych; możliwość pokrycia projekcją całego pola gry wyłącznie w przypadku podwieszenia jednego z projektorów przed portalem scenicznym (konieczność stosowania skrzyni maskująco-wyciszającej z wewnętrzną wentylacją).

projekcja tylna: utrudniona ze względu na niewielką głębokość kulis tylnych i dużą powierzchnię ekranu.



2.2.2. Teatr im. Juliusza Słowackiego w Krakowie: Duża Scena

adres: pl. św. Ducha 1, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: 1888 / 1893 / 1993 / 2019

projekt: Jan Zawiejski / modernizacja (1988-1993) Andrzej Kadłuczka / Jan Zawiejski (odtworzony wystrój oryginalny)

układ: tradycyjny z proscenium; parter o układzie częściowo schodkowym, trzy piętra łóż bocznych, dwa piętra balkonów; system mobilny wyrównujący poziom widowni z poziomem sceny

scena: szerokość 14 m, głębokość 12 m, wysokość 17 m

portal sceniczny: szerokość 9,3 m, wysokość 9,3 m

kulisy: tylne i boczne

maksymalna pojemność widowni: 540

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: brak

przeszkody architektoniczne:

Brak kabiny projekcyjnej, brak sztankiet w strefie widowni oraz znacznych gabarytów żyrandol usytuowany centralnie na bogato zdobionym s[^]ukami suficie wiąże się z koniecznością rozmieszczenia projektorów na widowni w skrzyniach skrzyń maskująco-wyciszających z wewnętrzną wentylacją. Brak gniazd zasilających w posadzce wymusza prowadzenie tymczasowego okablowania w profilach ochronnych.

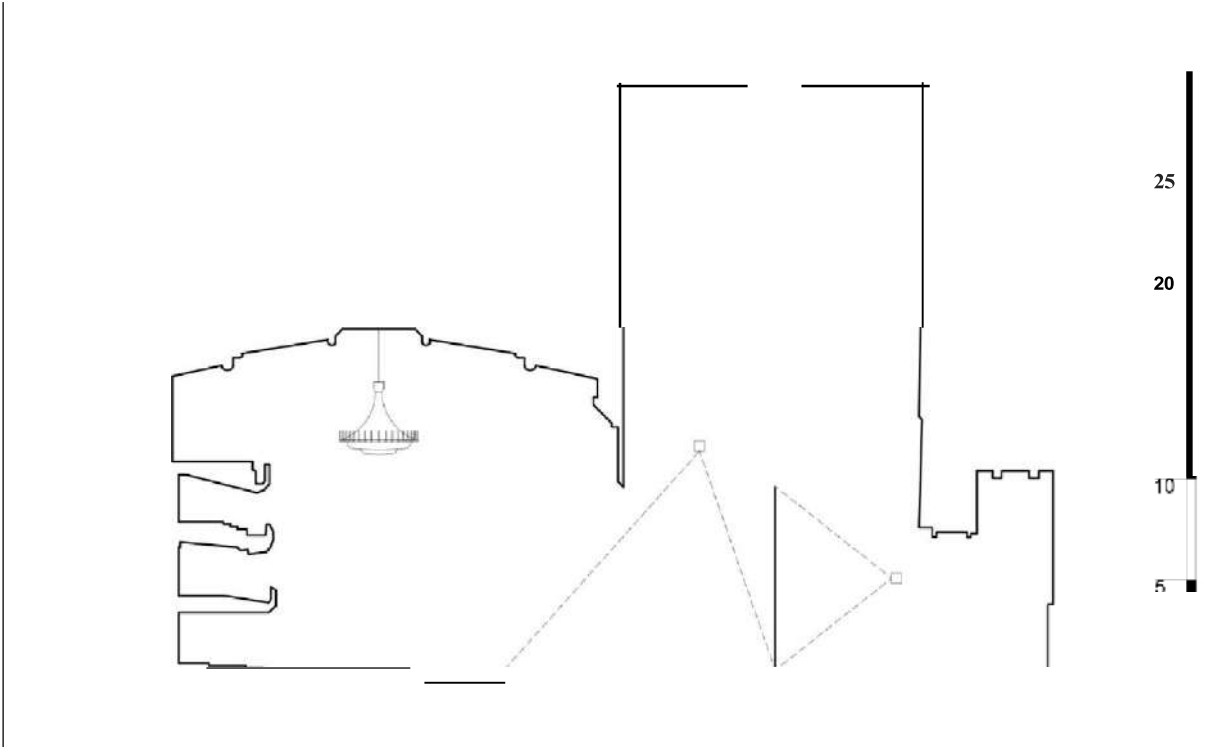
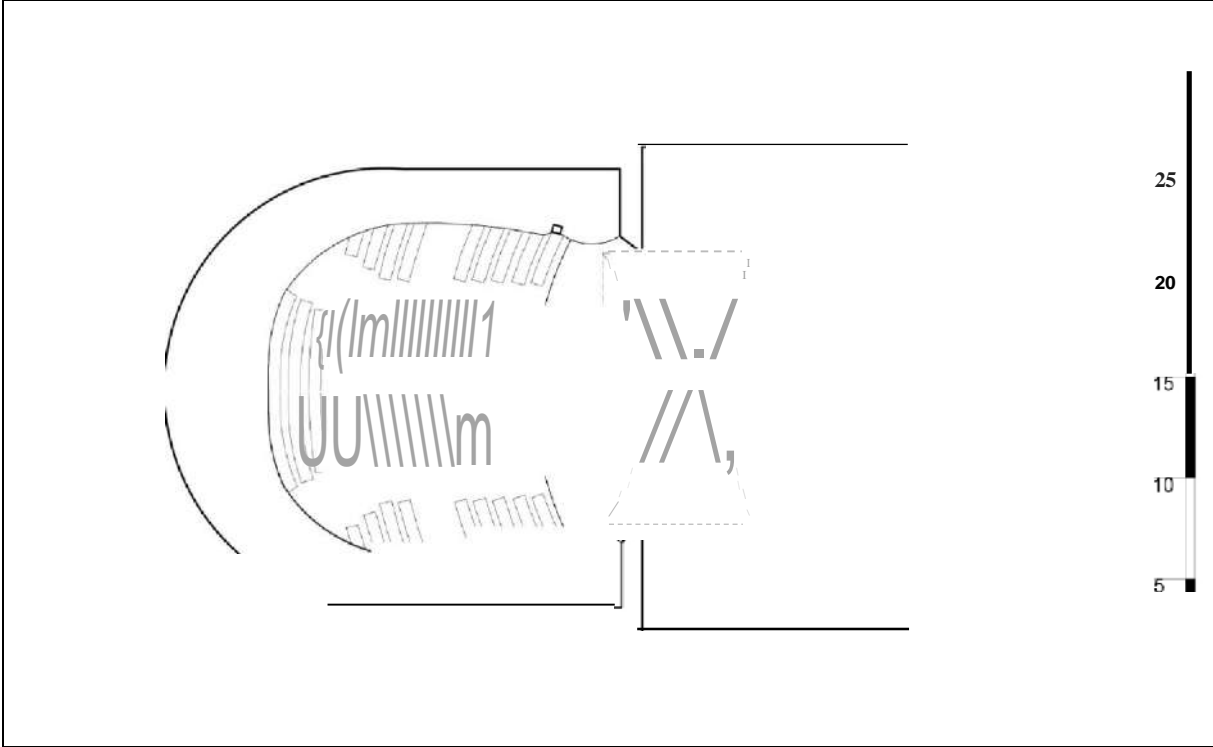
Obiekt wpisany do rejestru zabytków — brak możliwości ingerencji w strukturę i elementy wyposażenia. W ramach modernizacji przeprowadzonej w latach 2018-2019 przywrócono układ widowni z 1893 wykonując między innymi nowe fotele na podstawie oryginalnego projektu Jana Zawiejskiego.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: brak możliwości lub możliwości bardzo ograniczone.

projekcja na podłogę: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,8 podwieszony nad sceną na wysokości 10,8 m do sztankiet ruchomych; możliwość pokrycia projekcją całego pola gry.

projekcja tylna: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,5, rozwiązanie w pewnym stopniu ograniczone ruchem scenicznym kompensowane głębokością kulis tylnych i sporym zapleczem sceny.



2.2.3 Teatr Ludowy: Duża Scena

adres: os. Teatralne 34, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: 1954 / 1955 / 2019

projekt: Janusz Ingarden, Marta Ingarden, Janusz Dąbrowski

układ: tradycyjny z proscenium; widownia na planie elipsy

scena: szerokość 14 m, głębokość 14 m, wysokość 14 m

portal sceniczny: szerokość 8,5 m, wysokość 4,75 m

kulisy: tylne i boczne

maksymalna pojemność widowni: 310

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: brak

przeszkody architektoniczne:

Brak balkonów i przestrzeni technicznych w strefie widowni, dekoracyjny sufit pozbawiony sztankiet, elementy portalu scenicznego ograniczające pole projekcji górnej.

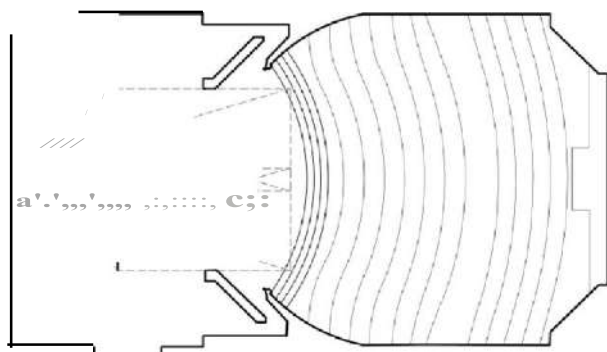
Obiekt wpisany do gminnej ewidencji zabytków — ograniczone możliwości ingerencji w strukturę i elementy wyposażenia.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: brak możliwości.

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,8 podwieszane nad sceną na wysokości 7,2 m do sztankiet ruchomych; możliwość pokrycia projekcją całego pola gry wyłącznie przy precyzyjnym zlokalizowaniu projektora lub korekcji współczynnikiem obrazu.

projekcja tylna: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,5, rozwiązanie w pewnym stopniu ograniczone ruchem scenicznym kompensowane głębokością kulis tylnych.

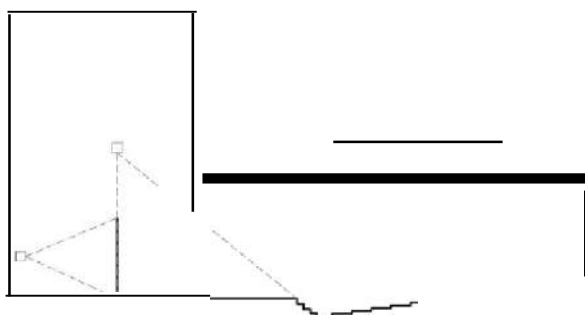


25

20

10

5



25

20

10

5

2.2.4 Teatr Ludowy: Scena Pod Ratuszem

adres: Rynek Główny 1, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: b.d. / b.d. / b.d.

projekt: b.d.

układ: tradycyjny z proscenium; widownia w układzie schodkowym

scena: szerokość 8,25 m, głębokość 6,65 m, wysokość 3,2 m

portal sceniczny: szerokość 4,16 m, wysokość 2,8 m

kulisy: brak

maksymalna pojemność widowni: 62

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina elektro-akustyczna / kabina reżyserska z tyłu widowni

przeszkody architektoniczne:

Bardzo mała widownia oraz bardzo mała, niska i pozbawiona kulis scena praktycznie wykluczają możliwości projekcji: niewielka kabina reżyserka / kabina elektro-akustyczna jest trudno dostępna i nie nadaje się do wykorzystania na kabinę projekcyjną. Utrudniony dostęp do wszystkich stref.

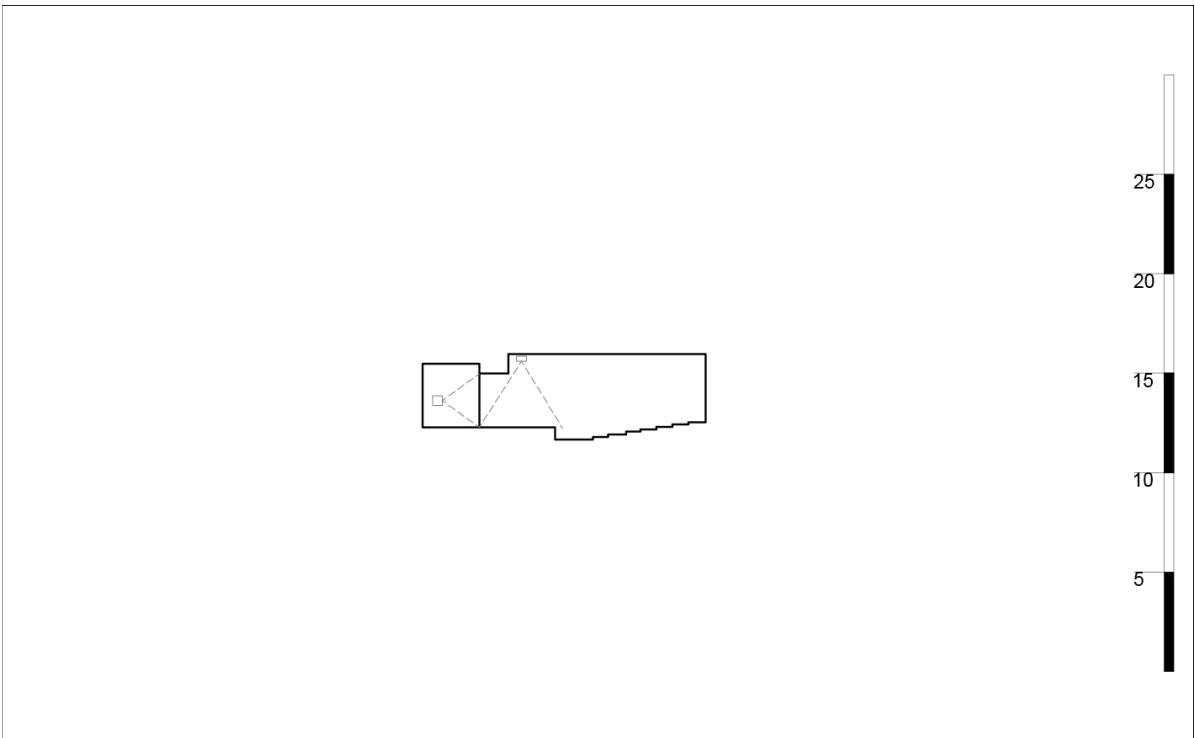
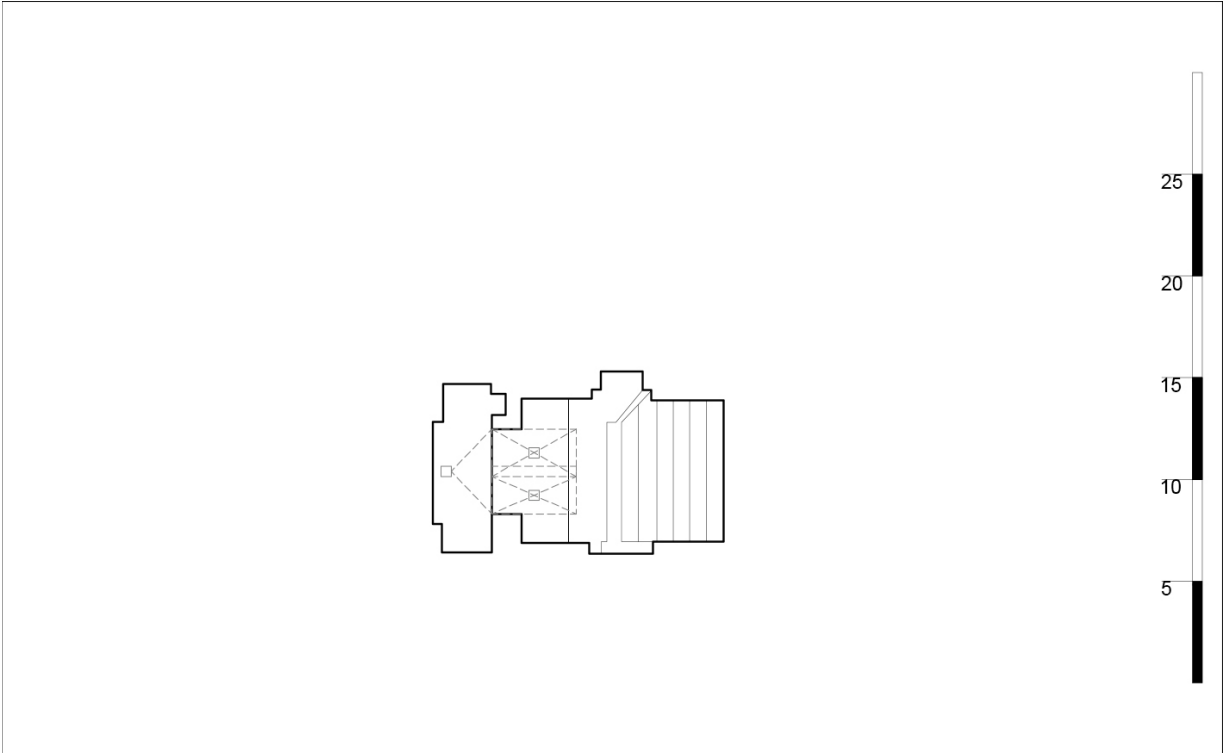
Teatr mieści się w podziemiach dawnego Ratusza Miejskiego (XIII/XIV wiek). Obiekt wpisany do rejestru zabytków — brak możliwości ingerencji w strukturę i elementy wyposażenia.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: brak możliwości.

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,8 podwieszane nad sceną na wysokości 3,2 m do sufitu, konieczność stosowania skrzyni maskująco-wentylacyjnej i znaczne ograniczenie ruchu scenicznego — nie rekomendowane.

projekcja tylna: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,5; ograniczenie ruchu scenicznego wyłącznie niewielkiej strefy przed ekranem, bez dostępu do kulis — nie rekomendowane.



2.3.1 Teatr Groteska: Scena Kopułowa

adres: ul. Skarbowa 2, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: 1912 / 1930 / ?

projekt: Wacław Krzyżanowski

układ: arena, widownia w układzie półkolistym

scena: szerokość / głębokość 11 m, wysokość 4,5 m

portal sceniczny: —

kulisy: tylne i boczne

maksymalna pojemność widowni: 188

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: brak

przeszkody architektoniczne:

Nietypowy kształt sceny i proporcje ekranu stanowią istotne utrudnienie dla projekcji przedniej — optymalne usytuowanie projektora wymusiłoby jego montaż pod kopułą, w strefie pozbawionej sztankiet. Brak możliwości pokrycia całego pola gry.

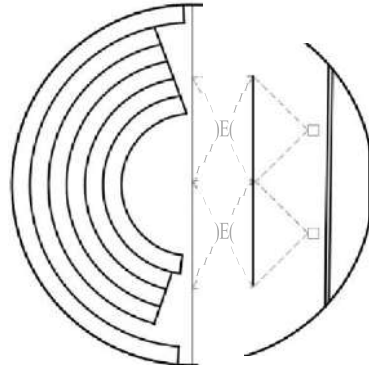
Bursa dla Związku Młodzieży Przemysłowej i Wielofunkcyjnej była w założeniu inwestorów i projektantów obiektem wielofunkcyjnym z salą teatralną. Teatr Groteska działa w nim od 1945 roku. Obiekt wpisany do rejestru zabytków — brak możliwości ingerencji w strukturę i elementy wyposażenia.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: brak możliwości.

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,8 podwieszane nad sceną na wysokości 4,3 m do sztankiet ruchomych, konieczność stosowania skrzyni maskująco-wentylacyjnej.

projekcja tylna: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,5 — rozwiązanie ograniczone ruchem scenicznym.

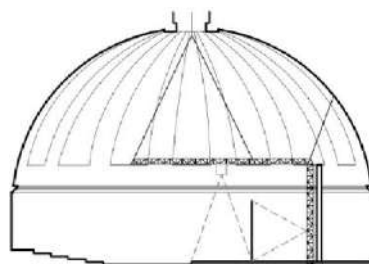


25

20

10

5



25

20

10

5

2.4.1 Teatr Variété

adres: ul. Grzegórzecka 71, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: b.d. / 2015 / —

projekt: b.d.

układ: tradycyjny z proscenium, widownia w układzie schodkowym, loże boczne (jednostronne)

scena: szerokość 10 m, głębokość 12 m, wysokość 11,5 m

portal sceniczny: szerokość 7,6 m, wysokość 5 m (głębokość 1,3 m)

kulisy: tylne i jednostronne boczne

maksymalna pojemność widowni: 394

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina elektro-akustyczna z tyłu za widownią

przeszkody architektoniczne:

Bardzo ograniczone światło widowni (w ostatnim rzędzie wysokość wynosi jedynie 228 cm), rozbudowany portal sceniczny, płytkie kulisy.

Kabina elektro-akustyczna nie nadaje się do wykorzystania jako kabina projekcyjna ze względu na przesunięcie z osi sceny oraz wysokość, na której jest usytuowana.

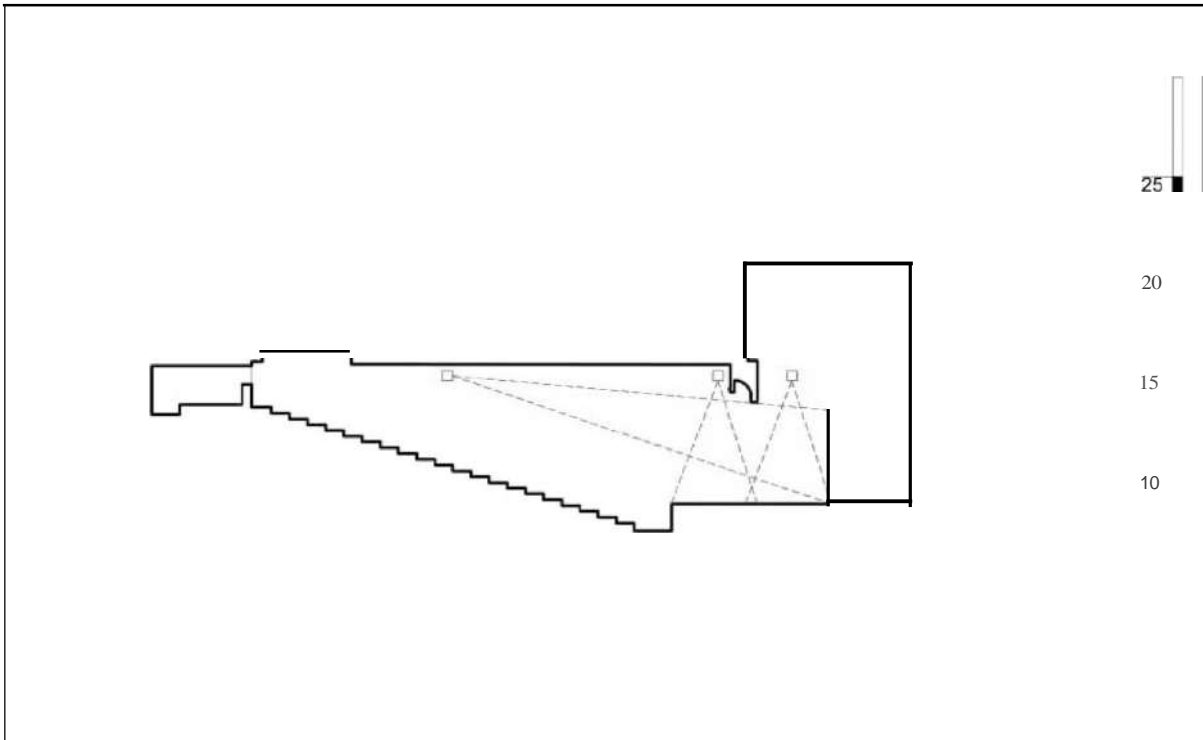
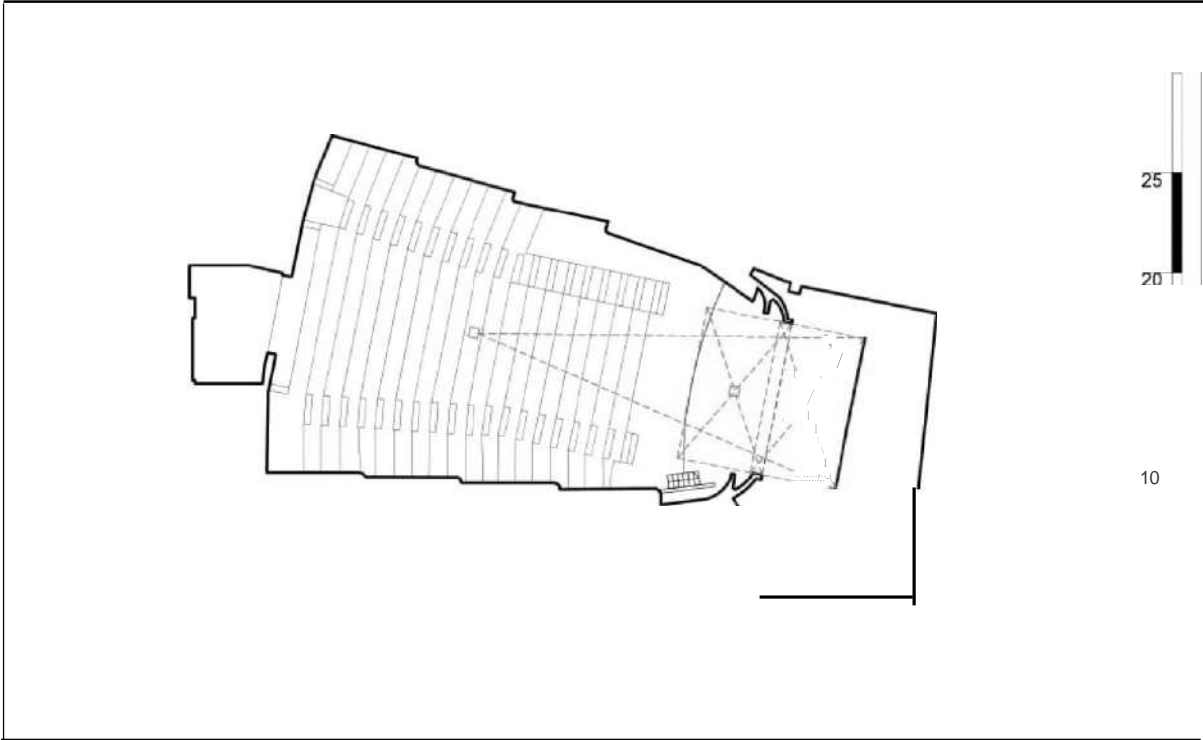
Teatr mieści się w budynku dawnego kinoteatru „Związkowiec”. Obiekt wpisany do gminnej ewidencji zabytków — ograniczone możliwości ingerencji w strukturę i elementy wyposażenia.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: możliwa wyłącznie ze strefy widowni (jeden projektor z teleobiektywem usytuowany centralnie, podwieszony do sufitu), co wiąże się z koniecznością stosowania skrzyni wygłuszającej, a w przypadku projekcji z poziomu widowni — eliminuje sporą liczbę miejsc siedzących.

projekcja na podłogę: dwa projektory o współczynniku obrazu 0,8 podwieszono na wysokości 6,16 m, z czego jeden przed portalem scenicznym (konieczność stosowania skrzyni maskująco-wentylacyjnej).

projekcja tylna: brak możliwości zastosowania ze względu na zbyt małe, jak na specyfikę repertuaru, kulisy (zwłaszcza brak obustronnych kulis bocznych).



2.5 Opera Krakowska: Duża Scena

adres: ul. Lubicz 48, Kraków

data projektu / data realizacji / data modernizacji sali: 2004 / 2008 / —

projekt: Romuald Loegler z zespołem

układ: tradycyjny z proscenium i fosą orkiestrową, widownia w układzie schodkowym, otwarte balkony boczne i tylne, loża centralna

scena: szerokość 16,5 m, głębokość 13 m, wysokość 14 m

portal sceniczny: szerokość 11,2 m, wysokość 7 m

kulisy: boczne

maksymalna pojemność widowni: 750 (822 przy zaślepieniu zapadni orkiestronu)

typ / usytuowanie kabiny zaplecza technicznego: kabina elektro-akustyczna / kabina reżyserska po bokach loży na balkonie środkowym

przeszkody architektoniczne:

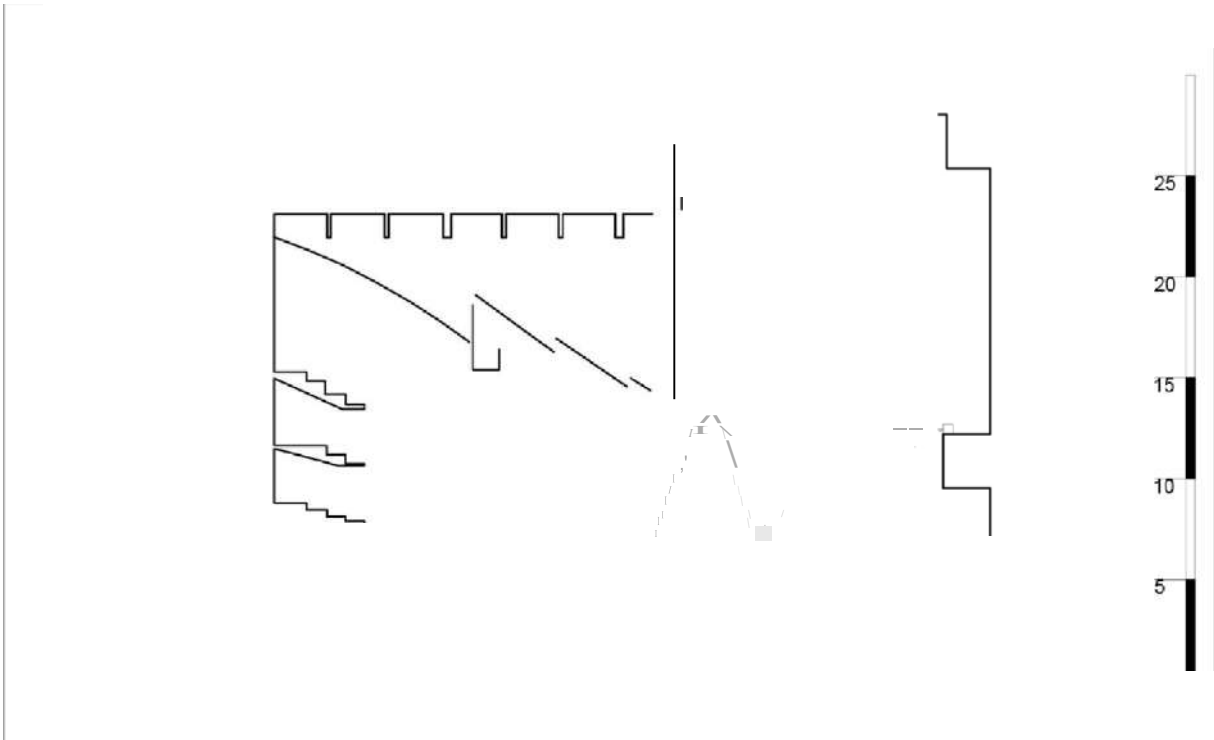
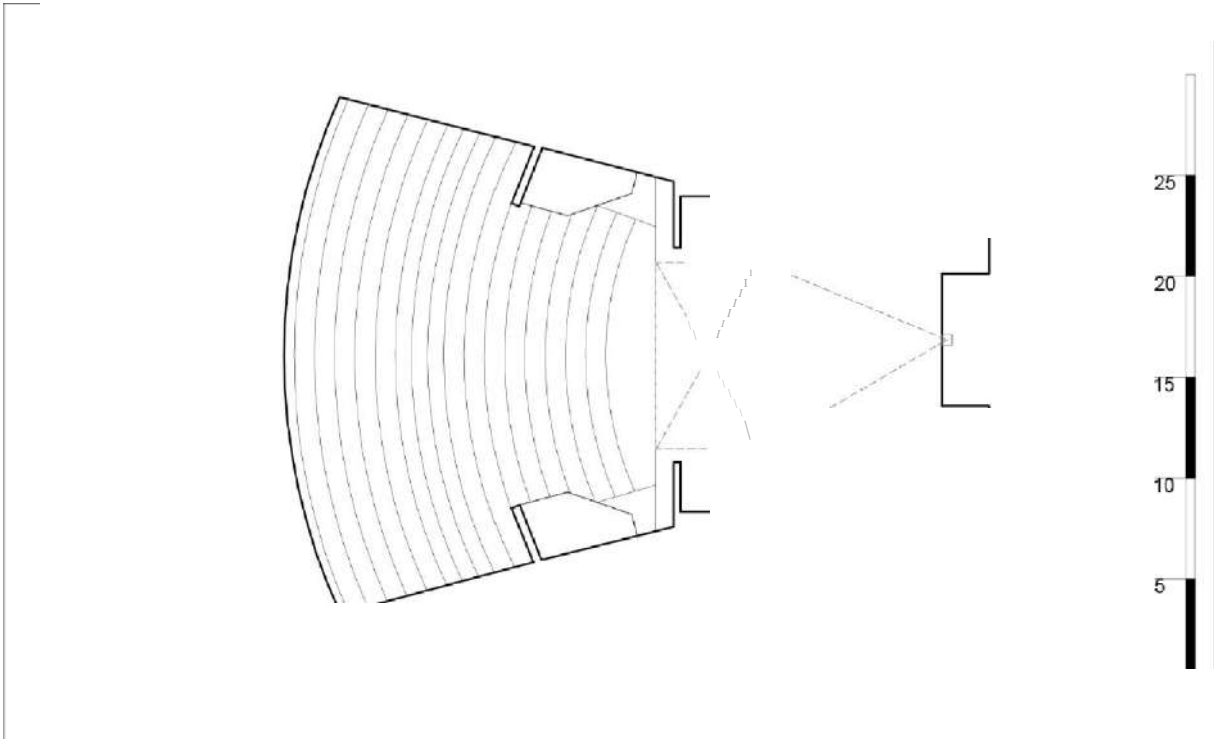
Usytuowanie kabin technicznych po bokach loży (tzw. loży marszałkowskiej) poza osią sceny ogranicza możliwości ich wykorzystania jako kabin projekcyjnych. Elementy wyposażenia sali, w tym panele akustyczne i głośniki oraz portal sceniczny (mimo relatywnie dużego prześwitu) praktycznie wykluczają możliwość projekcji przedniej ze strefy widowni.

optymalne ustawienia:

projekcja przednia: nie rekomendowana.

projekcja na podłogę: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,8 podwieszony nad sceną na wysokości 7,3 m do sztankiet ruchomych.

projekcja tylna: jeden projektor o współczynniku obrazu 0,8; rozwiązanie w niewielkim stopniu ograniczone ruchem scenicznym ze względu na wysokość montażu projektora oraz głębokie kulisy boczne.



3. Mu7media w przestrzeni sztuki: możliwości i ograniczenia

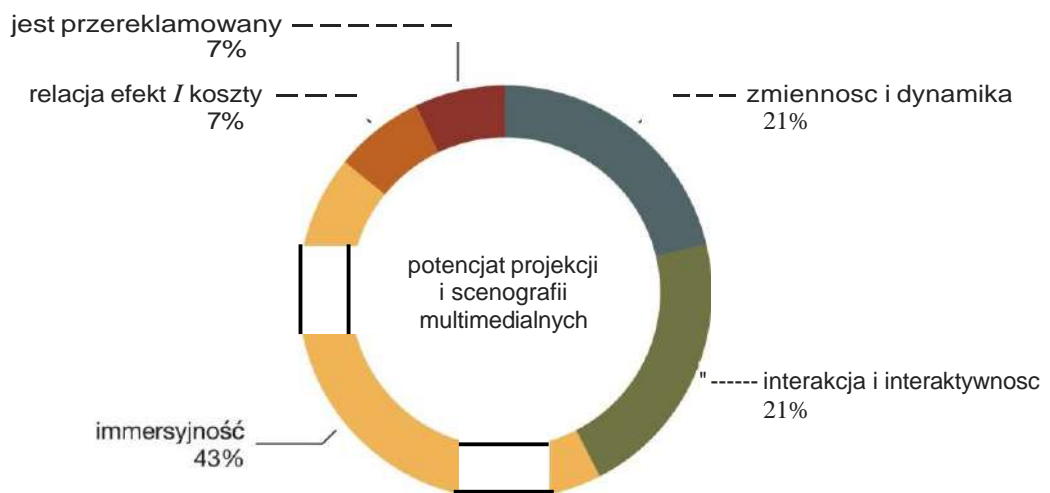
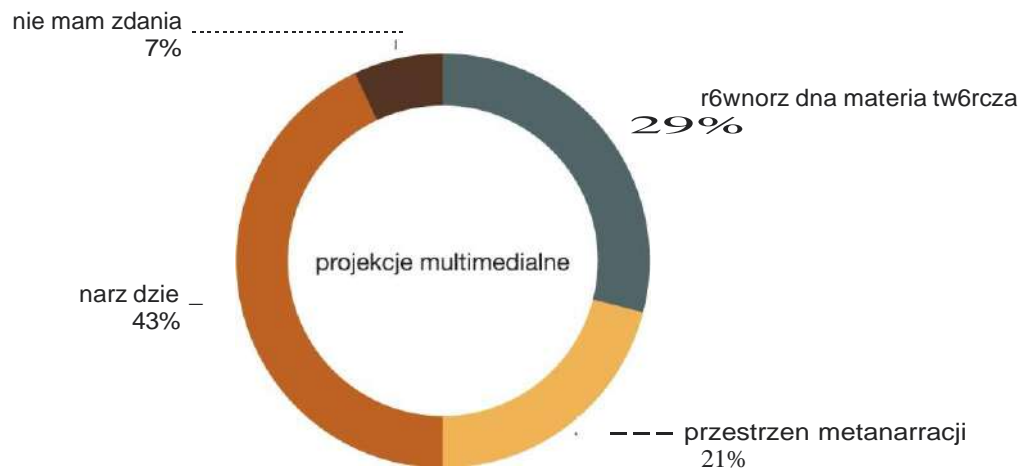
3.1. Badanie opinii — metoda

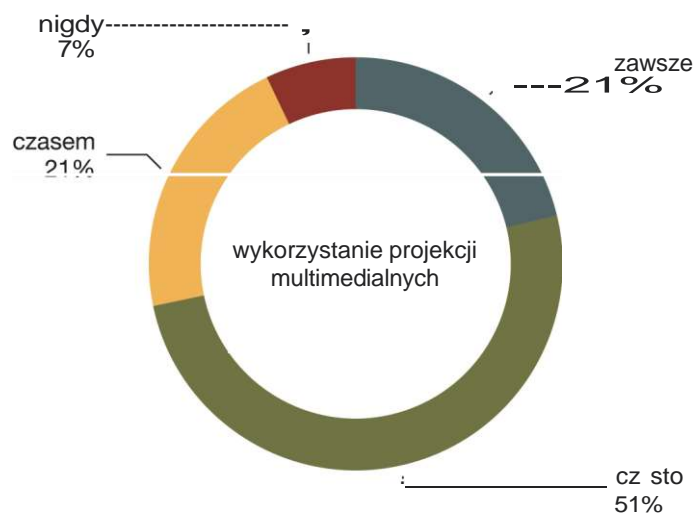
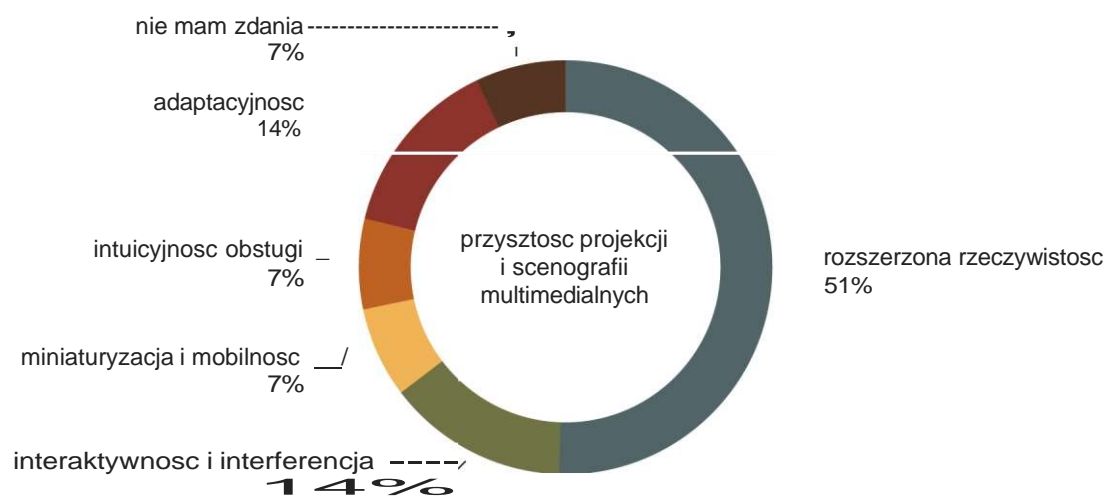
Badanie poświęcone możliwościom i ograniczeniom wykorzystania projekcji mul^medialnych w przestrzeni sztuki przeprowadzono we wrześniu 2020 roku za pomocą ankiety internetowej. Ankieta składała się z ośmiu pytań badawczych i jednego pytania profilującego określającego sferę aktywności respondentek i respondentów z podziałem na reżyserię, scenografię, projektowanie mul^mediów, inspicjenturę, produkcję i zarządzanie instytucją kultury. Ankieta była udostępniana za pomocą mediów społecznościowych oraz drogą mailową. W ciągu pierwszych trzech tygodni od uruchomienia ankiety udało się zebrać 14 rekordów, dlatego pierwsze wyniki ankiety należy traktować poglądowo. Jej ewentualne wykorzystanie do budowania strategii rozwojowej firmy powinno nastąpić po zebraniu większej liczby odpowiedzi. Ponieważ środowisko twórców teatralnych nie jest jednak zbyt liczne, zebrane odpowiedzi wciąż mogą odzwierciedlać obowiązującą tendencję.

Badanie przeprowadzono z zachowaniem anonimowości. Nie stosowano pytań profilujących z rozróżnieniem na wiek, płeć, wykształcenie czy narodowość jako parametry nie mające wpływu na rezultat badań. Ankiety postanowiono pozostawić jako aktywną po zakończeniu badań. Każdy zainteresowany podmiot może po wypełnieniu ankiety zapoznać się z aktualnym rozkładem procentowym odpowiedzi.

3.2. Badanie opinii — wyniki

Pośród respondentów najliczniejszą grupę stanowiły osoby zajmujące się projektowaniem mul^mediów (36%), dość liczną grupę stanowiły również osoby zajmujące się scenografią i reżyserią (odpowiednio 29% i 21%). Większość respondentów określało projekcje mul^medialne jako narzędzie determinowane wyłącznie kreatywnością twórcy (43%), samodzielną materię twórczą (29%) lub przestrzeń metanarracji (21%). Nikt nie wskazał projekcji mul^medialnych jako wyłącznie elementu scenografii lub mody, która może szybko przeminąć. Spośród zaproponowanych możliwości (por. załącznik), za największy potencjał projekcji mul^medialnych uznano immersyjność i silne oddziaływanie na widza (43%), a kolejno interakcję i interaktywność oraz zmienność i dynamikę (obie zestawy cech po 14%). Zdecydowana większość respondentów widzi przyszłość projekcji i scenografii mul^medialnych upatrywano w rozszerzonej rzeczywistości (50% wszystkich odpowiedzi), a dopiero w drugiej kolejności w interaktywności i coraz łatwiejszemu dostosowywaniu się do zastanych warunków (po 14%). Ponad 90% respondentów wykorzystuje w swoich projektach prezentacje mul^medialne: 21% zawsze, a 50% często. Większość została zmuszona do rezygnacji z jakiegoś pomysłu na wykorzystanie projekcji mul^medialnych ze względu na przeszkody natury architektonicznej (69%), technicznej (50%), a zwłaszcza ekonomicznej (86%). Te ostatnie przeszkody zostały wskazane jako najczęściej uniemożliwiające realizację autorskiej wizji. Brak wysoko wykwalifikowanych fachowców nie został wskazany jako przeszkoda.









4. Multimedia w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja

Podczas przygotowań do inscenizacji multimedialnych kluczową rolę odgrywa dobór odpowiednich narzędzi, dzięki którym scenografia będzie czytelna dla wszystkich widzów, bez względu na rodzaj zajmowanego miejsca. Problematyka dobrej widoczności w teatrze to temat znany już od czasów teatru greckiego. Wprowadzona wtedy dosyć naturalnie pochyłość podłogi (wtedy theatronu, opartego o skalny stok) została dopracowana dopiero w XIX wieku przez T. Lacheza, który opracował metodę wyznaczenia minimalnej pochyłości podłogi, znanej jako wykres widoczności. Według niego dobra widoczność zależy od:

- odległości między dolną krawędzią pola obserwacji a pierwszym rzędem foteli
- wysokości podium scenicznego nad podłogą pierwszego rzędu
- szerokości rzędów
- przewyższenia dla promienia stycznego do czubka głowy widza w rzędzie poprzedzającym, przebiegającego od oka widza w rzędzie następnym do dolnej krawędzi pola obserwacji
- średniego wzrostu ludzi.

Wprowadzenie do teatru multimedialnych nie rozwiązało tego problemu. Nadal istnieje konieczność stosowania pochyłej podłogi, chcąc zobaczyć scenografię multimedialną tak samo, jak w przypadku klasycznej należy mieć wzrok powyżej horyzontu sceny. Zmianie uległa technologia przechowywania i zmieniania scenografii. Przy multimedialnych nie potrzeba zaplecza na przechowywanie, wykonanie i naprawę, za to możliwa jest szybka zmiana tła.

W przestrzeni teatralnej najbardziej istotne jest takie dobranie wielkości wyświetlanej grafiki, żeby była ona bez problemu odczytana z pierwszych i ostatnich miejsc sali. Wpływ na to ma rozdzielczość obrazu (grafiki). Rozdzielczość to liczba pikseli w poziomie i pionie. Współcześnie standard wyświetlania to minimum full HD czyli 1920/1080 pikseli. Niemniej jest to norma, która cały czas się zwiększa dążąc do 4K, ponieważ technologia budowy matrycy w projektorach tak samo uległa zmianie.

Niska rozdzielczość grafiki sprawia, że jakość obrazu traci płynność i widoczne stają się poszczególne piksele. Im większa rozdzielczość grafiki i matrycy projektora tym problem z nieczytelnością obrazu jest mniejszy. Wysoka rozdzielczość oznacza jednak większe koszty produkcyjne, większe pliki, lepszy projektor, po prostu droższą produkcję.

Podczas projektowania scenografii multimedialnej niezwykle istotne jest określenie z jakiej odległości od obrazu jego siatka staje się widoczna. Jest to zjawisko optyczne, polegające na określeniu granicznej, rzeczywistej wielkości piksela (już wyświetlanego na ekranie) do odległości osób oglądających grafikę. Określenie tego parametru znacznie ułatwi i przyspieszy proces projektowy. Podczas tworzenia scenografii multimedialnej wystarczą wtedy zwykłe obliczenia a nie przenoszenie projektora i sprawdzanie „na żywo” czy wyświetlany obraz dobrze wygląda.

Jaka odległość od obrazu sprawia, że przestajemy widzieć pojedyncze piksele, a obraz robi się płynny? Czy odległość ta jest stała, czy różni się w zależności od wyświetlanej grafiki? Skoro wiemy, że długość fali odbieranej przez oko człowieka jest różna w zależności od koloru, to czy przy takiej samej odległości obraz czarno-biały i kolorowy zachowuje się tak samo? Celem przeprowadzonego badania była parametryzacja ostrości obrazu w korelacji z wielkością piksela i odległością oka od ekranu.

4.1. Rozdzielczość i percepcja — metoda

Grupę badawczą stanowią osoby w wieku od 20-65 lat podzielone na dwie grupy wiekowe: <40 lat i >40 lat. Granica wynika z naturalnych procesów fizjologicznych związanych z pogorszeniem się wzroku i występowaniem tzw. starczego widzenia. Po 40 roku życia u większości osób dochodzi do problemów z widzeniem z bliska. Wada wzroku jest czynnikiem bardzo istotnym przy funkcjonowaniu w codziennym życiu (np. czytanie), ale czy w przestrzeni teatralnej ma takie samo znaczenie, skoro graniczną odległością wymuszającą akomodację oka jest 6 metrów? Czy problem z widzeniem z bliskich odległości powinien być uwzględniany przy projektowaniu scenografii multimedialnej?

Preferowaną i najbardziej miarodajną formą badania byłoby badanie przeprowadzone na jak największej liczbie osób w kontrolowanych warunkach oświetleniowych z wykorzystaniem ekranu o szerokości 12 m w trzech wariantach ustawień:

- ruchomy projektor ze stałą optyką;
- nieruchomy projektor ze zmienną ogniskową;
- nieruchomy projektor z wymienną optyką.

Ze względu na zaistniałą sytuację epidemiczną, zespół badawczy został zmuszony do rezygnacji z przeprowadzenia badania w takiej formie. Próba przedstawiona poniżej, ze względu na warunki jej przeprowadzenia i liczbę respondentów nie może być traktowana jako w pełni miarodajna i reprezentacyjna, chociaż samą metodą badawczą zweryfikowano pozytywnie. Uzyskane wyniki wykazały relatywnie wysoką powtarzalność w kluczowych zakresach granicznych, a załączony formularz badawczy może posłużyć do kalibracji przyszłych rozwiązań stosowanych zarówno w salach teatralnych jak i w instalacjach typu *site-specific*.

Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem projektora referencyjnego o matrycy UHD 1200/1920 i 6000 ANSI oraz dwóch grafik referencyjnych: czarno-białej i kolorowej dostarczonych przez zleceniodawcę badania. Grafiki wraz z formularzem badawczym zamieszczono w załączniku 2. Uczestniczki i uczestników badania pytano o to, czy widziany obraz jest ostry oraz czy są w stanie dostrzec pojedyncze piksele. Każdy obraz został wyświetlony w czterech wariantach, dla których **rzeczywista wielkość piksela** wynosiła:

1. 10 mm
2. 7 mm
3. 4 mm
4. 2 mm

Uwzględniając gabaryty badanych sal, pomiarów dokonywano przyjmując dla każdego wariantu wielkości piksela następującą **odległość oka od ekranu**:

1. 5 m
2. 10 m
3. 15 m
4. 20 m
5. 25 m
6. 30 m
7. 35 m

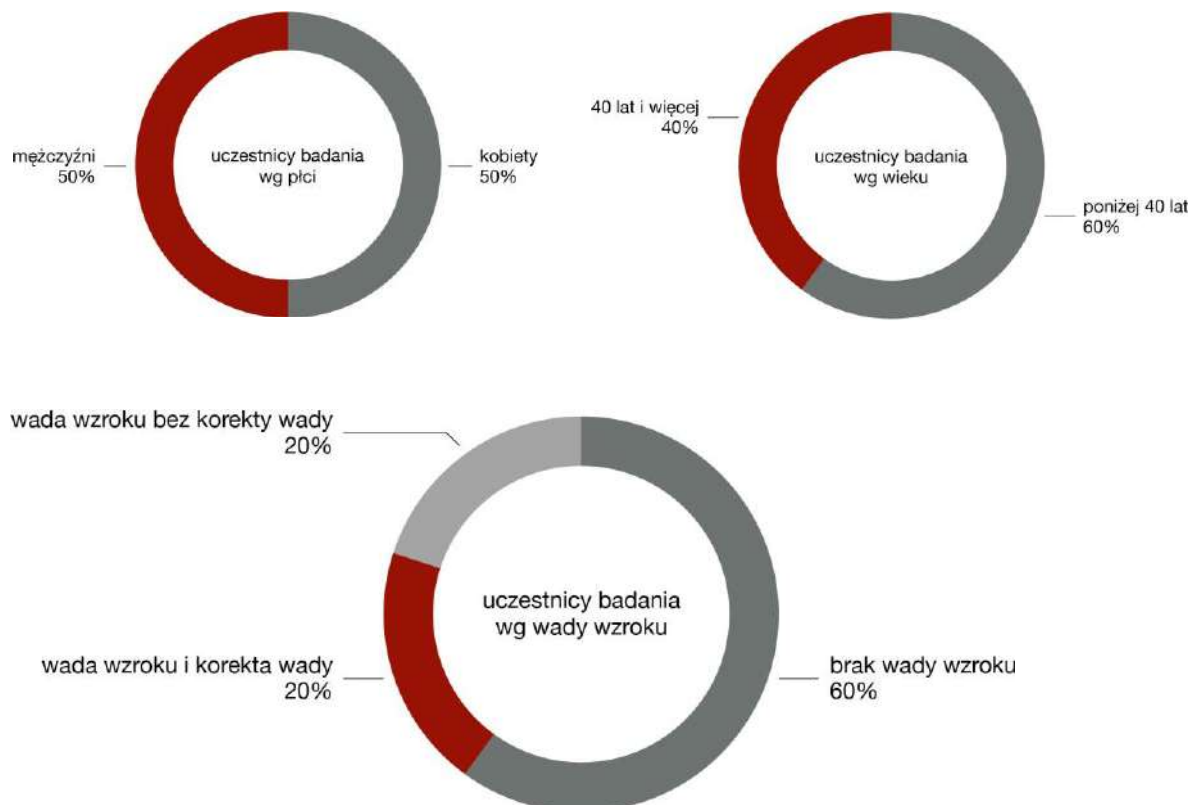
Ze względu na obostrzenia epidemiczne do badań musiano wykorzystać zastaną przestrzeń korytarza budynku Wydziału Architektury PK bez możliwości zaciemnienia. Zastane **warunki oświetleniowe** rozkładały się następująco:

1. w strefie ekranu: 20 lx
2. 5 m od ekranu: 40 lx
3. 10 m od ekranu: 100 lx
4. 15 m od ekranu: 110 lx
5. 20 m od ekranu: 75 lx
6. 25 m od ekranu: 50 lx
7. 30 m od ekranu: 60 lx
8. 35 m od ekranu: 90 lx

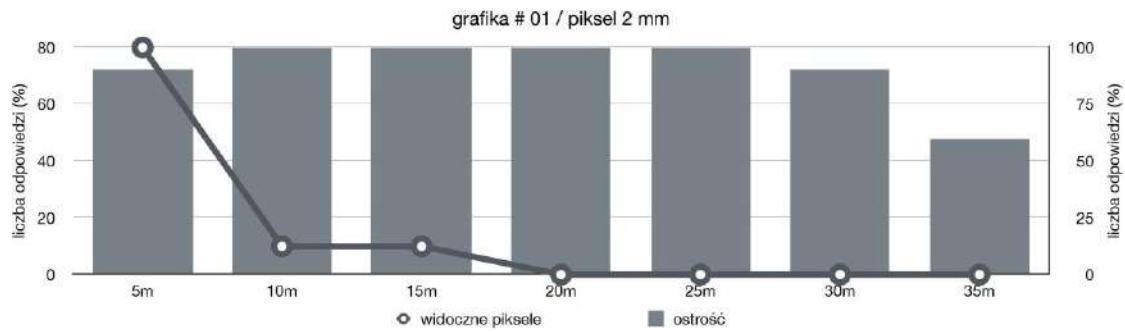
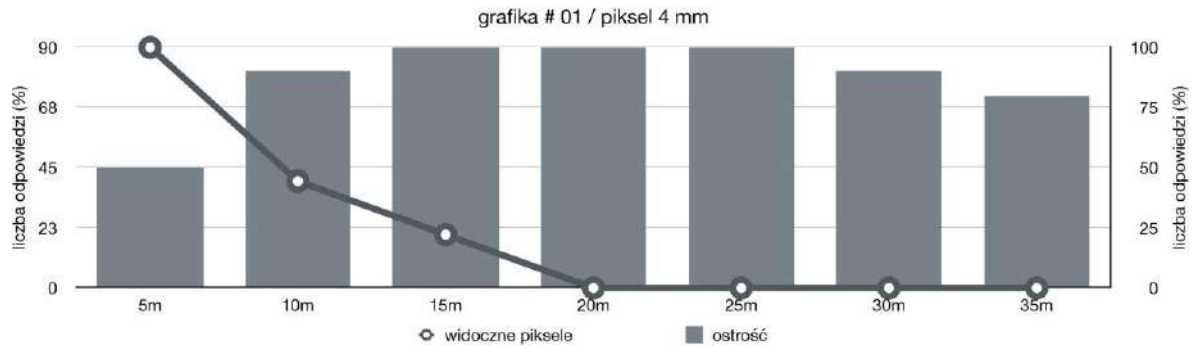
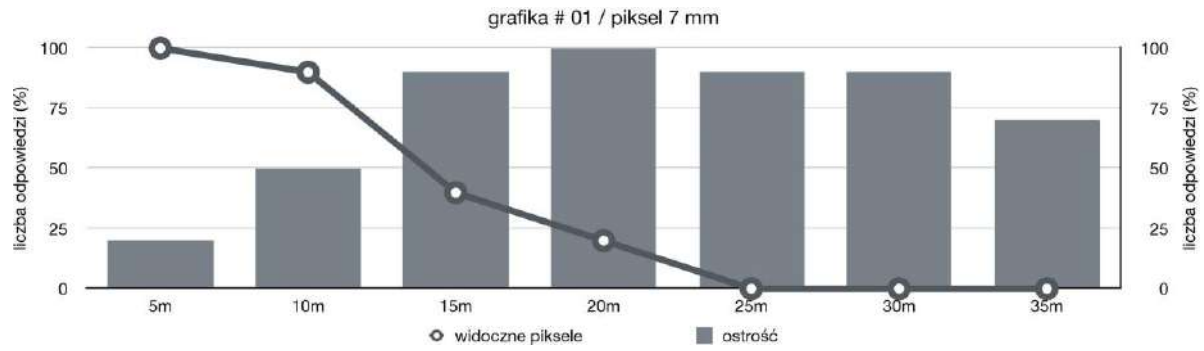
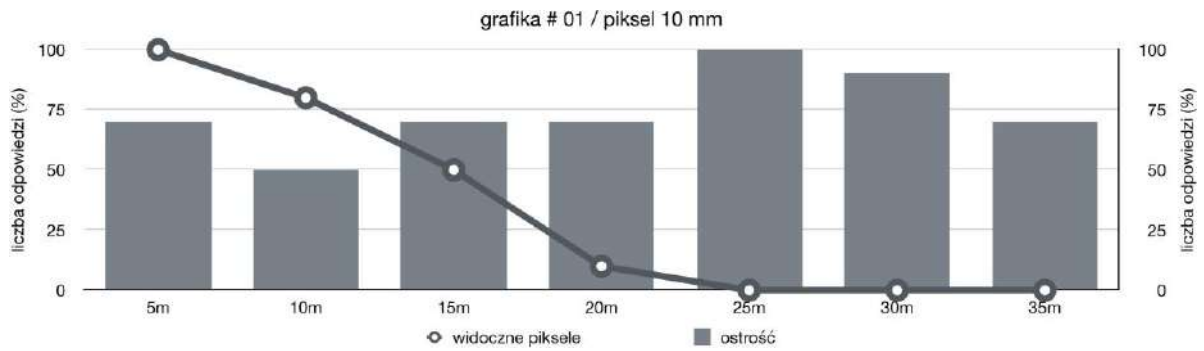
Wielkość piksela uzyskiwano zmieniając odległość projektora od ekranu. Wynikającą z tego zmianę jasności projekcji należy uwzględnić w analizie wyników.

4.2. Rozdzielczość i percepcja — wyniki

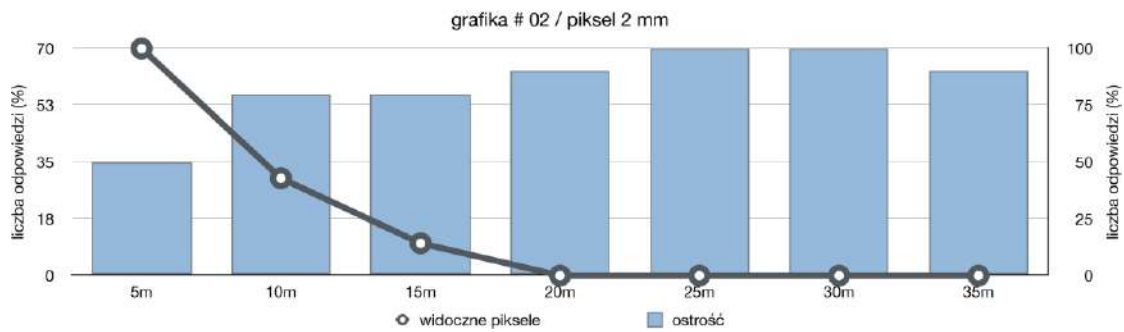
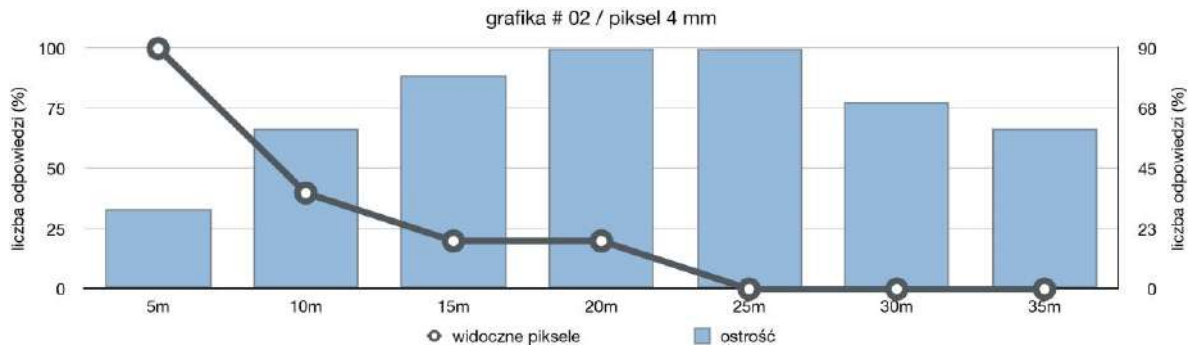
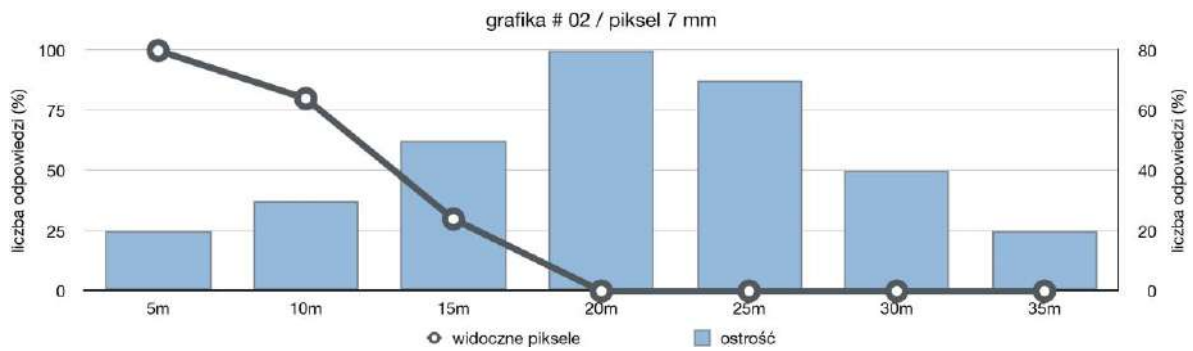
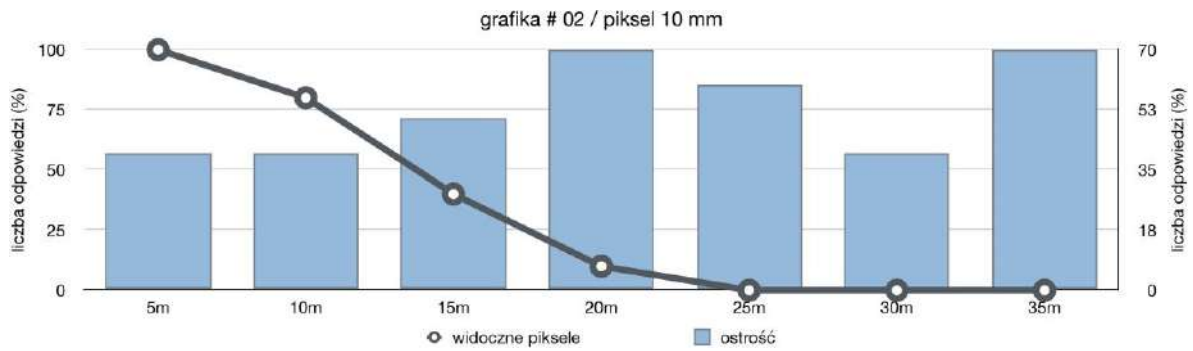
Badanie przeprowadzono 30 września 2020 roku na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej na Kampusie Głównym PK. Ze względu na obostrzenia epidemiczne do badania zaproszono osoby przebywające tego dnia w budynku. Łącznie w badaniu dobrowolnie wzięło udział 10 osób. Rozkład uczestników według płci, wieku oraz wady wzroku i jej korekty przedstawiono na wykresach poniżej. W badaniu wzięło udział tyle samo kobiet, co mężczyzn. Przeważali uczestnicy poniżej 40 roku życia (60%) oraz osoby bez stwierdzonej wady wzroku (60%).



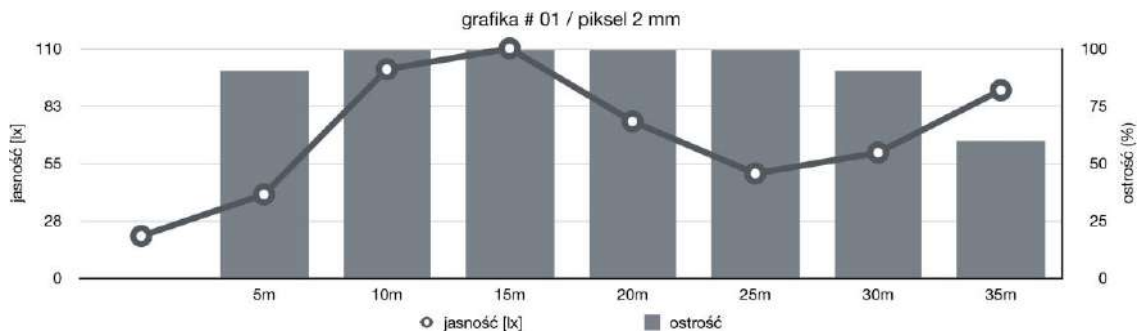
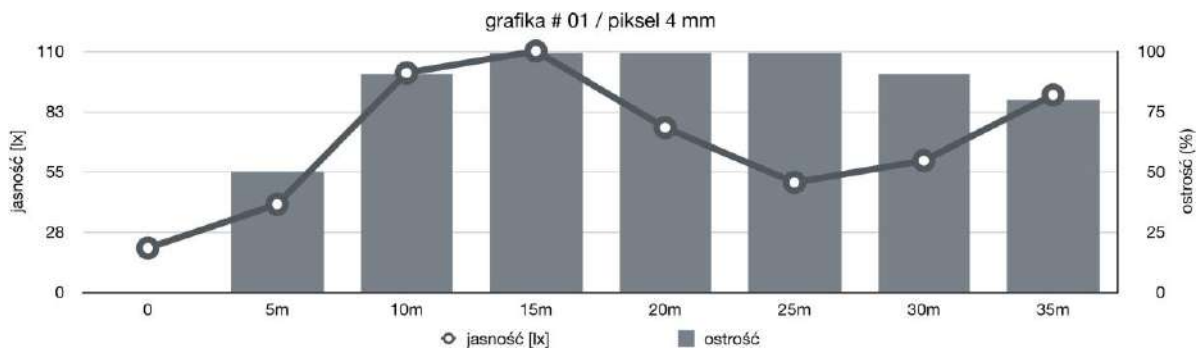
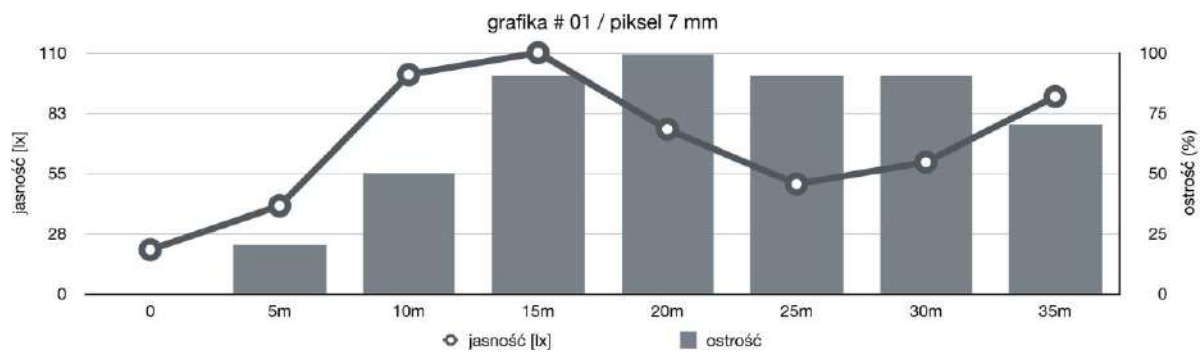
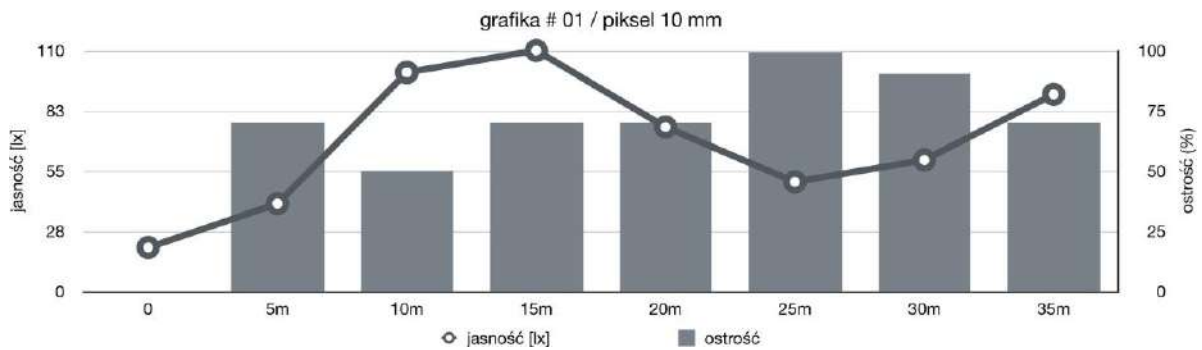
4.2.1. Ostrość obrazu / widoczne piksele: grafika #01



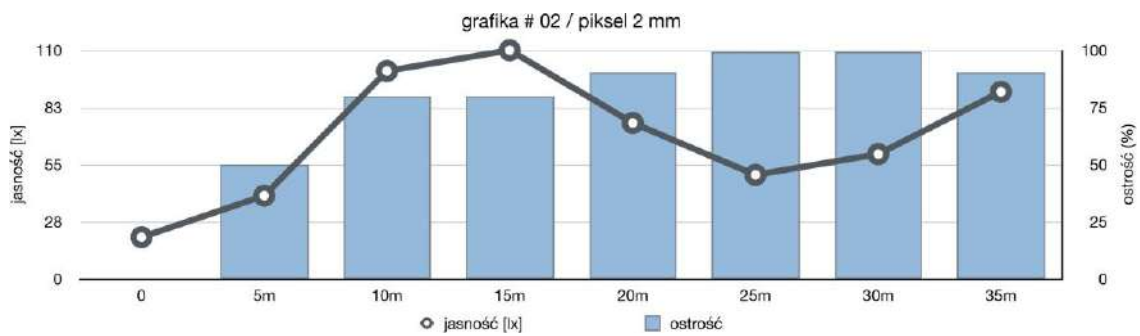
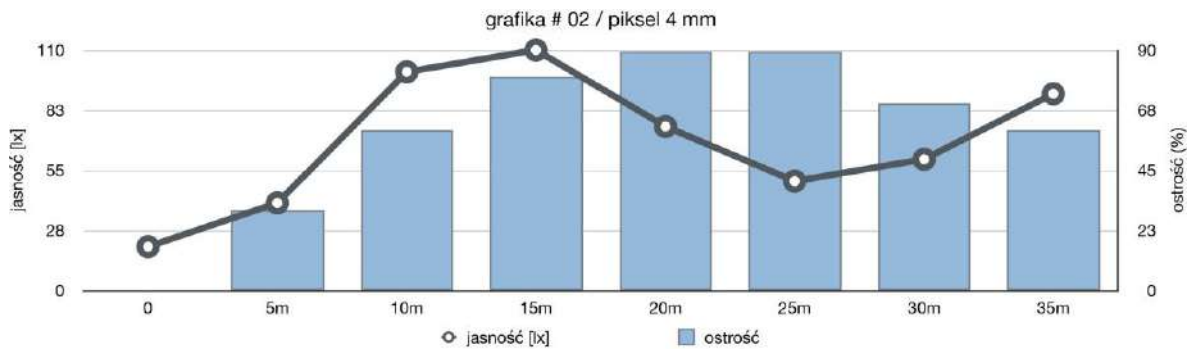
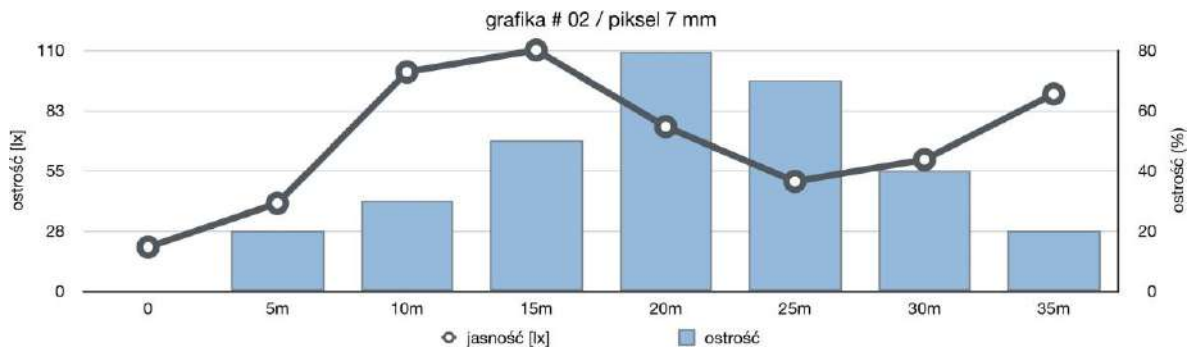
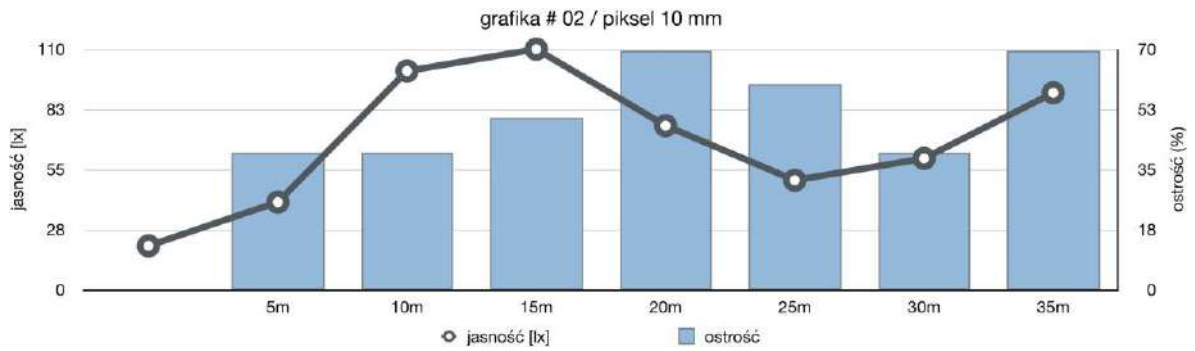
4.2.2. Ostrość obrazu / widoczne piksele: grafika #02



4.2.3. Ostrość obrazu / jasność w punkcie pomiaru: grafika #01



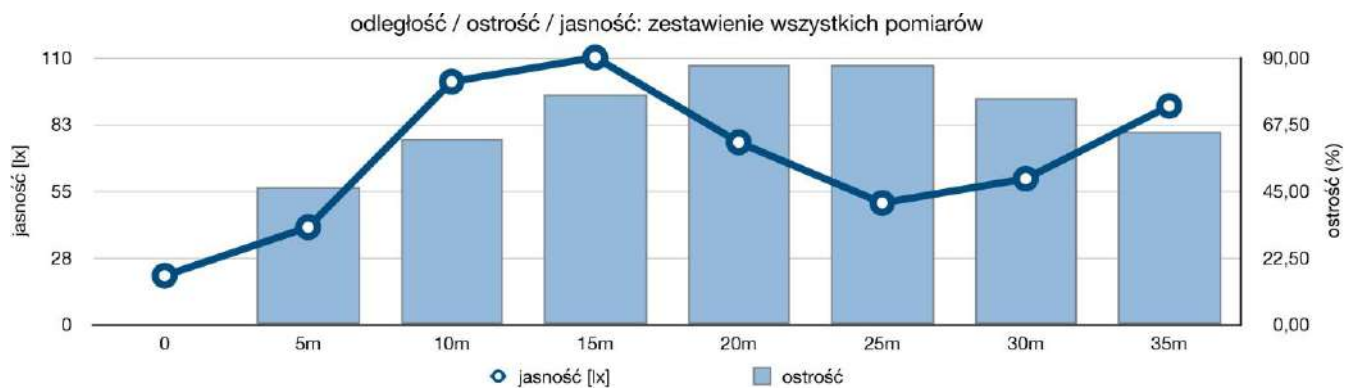
4.2.4. Ostrość obrazu / jasność w punkcie pomiaru: grafika #02



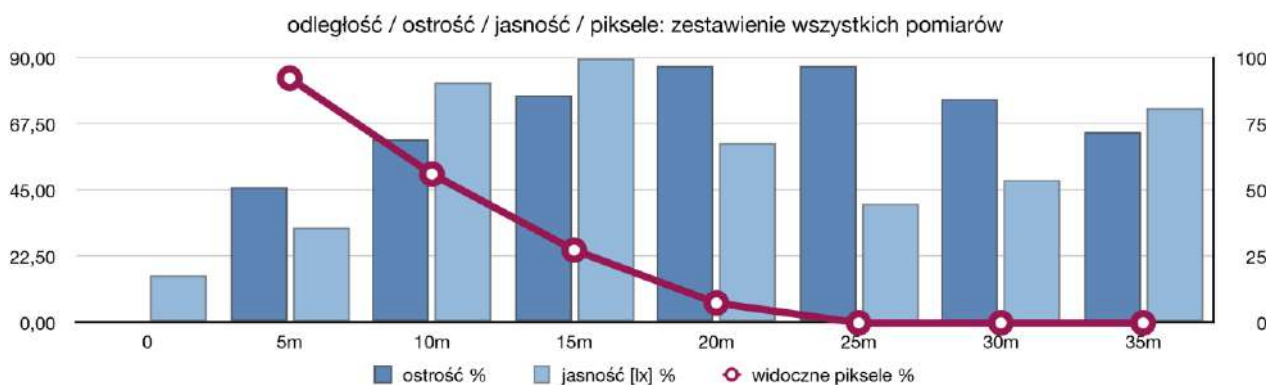
4.2.5. Ostrość obrazu /widoczne piksele: zestawienie zbiorcze



4.2.6. Ostrość obrazu / jasność w punkcie pomiaru: zestawienie zbiorcze



4.2.7. Ostrość obrazu / jasność w punkcie pomiaru / widoczne piksele: zestawienie zbiorcze



4.2. Podsumowanie

W uzyskanych wynikach można dostrzec prawidłowość sugerującą wtórne zjawisko nieostrości obrazu dla odległości powyżej 25 metrów. W odległości 30 m od ekranu 24% wszystkich obrazów zostało uznanych za nieostre, a w odległości 35 m odpowiednio 35%, niezależnie od wieku czy wady wzroku osób biorących udział w badaniu. Odległość 25 metrów jest przy tym określana w literaturze jako graniczna jeśli chodzi o możliwość dostrzegania przez oko szczegółów. Na tej podstawie można przyjąć, że efekt i siła oddziaływania na widza w przypadku wykorzystania projekcji multimedialnych spada znacząco przy odległościach oka od ekranu przekraczających 30 m.

Przy odległości oka od ekranu przekraczającej 15 m piksele przestawały być rozpoznawalne we wszystkich wariantach kalibracji. Mała wielkość piksela miała znaczenie wyłącznie dla odległości od ekranu mniejszych lub równych 10 m. Ostrość obu grafik wypadła najłagodniej dla piksela wielkości 7 mm.

W zastanych warunkach oświetleniowych i przy wykorzystanym sprzęcie optymalną pod względem ostrości obrazu odległością pomiędzy widzem a ekranem był zakres 15-30 m. Statystycznie najlepsze wyniki dla wszystkich wariantów uzyskano w zakresie odległości 20-25 m. Znaczna jasność zastana pomieszczenia w punktach pomiaru 10 i 15 m — odpowiednio 100 i 110 lx — miała znacznie większy wpływ na ocenę obrazu jako nieostrego w przypadku grafiki kolorowej.

5. Wnioski końcowe

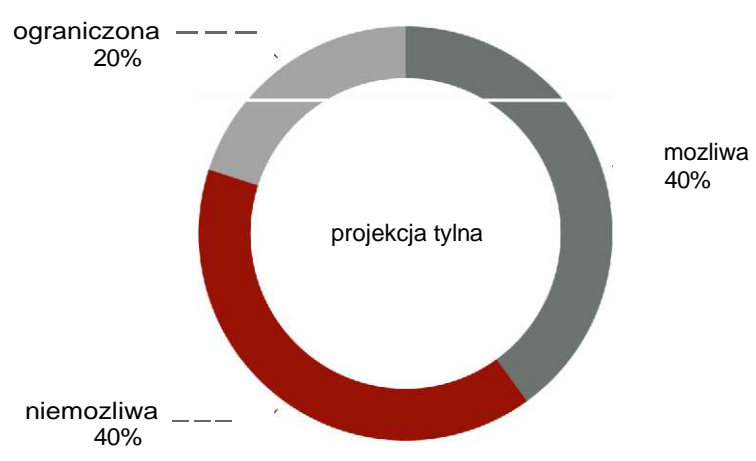
Grupa przebadanych sal wykazała, mimo wprowadzonych ograniczeń terytorialnych, niezwykle heterogeniczny charakter tego typu obiektów i wynikające z tego wyzwania, przed jakimi stają szeroko rozumiani twórcy i technicy. Pośród dziesięciu sal krakowskich sal objętych badaniami, cztery stanowią część obiektów zrealizowanych w XXI wieku, dwie — obiektów zrealizowanych w XX wieku, wpisanych do gminnej ewidencji zabytków i zmodernizowanych w XXI wieku, cztery — obiektów wpisanych do rejestru zabytków, również zmodernizowanych w XXI wieku. Mimo przeprowadzonych w ostatnich latach prac modernizacyjnych, w połowie badanych obiektów, ze względu na przeszkody natury architektonicznej lub technicznej, nie jest możliwa projekcja przednia, a w 40% nie jest możliwa projekcja tylna. Zdecydowanie najmniej przeszkód utrudnia projekcję na podłogę sceny, choć w 30% sal jest ona mocno ograniczona.

Według przeprowadzonej parametryzacji, najlepiej przystosowaną do projekcji multimedialnych salą audytoryjną w Krakowie jest sala S2 w Centrum Kongresowym ICE, a najgorzej — Scena Pod Ratuszem oraz Teatr Variété. O ile w przypadku pierwszej z nich, zajmującej gotyckie piwnice dawnego krakowskiego ratusza przystosowane jeszcze w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku na potrzeby Teatru Satyry „Maszkaron”, nie jest to zaskoczeniem, o tyle w przypadku siedziby teatru muzycznego utworzonego w 2014 roku świadczy o spiętrzeniu niekorzystnych czynników, których najwidoczniej nie wzięto pod uwagę wybierając na siedzibę Teatru budynek dawnego Kinoteatru „Związkowiec” lub nie zdołano wyeliminować i/lub skompensować na etapie modernizacji. Świadczy to pośrednio o tym, jak szerokie i różnorodne kompetencje, od zagadnień technicznych po psychologię percepcji, są potrzebne zarówno przy projektowaniu sali, jak i przy projektowaniu scenografii czy prezentacji multimedialnych.

Ankieta przeprowadzona w środowisku twórczym wykazała, że mimo przewagi, jaką projekcje multimedialne zdają się mieć nad tradycyjną scenografią — mniejszy nakład materiałów, łatwiejsze i bardziej dynamiczne przejścia, efekt wizualny, etc. — koszty wyprodukowania scenografii multimedialnych stanowią główną przeszkodę w jej wykorzystaniu i realizacji.

Badania miały na celu określenie najczęściej występujących przeszkód, a następnie wskazanie najbardziej uniwersalnej technologii tak, żeby stosunek jakości do kosztów był jak najkorzystniejszy. W każdym z omawianych przypadków, poza Sceną Pod Ratuszem, udało się wskazać przynajmniej jedno rekomendowane rozwiązanie dostosowane do możliwości modelu referencyjnego projektora. Równocześnie część badań poświęcona percepcji ostrości obrazu w zależności od rozdzielczości i odległości od ekranu wykazały pewne prawidłowości, które — stosując wykorzystaną na potrzeby niniejszego opracowania metodę badawczą — można łatwo weryfikować w warunkach konkretnej sali z wykorzystaniem załączonych grafik referencyjnych i formularza oraz najistotniejszych wartości granicznych: odległości i wielkości piksela. Przeprowadzone testy wykazały, że przy odległości patrzącego od ekranu przekraczającej 30 m jakość projekcji wyrażona wielkością piksela przestaje mieć kluczowe znaczenia i każdy obraz może być postrzegany indywidualnie jako nieostry. Z kolei walka o jak największą rozdzielczość obrazu i jak najmniejszą wielkość piksela jest „opłacalna” wyłącznie przy niewielkiej odległości widza od ekranu — w przypadku badanych sal przekraczającej łączną głębokość sceny/proscenium i widowni.

Sytuacja epidemiczna, która uniemożliwiła przeprowadzenie badań nad percepcją w kontrolowanym pod względem warunków oświetleniowych środowisku imitującym warunki panujące w badanych salach, wymusiła przeprowadzenie testu w zastanych warunkach oświetleniowych. Drugim czynnikiem ograniczającym reprezentatywność uzyskanych wyników jest niewielka liczba osób, które zgłosiły się do udziału w testach. Zdaje się to jednak zachęcać raczej do kontynuacji i weryfikacji uzyskanych rezultatów w ramach wypracowanego pola badawczego.



6. Bibliografia

- AA.VV. / Artpower International (2013) *Stage Design: Concerts, Events, Ceremonies and Theatre*. Berkeley: Gingko Press.
- Angelaki V. (2019) *Theatre & Environment*. London: Springer / Red Globe Press.
- Baugh Ch. (2005) *Theatre, Performance and Technology: The Development of Scenography in the Twentieth Century*. New York: Palgrave Macmillan.
- Bell Ph. (2000) *Dialogic Media Production and Inter-media Exchange*, *Journal of Dramatic Theory and Criticism* 14(2), ss. 41-55.
- Bleeker M., Kear A., Kelleher J., Roms H. (2019) *Thinking Through Theatre and Performance*. London: Bloomsbury.
- Brejzek T., Wallen L. (2018) *The Model as Performance. Staging Space in Theatre and Architecture*. London: Bloomsbury.
- Calder D. (2019) *Street Theatre and the Production of Postindustrial Space*. Manchester: Manchester University Press.
- Dixon S. (2007) *Digital Performance: A History of New Media in Theater, Dance, Performance Art and Installation*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Dixon S. (2019) *How Does Theatre Think Through Incorporating Media?* [w:] Bleeker et al. (eds.).
- Causey M. (2006) *Theatre and Performance in Digital Culture: From Simulation to Embeddedness*. London: Routledge.
- Carson C. (1997) *Drama and theatre studies in the multimedia age*. *Literary and Linguistic Computing* 12/4 (1997), ss. 269-275.
- Edgar A., Sedgwick P. (2008) *Cultural Theory: The Key Concepts*. London: Routledge.
- Fabiański M., Purchla J. (2012) *Architektura Krakowa*. Kraków: Wydawnictwo Literackie.
- Gardner L. (2006) *Waves Sets a High-water Mark for Multimedia Theatre*, *The Guardian*, 14 grudnia 2006.
- Grosvenor T. (2011) *Optometria*. Wrocław: Elsevier Urban & Partner.
- Klich R., Scheer E. (2012) *Multimedia Performance*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Kozień-Woźniak M. (2015) *Teatry Interferencji. Współczesna architektura teatralna a nieformalna przestrzeń teatru*. Kraków: Wydawnictwo PK.
- Machon J. (2013) *Immersive Theatres: Intimacy and Immediacy in Contemporary Performance*. New York: Palgrave Macmillan.
- McKinney J., Bucerworth Ph. (2009) *Introduction to Theatre Scenography*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Oddey A., White Ch. (2006) *The Potential of Spaces: The Theory and Practice of Scenography and Performance*. Bristol: Intellect.
- Parker-Starbuck J. (2011) *Cyborg Theatre: Corporeal/Technological Intersections in Multimedia Performance*. New York: Palgrave Macmillan.

Sontag S. (1966) *Film and Theatre*, The Tulane Drama Review 11(1), ss. 24-37.

Sorrini S. (2012) *De divina proporXone: from a Renaissance TreaXse to a MulXmedia Work for Theatre*
[w] Emmer M. (red.) *Imagine Math. Between Culture and MathemaXcs*. Springer-Verlag.

www.theatre-architecture.eu

bagatela.krakow.pl

groteska.pl

icekrakow.pl

ludowy.pl

nck.krakow.pl

stary.pl

teatrwnkrakowie.pl

Załącznik 1

Mul7media w przestrzeni sztuki: możliwości i ograniczenia. Formularz ankiety

Pytanie profilujące:

Zajmujesz się:

- reżyserią
- scenografią
- projektowaniem projekcji mul^medialnych
- inspicjenturą (stage management)
- produkcją
- zarządzaniem instytucją kultury

Pytania badawcze:

1. Projekcje mul^medialne są:

- równorzędną materią twórczą
- elementem scenografii
- przestrzenią metanarracji pozwalającą dopełnić lub podkreślić pewne treści
- narzędziem, więc wszystko zależy od jego wykorzystania
- modą, którą wkrótce zastąpi coś innego
- nie mam zdania

2. Największy potencjał projekcji i scenografii mul^medialnych to:

- zmienność i dynamika
- interakcja i interaktywność (lub ich złudzenie)
- silne oddziaływanie na widza, immersyjność
- korzystna relacja efektu do kosztów realizacji w porównaniu do tradycyjnych scenografii
- uważam, że ich potencjał jest przereklamowany

3. Przyszłość projekcji i scenografii mul^medialnych w teatrze to:

- rozszerzona rzeczywistość
- interaktywność i interferencja
- miniaturyzacja i mobilność
- coraz łatwiejsze w obsłudze urządzenia i coraz bardziej intuicyjne oprogramowanie
- coraz łatwiejsze dostosowywanie się do zastanej przestrzeni
- nie mam zdania

4. W swoich projektach projekcje mul^medialne wykorzystujesz:

- zawsze
- często
- czasem
- w ostateczności
- nigdy

5. Czy przeszkody natury architektonicznej (układ sceny i widowni, wielkość portalu scenicznego, elementy konstrukcyjne lub dekoracyjne, etc.) zmusiły Cię kiedykolwiek do rezygnacji z jakiegoś pomysłu na wykorzystanie projekcji multimedialnej?

tak

nie

6. Czy przeszkody natury technicznej zmusiły Cię kiedykolwiek do rezygnacji z jakiegoś pomysłu na wykorzystanie projekcji multimedialnej?

tak

nie

7. Czy przeszkody natury ekonomicznej (w tym te wynikające z konieczności stosowania droższych rozwiązań w celu kompensacji przeszkód architektonicznych lub technicznych zmusiły Cię kiedykolwiek do rezygnacji z jakiegoś pomysłu na wykorzystanie projekcji multimedialnej?

tak

nie

8. Przeszkody najczęściej uniemożliwiające realizację Twojej wizji są natury:

architektonicznej

technicznej

ekonomicznej

związanej z brakiem wykwalifikowanych fachowców

nie mam zdania

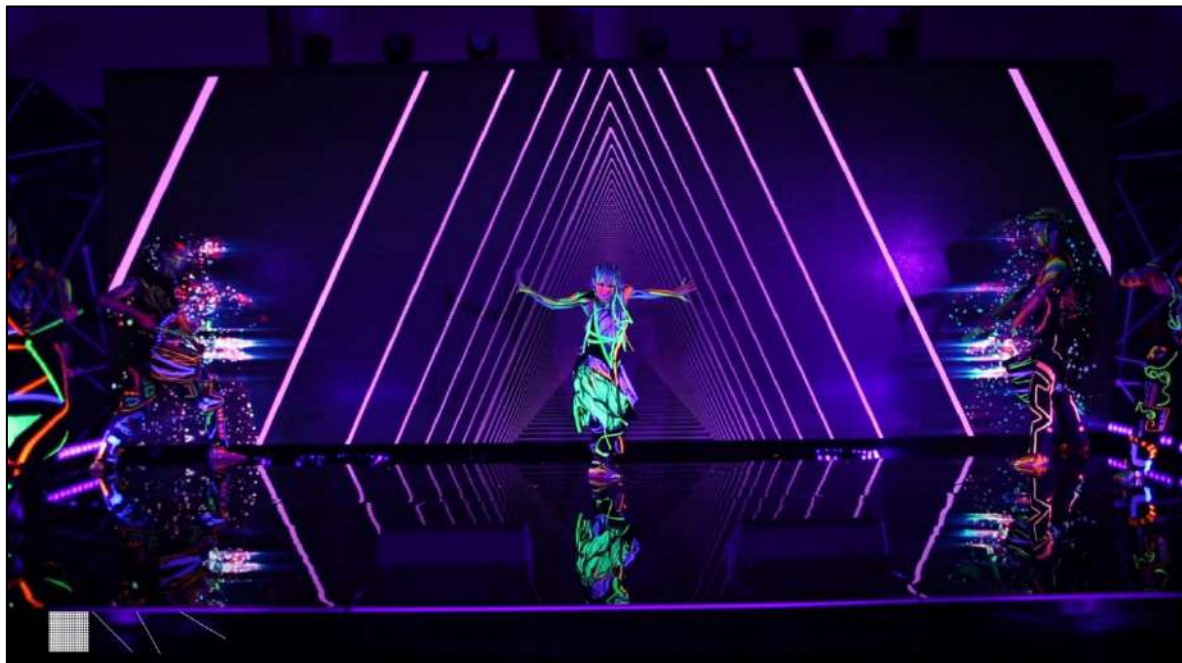
nie natrafiłam/nie natrafiłem nigdy na żadne z wymienionych przeszkód

Załącznik 2

Mul7media w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja. Materiały



Grafika 01



Grafika 02

Formularz badania

Multimedia w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja

data badania:

grafika # 01	parametr / odległość od ekranu [m]	5	10	15	20	25	30	35
wariant 1	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							
wariant 2	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							
wariant 3	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							
wariant 4	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							

grafika # 02	parametr / odległość od ekranu [m]	5	10	15	20	25	30	35
wariant 1	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							
wariant 2	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							
wariant 3	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							
wariant 4	ostrość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli obraz jest ostry)							
	rozdzielczość (zaznacz x w odpowiedniej kratce, jeżeli dostrzegasz poszczególne piksele)							

płeć: K / M
 wada wzroku: tak / nie
 korekta wzroku (okulary): tak / nie
 wiek: < 40 / 40 <

Załącznik 3

Mul7media w przestrzeni: rozdzielczość i percepcja. Dokumentacja fotograficzna



ATOMY STUDIO

**Nowoczesne rozwiązania medialne
Atomy Studio stworzone dzięki badaniom w zakresie
łączenia wiedzy z dostępną technologią**



SPIS TREŚCI

Wstęp	26
Co jest zawarte w pracy badawczej?	28
1. Wstęp	29
2. Przegląd oprogramowania do interaktywnej wizualizacji	30
2.1. Wstęp	30
2.2. Oprogramowanie do interaktywnej wizualizacji	
2.2.1. TouchDesigner	31
2.2.2. Notch VFX	32
2.2.3. Unreal Engine 4	33
2.2.4. Unity	35
2.2.5. VVVV	36
2.2.6. SMODE	37
2.2.7. MAX/MSP	38
2.2.8. Biblioteka Cinder	39
2.2.9. Biblioteka OpenFrameworks	40
2.2.10. Biblioteka tree.js	41
2.2.11. Resolume	43
2.2.12. VYV PHOTON	45
3. Przegląd oprogramowania do sterowania interaktywnymi programami	47
3.1. Wstęp	47
4. Przegląd dostępnych systemów operacyjnych	48
4.1. Wstęp	48
4.2. Podstawowe różnice pomiędzy Linux, MAC and Windows	48
4.3. Struktura plików	49
4.4. Rejestry	49
4.5. Modyfikowalny interfejs	50
4.6. Terminal komend	50
4.7. Kluczowe różnice pomiędzy Linux, MAC oraz Windows	50
4.8. Wnioski	51
5. Przegląd systemów akwizycji ruchu	53
5.1. Wstęp	53
5.2. Opisy systemów do akwizycji ruchu	54
5.2.1. BLACKTRAX	54
5.2.2. VYV Albion	56
5.2.3. OPENPTrack	57

5.2.4. Augumenta	59
5.2.5. Bonsai	60
5.2.6. Leap Motion	61
5.2.7. Kinect v2	62
5.2.8. Sony Move	63
5.2.9. Wii Remote	64
5.2.10. The Capture Live	65
5.2.11. Dynamixyz	66
5.2.12. Faceware	67
5.2.13. Reallusion	68
5.2.14. HTC VIVE TRACKER	69
5.2.15. Perception Neuron	70
5.2.16. RadarTouch	71
5.2.17. RealSense	72
5.2.18. Rokoko Smart Suit Pro	73
5.2.19. Shadow	74
5.2.20. Nansense Suit	75
6. Systemy projekcyjne	76
6.1. Wstęp	76
6.2. Kontrast	77
6.2.1. Czym jest kontrast?	77
6.2.2. Poziomy kontrastu	77
6.2.3. Dynamiczna przysłona	77
6.2.4. Wysoki kontrast	78
6.3. Jasność	78
6.3.1. Czym jest jasność i od czego zależy?	78
6.3.2. Poziom odbicia powierzchni?	78
6.4. Proporcje ekranu	79
6.5. Rozdzielczość	79
6.6. Odległość rzutu	79
6.7. Źródło światła	80
7. Kamery/aparaty	82
8. Stacja robocza	83
II. Decyzje	84
1. Wybór systemu operacyjnego	84
1.1. Wstęp	84

Tabela obrazująca kompatybilność systemów do akwizycji ruchu z systemami operacyjnym 85

2. Wybór czujników na podstawie zestawień ceny, kompatybilności, skalowalności, użyteczności. 87

Zestawienie cen 91

3. Wybór oprogramowania do testów laboratoryjnych 92

3.1. Funkcjonalności oprogramowania do użycia w końcowym programie 92

3.2. Niezbędne 94

3.3. Opcjonalnie na plus 95

3.4. Cele do realizacji 96

3.5. Zestawienie cen 97

4. Aplikacje testowe czujnik + oprogramowanie. 98

4.1. Leap Motion 99

4.1.1. Wstęp 99

4.1.2. Unity 102

4.1.3. Notch 103

4.1.4. Unreal engine 103

4.1.5. TouchDesigner 103

4.2. XSENS 105

4.2.1. Wstęp 105

4.2.2. Zestawienie danych oraz ich interpretacja na podstawie wrażeń z użytkowania 106

4.2.3 Zestawienie komfortu dla aktora, różnice między strojami 109

Montaż 109

Użytkowanie i komfort 109

Wniosek 110

4.2.4 Pomiar opóźnień i dokładności 111

4.2.5. Próby driftu w czasie 112

4.2.6. Wytępowanie 2 strojów jednocześnie 116

4.2.7. Testować promienia zasięgu 117

4.2.8. Testy zakłócenia nadajnik/odbiornik 118

4.2.9. Kalibracja 119

4.2.10 MVN Plugin do Unreal Engine 4.23 122

4.2.11. HTC VIVE Tracker Integracja z Xsense 128

4.2.12. Programy na potrzeby testów 129

4.3. ANTILATENCY / HTC VIVE TRACKER - SYSTEMY HYBRYDOWE 130

4.3.1. Wstęp 130

4.3.2. HTC VIVE Tracker	131
4.3.2. Antilatency	135
5. Wybór oprogramowania do realizacji prototypu	140
6. Wybór czujników wchodzących w System docelowy	141
III. Prace rozwojowe.	141
1. TOUCH + NOTCH + UNREAL.	142
2. Zarządzanie obrazami.	142
3. Fotorealizm.	142
IV. Prace wdrożeniowe	143
1. Dobór systemu (hardware + software).	143
2. Testy czujników - duża skala.	143
3. Produkcja animacji 2D/3D, interaktywne 2D/3D.	144
3.1. Wstęp	144
3.2. Animacja komputerowa	145
3.2.2. Wizualizacja	146
3.2.6. Oprogramowanie	150
3.3. Etapy procesu produkcyjnego	152
3.4. Animacja 3D	152
3.4.1. 3Ds Max	153
3.4.2. Blender	157
3.4.3. Autodesk Maya / Autodesk Maya LT	165
3.4.4. Modo	170
3.4.5. ZBrush	175
3.4.6. Artlantis Studio	180
3.4.7. LightWave 3D	184
3.4.8. Houdini / Houdini Apprentice	190
3.4.9. Art of Illusion	195
3.4.10. Cinema 4D /R21	199
3.4.11. Daz Studio	205
3.5. Animacja 2D, 2.5D, VFX, CGI, Motion graphics	209
3.5.1. Adobe After Effects	209
3.5.2. Natron	215
3.5.3. FXhome HitFilm	219
3.5.4. NUKE	223
3.4.5. Notch	228
3.5.6. Eyeon Fusion - Blackmagic Design	233

3.5.7. Action Pro	238
3.5.8. Kite Compositor	241
3.5.9. ButtleOFX	244
3.5.10. Apple Motion	247
3.6. Wnioski z przeglądu programów do animacji 2D i 3D	259
3.7. Słownik pojęć	260

7. Raport końcowy	327
--------------------------	-----

Wstęp

Wirtualna rzeczywistość oraz rozszerzona rzeczywistość to pojęcie dosyć abstrakcyjne, szczególnie dla kogoś, kto nigdy nie miał z nią do czynienia czy chociażby nie widział, jak wygląda ona w praktyce.

Rzeczywistość wirtualna to rzeczywistość stworzona i zaprezentowana dzięki technikom komputerowym w taki sposób, że widz czuje się w niej obecny. Dziś takie wrażenie osiąga się najczęściej dzięki grafice trójwymiarowej, goglom wirtualnej rzeczywistości oraz śledzeniu ruchów i dodatkowym akcesoriom pogłębiającym poczucie przebywania w innej przestrzeni – są to podstawowe założenia naszej inwestycji.

Pojęciem często występującym w towarzystwie VR jest AR, oznaczające rzeczywistość rozszerzoną – i to o jej oparciu zamierzamy skonstruować przy udziale prac badawczych prototyp sceny. Podobnie jak w przypadku wirtualnej wykorzystuje się tu techniki komputerowe, ale tym razem nie chodzi o zastępowanie przestrzeni, w której przebywamy, tylko o uzupełnienie jej o osadzone w niej wirtualne elementy.

Dotychczas multimedialna scenografia składała się głównie z wygenerowanych uprzednio animacji, których reżyser i scenograf nie są w stanie na bieżąco modyfikować ze względu na potrzeby ponownego generowania każdej z animacji co znacząco wpływa na wydłużenie tworzonych efektów. Aktorzy również byli zmuszeni do zapamiętywania odpowiedniej choreografii której jak dokładnie by nie powtarzali, zawsze istniał różnica między połączeniem ruchu scenicznego a animacji w scenografii. System który sam analizuje ruch obiektów oraz aktorów, który można skonfigurować w trakcie przygotowań jest wysoce pożądanym produktem każdego wydarzenia realizowanego na żywo.

Do stworzenia multimedialnej scenografii, bazującej na interakcji potrzebne będzie zbudowanie prototypu, służącego do przeprowadzania badań interaktywnych. Stworzenie nowej scenografii interaktywnej, w której aktorzy rzeczywiście podczas spektaklu będą wpływać na to, co dzieje się w scenografii, po pierwsze sprawi, że przestanie być ona wolna od błędów, opóźnień. Będzie bardziej realna w związku z tym, lepsza w odbiorze dla widza i przede wszystkim tańsza w produkcji, ponieważ będzie bazować na gotowych rozwiązaniach. Nie będzie potrzeby tworzyć dla każdego widowiska osobnej animacji, organizować setki prób, żeby zsynchronizować ruch aktora i scenografii, ponieważ cały spektakl będzie działał się "żywo"; to aktor będzie decydował o ruchach scenicznych, nie będzie uzależniony od animacji.

Opracowano elementarny schemat działania prototypu w oparciu o doświadczenie i znajomość tematyki:

1. Aktor - obiekt, generator, element wyzwalający interakcję.
2. Przestań sceniczna - miejsce akcji.
3. Urządzenia przetwarzające/wyświetlające obrazy będące rozszerzoną rzeczywistością. Na ten aspekt składa się:

- a. *software* - generujący animacje/obrazy,
- b. *hardware* - urządzenia stacjonarne generujące moc obliczeniową pozwalającą przetworzyć dany obraz/animacje.

W toku prac badawczych zespół naukowy zajmie się analizą poszczególnych aspektów tego procesu oraz przeanalizuje środowisko urządzeń, podzespołów oraz oprogramowania niezbędnego do wykonania prototypu.

Jak wewnątrz realizowane jest przechwytywanie danych przez czujniki w naszym prototypie?

Dostępne na rynku systemy czujników oparte są na różnych technologiach z których każde z nich posiada swoje wady i zalety jednych nad drugimi. Dobór odpowiedniego systemu zależy od wielu czujników dlatego należy najpierw dokładnie zidentyfikować środowisko oraz wszelkie inne czynniki wpływające na konkretną instalację.

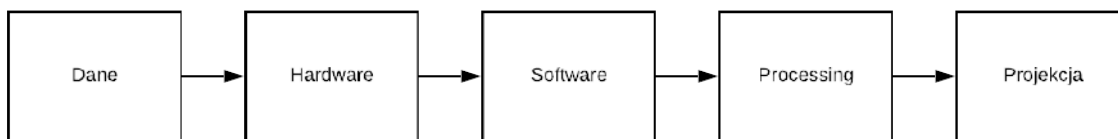
Jedne z czujników korzystają z danych pod postacią obrazu przechwytywanego przez kamerę wizyjną po czym następuje odpowiednia obróbka takich danych czego końcowym rezultatem są dane na temat pozycji przemieszczenia rotacji śledzonych obiektów, aktorów. Dla poprawienia informacji odczytywanych przez kamery głębi dodatkowo stosuje się więcej niż jedną kamerę, dzięki czemu posiadamy dodatkowy obraz spod innego kąta, dzięki któremu odpowiednie oprogramowanie jest w stanie wyliczyć dane na temat przestrzeni - ma to podobne zastosowanie jak systemy stereoskopowe. Dodatkowe dane do systemu wizyjnego mogą zostać pobrane przy pomocy kamery głębi, która działa na podstawie pomiaru odległości obiektów oraz aktorów od kamery przy zastosowaniu kamery na podczerwień i precyzyjnego odczytywania odległości na podstawie ilości odbitego światła podczerwonego. Systemy wizyjne mogą zostać wsparte również poprzez różnego rodzaju markery umieszczone w scenie, co w połączeniu z wieloma kamerami wizyjnymi daje bardzo dokładny obraz rozmieszczenia obiektów/aktorów w naszej scenie.

Kolejne systemy oparte są na różnych technologiach fal radiowych oraz aktywnych czujnikach rozmieszczonych w różnych pozycjach naszych obiektów/aktorów. Systemy radiowe tak jak i kamerowe mają swoje zalety oraz wady i na ich użycie wpływa szereg różnych czynników, najczęściej związanych z nakładem pracy jaki trzeba wykonać aby poprawnie zapisać bądź przesłać na żywo dane na temat ruchu z możliwie jak najmniejszym opóźnieniem oraz wysoką precyzją odczytywanych danych. Systemy takie w swoich czujnikach wykorzystują technologie żyroskopowe, korzystają z danych GPS oraz magnetycznych.

Istnieją również systemy które wykorzystują jednocześnie technologie radiowe i wizyjne w celu zwiększenia precyzji działania oraz zapewnienie niezawodności w przypadku gdy chwilowo jeden z elementów ma problemy w przekazywaniu danych.

Na czym polega praca systemu czujników?

Na czym polega praca "systemu czujników"



Wszystkie systemy w odpowiedni sposób łączą dane wejściowe z *hardwarem* oraz dostarczonym przez producentów *softwarem*. Budowanie takich czujników oraz ich oprogramowanie jest czasochłonne i może pochłonąć duże nakłady wydatkowe dlatego nie będzie ono stanowić podstawy naszej pracy badawczej. To co jest celem budowy prototypu to stworzenie odpowiedniego systemu *processingu*, który po odebraniu danych z czujników ruchu w odpowiedni sposób przetwarzać będzie dane liczbowe na dane wizualne i w poprawny sposób wyświetlać naszą rzeczywistość wirtualną na scenografii w rzeczywistości, z uwzględnieniem wszelkiego rodzaju złożoności w budowie systemu do wizualizacji. Spodziewamy się uzyskać system, który będzie możliwie bezproblemowy w użytkowaniu na potrzeby wspierania występów scenicznych. Mocnym atutem będzie możliwość podłączenia naszego systemu do już istniejących rozwiązań które znajdują się już w wielu obiektach, które korzystają obecnie z systemów do wyświetlania materiałów filmowych i móc w prosty sposób rozbudować je o rozwiązania interaktywne.

Co jest zawarte w pracy badawczej?

Praca badawcza zawierać będzie opis poszukiwań przez nas właściwego rozwiązania scenicznego do interaktywnej wizualizacji środowiska wirtualnego w rzeczywistości scenicznej. Skoncentrujemy się na odpowiednim zidentyfikowaniu potrzeb, wymogów i ograniczeń takich systemów, wykorzystywanych aktualnie w obiektach kulturalnych. Zostaną wyłonione najlepsze rozwiązania systemów czujników do akwizycji ruchu oraz dobrane oprogramowanie do możliwie jak najefektywniejszego wizualizowania danych. Stworzony również zostanie specjalny panel do zarządzania treściami interaktywnymi dzięki czemu, efekty będzie można tworzyć na bieżąco we współpracy z reżyserem wybranego wydarzenia. Na potrzeby naszego systemu zostanie stworzone unikatowe połączenie dostępnych na rynku oprogramowań, czujników oraz systemów projekcji.

Praca skupi się również na jakości przetwarzanych danych o ruchu obiektów oraz aktorów w scenie rzeczywistej i obróbce takich danych na potrzeby zastosowania ich jako danych wejściowych do animacji wizualnych w świecie komputerowym. Rozważać będziemy różnego rodzaju połączenia oprogramowania z czujnikami i systemami projekcyjnymi, z których postaramy się wybrać możliwie najlepsze rozwiązanie. Zostaną zidentyfikowane najczęściej spotykane sytuacje sceniczne, dzięki czemu będzie możliwe powstanie bazy podstawowych presetów scenicznych. Mamy również świadomość

istnienia podobnych systemów, które są bardzo kosztowne i nie każdą instytucję stać na utrzymywanie wysoce rozbudowanego i drogiego systemu, dlatego jednym z czynników poszukiwanego przez nas rozwiązania jest cena końcowa gotowego systemu. Po zakończonym wyborze całości systemu i stworzenia odpowiedniego interfejsu użytkownika zostanie przeprowadzona próba całości systemu.

Na cele badań zostanie stworzone odpowiednie laboratorium, które pozwoli nam w mniejszej skali sprawdzać integrację rozwiązań, badać właściwości interaktywnych animacji oraz systemów czujników ruchu. Stworzenie laboratorium ma również na celu przygotowanie testów dla prób przeprowadzanych w docelowych środowiskach wdrożeniowych. Na potrzeby laboratorium zostanie wyznaczona przestrzeń, która zostanie wyposażona w systemy projekcyjne, odpowiednie oprogramowanie, serwery komputerowe pozwalające na przetwarzanie wizyjne oraz interaktywną wizualizację danych wejściowych w postaci odczytów z systemów do akwizycji ruchu. Do zapisania wyników badań oraz ich opomiarowania wykorzystany zostanie odpowiedni aparat/kamera pozwalająca na zapis obrazu przy zastosowaniu dużego klatkażu w celu badania jakości oraz wydajności rozważanych przez nas rozwiązań.

I. Research

1. Wstęp

Pracę badawczą rozpoczynamy poprzez rozeznanie się na rynku w temacie dostępnego oprogramowania, możliwego do wykorzystania na potrzeby interaktywnej wizualizacji danych przekazywanych przez systemy przekazujące dane na temat śledzenia sylwetki aktorów. Zależy nam na zidentyfikowaniu możliwie najbardziej rozbudowanego środowiska pod względem możliwości komunikacji z różnymi sensorami ruchu. Istotne jest również aby możliwie prosto i czytelnie dało się zarządzać takim połączeniem oraz aby możliwa była w pełni elastyczna kontrola nad rozwiązaniem, dzięki czemu nie będziemy ograniczeni poprzez parę pewnych czujników z oprogramowaniem.

Przy okazji przeglądu oprogramowania zwrócona również zostanie uwaga na aspekty związane z tworzeniem interfejsów na potrzeby zarządzania gotowymi aplikacjami. Brana jest pod uwagę integracja więcej niż jednego oprogramowania na rynku, w celu połączenia możliwości różnego oprogramowania i powstania innowacyjnego połączenia jako całkowity system.

Odpowiednie oprogramowanie wymaga również odpowiedniego środowiska systemowego, dlatego zostanie również przeprowadzony przegląd systemów operacyjnych pod kątem możliwości bądź ograniczeń płynących z każdego z nich. Brana jest pod uwagę możliwość skomunikowania w razie potrzeby więcej niż jednego środowiska systemowego.

Przebadany zostanie również rynek dostępnych sensorów akwizycji ruchu, który będzie kluczowym elementem produkowanego przez nas prototypu. Postaramy się sprawdzić pod kątem możliwie jak największej ilości parametrów różne systemy do przechwytywania ruchu.

Dla dokonania odpowiednich decyzji zajmiemy się również przebadaniem środowiska docelowego pod względem przestrzeni oraz czynników, które mogą bezpośrednio wpłynąć na kształt powstającego prototypu związane z otoczeniem, w którym docelowo system miałby być wykorzystywany. Pozwoli to na zidentyfikowanie wszelkiego rodzaju ograniczeń i zagrożeń.

Jako metodologię poszukiwań przyjmujemy informację dostępne w internecie oraz opracowania naukowe, biuletyny oraz prasę naukową. W celu poszerzenia wiedzy bierzemy również pod uwagę odwiedzenie targów branżowych czy też konferencji tematycznych.

2. Przegląd oprogramowania do interaktywnej wizualizacji

2.1. Wstęp

Po dokonaniu wstępnego poszukiwania oprogramowania pozwalającego na wizualizowanie danych z sensorów ruchu zostały one zgromadzone oraz pokrótce opisane na podstawie dostępnych źródeł. Opisy miały na celu wstępne zidentyfikowanie kluczowych możliwości deklarowanych przez producentów na potrzeby stworzenia prototypu. Poprzez oprogramowanie rozumiemy gotowe środowiska informatyczne bądź też odpowiednie biblioteki, które można implementować w dowolnym środowisku programistycznym.

2.2. Oprogramowanie do interaktywnej wizualizacji

2.2.1. TouchDesigner

<https://en.wikipedia.org/wiki/TouchDesigner>



TouchDesigner jest to środowisko oparte w budowie na blokach (*nodach*) połączonych ze sobą w sposób wizualny i działający w czasie rzeczywistym, pozwalający na wchodzenie w interakcję z multimedialną zawartością. Oprogramowanie wyprodukowane przez grupę Derivative z Toronto. Używane jest zazwyczaj przez artystów, programistów, kreatywnych programistów, projektantów oprogramowania oraz ludzi prezentujących przedstawienia artystyczne, instalacje interaktywne czy też odtwarzanie materiałów graficznych.

TouchDesigner działa w kilku głównych dziedzinach produkcji 2D/3D, wliczając w to:

- *rendering* i kompozycję,
- schematy działania oraz skalowalna architektura,
- wejścia i wyjścia źródeł audio i wideo,
- wsparcie dla wielu ekranowych aplikacji,
- animacje oraz kontrolowanie strumieni danych,
- tworzenie własnych spersonalizowanych paneli sterowania,
- silnik renderujący 3D oraz narzędzia do tworzenia generatywnych modeli 3D,
- możliwość sterowania zewnętrznymi urządzeniami oraz innymi oprogramowaniami,
- pisanie skryptów oraz programowanie.

Operatory są to budujące klocki w środowisku TouchDesigner. Obiekty takie reprezentowane są jako węzły w interfejsie użytkownika, które łączone ze sobą w odpowiedni sposób dzięki czemu wytwarzane są proceduralne efekty oraz animacje. Każdy operator posiada własną listę unikatowych właściwości oraz parametrów i flag, które kontrolują sposób w jaki dany węzeł przetwarza dane. Operatory które opisywane są jako OPS występują w 6 różnych grupach:

- **COMP** - są to komponenty reprezentujące obiekty 3D, panele komponentów oraz różnego rodzaju operatory. Operatory te używane są do przetrzymywania bardziej złożonych sieci operatorów,
- **TOP** - są to operatory tekstur, które przetwarzają wszystkie operacje na obrazach 2D,
- **CHOP** - są to operatory kanałów używanych do obróbki danych związanych z ruchem, dźwiękiem, animacją oraz kontrolowaniem sygnałów,

- **SOP** - są to operatory powierzchniowe działające na podstawowych obiektach 3D, reprezentowanych poprzez punkty w przestrzeni 3D, poligony oraz inne prymitywy 3D,
- **MAT** - jest to operator materiałowy służący do stosowanie materiałów i shaderów na obiektach 3D,
- **DAT** - są to operatory zawierające tekst w formie znaków ASCII jako zwykły text, skrypty, XML oraz tabele.

2.2.2. Notch VFX



<https://www.notch.one>

Oprogramowanie pozwalające tworzyć niesamowite grafiki, efekty specjalne oraz aplikacje VR w czasie rzeczywistym w myśl programistycznej zasady WYSIWYG (*what you see is what you get*), stosowane przez największych artystów na świecie, duże marki oraz wydarzenia kulturalne.

Notch jest pierwszym narzędziem, które pozwala Ci na kreowanie interaktywnych aplikacji oraz wideo w jednym zespole środowisku czasu rzeczywistego. Interfejs zbudowany na węzłach (*node*) jest bardzo intuicyjny i łatwy w przyswajaniu oraz w prosty sposób pozwala na eksplorację możliwości i eksperymentowanie poprzez łączenie ze sobą poszczególnych klocków (*nodów*).

Linia czasu oraz edycji animacji, kompozycja obrazów oraz kolorowanie wszystko możliwe w jednym środowisku stworzonym z możliwością budowy ekspresji kreatywnej narracji. Duży wybór różnych węzłów (*nodów*) dostarcza możliwość stworzenia wyrafinowanych wizualizacji 2D oraz 3D. Oświetlenie odwzorowujące fizyczne aspekty materiałów, efekty cząsteczkowe, symulacje płynów, efekty świetlne, kompozycja, interaktywność, kamery 3D oraz proceduralny schemat działania są to rzeczy które otrzymujemy w obrębie jednego środowiska.

Używanie Notch Builder powoduje, że kreacja oprogramowania od samego zarodka lub też importowanie elementów powstałych w innych narzędziach. W każdym momencie można podejrzeć jak wygląda końcowy efekt naszej pracy w czasie rzeczywistym.

Kiedy już skończone jest programowanie, naszą zawartość można wyeksportować jako wideo lub też jako blok do odtwarzania w czasie rzeczywistym, który można odtwarzać w innych pakietach, wystawiając spersonalizowane menu funkcji każdemu z bloków, niezbędne do kontrolowania animacji w czasie rzeczywistym w trakcie odtwarzania *live*. Blok taki można załadować na *mediaserver* bądź też odpalać jako samodzielną aplikację *exe* lub też wbudowany blok w inną kompatybilną aplikację. Kluczowe dla oprogramowania są możliwość pracy w czasie rzeczywistym nad animacją oraz możliwość edytowania w trakcie działania aplikacji.

2.2.3. Unreal Engine 4

<https://www.unrealengine.com/en-US/features>



Unreal Engine 4 jest to kompleksowe narzędzie do wytwarzania oprogramowania działającego w czasie rzeczywistym. Od zastosowania w środowiskach biznesowych poprzez kinowe doświadczenia aż po wysokiej jakości gry wydawane na platformy PC, konsole VR oraz rozszerzonej rzeczywistości.

Unreal Engine 4 daje wszystkie narzędzia potrzebne do wyprodukowanie oprogramowania od samego początku do końca, dając możliwość rozpocząć program, dostarczać do klienta oraz rozwijać.

Światowej klasy zestaw narzędzi oraz dostępne ścieżki działania, dające deweloperom możliwość szybkiego działania nad pomysłami i widzenie natychmiastowych wyników, bez pisania kodu na podstawie programowania z wykorzystaniem węzłów (*nodes*) nazywane *blueprints*.

Pisanie kodu natomiast daje nieskończoną swobodę w wytwarzaniu oprogramowania oraz możliwość edytowania bazowych funkcjonalności oprogramowania poprzez udostępnienie kodu źródłowego dla użytkowników.

Główne możliwości oprogramowania:

- Fotorealistyczny rendering w czasie rzeczywistym,
- Możliwość programowania w C++ oraz edytowania kodu źródłowego silnika,
- *Blueprints* - tworzenie programów bez pisania kodu,
- Rozbudowany system do wdrażania rozgrywek *multiplayer*,
- Efekty specjalne oraz symulacje cząsteczek,
- *Postprocessing* renderowanego obrazu w jakości zbliżonej do efektów filmowych,
- Rozbudowany edytor materiałów,
- Rozbudowane narzędzie do animacji,
- *Sequencer* - narzędzie do tworzenia ruchu kamerowego jak w filmach,
- Możliwość edycji i tworzenia oprogramowanie w trybie rzeczywistości wirtualnej,
- Możliwość tworzenia doświadczeń VR, AR & MR (XR),
- Tworzenie terenów oraz zieleni ją pokrywających,
- Zaawansowana sztuczna inteligencja,

- Narzędzia do edycji dźwięku przestrzennego,
- Przeglądarka zawartości,
- Wysoka wydajność tworzonych rozwiązań,
- Ekosystem zawierający sklep dający możliwość zakupów gotowych elementów 3D/2D oraz funkcjonalności,
- Niekończące się możliwości pisania rozszerzeń.

2.2.4. Unity

[https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))



Unity jest to *cross platformowy* silnik gier stworzony przez Unity Technologies, pierwsze ogłoszenie oraz wydanie miało miejsce w czerwcu 2005 roku podczas Apple Inc's Worldwide Developer Conference jako MacOS X ekskluzywny silnik do gier. Do roku 2018 silnik został rozszerzony aby wspierał ponad 25 różnych platform. Silnik może zostać użyty do stworzenia trójwymiarowego lub dwuwymiarowego świata gry, rzeczywistości wirtualnej, rozszerzonej rzeczywistości oraz do symulacji i różnego rodzaju doświadczeń multimedialnych.

Silnik został przyswojony przez wiele przedsiębiorstw nie związanych z produkcją gier min. przemysł filmowy, samochodowy, architekturę, inżynierię oraz konstrukcję.

Unity daje użytkownikowi możliwości do kreowania gier oraz doświadczeń zarówno w 2D jak i 3D oraz silnik oferuje swoje główne API w języku C# dla zarówno samego edytora Unity w formie pluginów jak na potrzeby tworzenia logiki samej gry oraz dla funkcjonalności typu przeciągnij i upuść.

Przed używaniem przez Unity języka C# był język Boo, który został usunięty wraz z początkiem Unity 5 oraz wersja języka JavaScript nazywanego UnityScript, który został wprowadzony w sierpniu 2017 roku na korzyść języka C#. Unity na potrzeby środowiska 2D posiada rozbudowany importer grafik typu *sprite* oraz posiada zaawansowane techniki do renderowania światów 2D.

Dla gier 3D Unity pozwala na specjalną kompresję tekstur, minimap oraz ustawień rozdzielczości dla każdej z platform, której silnik wspiera i dostarcza wsparcia technikom *bump mapping*, *reflection mapping*, *parallax mapping*, *screen space*, *ambient occlusion (SSAO)*, dynamiczne cienie z użyciem map cieni oraz technik renderowania do tekstury oraz wiele różnego rodzaju efektów *post-processingowych*.

2.2.5. VVVV

<https://www.org/propaganda>



VVVV jest to środowisko hybrydowe do programowania wizualnego oraz tekstowego w środowisku czasu rzeczywistego pozwalające na łatwe prototypowanie oraz wytwarzanie aplikacji.

System został stworzony by ułatwić zajmowanie się dużymi instalacjami audiowizualnymi oraz interaktywnymi, które do obsługi wymagają stworzenia specjalnego interfejsu do obsługi efektów oraz do tworzenia grafiki w czasie rzeczywistym, dźwięku oraz nagrań wideo które mogą wchodzić w interakcję z wieloma użytkownikami jednocześnie.

Odpowiedzialnymi za program twórcami jest VVVV group. W zależności z jakiego środowiska pochodzi twórca z VVVV można korzystać na różne sposoby.

Poniżej zaprezentowane są główne możliwości i funkcje zgrupowane w postaci haseł kluczowych:

- Hybryda wizualno/tekstowego środowiska programistycznego,
- Animacja 2D/3D,
- Wieloekranowe instalacje,
- Animacje,
- Mapping,
- Wizualizacja danych,
- Obliczenia fizyczne,
- Dźwięk,
- Przetwarzanie obrazów.

2.2.6. SMODE

<https://smode.fr>

SMODE

Postprodukcja w czasie rzeczywistym - możliwość łączenia ze sobą warstw grafiki 2D oraz 3D, efektów, emiterów cząsteczek, *shaderów* w jedną rozbudowaną i skomplikowaną kompozycję skalowalną na potrzeby produkcji czasu rzeczywistego. Można zmienić dowolny parametr w trakcie funkcjonowania programu aby móc zobaczyć natychmiastowy efekt wprowadzanych zmian.

Sprawdzanie poprawności zmian w czasie rzeczywistym we współpracy z reżyserem artystycznym bądź klientem. Kompozycja na żywo i edycja na żywo pomiędzy różnymi etapami produkcji od symulowanej sceny 3D po oprogramowanie sceny eventowej w rzeczywistości.

Ogromnie szybki *rendering* - dziesiątki warstw 2D lub miliony cząsteczek nie powinny sprawiać problemu gdyż system wspiera *rendering* z użyciem GPU. Bardzo szybki *rendering* wideo to 100 klatek nagrania HD na sekundę z 4K, 6K 8K lub nawet większą zawartością.

Smode zostało stworzone z myślą o twórcach zawartości multimedialnych, dzięki czemu do tworzenia nie trzeba być ekspertem w dziedzinie programowania.

Smode jest skoncentrowane wokół warstw, modyfikatorów oraz mask. Wszystko oparte jest wokół warstwowości i dobrej struktury, pozwala na prowadzenie dobrej organizacji oraz prostotę we współdziałaniu z innymi współpracownikami.

Możliwość edycji wideo na linii czasu oraz ma możliwość wyzwalania video na podstawie CUE. Dzięki wbudowanemu symulatorowi scen 3D na potrzeby wideo mappingu oraz mappingu kontentu na ekranach ledowych możliwe jest zrobienie podglądu na żywo z wykorzystaniem wirtualnej sceny.

Stworzone w ten sposób *show* można zamontować w rzeczywistości i odpalić poprzez podpięcie do serwera rzeczywistych wyjść obrazów w formie projektorów i ekranów ledowych.

Smode pozwala na pracę przy użyciu jednego programu nad układem sceny, aktorów światła, dźwięku, kamer oraz nadzorowanie reżyserii występu. Smode wspomaga również tworzenie wizualizacji przy pomocy *shaderów* GLSL oraz wiele popularnych technologii komunikacji MIDI/OSC/DMX/Art-Net control.

2.2.7. MAX/MSP

<https://cycling74.com>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Max_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Max_(software))



Max jest to program do tworzenia wizualnego oprogramowania, stworzony specjalnie z myślą o artystach, jednostkach edukacyjnych oraz badaczach pracujących z dźwiękiem, wizualnym przekazem medialnym, oraz tworzeniem fizycznych instalacji interaktywnych.

Program jest używany na całym świecie w celu wspomaganie performansów oraz stałych instalacji multimedialnych. Max znany jest również jako MAX/MSP oraz Jitter, jako wizualny system programowania został stworzony oraz jest dalej rozwijany przez firmę Cycling '74 która ma swoją bazę w San Francisco.

Przez ponad 30 lat oprogramowanie używane jest przez twórców niezależnych, performersów, projektantów oprogramowania, badaczy oraz artystów tworzących nagrania, występy na żywo oraz instalacje stałe.

Max jest programem modułowym, którego większość procedur pisanych jest jako współdzielone biblioteki. *Interfejs* oprogramowania API pozwala niezależnym deweloperom na tworzenie nowych rutyn (zewnętrznych obiektów), dzięki którym można w dowolny sposób rozszerzać funkcjonalność oprogramowania.

Dzięki takiemu podejściu, Max posiada dużą bazę użytkowników niezwiązanych z firmą Cycling '74, którzy rozwijają oprogramowanie poprzez wprowadzanie komercyjnych i niekomercyjnych rozszerzeń do programu.

Z powodu elastycznego projektowania oprogramowania w środowisku MAX, która jednocześnie prezentuje *interfejs* użytkownika jak i kod programu Max opisywany jest jako przystępne środowisko programistyczne do tworzenia i rozwijania interaktywnych aplikacji muzyczno wizualnych.

2.2.8. Biblioteka Cinder

<https://libcinder.org/about>



Biblioteka Cinder jest to zestaw potężnych i intuicyjnych narzędzi pod postacią darmowej oraz otwartej dla społeczeństwa biblioteki pozwalającej na tworzenie profesjonalnie wyglądającej grafiki na potrzeby programowania kreatywnego z wykorzystaniem języka C++.

Biblioteka Cinder stara się koncentrować na aspektach estetycznych tworzonych grafik - takie podejście najczęściej nazywane jest kreatywnym programowaniem. Biblioteka zawiera w sobie wiele funkcjonalności pozwalających na obróbkę wideo, audio, grafik 2D/3D.

Cinder jako platforma daje wsparcie twórcom na tworzenie w środowiskach MacOS, Linux, iOS oraz wszelkich odmian Windowsa.

Cinder jest stabilną biblioteką na potrzeby występów na żywo, dzięki czemu jest chętnie wybierana biblioteką przez profesjonalistów na potrzeby komercyjnych występów, jednocześnie nie jest bardzo skomplikowana, dzięki czemu zachęca do nauki i eksperymentowania.

Cinder jest udostępniony na podstawie licencji 2-Clause BSD. Biblioteka pozwala na tworzenie zamkniętych aplikacji poprzez wbudowaną obsługę natywnych okien Windowsa czy innych środowisk.

Pełna integracja urządzeń wejścia i wyjścia dzięki dostępowi do plików, pamięci oraz zasobów sieci (HTTP oraz FTP) i internetu. Cinder posiada wsparcie dla tworzenia natywnych wygaszaczy ekranu dla systemów MacOS oraz Windows. Środowisko zbudowane jest w około języka C++.

Cinder daje również wsparcie dla interakcji poprzez klawiaturę, myszkę, eventy okna systemowego oraz przeciąganie plików na podstawie *drag and drop*.

Biblioteka ma również wsparcie dla obsługi zarządzania energią systemu ekranów. Biblioteka posiada wbudowane parsery dla XML & JSON oraz posiada szereg protokołów połączeniowych z innymi aplikacjami takie jak Serial port(ardion), OSC oraz TUIO.

2.2.9. Biblioteka OpenFrameworks

<https://openframeworks.cc/about/>



OpenFrameworks jest to otwarta biblioteka C++ zaprojektowana z myślą o wsparciu kreatywnego procesu twórczego, poprzez dostarczanie prostego i intuicyjnego środowiska pozwalającego na proste eksperymenty w kreowaniu grafiki.

Biblioteka stworzona jest w taki sposób aby udostępnić twórcom wszelkiego rodzaju wymagane bądź też ułatwiające rozwiązania znane z innego oprogramowania biblioteki wspierające:

- OpenGL, GLEW, GLUT, libtess2 i cairo dla grafiki,
- rtAudio, PortAudio, OpenAL i Kiss FFT lub FMOD dla wejść/wyjść audio,
- FreeType dla czcionek,
- FreeImage dla zapisywania i odtwarzania obrazów,
- Quicktime, GStreamer oraz *video Input* dla odtwarzania i przechwytywania obrazów wideo,
- Poco dla różnego rodzaju zadań,
- OpenCV dla wsparcia przetwarzania grafiki komputerowej,
- Assimp dla obsługi modelowania 3D.

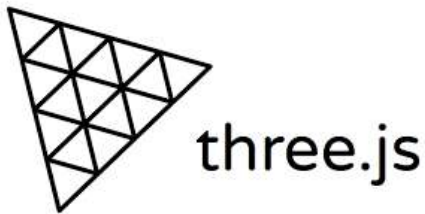
Tworzony kod jest stworzony w taki sposób, aby mógł być w prosty sposób przenoszony między różnymi platformami. Na chwilę obecną wsparcie oferowane jest dla systemów Windows, OSX, Linux, iOS, Android oraz czterech środowisk programistycznych IDE (XCode, Code::Blocks, Visual Studio oraz Eclipse). Funkcjonalność języka jest tak zaprojektowana, aby był prosty w przyswajaniu wszelkich funkcji. OpenFrameworks jest dystrybuowany pod licencją MIT.

Daje to możliwość każdemu niezależnemu twórcy na wolność w użytkowaniu biblioteki do dowolnego celu zarówno komercyjnego jak i nie, nie narzucając przy tym żadnych ograniczeń.

Wielu użytkowników wsparło swoją pracą środowisko OpenFrameworks. Społeczność zgromadzona wokół środowiska programistycznego OpenFrameworks rozwija oprogramowanie na własną rękę. Podsumowując, openFrameworks jest to narzędzie, które pozwala tworzyć w prosty sposób oprogramowanie audiowizualne z wykorzystaniem kodu.

2.2.10. Biblioteka tree.js

<https://en.wikipedia.org/wiki/Three.js>



Biblioteka Tree.js jest to między przeglądarkowa biblioteka oparta o JavaScript oraz API, używana do kreowania i wyświetlania animacji 3D z wykorzystaniem przeglądarki internetowej. Tree.js używa WebGL.

Kod źródłowy jest przetrzymywany jako otwarte repozytorium GitHub. Tree.js pozwala na kreowanie aplikacji wspieranych przez kartę graficzną z wykorzystaniem języka JavaScript jako część strony internetowej bez polegania na specjalnych wtyczkach instalowanych w przeglądarkach.

Jest to możliwe poprzez wykorzystanie funkcjonalności WebGL. Wysoko rozwinięte biblioteki takie jak Tree.js lub GLGE, SceneJS, PhiloGL oraz wiele innych dają możliwość do tworzenia skomplikowanych animacji 3D, które wyświetlane są w przeglądarce bez potrzeby wkładania wysiłku w instalowania dodatkowych aplikacji czy pluginów przeglądarkowych.

Three.js zawiera następujące funkcjonalności:

- Efekty: *anaglyph*, *cross-eyed* oraz *parallax barrier*,
- Sceny: dodawanie lub usuwanie obiektów w trakcie działania programu; mgła,
- Kamery: perspektywa lub rzut ortograficzny,
- Kontrolery: *trackball*, *FPS*, *path* oraz wiele innych,
- Animacja: *armatures*, *forward kinematics*, *inverse kinematics*, *morph* oraz *keyframe*,
- Światło: ambientowe, kierunkowe, punktowe and oraz słupowe,
- Cienie: rzucające i pokrywające modele 3D,
- Materiały: *Lambert*, *Phong*, *smooth shading*, tekstury oraz wiele innych,
- Shadery: dostęp do pełnego OpenGL Shading Language (GLSL) możliwości: flary świetlne, przejścia głębi oraz rozbudowana biblioteka efektów postprodukcyjnych,
- Obiekty: siatki, cząsteczki, *sprites*, linie, *ribbons*, kości oraz wiele innych - wszystkie z obsługą poziomu dokładności (LOD),
- Geometrie: płaszczyzny, szcześciiany, kule, torus, 3D teksty oraz wiele innych,
- Modyfikatory: *lathe*, *extrude* oraz *tube*,
- Ładowanie danych: binarnych, obrazów, JSON oraz scen,

- Użytkowe: pełny zestaw funkcji czasu oraz 3D wliczając w to *frustum*, macierze, kwaterniony, UVs oraz wiele innych,
- Eksportowanie i importowanie: plików do kreowania Three.js-kompatybilnych JSON plików stworzonych w środowiskach: Blender, openCTM, FBX, Max, i OBJ,
- Wsparcie: dokumentacja środowiska w ciągłym rozwoju, publiczne forum oraz w pełni funkcjonująca wikipedia,
- Przykłady: ponad 150 plików z kodem zawierającym przykłady oraz czcionki, modele, tekstury, dźwięki, oraz inne wspierane pliki,
- Debugowanie: Stats.js WebGL Inspector] Three.js Inspector,
- Rzeczywistość wirtualna: dostęp do WebVR.

2.2.11. Resolume

<https://resolume.com/software>



Mixer wideo na żywo - Resolume pozwala na obsługę w czasie rzeczywistym plików wideo. Pozwala na odtwarzanie plików wideo w dowolnym momencie oraz w określony sposób. Odtwarzanie do przodu do tyłu, *scratch* oraz dostosowywanie tempa do bitu.

Miksowanie oraz dopasowywanie wizualizacji w prosty i szybki sposób pozwalają używać Resolume jak instrument muzyczny.

Dzięki rozszerzeniu Arena, możliwe jest również tworzenie ekranów z wykorzystaniem dowolnych powierzchni - zarówno skomplikowanych brył geometrycznych jak i całych budynkach.

Resolume robi za użytkownika całą ciężką pracę, dzięki czemu można się skoncentrować na najważniejszym zadaniu czyli kreowaniu show.

Arena pozwala na łączenie wielu ekranów projektorów w jedną całość pozwalając na tworzenie pięknych szerokich ekranów z wykorzystaniem dwóch lub więcej projektorów.

Możliwe jest nawet tworzenie doświadczeń 360 stopni.

Kompozycja na żywo oraz efekty są możliwe do dostosowywania w trakcie odtwarzania wideo.

Program korzysta z przyspieszenia sprzętowego GPU, dzięki czemu dostajemy największą wydajność oraz najlepszy możliwy obraz render w czasie rzeczywistym; pozwala na nakładanie efektów, *blend*, mixów, cięć i edycji wszystkiego co dzieje się w miejscu realizacji.

Audio oraz wizualne *pluginy* - wszelkie wizualne efekty w Resolume są pluginami i można w prosty sposób dodawać więcej nowych, tworzonych przez twórców niezależnych.

Można również tworzyć swoje programy z wykorzystaniem OpenGL. Po stronie audio można korzystać z VST, wtyczki do odtwarzania ulubionych efektów.

Resolume posiada zintegrowaną obsługę innych aplikacji takich jak Syphon na MAC oraz Spout na Windowsie, dzięki czemu można współdzielić wizualizacje między równymi programami w czasie rzeczywistym, w obrębie tego samego komputera czy sieci. Można dzięki temu tworzyć własne aplikacje które integrują Resolume.

Kamery na żywo są możliwe poprzez możliwość przechwytywania obrazu z wykorzystaniem wysokiej jakości kamer czy też kamer internetowych.

Resolume posiada natywne wsparcie do przechwytywania obrazu z urządzeń firmy BlackMagic, AJA oraz DataPath kart przechwytyjących, dzięki czemu można wypuścić i przechwycić niemalże dowolny obraz.

Dzięki wsparciu technologii wideo IP oraz NewTek NDI - można przesyłać oraz odbierać wideo pomiędzy komputerami w tej samej sieci, używać dowolnej rozdzielczości obrazów z przesyłanymi danymi o kanale *alpha* zachowując wysoką jakość i niskie opóźnienie.

Odtwarzanie wizualizacji możliwe jest zarówno z zawartymi plikami audio jak i bez. Resolume posiada również bazę własnych wbudowanych efektów wizualnych i dźwiękowych.

Dzięki wbudowanemu audio analizatorowi, Resolume może analizować ścieżki audio i przypisywać wartości wychyleń konkretnemu parametrowi animacji.

2.2.12. VYV PHOTON

<https://www.vyv.ca/products/photon/>



Kompozycja i edycja - PHOTON używa bardzo znanego *interfejsu* edycji oraz kompozycji, który przypomina w użytkowaniu te znane z popularnych systemów edytowania wideo. Tutaj jednak wszelkie działania odbywają się w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem nieskompresowanych danych.

Program zawiera również profesjonalnej jakości narzędzie do kolorowania, elastyczne drzewko efektów, zawierające zarówno efekty cząsteczkowe oraz wiele innych narzędzi, które są stworzone by móc być wykorzystane na potrzebę prawie dowolnego zapytania w trakcie uczestniczenia w evencie.

Photon oferuje podgląd w 3D scenografii z możliwością naniesienia schematu podwieszeń projektorów oraz stworzyć realistyczną wizualizację zawierającą oświetlenie i cieniowanie w czasie rzeczywistym.

Dyrektorzy kreatywni oraz twórcy wizualizacji mogą importować modele 3D i sprawdzać jak będą wyglądać w rzeczywistości na scenie zanim takowa powstanie. Daje to szansę na doświadczenie końcowego efektu bez ponoszenia żadnych dodatkowych kosztów *renderingu*.

PHOTON odtwarza wideo oparte o VVC Codec interface (VCI) format plików, pozwalając na stałe i pewne odtwarzanie bez jakiegokolwiek kompresji plików o bardzo dużej rozdzielczości.

Różnego rodzaju prędkości odtwarzania filmów wideo mogą być ze sobą łączone bez problemu. System automatycznego mieszania klatek pozwala na gładkie spowolnienie szybszego video bądź też jego przyspieszenie.

VCI również pozwala na częściowy odczyt plików co pozwala rozbić nawet największe rozdzielczości, przekraczające maksymalne możliwości kodeków na synchroniczne ich odtwarzanie z kilku urządzeń, zapewniając przy tym pełną synchronizację obrazu oraz dźwięku.

Dzięki dziesięcioletniemu doświadczeniu VYV w technologiach trackingowych zaowocowało to wyposażeniem PHOTONA w prawdziwy system 3D rozumiejący co znajduje się na scenie. System jest świadom poruszania się dowolnych statycznych obiektów, o których wideo wypuszczane musi posiadać informację - od projektorów, przez sceny aż do kamer oraz aktorów scenicznych. Ponieważ system śledzenia jest integralnym systemem serwera PHOTON to informacje o śledzonych obiektach mogą być wykorzystane w grafach efektów do tworzenia animacji w PHOTONIE.

Wyświetlane przestrzenie nie muszą być stałe, dzięki czemu możliwa jest projekcja na materiałach, ubraniach, flagach czy też ruchomych dmuchanych konstrukcjach. VYV -

zespół badawczy również celuje w środowiskowy najbardziej efektywny system kalibracji, który wykonuje się niezwykle automatycznie niemalże za przyciśnięciem jednego guzika.

Jednym z głównych celów PHOTONA jest dostarczenie elastycznego i efektywnego systemu do kalibracji dowolnej ilości projektorów. System zawiera w sobie systemy automatycznego *blendingu* ekranów i w pełni automatyczną kalibrację 3D.

3. Przegląd oprogramowania do sterowania interaktywnymi programami

3.1. Wstęp

Mając gotowe środowisko programistyczne do tworzenia interaktywnych animacji połączone z systemami ruchu, należy stworzyć interfejs użytkownika, możliwie przejrzysty w użytkowaniu przez operatora naszego prototypu.

Od oprogramowania do sterowania wymagana jest prostota w użytkowaniu i możliwie skuteczne wytwarzanie interfejsów użytkownika pozwalające na sprzężenie w jedną całość nawet kilku różnych systemów bądź aplikacji w obrębie jednego systemu.

Badane oprogramowanie będzie opisywane pod kątem informacji dostarczonych przez producenta na temat możliwości pisania interfejsów użytkownika.

4. Przegląd dostępnych systemów operacyjnych

4.1. Wstęp

Badanie możliwości systemów operacyjnych ma na celu dostosowanie naszego wynikowego prototypu do jak największej ilości konfiguracji sprzętowych oraz systemów operacyjnych obsługujących dany sprzęt.

System operacyjny jest podstawą funkcjonowania każdego systemu komputerowego. Bez systemu operacyjnego użytkownik nie jest w stanie wchodzić w interakcje z systemem komputerowym.

Na rynku posiadamy 3 główne ogólnodostępne rozwiązania klasy Desktop Linux, MAC oraz Windows. MacOS jest to system, który u podstaw zorientowany jest na graficzny interfejs użytkownika i został stworzony przez Apple na potrzeby komputerów personalnych Macintosh.

Microsoft stworzył system operacyjny Windows który powstawał w celu wyeliminowania ograniczeń konsoli w systemie MS-DOS.

Linux jest systemem UNIX co oznacza, że jako źródłowy kod może również być używany przez system operacyjny, który dostarcza pełną ochronę pamięci oraz wielozadaniowość operacji. System ten jest darmowy i otwarty dla wszystkich.

4.2. Podstawowe różnice pomiędzy Linux, MAC and Windows

Windows jest systemem wyprodukowanym przez Microsoft, po raz pierwszy został wypuszczony w 1989 roku.

Początkowo miał być graficzną nakładką na system MS-DOS, ale wraz z rozwojem wszelką funkcjonalność systemu MS-DOS zintegrowano z systemem Windows 95 oraz nowszymi. Był to duży sukces systemu Windows, dzięki któremu do dzisiaj jest najpopularniejszym systemem na świecie,

MAC jest systemem operacyjnym wyprodukowanym przez Apple, który jest starszy od samego Windowsa. Po raz pierwszy został wypuszczony w roku 1984. Od samego początku powstawał jako system zbudowany w około graficznej reprezentacji systemu komputerowego.

W roku 2005 struktura systemu MacOS została dostosowana do możliwości obsługi przez procesory Intel x86.

System jest bardzo popularny wśród użytkowników premium, którzy są w stanie zapłacić za urządzenie wraz z zintegrowanym systemem operacyjnym,

Linux został początkowo stworzony na fińskim uniwersytecie. Został wypuszczony w 1991 oraz zaprojektowany dla deweloperów GNU, którzy później zintegrowali cały system GNU w systemie Linux i od tamtej pory jest to system używany często przez niezależnych producentów oraz środowiska akademickie.

System jest bezpłatny oraz otwarty dla wszystkich użytkowników do użytkowania wg jego specyfikacji.

4.3. Struktura plików

Windows zbudowany jest według adresowej struktury plików żeby móc przetrzymywać różnego rodzaju pliki użytkownika. Pliki przetrzymywane są porównywalnie jak szuflady w szafkach.

Cała struktura zorganizowana jest poprzez tzw. foldery, które służą do przetrzymywania różnego rodzaju plików. Sam system posiada kilka podstawowych folderów głównych takich jak dokumenty, zdjęcia, muzyka, wideo oraz pobrane. Wszystkie pliki mogą być przetrzymywane w tych folderach bądź dowolnych innych nazwanych i stworzonych przez użytkownika. Dane organizowane są w plikach takich jak .txt, .jpg itp. W dodatku Windows również dostarcza folder kosz który agreguje wszystkie skasowane pliki,

Struktura plików w MAC-u jest powszechnie nazywana jako MacOS X. Jeśli zagłębić się w sposób w jaki zorganizowane są dane na dyskach z oprogramowaniem MAC, można odnaleźć wiele podstawowych katalogów. Główny katalog MAC można prześledzić poprzez zagłębianie się w strukturę katalogową MacOS.

Dzięki temu można przeglądać pliki systemowe oraz strukturę katalogów taką jak / Application, / Developer, / sbin, / tmp. itp., dane takie są odizolowane od codziennego użytkownika platformy.

Linux posiada kompletnie inną budowę systemu plików niż Windows i MacOS. Został stworzony od podstaw z inną podstawą kodową. Wszystkie pliki organizowane są w formie drzewa dostępowego, istnieje jedno drzewo plików które przetrzymuje zarówno pliki jak i drivery programowe.

4.4. Rejestry

Rejestr Windowsa jest to główna baza danych, która jest używana do przetrzymywania wszystkich ustawień na naszym komputerze. Jest ona odpowiedzialna za przetrzymywanie informacji o użytkowniku wraz z jego hasłami oraz informacjami związanymi z urządzeniami użytkownika. Rejestr posiada również edytor który pozwala na przeglądanie wszystkich kluczy oraz wartości danych dysku, jeżeli są potrzebne.

MAC przetrzymuje wszystkie ustawienia aplikacji w serii plików .plist, które mają zróżnicowane preferencje folderów w MAC-u. Te pliki .plist zawierają wszelkie ustawienia programowe w formie czystego tekstu lub danych binarnych. Przechowywane są one pod adresem */library/Preferences*.

Linux również nie posiada żadnych wyszczególnionych rejestrów jak w Windowsie. Wszystkie ustawienia aplikacji przetrzymywane są w obrębie podstawy programów pod różnymi użytkownikami w tej samej hierarchii formatowej co wszystkie pozostałe pliki. Nie ma żadnej scentralizowanej bazy do przetrzymywania szczegółów ustawień programowych oraz nie są potrzebne różnego rodzaju zabiegi mające na celu odświeżenie i oczyszczenie rejestru.

4.5. Modyfikowalny interfejs

Interfejs systemu Windows był zmieniany aż do systemu Windows 8. Windows XP posiadał pewne ulepszenia, ale nie bardzo inwazyjne jak nowszy system w którym przebudowano menu start, pasek zadań, okna ustawień systemowych oraz sam eksplorator plików Windowsa,

MAC posiada możliwość do wprowadzania własnych sieci interfejsowych. Może to zostać wprowadzone poprzez dostanie się do ustawień systemowych i zarządzanie szczegółowe interfejsem użytkownika,

Linux jest prostą platformą do przełączania interfejsów użytkownika. Można przerzucać między różnymi środowiskami bez potrzeby przenoszenia wszystkich plików instalacyjnych. Są takie narzędzia jak GNOME i KDE, które pomagają w dostosowaniu się do potrzeb nowych interfejsów. Pozwalają na branie pod uwagę różnych aspektów aplikacji nowego interfejsu.

4.6. Terminal komend

Terminal Windowsa albo tak zwany wiersz poleceń jest to czarne okno poleceń idealne do używania aby wykonywać komendy. Wiersz poleceń również użytkowany jest w celu wykonywania partii poleceń przetrzymywanych w plikach .bat. Wiersz poleceń pozwala również na użytkowanie w celach administracyjnych systemu windows oraz w celu weryfikowania błędów w funkcjonowaniu systemu Windows.

MAC dostarcza konsolę jako terminal aplikacji. Posiada on konsolową linię poleceń, prompt oraz osobny terminal. Linia komend jest używana tylko do wpisywania komend, natomiast prompt dostarcza pewne informacje oraz również pozwala na wykonywanie poleceń. Terminal jest głównym *interfejsem*, który pozwala na wykonywanie wszystkich poleceń wiersza poleceń po przez graficzna reprezentację interfejs. Terminal można znaleźć pod *Applications-> utilities*.

Linux również dostarcza Terminal, który można znaleźć wchodząc w *applications-> system*, bądź *Applications-> utilities*. Dodatkowo do terminalu istnieje *shell prompt*. Najbardziej powszechnie używana powłoka w *bashu*. Identyfikuje jak Terminal będzie się zachowywał oraz jak będzie wyglądał w trakcie użytkowania.

4.7. Kluczowe różnice pomiędzy Linux, MAC oraz Windows

Wszystkie systemy: Linux, MAC oraz Windows są popularnymi systemami na rynku. Pomimo tego iż są to systemy najbardziej popularne w użytkowaniu to istnieją spore różnice między tymi systemami.

Windows z nich wszystkich jest dominującym systemem nad pozostałymi dwoma na rynku, który zajmuje aż 90% wszystkich użytkowników komputerów personalnych.

Linux jest systemem najmniej używanym przez przeciętnego użytkownika - tylko 1%, natomiast MAC jest popularny wśród 7% użytkowników na całym świecie.

Jeżeli chodzi o ryzyko ataków *malware*, Windows jest na nie najbardziej narażony, spowodowane jest to dużą bazą użytkowników i potencjalnych ofiar infekcji.

MAC jest drugą najbardziej atakowaną platformą.

Windows jest kosztowny i jego ceny zaczynają się od 500 zł.

Linux jest platformą darmową, którą każdy może ściągnąć i użyć.

System MAC pomimo, że darmowy jest bardziej kosztowny, gdyż zmuszeni jesteśmy do zakupu gotowych komputerów z systemem MacOS wbudowanym przez Apple.

4.8. Wnioski

Podsumowując wszystkie systemy operacyjne posiadają swoje wady i zalety. Funkcjonują one podobnie a wybór zależy od oprogramowania z którego planuje korzystać użytkownik oraz własnych preferencji.

Windows ma najlepsze wsparcie multimedialne takich jak gry komputerowe.

Linux może zostać użyty przez programistów, a ludzie którzy są zainteresowani w wytwarzaniu grafiki mogą zainteresować się możliwościami systemu MacOS.

[źródło: https://www.educba.com/linux-vs-mac-vs-windows/](https://www.educba.com/linux-vs-mac-vs-windows/)

5. Przegląd systemów akwizycji ruchu

5.1. Wstęp

Przegląd systemów do akwizycji ruchu zostanie przeprowadzony poprzez wyszukanie wszelkiego rodzaju systemów do akwizycji ruchu mogących mieć zastosowanie w powstającym prototypie.

Zostaną zebrane kluczowe funkcjonalności deklarowane przez producenta, które powinny pomóc we właściwym zidentyfikowaniu systemu, który będzie spełniał oczekiwania założeń prowadzonych przez nas badań.

5.2. Opisy systemów do akwizycji ruchu

5.2.1. BLACKTRAX

<https://blacktrax.cast-soft.com/howitworks/>

BLACKTRAX

BlackTrax jest to system oparty na kamerach, który pozwala na połączenie z aplikacjami oraz stacjami roboczymi wielu dużych producentów na rynku, specjalizujących się w rozwiązaniach takich jak ruchome światła, media serwery oraz inne systemy i oprogramowania które akceptują RTTrPM *open protocol*.

Nadajniki światła podczerwonego - są to aktywne źródła światła w paśmie podczerwieni, które emitują unikalne impulsy podczerwone odbierane przez optyki sensorów. Każdy z takich nadajników posiada 3 źródła światła, które pozwalają na identyfikację każdego z punktów według osobnego unikatowego ID.

BT nadajnik (BT Beacon) dzięki posiadaniu aż do 3 źródeł światła podczerwieni pozwala na śledzenie nadajników pojedynczo oraz w grupach. Każdy LED pulsuje w odpowiednim odświeżaniu właściwym dla unikatowego ID nadajnika.

Można śledzić albo 85 nadajników albo 255 punktów śledzenia jednocześnie. Dzięki bardzo małym rozmiarom nadajników (*mini beacons*) jesteśmy w stanie jak najmniej rozpraszać naszą publiczność. Nadajniki są w trybie ciągłej pracy oraz ich bateria pozwala na użytkowanie przez około 8h, pulsując w częstotliwości 100Hz, która jest taka sama jak częstotliwość pulsowania klasycznych nadajników. Nadajniki znajdujące się poza obszarem śledzenia nie powodują zakłóceń tych nadajników, które aktualnie znajdują się w obszarze śledzenia.

Mini nadajniki są w stanie zaadaptować się do jakiegokolwiek sytuacji generowanej na żywo, dając stylistyczna i czas oszczędzającą opcję dla konsumenta. Te mniejsze pozbawione okablowania nadajniki pasują do wszystkich nie skryptowych, improwizowanych potrzeb produkcyjnych.

Małe nadajniki (*mini Beacons*) są idealną odpowiedzią dla interaktywnych rozwiązań, w których potrzebujemy w prosty sposób oznaczyć kogoś i śledzić na potrzeby animacji w obszarze naszej interakcji podczas widowisk sportowych, występów teatralnych gier VR czy innych rozwiązań.

Dołączenie ich do występu jest praktycznie niezauważalne dla przeciętnego widza. Optyka sensorów odczytuje poruszające się sygnały naszych źródeł LED i w sposób dokładny rejestruje ruch naszych sensorów.

Sensory odczytujące można zawiesić w dowolnych miejscach otaczających naszą strefę śledzenia nadajników. System obecnie korzysta z kamer o rozdzielczości 1.3 MPa oraz 1.7MPa, w zależności od stopnia rozbudowania projektu. BlackTrax jest rozwiązaniem które dopasowuje się do potrzeb danego rozwiązania w konkretnym projekcie.

W pakiecie z sensorami dostarczany jest serwer Black Trax wraz z wszystkimi niezbędnymi programami zainstalowanymi przez producenta, min.: BTwyg, BlackTrax, i Motive. Jeżeli posiadasz dokładną kopię swojego otoczenia w postaci pliku CAD BTWYG jest możliwość wgrania obiektu przestrzeni jako części systemu i wizualizacji sceny. Dzięki interfejsowi BlackTrax, użytkownik jest w stanie w prosty sposób połączyć śledzone wizualizacje z obiektami które zamierzamy śledzić. Używanie danych o pozycjach w czasie rzeczywistym pozwala na tworzenie skomplikowanych rozwiązań z użyciem kamer na ramionach robotów czy też zaawansowaną kontrolę nad oświetleniem.

5.2.2. VYV Albion

<https://www.vyv.ca/products/albion/>



Śledzenie obiektów z bardzo dużą dokładnością jest możliwe przez główny algorytm systemu, który jest dostrojony do warunków eventowych oraz zoptymalizowany do aktywnego ruchu, dzięki zastosowaniu unikatowych identyfikatorów VYV COPERNIC IR nadajników. Jako rezultat, jest możliwe wykorzystanie dużej ilości danych z śledzonych przez nas punktów oraz szybko poruszających się obiektów bez obawy, że system pomyli odczytywane punkty ze sobą.

Wysoka tolerancja na wszelkiego rodzaju błędy odczytu jest zagwarantowana przez algorytm ALBION do śledzenia, wyprodukowany specjalnie na potrzeby występów na żywo. Jeżeli jedna z kamer zostanie przewrócona zdarzenie takie zostaje wykryte i automatycznie dane z takiej kamery nie są przekazywane dzięki czemu nie mamy zakłócenia w odczycie pozycji.

Odorność systemu jest tak wysoka, że nawet w przypadku gdy połowa kamer zostanie z jakiegoś powodu nie zdatna do użytkowania a pozostałe kamery są dobrze skonfigurowane będzie możliwość dalszego funkcjonowania systemu, a informacje na temat śledzonych punktów w przestrzeni będą nadal precyzyjne.

Komunikaty wysyłane przez Open Standard z naszego systemu przetwarzane są przez PHOTON DISPLAY SERVER, tak jak inne urządzenia które w swojej komunikacji są w stanie używać PosiStageNet, otwartego protokołu wyprodukowany przez VYV oraz MA *lightning* (producenta konsoli do sterowania światłem GrandMA) oraz zaadaptować przez rosnącą liczbę sprzedawców i dystrybutorów w przemyśle rozrywkowym.

Dodatkowo Albion może kontrolować urządzenia bezpośrednio po przez komunikację artNet oraz może odbierać punkty kontrolne również przez komunikację artNet. Photon Control - w dodatku do dostarczania pozycji ze sceny poprzez techniki *motion capture* oraz VYV specjalny algorytm, system ALBION może służyć również jako system do obsługi wypuszczanego kontentu wideo.

Wszystkie serwery Photon mogą być stosowane jako pojedynczy system kontrolowany przez *interfejs* użytkownika przez Albion wliczając w to programowanie całego *show* pod kątem wizualnym, wgrywanie materiałów, operacje w czasie rzeczywistym, automatyczną kalibrację i wiele innych.

Serwerownia zaopatrzona w serwery Photon jest prosta w operowaniu jak użytkowanie jednego programu oraz ilość systemów użytych w instalacji jest ukryta przed użytkownikiem, żeby nie musiał się martwić obsługą wielu komputerów jednocześnie.

Zapisywanie wrażliwych danych na żywo może być jedną z ważniejszych funkcjonalności każdego *show* opartego o oświetlenie oraz o projekcję bez której żadne multimedialne *show* nie mogło by operować.

Architektura serwera Albion jest zaprojektowana tak, aby kilka kontrolerów mogło być użytkowanych równocześnie, żeby w razie awarii móc przenieść się między rozwiązaniami.

5.2.3. OPENPTrack

<http://openptrack.org/about/>



OpenPTrack jest to rozwiązanie *open source*, które wystartowało jako projekt w 2013 roku, aby stworzyć skalowalne rozwiązanie wykorzystujące systemy złożone z wielu kamer do celu śledzenia ludzi. Rozwiązanie pozwala na śledzenie wielu ludzi jednocześnie na sporej powierzchni w czasie rzeczywistym.

Celem projektu jest dostarczenie rozwiązania dogodnego do zastosowania w edukacji, sztuce i kulturze, jako punkt startowy badania systemów śledzenia dużych grup wchodzących w interakcję z cyfrowym środowiskiem.

Mottem przewodnim projektu jest wiara w to, że *interfejs* komputerowy powinien zostać rozszerzony dalej niż sięgają końce palców po klawiaturze i powinien być skalowalny na potrzeby korzystania z jednego systemu przez większą liczbę ludzi niż jedna osoba jednocześnie.

Celem projektu jest udostępnienie możliwości “kreatywnym programistom” do tworzenia interfejsów skoncentrowanych wokół ruchu całego ciała dla dużej ilości osób, na potrzeby zajęć w klasie, sztuki oraz projektów wykraczających poza naszą wyobraźnię. Dzięki OpenPTrack jako środowisku *open source* dalsze badania celują w stworzenie znaczących interakcji pomiędzy grupą ludzi w środowisku cyfrowym w możliwie najprostszy sposób.

Opierając się na szeroko użytkowanym *open source* Robot Operating System (ROS), OpenPTrack dostarcza:

- Sieciową kalibrację kamer przyjazną użytkownikowi,
- Detekcję ludzi poprzez RGB/podczerwień oraz mapę głębi,
- Wydajny wieloosobowy system śledzenia,
- UDP oraz NDN przekaz śledzonych danych w formie pakietów JSON.

OpenPTrack V2 “Gnocchi” dodaje:

- Śledzenie obiektów poprzez trenowanie sztucznej inteligencji,
- Detekcję pozy użytkownika,
- *Docker container* by wspomagać łatwiejsze wprowadzanie rozwiązania.

Wraz z rozwojem komercyjnych rozwiązań opartych na kamerach głębi oraz ciągle postępujących badaniach na temat komputerowej wizji usprawniającej obróbkę danych dostarczanych przez kamery głębi oraz chmur punktów, rozwiązania te stają się coraz droższe w użytkowaniu przez deweloperów. OpenPTrack dostarcza rozwiązania śledzenia

ludzi z dużą stabilnością odczytywanych danych i wysoką responsywnością niezbędną do tworzenia interaktywnych instalacji przy stosunkowo niskim koszcie, jeżeli chodzi o wydatki a większym koszcie czasu poświęconego na wdrożenie rozwiązania do projektu.

Niestety rozwiązanie nie jest proste w użytkowaniu w aplikacjach przez deweloperów. Powstanie OpenPTrack zostało zainicjalizowane poprzez potrzebę środowiska na projekt dla artystów, twórców oraz nauczycieli, by móc pracować w silnym i mocnym rozwiązaniu śledzenia na żywo ludzi, w projektach mających sens bytu nie tylko w warunkach laboratoryjnych.

OpenPTrack dąży do wsparcia tych wystąpień artystycznych, kulturalnych oraz edukacyjnych, w sektorach, które chciałyby eksperymentować z śledzeniem ludzi w czasie rzeczywistym jak dane wejściowe do obsługi ich aplikacji.

Projekt zawiera wiele artystycznych algorytmów dla RGB oraz kamery głębi śledzenia i został stworzony na podstawie architektury *node-based*, by móc wspierać dodatkowe źródła danych z sensorów.

5.2.4. Augumenta

https://www.augmenta-tech.com/pdf/Augumenta%20-%20General%20Presentation_en.pdf



Augumenta jest bez sensorową techniką śledzenia do stosowania w kreatywnych aplikacjach. Ludzie oraz obiekty mogą być śledzeni bez żadnych ograniczeń w ich liczebności czy też przestrzeni. Dane śledzenia są dostarczane przez system poprzez otwarte protokoły kompatybilne z większością wideo, audio oraz oświetlenie oprogramowaniem. Technologia została zaprojektowana z myślą o eventach oraz o stałych instalacjach.

Może zostać zamontowana oraz skalibrowana w krótkim czasie oraz zawiera wiele narzędzi pozwalających na monitoring funkcjonowania instalacji w dłuższym czasie użytkowania. Augumenta może być używana w szerokim wachlarzu zastosowań: w teatrach i na scenach, podczas eventów, występów oraz wystaw, w instalacjach prezentujących sztukę nowoczesną i w muzeach, w rozrywce oraz w parkach rozrywki, w kinie oraz produkcjach audiowizualnych.

Augumenta dostarcza trójwymiarowe informacje na temat przestrzeni opisującej postać w przestrzeni bądź też obiekt. Dane dostarczane przez system są: wyśrodkowane względem centralnego punktu śledzonej obiektu/postaci, podają wielkość śledzonego obiektu/postaci, bardzo responsywne, przetrzymują dane śledzonego ID oraz czas spędzony w przestrzeni śledzonej, globalną liczbę ludzi będących w obrębie instalacji, globalny czas spędzony przez wszystkich, globalny czas.

Augumenta używa otwartego protokołu takiego jak OSC oraz PosiStageNet, dzięki czemu jest kompatybilna z większością oprogramowania do kreatywnego programowania oraz urządzeniami i czujnikami.

Narzędzie dostarczane jest z symulatorem ruchu w przestrzeni, aby w trakcie programowania móc emulować zachowanie odczytu, żeby programiści oraz twórcy mogli pracować poza przestrzenią docelową oraz aby można było wypróbować oprogramowanie przed zakupem lub wynajmem oraz by można było testować w różnych środowiskach.

5.2.5. Bonsai

<https://store.bonsai-systems.com/19-motion-capturing>



Bonsai Systems oferuje techniki *Motion Capture* w dowolnym miejscu gdzie się znajdujesz, zupełnie bezprzewodowo. Nagrywanie ruchu całego ciała w bardzo prosty i przystępny sposób. Wystarczy przypiąć sensory QuantiMotion do ciała i skorzystać z aplikacji na smartfona, aby rozpocząć nagrywanie. Swobodnie poruszając się w naturalnym środowisku możemy nagrywać wszelkie niezbędne ruchy potrzebne do stworzenia animacji. Kiedy skończone jest nagrywanie, możemy użyć ponownie aplikacji do ściągnięcia naszego nagrania z komputera wbudowanego w nasze sensory i zacząć analizę naszego ruchu w 3D naniesionej na wirtualnego awatara. Rozwiązanie jest proste i intuicyjne.

Poruszanie się dowolnie w naturalnym otoczeniu jest możliwe dzięki zastosowaniu czujników QuantiMotion. Całość systemu możliwa jest do zainstalowania na ciele aktora. Nie ma potrzeby żeby pozostawać w warunkach laboratoryjnych. Po prostu można się poruszać wolnym w przestrzeni do której się przywykło przebywać .

Kontrola z poziomu smartfona - pozwala na prostą kontrolę nad sensorami QuantiMotion przy pomocy mobilnego urządzenia takiego jak smartfon czy tablet w systemie iOS app.

Aplikacja wyświetla na żywo podgląd naszego ruchu. Wystarczy zacząć nagrywanie bądź je zatrzymać przy pomocy jednego kliknięcia przycisku lub też pobrać nagrany ruch z sensorów.

Analiza naszego ruchu w prawdziwym 3D - używając technologii *Augmented Reality*, można umieścić nasz *avatar* 3D zaraz przed samym sobą i chodzić na około mając na żywo podgląd nagranego ruchu w środowisku rozszerzonej rzeczywistości, mając uczucie jak by dany ruch był związany z naszą przestrzenią podglądu.

Zestaw miniaturowych sensorów do przyczepiania do ciała QuantiMotion składa się z 15 sensorów z łatwymi do mocowania opaskami. Każdy sensor jest tak stworzony żeby odpowiadał za jedną sekcję ciała i razem wszystkie sensory w ten sposób monitorują ruch całego ciała. Po pełnym naładowaniu całość pozwala na 16 godzin podtrzymywania energii w sensorach oraz przebywanie w trybie *standby* do 6 miesięcy.

5.2.6. Leap Motion

https://en.wikipedia.org/wiki/Leap_Motion



Leap Motion (dawniej OcuSpec Inc.) jest to amerykańska firma, która wytwarza i sprzedaje sprzęty komputerowe w postaci sensorów, które wspierają śledzenie dłoni, palców oraz ich gestów ruchu, analogicznie do myszki, ale nie ma potrzeby kontaktu bezpośredniego dłoni z sensorem. W 2016 roku firma wypuściła nowe oprogramowanie stworzone z myślą o śledzeniu rąk w wirtualnej rzeczywistości.

Kontroler Leap Motion jest to małe urządzenie USB, które zostało stworzone tak by można je było położyć na dowolnej przestrzeni w taki sposób, żeby sensor był skierowany do góry. Może być również zamontowany na okularach wirtualnej rzeczywistości. Używając dwóch monochromatycznych kamer na podczerwień oraz 3 LED-ów na podczerwień, urządzenie jest w stanie obserwować półkolistą przestrzeń w dystansie do około 1 metra. Oświetlacze LED generują światło IR bez konkretnego wzoru a kamery śledzą ruch z prędkością 200 klatek na sekundę. Dane te przesyłane są przez USB do komputera, na którym zainstalowany jest serwer Leap Motion, gdzie następnie dane są analizowane przez oprogramowanie używając skomplikowanej matematyki w sposób, którego firma nie ujawnia publicznie. W pewien sposób czujnik wytwarza dane 3D na podstawie danych pozycyjnych otrzymywanych z porównania dwóch sąsiadujących obrazków. W 2013 roku badania wykazały, że ogólna dokładność śledzenia jest osiągalna aż do 0,7 mm dokładności.

Mniejsza powierzchnia obserwacji oraz większa rozdzielczość szczegółów pokazuje różnice tego produktu od bardziej popularnego Kinecta, który ma swoje zastosowanie w śledzeniu całego ciała w przestrzeni bardziej zbliżonej do salonu. W demonstracji do CNET, kontroler został użyty w celu nawigowania stroną internetową przy użyciu gestów rozszerzania i zwężania placów w celu zbliżania i zmniejszania oddalenia mapy, wysoce precyzyjnego rysowania w przestrzeni oraz manipulowaniem skomplikowaną wizualizacją 3D. Leap Motion początkowo zostało rozdystrybuowane w tysiącach sztuk do deweloperów, którzy byli zaangażowani w tworzeniu aplikacji na to urządzenie poraz pierwszy w 2013 roku. W 2016 roku została wypuszczona duża poprawka zmieniająca sposób w jaki dłoń jest śledzona.

5.2.7. Kinect v2

<https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

KINECT™

Kinect (nazwa projektowa Project Natal w trakcie developmentu) jest linią sensorów ruchu produkowanych przez Microsoft. Początkowo Kinect był stworzony jako urządzenie sprzedawane jako akcesorium do konsoli gier Xboxa 360 oraz Xboxa One oraz do systemu Microsoft Windows PC.

Opierający się na wyglądzie podobnym do kamery internetowej dodatek pozwala użytkownikom na kontrolę oraz interakcję z ich konsolami oraz komputerami bez potrzeby sięgania po kontroler fizyczny, pada, poprzez naturalne menu użytkownika przy użyciu gestów dłoni oraz ciała, a także komend wypowiedzianych.

Kinect związany z grami komputerowymi nie zyskał wielkiego uznania i po pewnym czasie został wycofany ze sprzedaży, natomiast niezależni developerzy oraz jednostki badawcze znalazły wiele różnych zastosowań nie związanych z grami komputerowymi dla Kinecta, dzięki wykorzystaniu zaawansowanych funkcjonalności otrzymywanej w dość niskiej cenie w porównaniu z konkurencją.

Zmieniając zastosowanie urządzenia w bardziej zaawansowanych przypadkach możliwe jest wykorzystanie sieci neuronowych oraz platformy Azure for Windows do wytwarzania innowacyjnego oprogramowania.

Zaktualizowana wersja Kinecta, która została wypuszczona na rynek w listopadzie 2013 roku na potrzeby Xboxa One. Używa lepszej kamery z szerszym obiektywem, który przetwarza wewnętrznie 2 gigabajty danych na sekundę, aby móc na bieżąco badać środowisko w którym się znajduje.

Nowy Kinect v2 posiada dużo większą dokładność wraz z 3 krotnie większą powierzchnią śledzenia niż poprzednik i potrafi śledzić bez użycia światła widzialnego poprzez wykorzystanie w sensorze LED-ów na podczerwień.

Dzięki posiadaniu 60% szerszego pola widzenia możliwa jest detekcja użytkownika już z odległości 1 m od sensora porównując do 2 m w starszym sensorze. Kolejną nowością jest możliwość śledzenia aż do 6 osób jednocześnie.

Urządzenie jest w stanie również badać bicie serca użytkownika, gesty twarzy oraz pozycję i rotację 25 punktów szkieletu całego ciała z wyliczeniem kciuków. Urządzenie jest też w stanie badać jak duża jest dystrybucja ciała pomiędzy jego lewą i prawą stroną, szybkość ruchu postaci oraz śledzić gesty dłoni.

Kamera koloru nagrywa w 1080p i może być wyświetlana jednocześnie w takiej samej rozdzielczości jak dane na temat głębi sensora. Co zwiększa elastyczność wykorzystania sensora. W dodatku do usprawnionej wideo komunikacji z komputerem oraz wideo

analizy aplikacji została poprawiona analiza szkieletu na potrzeby interaktywnych aplikacji.

Mikrofony wbudowane w Kinecta są stosowane do używania komputera z komendami głosowymi w celu wykonywania akcji takich jak nawigacja, rozpoczęcie gier, budzenie konsoli z trybu uśpienia. Rekomendowana wysokość użytkownika to minimum 40 cali co w przybliżeniu pozwala na użytkowanie przez dzieci od 4,5 roku życia.

5.2.8. Sony Move

https://en.wikipedia.org/wiki/PlayStation_Move







Urządzenie korzysta tak jak kontrolery Playstation 3 z łączności bluetooth 2.0 i posiada wbudowaną baterię litowo-jonową, ładowaną poprzez USB mini-B. Na konsoli PS3 maksymalnie 4 kontrolery mogą być użytkowane jednocześnie. Głównym komponentem zawierającym się w skład Playstation Move jest Motion Controller w postaci owalnego kontrolera, który umożliwia użytkownikowi na interakcję z konsolą poprzez ruch i pozycję przed kamera PlayStation Camera.

Funkcjonalność urządzenia zbliżona jest do Wii Remote. *Motion controller* ma na sobie zamontowaną kulę na samym szczycie kontrolera, która może świecić na dowolny kolor z przestrzeni barw RGB.

Na podstawie oświetlenia otoczenia system sam dobiera odpowiedni kolor kuli który będzie możliwie jak najbardziej odpowiedni dla danego otoczenia. Kolorowe światło służy za marker pozwalający kamerze na odczyt pozycji kontrolera. Kształt emitera światła pozwala również w prosty sposób na zdeterminowanie odległości od kamery z wysoką precyzją.

Rozwiązanie to jest znacznie szybsze od kamery dostarczanej przez playstation bez wykorzystania kontrolera. Dodatkowo kontroler posiada wbudowany 3 kierunkowy żyroskop do sprawdzania rotacji oraz akcelerometr do mierzenia przyspieszenia ruchu. Dodatkowy magnetometr jest używany przy dokładnej kalibracji wysokości na której znajdują się kontrolery. Dodatkowo wbudowany czujnik temperatury pozwala na korygowanie odczytów wraz ze wzrostem temperatury urządzenia. Dane z żyroskopu i akcelerometru mogą być również wykorzystywane dodawania danych w momencie gdy kontroler nie ma kontaktu wzrokowego z kamerą.

Kontroler tak jak kontroler od ps3 posiada wbudowane 4 przyciski (, , , ) , oraz przyciski *select*, *start* po bokach i analogowy *trigger* pod spodem. Kontroler posiada wbudowane wibracje a sterowanie światłem kuli kontrolera pozwala na dołożenie dodatkowych bodźców z perspektywy użytkownika.

5.2.9. Wii Remote

https://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote

Wii Remote jest urządzeniem, które potrafi wyczuwać przyspieszenie wzdłuż trzech osi poprzez użycie akcelerometru ASXL330. Wii Remote posiada PixArt optyczny sensor, który pozwala nam ustalić w którą stronę czujnik celuje.

Działanie czujnika polega na wyczuwaniu światła z paska diod na podczerwień, montowanych zazwyczaj poniżej ekranu którym sterujemy - pozwala to na używanie czujnika z bardzo dobrym stałym odczytem, nie zakłóconym przez światło pochodzące od ekranu, pod którym montowany jest pasek diod na podczerwień.

Pasek diod ma 20 cm szerokości i posiada wbudowane 10 diod na podczerwień, po pięć na każdym z końców paska. Diody im bardziej są położone dalej od środka, tym bardziej kierują do zewnątrz, diody bliżej środka skierowane są w stronę środka, pozostałe diody skierowane są na wprost. Przewód sensora jest długości 252 cm. Pasek diod może umiejscowiony być zarówno pod ekranem jak i nad nim. Skierowany równoległe z płaszczyzną ekranu.

Czujnik w trakcie użytkowania powinien być skierowany w stronę paska diod, nie jest wymagane precyzyjne wskazywanie w stronę paska wystarczy, że Wii Remote skierowane jest w kierunku paska i zawiera się w obrębie ograniczonego kąta widzenia przez kontroler.

Wii remote może być używane do 5 m od paska diod podczerwonych. Rozpoznawanie pozycji odbywa się na podstawie wychwytywania przez kontroler światła wysyłanego przez pasek diod podczerwonych, który kontroler widzi jako dwa jasne punkty na podstawie których, dzięki odpowiedniej matematyce, jest w stanie zdeterminować kierunek wskazywania kontrolera oraz jego odległość. Dane te przeliczane są przez procesor wbudowany w kontroler i przesyłane do konsoli za pomocą komunikacji bezprzewodowej.

Do prawidłowego funkcjonowania kontrolera potrzebna jest ciągła widoczność kontrolera z paskiem podczerwonym. W przypadku zakrycia kontrolera wysyła on sygnał z informacją na temat problemu z wykrywaniem pozycji sensora. Kontroler pozwala na używanie w aplikacji w formie bezprzewodowej myszki sterowanej przez ruch pilotem skierowanym w stronę ekranu. Dzięki odpowiedniej kalibracji jesteśmy w stanie kierować kontroler wprost w ekran na którym mamy wyświetlane nasze interaktywne animacje. W celu odpięcia paska diod podczerwonych do komputera należy używać nie oryginalnego paska pochodzącego od innych wydawców niż Nintendo.



5.2.10. The Capture Live

<http://thecapture.com/capture-live/>



Capture Live jest systemem do przechwytywania ludzkiego ruchu w czasie rzeczywistym. Jest to pełny system zawierający komputer PC, kamery wideo, urządzenia sieciowe oraz płytke kalibracyjną. Pozwala na śledzenie ruchu w 120 klatkach na sekundę oraz nagrywanie wideo w 240 klatkach na sekundę. System pozwala na użycie do 24 kamer oraz śledzenie do 3 aktorów jednocześnie.

Możliwe jest też przekazywanie danych w czasie rzeczywistym do programów takich jak Unity, Unreal Engine 4, Motion Builder oraz własnych aplikacji z użyciem stworzonego na potrzeby systemu sieciowego protokołu bądź też używanie standardowych protokołów takich jak VRPN, OSVR, OSC, ROS. Rozszerzyć funkcjonalność możemy poprzez dodawanie własnych *pluginów*. Eksportowanie nagranych ruchu można realizować poprzez formaty: video takie jak AVI oraz danych na temat ruchu w postaci formatu FBX, BVH, CSV.

Zmierzone dane na temat ruchu można zapisywać dla dalszej obróbki by móc wyciągnąć dane na temat przykładowo pacjentów i problemów z ruchem w czasie rzeczywistym. Przygotowywanie aktora do sesji *motion capture* może zająć dość dużo czasu w przypadku użycia systemu bazującego na markerach lub gdy postać jest śledzona na podstawie kamer wizyjnych.

Podjęcie do używania kalibracji dla każdego aktora może skrócić znacznie czas przygotowywania aktora do sesji *motion capture*. Używanie systemów opartych na markerach może również wydłużać się ze względu na potrzebę idealnej kalibracji między sesjami *motion capture*. Technologia Capture Live nie ma tego typu problemów.

Śledzenie nowej postaci może rozpocząć się od razu oraz spersonalizowany model śledzenia jest ustalany w przeciągu 20 sekund od momentu gdy aktor wchodzi w obszar śledzenia systemu. Biomechaniczne wyniki mogą być bardziej stałe między sesjami z technologią Capture Live ponieważ nie występuje przesunięcie punktu startowego tak jak może mieć to miejsce w systemach opartych na markerach.

Dzięki The Capture można monitorować wydajność atletów. Można sczytywać dane z graczy uczestniczących w rozgrywkach drużynowych. Atleci nie posiadają żadnego dyskomfortu związanego z potrzebą zakładania markerów systemów *motion capture*. System jest idealnym rozwiązaniem w przypadku gdy istnieje zapotrzebowanie na niewidzialny system *motion capture*.

5.2.11. Dynamixyz

<http://www.dynamixyz.com/performer-single-view/>



Bez markerowy system do śledzenia *motion capture* twarzy. Nieobrobiona surowa animacja oraz unikalne techniki animacji w czasie rzeczywistym to główne atuty systemu.

Oprogramowanie dołączane do rozwiązania w odróżnieniu od tradycyjnych rozwiązań opartych o markery, które pobierają dane tylko o ograniczonej liczby punktów markerów, Dynamixyz wykorzystuje wszystkie dane z przechwytywanego obrazu ruchu całej twarzy.

Każdy piksel obrazu twarzy jest używany jako informacje wejściowe. Oprogramowanie działa w czasie rzeczywistym, dostarczając wysokiej jakości animację czasu rzeczywistego dzięki najlepszemu na rynku modułowi do śledzenia *motion capture* twarzy.

Całe urządzenie jest skonstruowane w ten sposób by mogło w wygodny sposób być dopasowywane do twarzy dowolnego użytkownika. Urządzenie może być wykorzystywane jednocześnie przez nielimitowaną liczbę osób.

Po przejściu przez podstawowy proces kalibracji kamery, przestrzeni ruchu oraz stworzenia profilu użytkownika przechwytywanie ruchu zaczyna być kompletnie automatyczne.

Bardzo elastyczny *workflow* produkcji pozwala na proste przełączanie się pomiędzy produkcją nagrywaną a produkcją w czasie rzeczywistym.

Wszelkie *motion capture* wykonane w czasie rzeczywistym może zostać nagrane i wykorzystane ponownie w celu lepszej i dokładniejszej analizy danych.

Czas ustawienia urządzenia wynosi około jednej minuty, w ciągu dnia, na jednego aktora dzięki wykorzystaniu protokołu "Red Ghost".

Interfejs oprogramowania jest bardzo przyjazny użytkownikowi i pozwala w łatwy sposób na kontrolę nad animacją.

Produkcja w czasie rzeczywistym posiada również bardzo prosty *workflow* dzięki czemu skutkuje to w bardzo dobrej jakości przekazywanych danych na żywo.

5.2.12. Faceware

<https://www.facewaretech.com/software/live>



Faceware - jest to system do śledzenia twarzy oraz oprogramowanie do modyfikowania animacji. Funkcjonalność systemu Live 2.5 to między innymi szybka kalibracja w ciągu jednej sekundy.

Wszelkie dane przekazywane są w czasie rzeczywistym. Live 2.5 jest idealnym rozwiązaniem momencie gdy wymagany jest system, który można zamontować szybko i włączyć, albo żeby dało się go przekalibrować szybko.

Live 2.5 jest zbudowany na podstawie zaawansowanej technologii rozpoznawania twarzy, korzystającej z milionów obrazów twarzy i dzięki technologii nauczania maszynowego jest możliwe bezpośrednio śledzenie twarzy z dowolnego wideo. Dla dodatkowego poziomu dokładności przeprowadzana jest 1 sekundowa kalibracja pod twarz, która będzie używana do techniki *motion capture*.

Dzięki przesyłaniu danych w czasie rzeczywistym użytkownik systemu może wchodzić w interakcję na żywo, w dowolny sposób poprzez *live streaming* na YouTube, Facebooku bądź gdziekolwiek *online*, na ewencie lub konferencji. Z Live można stworzyć postaci wchodzące w interakcję w czasie rzeczywistym tworząc niewidziane nigdy wcześniej doświadczenia.

Przesyłanie śledzonych twarzy możliwe jest dla więcej niż jednej postaci bez wbudowanych limitów. Można stworzyć system, w którym wiele postaci wchodzi w interakcję ze sobą, wyświetlając na żywo twarze jako ich wirtualne reprezentacje w trakcie wystąpienia w teatrze czy studiu.

Przesyłanie danych możliwe jest w czasie rzeczywistym do programów Unreal Engine 4, Unity oraz MotionBuilder.

Program live automatycznie na podstawie *video live* przesyła dane animacyjne *motion capture* do dowolnego środowiska do animacji na żywo jakie zostanie wybrane.

Live robi wiele rzeczy bardzo dobrze w szczególności jeżeli chodzi o *motion capture* twarzy w czasie rzeczywistym dzięki zastosowaniu przewagi autorskiej technologii Motion Logic, dzięki której w środowiskach takich jak Unreal Engine 4, Unity oraz Motion Builder jesteśmy w stanie uzyskać najlepsze na rynku rezultaty w dziedzinie śledzenia *motion capture* twarzy na żywo.

5.2.13. Reallusion

<https://mocap.reallusion.com/iClone-faceware-mocap/>



Reallusion we współpracy z Faceware udostępnia iClone 7 możliwość osiągnięcia *motion capture* twarzy w czasie rzeczywistym oraz nagrywanie i obróbkę tych danych. Rozwiązanie dzięki swojemu niewielkiemu kosztowi wzmocni pozycję niezależnych deweloperów oraz małych studiów nagraniowych dzięki dostępowi do narzędzi przechwytywania *motion capture* twarzy, które są szybkie, dokładne oraz nie wymagają od użytkownika używania żadnego rodzaju markerów/znaczników i to przy użyciu już najzwyklejszej komputerowej kamery internetowej.

Oprogramowanie to prezentuje sobą profesjonalnej jakości śledzenie twarzy na żywo, przekazywane użytkownikom w prosty i oszczędny w zasobach sposób, a zarazem nie idąc na kompromisy w odniesieniu do systemu *motion capture*. System pozwala na używanie nagrań z kamery w czasie rzeczywistym bądź też przetwarzanie wcześniej przygotowanego nagrania, dzięki czemu jesteśmy w stanie w naturalny sposób sterować ludzką twarzą stworzona komputerowo oddając możliwie dokładnie mimikę twarzy oraz ruchy całej głowy.

Źródła przechwytywania nagrań na żywo: kamera PC, GoPro lub też profesjonalne kamery HD do przechwytywania na żywo animacji twarzy. Dzięki *Image sequencerowi* jesteśmy w stanie przekształcić dowolne wideo w dane na temat *motion capture* twarzy. Program jest obsługuje większość popularnych formatów wideo. Polecane rozwiązania to Logitech Brio Ultra HD 60 fps oraz Logitech HD Pro C920, 30 fps.

Możliwe są dwa rodzaje śledzenia mimiki - jedno poprzez zamontowanie *rigu* kamerowego do głowy aktora, druga opcja to występ na żywo przed kamerą na statywie.

5.2.14. HTC VIVE TRACKER

<https://developer.vive.com/us/vive-tracker-for-developer/>



HTC VIVE TRACKER jest rozszerzeniem kontrolerów. VIVE Trackery sprawiają, że w prostszy sposób można zaprojektować alternatywne kontrolery takie jak pistolety, rękawiczki, wirtualne kamery i wiele innych.

Niekończące się możliwości łatwo montowanych znaczników dzięki standardowemu mocowaniu na śrubę jak do statywów kamerowych i aparatów VIVE TRACKER otwiera nieskończone kreatywne zastosowania dla nowych oraz istniejących urządzeń dodatkowych.

Nagrania rzeczywistości rozszerzonej są możliwe w prosty sposób dzięki mocowaniu VIVE TRACKERÓW na kamerze. Nagrywanie rozszerzonej rzeczywistości wymaga dodatkowego oprogramowania do edytowania oraz osobno specjalnie zbudowanego oprogramowania/gry na potrzeby wirtualnej rzeczywistości.

Najnowsze trackery mają wsparcie dla SteamVR BS1.0 oraz BS2.0, posiadają znacznik LED oraz ładowane są przez Micro-USB, mocowanie stosowane to ¼ cala UNC gwintowane (standardowe mocowanie do statywów).

5.2.15. Perception Neuron

<https://neuronmocap.com>



Perception Neuron MOCAP system jest to system oparty na indywidualnych sensorach nazywanych neuronami. Każdy z nich jest nie większy niż moneta i waży trochę powyżej 1 grama. Neuron przetrzymuje wewnętrzny moduł wewnętrznych pomiarów IMU, który posiada wbudowany żyroskop, akcelerometr i magnetometr. Innowacyjnością zawartą w naszym systemie MOCAP jest to, że każdy Neuron jest wymienny i może być umiejscowiony w dowolnie wybranym punkcie w którym akurat jest wymagany tworząc w ten sposób niekończącą się listę kombinacji mocowania sensorów. Od przechwytywania ruchu ramienia po przechwytywanie ruchu palca u dłoni aż po kinematykę całego ciała.

Perception Neuron dopasowuje się do potrzeb danego zagadnienia. Wystarczy umieścić Neurony, gdzie tylko są potrzebne i osiągnąć dzięki temu pożądaną szczegółowość danych wymaganych w danym projekcie. System jest w stanie śledzić od 3 do 32 neuronów i może funkcjonować bezprzewodowo z wykorzystaniem sieci WIFI lub też wbudowanej w system funkcjonalności nagrywania lub też przewodowo z wykorzystaniem złącza USB, dając możliwości, których inne systemy MOCAP nie były w stanie jednocześnie dostarczać.

Niezależnie czy system wykorzystywany jest przez deweloperów, graczy, twórców efektów specjalnych, badaczy czy też pionierów wirtualnej rzeczywistości, jest on stworzony aby dostarczyć profesjonalnych rezultatów bez potrzeby operowania skomplikowaną wiedzą jak używać programu. Jest to możliwe dzięki kilku właściwościom. Zaczynając od udostępniania podglądu na żywo, zarówno przewodowo jak i bezprzewodowo BVH. Poprzez możliwości eksportu do plików FBX jak i przesyłania surowych, nie obrobionych danych RAW z wykorzystaniem dedykowanego SDK z obsługą C/C++ API. Kończąc na integracji z silnikami Unity3D oraz Unreal Engine czy też wsparcie dla działania z goglami rzeczywistości wirtualnej Oculus Rift.

Cena dużo niższa w porównaniu do innych systemów *motion capture* posiadających mniejszą ilość możliwości niż Perception Neuron.

Perception Neuron dostarcza nową platformę, która jest dostępna dla małych studiów, startupów, studentów oraz instytucji naukowych, ale także otwiera nieskończone możliwości dla eksperymentowania oraz wytwarzania w realiach wirtualnej rzeczywistości czy też zastosowaniach powiązanych z internetem rzeczy, przybliża możliwość wykorzystania *motion capture* w środowisku niekomercyjnym.

Perception Neuron zawiera specjalny mechanizm zaczepiania *mount-and-snap*, który jest kluczowym komponentem ekosystemu Neuron Mocap.

Budowa taka pozwala na łatwą podmianę czujników oraz do łączenia i rozłączania w różnych konfiguracjach. Podsumowując Neuron Mocap Ecosystem tworzy nasze działania *motion capture* przyszłościowym, wygodnym i tanim w użytkowaniu rozwiązaniem.

5.2.16. RadarTouch

<https://www.solutions4av.com/en/produkty/radartouch-en/>



RadarTOUCH został zaprojektowany w celu użytkowania na potrzeby wielodotykowych aplikacji, które są przystosowane do znacznie większych powierzchni niż przeciętne monitory dotykowe. Główna jednostka systemu zawiera laser na podczerwień, który obracając się pokrywa wyznaczoną płaszczyznę równoległą do dotykanej przez nas medium.

Tak dwuwymiarowa przestrzeń pokryć może aż do 25 metrów od jednego czujnika, natomiast w celu zaadaptowania większej powierzchni można skorzystać z zamontowania więcej niż jednego radaru z wykorzystaniem oprogramowania radar STITCHER. Innym rozszerzeniem również dostępnym jest RadarTRACK, który pozwala naszemu radarowi na określenie pozycji aż do 4 osób. Wraz z RadarTOUCHem możemy przekształcić dowolny ekran, powierzchnię czy też przestrzeń w wielo dotykowy ekran.

Dowolna projekcja frontowa czy tylna, plasma, LCD oraz ściany LEDowe mogą zostać przekształcone w interaktywne media używając RadarTOUCH. Poza podstawowymi możliwościami jedno i dwu dotyku możliwe jest też wywoływanie gestów powiązanych z obsługą wielodotyku przez wielu użytkowników na raz, pozwalając wielu użytkownikom na interakcję z jedną i tą samą aplikacją. Każdy z RadarTOUCHów urządzeń może stworzyć interaktywną przestrzeń aż do 50 metrów szerokości a jeżeli potrzeba można połączyć więcej niż jedno urządzenie by pokryć większą przestrzeń.

RadarTOUCH dostarcza standardowy *interfejs* emulacji myszki wraz z zastosowaniem protokołów takich jak TUIO (2Dcur). Dla innych *interfejsów* RadarTOUCH jest możliwy do dostosowania na życzenie. Kluczowe cechy zastosowania to: ogromna przestrzeń dotykowa, sprzęt na którego działaniu można polegać oraz zintegrowane testowe oprogramowanie.

Optyczne możliwości urządzenia to około 25 m od urządzenia, co przekłada się na półokrąg o średnicy 50 m, maksymalny kąt widzenia to 190°, a rozdzielczość dotyku zmienia się co każde 0.36°. Dane odczytywane są 25 razy na sekundę w odstępach 40 ms. Urządzenie korzysta z lasera na podczerwień klasy 1 (EN 60825), długości fali = 905 nm, Pmax = 15 W oraz długości pulsu 3 ns i średniej mocy 12 µW.

5.2.17. RealSense

<https://www.intelrealsense.com/tracking-camera-t265/>



Intel® RealSense™ kamera śledząca T265 dzięki małym rozmiarom oraz niskiemu poborowi mocy T265 została zaprojektowana z myślą aby dać konsumentowi możliwości śledzenia których potrzebuje prosto po wyjęciu i podpięciu urządzenia do komputera bez jakiegokolwiek kalibracji.

Międzyplatformowa oraz przyjazna dla deweloperów platforma pozwala na jednoczesną lokalizację oraz *mapping* wszystkich zastosowań związanych z prototypowaniem, dronami, rozszerzoną rzeczywistością czy też robotyce.

SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) czyli jednoczesny system lokalizacji oraz mapowania jest problemem obliczeniowym poruszającym temat tego jak urządzenie jest skonstruowane do odświeżania informacji na temat niezidentyfikowanego środowiska jednocześnie utrzymując możliwości śledzenia jego własnej lokalizacji w tym środowisku.

Zanim GPS został wprowadzony do powszechnego użytku, żeglarze mogli nawigować za pomocą gwiazd, używając ich ruchu oraz pozycji w celu trafnego odnajdywania ich drogi poprzez oceany.

V-SLAM korzysta z kombinacji kamer oraz wewnętrznego opomiarowania IMU do nawigowania w bardzo podobny sposób korzystając z wizualnych funkcjonalności w środowisku do śledzenie przebytej drogi w okolicy nawet w nieznannej przestrzeni z dużą dokładnością.

The Intel® RealSense™, kamera do śledzenia T265 posiada dwa obiektywy szerokokątne typu rybie oko oraz IMU i technologię Intel® Movidius™ Myriad™ 2 VPU. Wszystkie z algorytmów V-SLAM są przeliczane bezpośrednio po stronie urządzenia VPU pozwalając na zminimalizowania opóźnienia oraz poboru mocy.

T265 był wielokrotnie testowany i oceniany pod kątem wydajności, dostarczając poniżej 1% przesunięcia w zamkniętej pętli poruszania się.

Czujnik oferuje również poniżej 6 ms opóźnienie pomiędzy ruchem a odzwierciedleniem tego ruchu w postaci pozy szkieletu. Taka prędkość jest wystarczająco szybka do nawet bardzo wymagających aplikacji potrzebujących śledzenia natychmiastowego.

Może z powodzeniem być użytkowane w bardzo wrażliwych instalacjach takich jak rozszerzona rzeczywistość czy google wirtualnej rzeczywistości.

5.2.18. Rokoko Smart Suit Pro

<https://www.rokoko.com/en/products/smartsuit-pro>



Rokoko Smart Suit Pro to zintegrowane środowisko *motion capture* w formie jednego stroju bez zastosowania jakichkolwiek znaczników. Podejście takie pozwala twórcom na przekształcenie dowolnej przestrzeni w profesjonalną scenę *motion capture*. Od momentu założenia stroju do zakończenia kalibracji mija zaledwie minuta. Strój jest kompletnie intuicyjny zarówno w użytkowaniu jak i kalibracji. Strój zakładany jest jak zupełnie jak zwykłe ubrania.

Po założeniu otwieramy oprogramowanie, kalibrujemy system poprzez specjalną pozę i już jesteśmy gotowi do przechwytywania danych o ruchu w mniej niż wspomnianą już minutę.

Strój jak na realia *motion capture* jest rozwiązaniem na które stać każde studio, gdyż cena stroju jest zbliżona do ceny oprogramowania do grafiki 3D. Smart Suit Pro posiada zasięg aż do 100m i nie wymaga żadnych dodatkowych elementów. Strój pozwala w prosty sposób na przechwytywanie ruchu w dowolnym miejscu.

Dane techniczne:

Sensors - 9 - DoF Inertial Measurement Unit, wymiary: 9 x 30 x 50 mm (W, SZ, D).

Przewody - specjalny kabel do połączenia wszystkich sensorów z główną jednostką komunikującą się z komputerem (hub).

Hub - WiFi oraz komunikacja USB 2.0, wbudowana pamięć, inteligentny przycisk do obsługi jednoosobowej systemu, wymiary: 16 x 60 x 100 mm (W, SZ, D).

WiFi zasięg - aż do 100 m bezprzewodowego zasięgu w zależności od punktu dostępowego WiFi, wsparcie dla sieci zarówno 2.4 Ghz jak i 5 Ghz.

Przesył danych w czasie rzeczywistym - nawet do 100 klatek na sekundę.

Bateria - 6 godzin czasu operacyjnego przy zastosowaniu baterii o pojemności 5000 mAh.

Strój materiałowy - wykonany jest ze specjalnego materiału bardzo wytrzymałego, na bazie nylonu. Dodatkowe paski pozwalające na lepsze dopasowanie stroju do aktorów różnego rozmiaru. Strój posiada specjalnie wbudowane kieszenie i tunele w celu ochrony wszystkich elektronicznych części stroju. Strój nie krępuje ruchu, jest bardzo wygodny i możliwy w zakupie w 4 rozmiarach S, M, L oraz XL.

Oprogramowanie wymagane do użytkowania Windowsa 10 lub MacOS X, pozwala na wizualizację danych w czasie rzeczywistym, nagrywanie i eksportowanie wynikowej animacji ruchu w formatach FBX oraz BVH.

Zawiera narzędzia diagnostyczne do kontroli w trakcie użytkowania, możliwe jest śledzenie maksymalnie 5 aktorów jednocześnie. Zestaw składa się z 19 sensorów, 19 przewodów połączeniowych, jednego przewodu zasilającego, jednego hub-a, jednego stroju materiałowego, jednej powłoki wodoodpornej.

Oprogramowanie wspiera natywnie pluginy do Unity 5, Unreal Engine 4 oraz MotionBuilder.

5.2.19. Shadow

<https://www.motionshadow.com>



Shadow jest to strój do wykorzystania w technice *motion capture* - działa bezprzewodowo i jest prosty w użyciu w dowolnym miejscu. Wystarczy założyć strój i skalibrować co nie zajmuje więcej niż 10 minut. Shadow® jest wysokiej jakości prostym narzędziem do przetwarzania profesjonalnych danych na temat motion capture.

Strój daje możliwość przesyłania i podglądu precyzyjnych danych na temat ludzi w ruchu na żywo, dając dużą swobodę co do przestrzeni w której odczytywany jest ruch. Dane przesyłane są za pomocą sieci WiFi.

Strój posiada również wbudowaną pamięć dzięki której można mieć nielimitowaną przestrzeń przechwytywania ruchu który potem można odtworzyć w studiu.

Do użytkowania poza studiem nie wymaga użycia komputera, ponieważ jest możliwe sterowanie za pomocą telefonu komórkowego lub też tabletu.

Jakość wykonania całego systemu jest bardzo wysoka przez co możliwe jest używanie stroju nawet w ciężkich warunkach.

System działa pod wszystkimi platformami Windows, MacOS X, Linux oraz posiada aplikacje dedykowane systemom iOS i Android.

Oprogramowanie jest bardzo intuicyjne i posiada wbudowaną komunikację na żywo z najbardziej popularnymi oprogramowaniami 3D na rynku raz silnikami gier.

5.2.20. Nansense Suit

<https://www.nansense.com>



Nansense Suit R2 jest to drugiej generacji strój powstały na bazie popularnego rozwiązania R1 z użyciem najnowszych i najlepszych sensorów IMU. Nowe sensory posiadają lepszą wydajność odczytu pola magnetycznego, zużywają mniej energii oraz mają znacznie dokładniejsze możliwości śledzenia odczytów ruchu.

Sieć sensorów rozłożonych na ciele może używać aż do 54 czujników połączonych ze sobą w oprogramowaniu dając możliwość śledzenia nie tylko sylwetki ale również i ruchu palców u dłoni i stóp.

R2 zawiera również ulepszone oprogramowanie, które korzysta z przebudowanego *solvera* FK/IK, nowy silniki fizyki, lepsze wsparcie dla integracji z oprogramowaniami innych firm jako narzędzie do edycji. Strój posiada wiele nowoczesnych rozwiązań, które są unikatowe dla stroju i dają możliwości których nie dają inni twórcy strojów *motion capture*.

Nowy wygląd i design stroju całkowicie czarny sprawia iż strój jest znacznie łatwiejszy w zakładaniu i zdejmowaniu oraz praniu, została też wzmocniona jego wytrzymałość oraz jest lepiej wykonany pod kątem możliwości rozmieszczenia czujników *motion capture*.

Nansense oprogramowanie jest stworzone, aby wspomagać chaos towarzyszący tradycyjnym technikom nagraniowym *motion capture* i wypuszczać szybko i efektywnie czyste nagrania danych o ruchu gotowych w prosty sposób na podpięcie do finalnego modelu 3D.

Dzięki modularnej budowie stroju mamy możliwość na dowolną konfigurację górnej części ciała, całego ciała oraz danych pochodzących z rękawiczek które każde z nich może zostać dostosowane z odpowiednią ilością sensorów.

Dzięki niewygórowanej cenie odbiorca zostają zarówno profesjonalni odbiorcy jaki i mniejsi klienci, dzięki czemu możliwe jest przez małe studia na wprowadzenie wysoce dokładnego systemu *motion capture* w codziennej pracy.

Dane przechwytywane ze stroju mogą być przesyłane jako pakiety do wielu znanych programów służących do animacji postaci, silników gier komputerowych, oprogramowania medycznego do analizy ruchu poprzez odpowiednie wtyczki.

Cały system jest zbudowany w taki sposób aby był jak najbardziej przyjazny użytkownikowi mając za zadanie działać jak urządzenia typu *plug-and-play*, dzięki czemu do użytkowania stroju nie jest wymagana żadna specjalistyczna wiedza. Oprogramowanie jest gotowe do integracji z dowolnymi programami dzięki komunikacji OSC.

Zastosowanie maksymalnie 54 czujników na całym ciele czyni Nansense Suit najbardziej rozbudowanym na rynku. Rękawiczki dostarczają najlepszy w swojej klasie system do śledzenia ruchu palców na potrzeby animacji dłoni z wykorzystaniem wysokiej

dokładności danych. Sensory wbudowane w dłoń posiadają poaz IMU również czujniki nacisku.

6. Systemy projekcyjne

6.1. Wstęp

Zarówno przy budowie prototypu w warunkach laboratoryjnych jak i do zbudowania prototypu w warunkach docelowych będziemy potrzebowali rozszerzonej wiedzy z dziedziny doboru odpowiednich urządzeń projekcyjnych.

Naszym celem będzie zdeterminowanym możliwie jak najlepszych rozwiązań pozwalających na przygotowanie zarówno laboratorium do testów jak i docelowych systemów wdrożeniowych mając za cel dostarczenie jak najlepszych rozwiązań biorących pod uwagę zarówno jakość projekcji i wygodę montażu jak i koszt zakupu.

Systemy projekcyjne możemy podzielić na rozwiązania stosowane na potrzeby biznesowe oraz takie, które mają zastosowania jako rozwiązania domowe. W ramach prowadzonych badań oraz na cele naszej pracowni laboratoryjnej zostaną dobrane odpowiednie rozwiązania małej skali które pozwolą nam na przeprowadzenie testów w laboratorium oraz przygotowanie testów na potrzeby warunków wdrożeniowych powstającego prototypu.

W celu dobrania odpowiedniego systemu projekcyjnego należy zwrócić uwagę na kilka kluczowych czynników, które definiują parametry każdego z systemów projekcyjnych. Są to kolejno rozdzielczość, jasność, kontrast, odległość rzutu, proporcje ekranu. Warto też zwrócić również uwagę na parametry takie jak możliwości instalacyjne oraz koszt zakupu oraz serwisu.

Istnieje duża baza rozwiązań systemów projekcyjnych z których każda konfiguracja daje unikatowe plusy oraz minusy każdego z nich. Nie istnieją systemy idealne pod każdą powierzchnię i zastosowanie tylko z użyciem odpowiedniej wiedzy jesteśmy w stanie zidentyfikować odpowiednie rozwiązania sprzętowe.

W celu zidentyfikowania odpowiedniego rozwiązania należy zidentyfikować kryteria wg. których możliwe jest dopasowanie odpowiedniego systemu oraz ewentualne zidentyfikowanie ograniczeń, które narzucać może środowisko w którym przeprowadzana będzie projekcja.

W celu zidentyfikowania kryteriów postaramy sobie odpowiedzieć na kilka kluczowych pytań zarówno pod kątem wdrożeniowym jak i pod kątem laboratoryjnym:

- Jakie interesują nas proporcje ekranu?
- Jaka rozdzielczość będzie najlepsza?
- Jakiej jasności powinna być projekcja?
- Jak dużego kontrastu potrzebujemy?
- Jakie ograniczenia wyznacza środowisko wdrożeniowe?
- Jak duży jest koszt zakupu systemu?
- Jaka powinna być odległość rzutu?

W celu odpowiedzi na powyższe pytania będziemy sięgać do baz projektorów dostępnych na rynku, które zawierają odpowiednie kalkulatory pozwalające na odpowiednie sprawdzenie kalkulacji dotyczących docelowej projekcji.

6.2. Kontrast

6.2.1. Czym jest kontrast?

Kontrast jest to różnica w jasności między najjaśniejszą częścią ekranu a jej najciemniejszą partią. Im większą mamy różnicę w rozpiętości, tym wyższy osiągamy kontrast. W celu dostarczenia odpowiednich wrażeń wizualnych potrzebujemy mocnego kontrastu, który powoduje uwydatnienie poszczególnych elementów naszej projekcji, dzięki całość wyda się bardziej interesujące dla oka obserwującego. Kontrast jest parametrem, który rozdziela między sobą projektory o zastosowaniu i jakości kinowej od tych których zastosowanie jest bardziej skoncentrowane biznesowo.

Wrażenia kinowe stawiają na jak największy kontrast w barwach, natomiast rozwiązania biznesowe często rezygnują z wysokiego kontrastu na rzecz innych parametrów, takich jak wysoka jasność, która może powodować spadek kontrastu poprzez globalne rozjaśnienie obrazu, co ma wpływ na utratę bogatych czerni. Idealny jakościowo obraz dąży do osiągnięcia głębokiej czerni, która w idealnych warunkach byłaby po prostu brakiem jakiegokolwiek światła i miała dużą rozpiętość w detalach, które znajdują się w cieniach wyświetlanego obrazu. Kontrast można opisać również jako esencję głębi koloru dzięki czemu obrazy dwuwymiarowe wydają się jakby otrzymywały trójwymiar.

6.2.2. Poziomy kontrastu

Poziomy kontrastu mogą być zapisane w dwa sposoby w specyfikacji projektów. Jeżeli wziąć pod uwagę samą wartość kontrastu, to jest to tak zwany kontrast *on/off*, który mierzony jest poprzez wyświetlenie najbliższej możliwej bieli oraz najciemniejszej możliwej czerni które dany projektor jest w stanie wyświetlić w idealnym punkcie ekranu. Innym rodzajem kontrastu jest tzw. ANSI, kontrast którego wynik jest mierzony poprzez wyświetlanie odpowiedniego wzoru szachownicy i następuje próba zmierzenia jasności poszczególnych bloków i porównanie ich relatywnej różnicy w momencie, gdy są jednocześnie wyświetlone na jednym obrazie. Tak powstająca wartość jest najczęściej znacznie niższa od zmierzonej maksymalnej i minimalnej jasności całego ekranu, ale obrazuje ona nam lepiej możliwości i jakość projekcji. Producenci często operują pojęciem kontrastu *on/off* który z racji na swoją większą wartość jest bardziej atrakcyjny.

6.2.3. Dynamiczna przysłona

Dynamiczna przysłona pozwala w niektórych projektorach na lepsze odwzorowanie wyświetlanego obrazu, poprzez otwieranie bądź zamykanie przysłony w zależności od wyświetlanego obrazu. Im całościowy ekran jest jaśniejszy, tym przysłona się bardziej otwiera, dzięki czemu otrzymujemy jaśniejszy i wyraźniejszy obraz. Natomiast kiedy w naszym obrazie przeważają kolory ciemne i szarości przysłona się zamyka pogłębiając

naszą rozpiętość tonalną w ciemnych sekcjach obrazu. Producenci podają swoją rozpiętość *on/off* z uwzględnieniem maksymalnie zamkniętej przesłony i ciemnego obraz z maksymalnie otwartą przesłoną i białym obrazem.

6.2.4. Wysoki kontrast

W celu osiągnięcia najlepszego z możliwych efektów należy znajdować się w ciemnym pomieszczeniu bez oświetlenia, którego elementy scenograficzne są powierzchniami nie odblaskowymi. Gwarantuje to możliwie najlepiej wyglądającą projekcję, gdyż dążymy do tego, aby jak największa ilość światła odłożyła się na naszej powierzchni projekcyjnej i żeby jak najmniejsza ilość tego światła odbiła się od niej oświetlając otoczenie. W momencie gdy pojawiają się inne źródła światła w otoczeniu czerń przestaje być możliwie idealnie czarna co powoduje spadek kontrastu i sprawia że obraz staje się bardziej płaski i pozbawiony nasycenia koloru. Efekt taki jest zawsze zauważalny niezależnie od klasy wykorzystywanego projektora. Należy więc w momencie gdy na scenie jest dodawane dodatkowe źródło światła zapewnić jak najmniejsze jego rozproszenie w otoczeniu oraz bezpośrednio na projekcji.

6.3. Jasność

6.3.1. Czym jest jasność i od czego zależy?

Jasność projekcji jest to ilość luminancji która odbierana jest przez nasze oczy. Na jej ilość mają wpływ dwa czynniki. Pierwszy to ilość światła, które wypuszczane jest z projektora. Drugi natomiast to ilość światła, które odbija się od powierzchni na którą następuje ta projekcja. Tak jak z kontrastem istnieją również dwie metody pomiaru jasności światła. Najpopularniejsza podawana przez producentów to ANSI Lumen. Jest to pomiar energii świetlnej generowanej przez lampę projektora.

Druga metoda podawana w jednostce foot-Lamberts (fL), która jest metodą dokładniejszą z uwagi na fakt brania uwagi powierzchni projekcyjnej i pomiaru całkowitego światła odbitego w stronę widza. Niestety z uwagi iż jednostka fL związana jest z konkretnym rozmiarem projekcji oraz powierzchnią na którą ona następuje, to żaden z producentów nie podaje takich wartości w swojej specyfikacji. Spotykana jest również wartość luminacji centralnej, która mówi nam o tym jaka jasność projekcji jest wyświetlona w centralnym jej punkcie.

Jasność projektorów scenicznych i domowych silnie jest powiązana z kosztami. Im większa jasność tym większej wielkości ekran jesteśmy w stanie prawidłowo wyświetlić, co powoduje potrzebę korzystania z bardziej zaawansowanej technologii oraz zawężenie grona odbiorców co ma wpływ na końcową cenę.

6.3.2. Poziom odbicia powierzchni?

Parametrem którego nie można pominąć przy rozważaniu prawidłowej jasności projekcji jest właściwość fizyczna absorbowania światła przez powierzchnię na którą prowadzona jest projekcja. Po wypuszczeniu światła z projektora, następuje jego załamanie na powierzchni projekcyjnej, co może powodować wzmocnienie bądź

osłabienie ilości światła absorbowanego przez widza. Ważną rolę mają tutaj również kąty. Maksymalna ilość światła powraca do widza osadzonego centralnie na wprost projekcji, natomiast im bliżej jej boków tym mniejsza ilość światła jest odbierana.

Dobrze dobrana powierzchnia projekcyjna potrafi spowodować rozjaśnienie ekranu nawet dwukrotnie. Powierzchnie takie stworzone są z odpowiednich materiałów bądź farb. Dużą wadą silnie refleksyjnych powierzchni jest fakt iż odbijają one znacznie więcej światła centralnie przez co powodowany jest efekt *hot spot*, który powoduje zebranie zbyt dużej ilości światła centralnie i przepalenie obrazu w tym miejscu. Dlatego dąży się bardziej do utrzymania wartości refleksyjnej ekranu na poziomie 1.0 lub nieco poniżej. Pozwala to też na utrzymanie jednakowej zbliżonej jasności dla wszystkich widzów.

6.4. Proporcje ekranu

Mówiąc o proporcji ekranu mamy na myśli stosunek szerokości projekcji do jej wysokości. Większość popularnych projektorów korzysta z zestawów 16:9 projektor oraz 16:9 ekranu. Starsze rozwiązania często oparte były o ekran w formacie 4:3 jest to związane z tym, że starsze filmy do rok 1953 powstawały właśnie w takim formacie. Istnieją również projektory, które wyświetlają ekrany w proporcjach bardzo szerokich takich jak 2.35:1. Każde z powyższych rozwiązań ma swoje wady i zalety które często związane są z indywidualnym odczuciem odbiorcy. Często proporcję ekranu może wymusić nam przestrzeń. W tym celu korzystamy do odpowiedniego ustawienia i kalibracji ekranu przy pomocy *warpingu*. Powoduje on stratę na jakości ekranu natomiast jako benefit pozwala na idealne dopasowanie wyświetlanego materiału do powierzchni na którą prowadzona jest projekcja. Proporcje ekranu są również związane z materiałami filmowymi obecnie dostępnymi na rynku. Część z nich może powodować powstawanie czarnych kaset po prawej i lewej stronie ekranu bądź na górze i na dole. W celu dobrego dobrania projekcji należy wziąć pod uwagę aby ekran z odpowiedniej odległości i w natywnej proporcji był w stanie pokryć powierzchnię nas interesującą. W innym wypadku mogłoby nastąpić obcięcie obrazu lub cyfrowe przeskalowanie.

6.5. Rozdzielczość

Projektory posiadają w swoich parametrach rozdzielczość natywną podawaną w pixelach szerokość x wysokość. Natywna rozdzielczość jest to tak w jakiej operuje podstawowo nasz projektor. Ściśle związany jest z ilością pikseli na matrycy projektora. Projektory często podawaną mają również rozdzielczość maksymalną - która odpowiada rozdzielczości maksymalnej bądź minimalnej obsługiwanej przez skaler wbudowany wewnątrz projektora.

W celu uzyskania jak najlepszej jakości obraz zaleca się wybierać jak najwyższe rozdzielczości natywnej projektorów wiąże się z tym również przygotowanie odpowiedniego materiału. Im większa rozdzielczość tym większej mocy obliczeniowej komputerów trzeba finalnie użyć. Najpopularniejszymi obecnie rozdzielczościami na rynku są 1920 x 1080 px (1080p lub Full HD) oraz 3840 x 2160 px (2160p lub 4K).

6.6. Odległość rzutu

Odległość rzutu projektora jest ściśle związana z optyką stosowaną przez producenta. W celu dobrania odpowiedniej optyki należy w pierwszej kolejności zmierzyć dystans od środka optyki projektora do środka ekranu na który następuje projekcja. W warunkach montażowych trzeba mieć również na uwadze wielkość samego projektora żeby urządzenie mogło się zmieścić w wybranej przestrzeni.

Projektory niezależnie od ceny dają nam bardzo dużą rozpiętość jeśli chodzi o dobór rzutu projektora. parametr mnożnika ratio mówi nam z jakiej odległości od środka optyki jesteśmy w stanie wyświetlić obraz o podstawie szerokości 1 m.

Optyki dzielimy na 3 grupy krótkiego rzutu, średniego rzutu oraz dalekiego rzutu. Im rzut dłuższy tym powstają mniejsze cienie na osobach które przesłaniają projekcję. Dlatego należy mieć na uwadze wiele czynników które pomogą w wyborze odpowiedniego odległości rzutu na podstawie czynników fizycznych występujących w danej przestrzeni.

6.7. Źródło światła

Urządzenia projekcyjne w celu wyświetlenia obrazu na powierzchni projekcyjnej korzystają z różnego rodzaju źródła światła. Do źródeł takiego światła zaliczamy lampy łukowe, lampy metalohalogenkowe, lampy UHP (*Ultra-high-performance*), lampy LED, laser, lampy hybrydowe.

6.7.1. Lampy i lasery

Lampy łukowe czy też ksenonowe były jednym z pierwszych źródeł światła wykorzystywanego do projekcji znanych już w XIX wieku, światło powstaje przy pomocy rozgrzania elektrycznego łuku w próżni lampy wypełnionej odpowiednimi gazami. Lampy ksenonowe są najpopularniejszymi obecnie na rynku wykorzystywanymi źródłami światła ze względu na możliwość osiągnięcia wysokiej jasności projektorów. Zaletą lamp łukowych jest szybki czas odpalania, pozwala na szerokie rozprowadzenie i równomierne źródła światła. Minusem lamp ksenonowych jest ich relatywnie krótka żywotność. Im większe lampy, o większej mocy, tym krótsza żywotność takiej lampy. Obecność łuku elektrycznego nie pozwala również na wykorzystywanie projektora w pozycji bocznej.

Lampy metalohalogenkowe to technologia powstała w roku 1960. Działanie lampy jest zbliżone do lamp łukowych, gdyż wykorzystuje również łuk elektryczny oraz mieszanek rtęci oraz metalohalogenkowe. Lampy były używane do momentu gdy zostały wyparte przez lampy UHP.

Lampy UHP Ultra High Performance lub Ultra High Pressure Lamps są to lampy łukowe, wykorzystujące do swojego działania w próżni tylko rtęć, co poprawia stabilność działania takich lamp. Lampy dzięki swojej konstrukcji pozwalają na łączenie kilku lamp w

jedno źródło światła, niektóre z projektorów wykorzystywały nawet 6 takich lamp. Żywotność została znacznie zwiększona i wynosiła około 4-5 tys. godzin. Lampa tego typu wymaga pewnego czasu na rozgrzanie się jak i na wygaszenie i schłodzenie. Światło powstałe z lampy UHP jest mniej jednolite niż u jego poprzedników. Lampy UHP są znacznie mniej awaryjne od poprzedników.

Lampy LED Light-Emitting Diode (LED) jest to półprzewodnikowe źródło światła. W momencie podania napięcia, zostają uwalniane fotony w wyniku efektu zwanego elektroluminescencją. Największą zaletą źródeł lamp LED w porównaniu do innych rozwiązań jest kilkukrotnie dłuższy czas użytkowania oraz mała wielkość samej lampy. Lampy LED mogą być szybko włączane i wyłączane oraz pobierają znacznie mniej prądu niż lampy oparte o łuk elektryczny. Głównym minusem takich lamp jest stosunkowo niska jasność, która nie przekracza 4 000 lumenów. Lampy takie idealnie nadają się do pracy ciągłej bez wyłączenia.

Hybrydowe lampy wykorzystują jako źródło światła zarówno laser fosforowy jak i diody LED. Zaletą takiego rozwiązania było bardzo dobre odwzorowanie kolorów. LED odpowiadał za kolor czerwony, laser za swój naturalny kolor niebieski, a zielony powstawał poprzez przekonwertowanie lasera niebieskiego przez fosfor. Lampy tego typu pozwalają do osiągnięcia nawet do 32000 Ansi, przy żywotności lampy na poziomie 20 tys. godzin. Lampy takie nie posiadają łuku elektrycznego, mogą też być używane w pozycji bocznej bez wpływu na żywotność lampy

Laser jako źródło światła składa się zarówno z czystego lasera jak i lasera fosforowego, ma w swoim wykorzystaniu wiele zalet. Laser wymaga najmniej serwisowania ponieważ jego żywotność przekracza 20 tys. godzin, projektor można montować w dowolnej rotacji, dzięki laserowi możliwe jest 100% pokrycie palety barw REC 2020. Możliwa jest lepsza separacja obrazów dla prawego i lewego oka przy projekcji 3D, laser pobiera również mniej prądu niż lampy ksenonowe. Dzięki mniejszemu poborowi energii wytwarzane jest mniej ciepła dzięki czemu można zastosować mniejsze i tańsze systemy chłodzenia. Laser również jest mniej niebezpieczny niż możliwość wybuchu lampy ksenonowej.

7. Kamery/aparaty

Do przeprowadzenia pracy badawczej potrzebne będzie urządzenie do rejestracji prac oraz testów przeprowadzanych w przygotowywanej powierzchni laboratoryjnej. Nagranie bądź też zdjęcie pozwala nam na stworzenie dokumentu chwili, dzięki czemu jesteśmy w stanie lepiej analizować wszelkiego rodzaju zmian zachodzących w ułamkach sekundy nie dających się przeanalizować "gołym okiem".

W celu przeprowadzenia wysokiej jakości prób i testów, należy korzystać ze sprzętu pozwalającego na wierną reprodukcję obrazu. Dzięki wysokiej rozdzielczości matrycy jesteśmy w stanie skupić się na szczegółach powstającego prototypu. Kamera pozwala również na monitorowanie rozwoju pracy badawczej w poszczególnych jej etapach powstawania.

Powolna analiza nagrywanego materiału pozwoli również na wyeliminowanie ciężkich do zidentyfikowania ludzkim okiem błędów mogących powstać po stronie oprogramowania naszego prototypu.

Panasonic Lumix S1H

<https://www.panasonic.com/pl/consumer/kamery-i-aparaty/aparaty-pelnoklatkowe-lumix-s/dc-s1h.html>

Po wykonaniu sprawdzenia rynku pod kątem dostępnych aparatów cyfrowych, porównaniu ich funkcjonalności i cen, postanowiliśmy, że najlepszym rozwiązaniem dla nas będzie użycie aparatu Panasonic Lumix S1H.

Panasonic Lumix S1H to pełnoklatkowy bezlusterkowiec, który dostarcza kinową jakość wideo w wysokiej rozdzielczości, powstał przy współpracy z grupą Panasonic odpowiedzialną za profesjonalne kamery VariCam, aby zapewnić potrzebne funkcje i parametry.

Jego najważniejsze cechy to:

- pełnoklatkowa matryca CMOS o rozdzielczości 24,2 MP,
- nagrywanie w 4K, możliwość nagrywania w rozdzielczości 6K 24 fps z próbkowaniem 4:2:0 10-bit,
- filmowanie w rozdzielczości C4K/4K 60 fps z próbkowaniem 4:2:0 10-bit oraz C4K/4K 30 fps z próbkowaniem 4:2:2 10-bit,
- technologia 6K Photo,
- systemy AF DFD, Dual Native ISO,
- wizjer elektroniczny o rozdzielczości 5,76 mln pkt,
- łączność bezprzewodowa Wi-Fi i Bluetooth,
- system wentylujący umożliwiający nieprzerwane nagrywanie wideo,
- podwójne natywne ISO zapewnia minimalne zaszumienie obrazu podczas filmowania na wyższych czułościach matrycy,
- funkcje V-Log/V-Gamut rejestrujące obraz filmowy o dynamice 14+ EV,

- stabilizacja matrycy o efektywności 6EV oraz 6.5EV w trybie Dual I.S.,
- obracany, dotykowy ekran LCD o wielkości 3.2",
- obudowa o zwiększonej odporności na mróz, pył i zachlapania,
- wbudowany wentylator zapobiegający przegrzewaniu i umożliwiający nieprzerwane filmowanie

Matryca

Aparat wyposażono w pełnoklatkową (35.6 x 23.8 mm) matrycę typu CMOS o rozdzielczości 24.2 Mpix z wbudowanym filtrem dolnoprzepustowym (niskoprzepustowym), który zapobiega powstawaniu efektu mory.

Matryca aparatu jest stabilizowana w pięciu osiach, dzięki czemu możemy wydłużyć czas naświetlania nawet o 6 stopni EV (lub 6.5 stopnia w trybie Dual I.S. kiedy używamy odpowiedniego obiektywu).

Możemy wybrać wielkość obszaru nagrywania spośród trzech opcji:

- "Full" - odczyt obrazu z całej powierzchni matrycy pełnoklatkowej,
- "S35 mm" - odczyt z obszaru matrycy o wielkości Super 35 mm (APS-C),
- Pixel/Pixel - odczyt z obszaru o ustalonym rozmiarze w pikselach.

Niektóre rozdzielczości i klatkarze wymagają wybrania odpowiedniego trybu.

Podwójne natywne ISO

W aparacie każdy piksel posiada dwa osobne układy, o różnej bazowej czułości ISO, które odczytują i wzmacniają sygnał. Jeden układ przewidziany jest dla niskich czułości matrycy, a drugi dla czułości wysokich. Dzięki temu, pracując z wyższymi wartościami ISO używamy dedykowanego układu o zwiększonym bazowym ISO, który nie wymaga aż tak dużego wzmocnienia jak układy o niskim ISO, dzięki czemu otrzymujemy obraz o minimalnym zaszumieniu. Możemy wybrać, którego z tych układów używamy w danym czasie albo zdać się na automatykę.

Możliwość wyboru czułości matrycy zależy również od wybranego profilu kolorów:

- profil normalny - natywne ISO wynoszą 100 oraz 640, a zakres czułości wynosi 100-51200 ISO (po rozszerzeniu 50-204800 ISO).
- profil V-Log - natywne ISO 640 oraz 4000, a czułość możemy wybrać z zakresu 640-51200 ISO (po rozszerzeniu 320-51200 ISO).
- profil HLG - natywne ISO 400 oraz 2500, a czułość możemy wybrać z zakresu 400-51200 ISO (po rozszerzeniu 400-204800 ISO).
- profil Cinelike D2 / Cinelike V2 posiada natywne ISO 200 oraz 1250, a czułość możemy wybrać z zakresu 200-51200 ISO (po rozszerzeniu 100-204800 ISO).

W połączeniu z Venus Engine możliwe jest skorzystanie z maksymalnej czułości 512 000 ISO (a także rozszerzonego ISO 204 800). To wszystko sprawia, że aparat znakomicie

radzi sobie w każdych warunkach oświetleniowych, gwarantując wysoką dynamikę tonalno-kolorystyczną oraz minimalne zaszumienie obrazu.



Podwójne natywne ISO w aparacie Panasonic S1H umożliwia filmowanie na wysokich czułościach matrycy przy minimalnym zaszumieniu obrazu.

Zaawansowane tryby i funkcje filmowania

Aparat został stworzony jako narzędzie do tworzenia filmów o kinowej jakości.

Umożliwia wewnętrzne nagrywanie C4K/4K 30p/25p/24p 4:2:2 10-bit w trybie pełnoklatkowym oraz 4K 60p 4:2:0 10-bit w trybie S35mm.

Dodatkowo do wyboru mamy m.in.:

- 6K 24p,
- 5.9K 30p,
- 5.4K 30p,
- Full HD 120p,
- obsługę obiektywów anamorficznych w trybie Anamorphic 4K 50p,

wszystkie z próbkowaniem 4:2:0 10-bit.

Korzystając z funkcji strumieniowania wideo na zewnętrzny monitor HDMI możemy zastosować próbkowanie 4:2:2 10-bit.

Aparat ma zmniejszoną intensywność algorytmów odszumiania (proces, który można wykonać w postprodukcji), wydobywając z obrazu nieco więcej detalu.

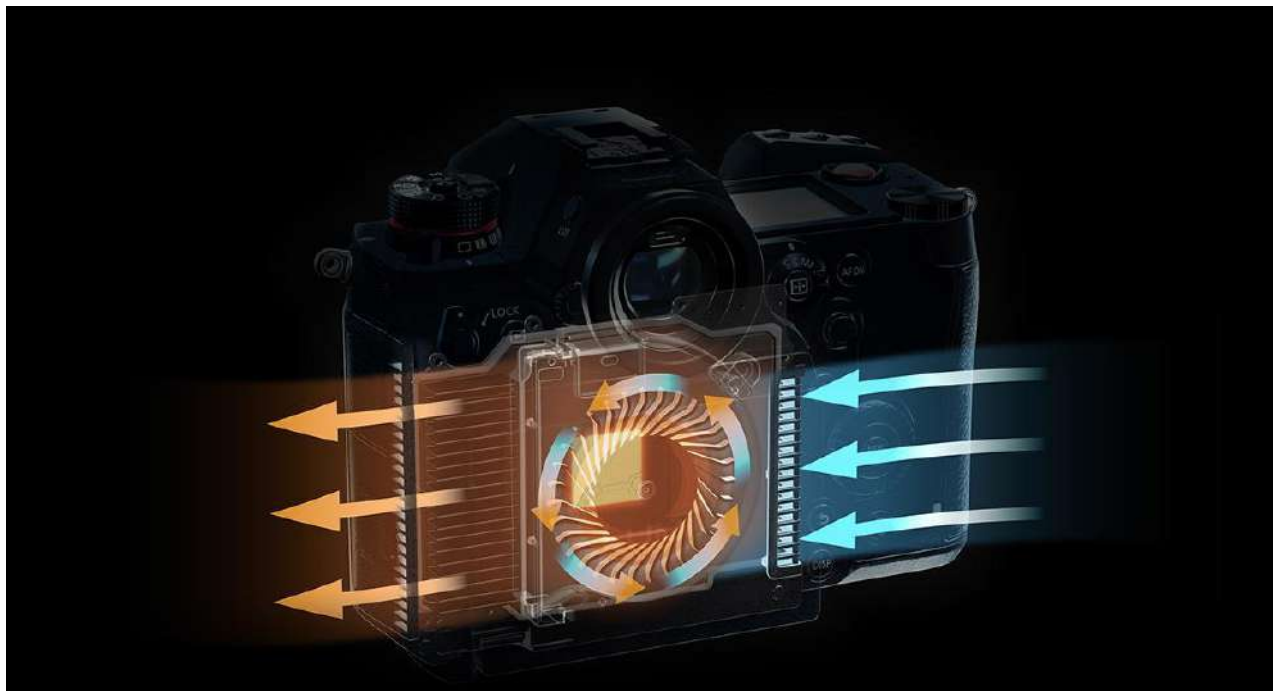
Udostępnia również profile V-Log/V-Gamut, które są w stanie zarejestrować pełną, 14-stopniową dynamikę matrycy.

Dodatkowo posiada interfejs HDMI (który umożliwia strumieniowanie obrazu na zewnętrzny monitor), wejście mikrofonowe 3,5 mm oraz wyjście słuchawkowe 3,5 mm. Złącze "flash sync" może zostać użyte jako wejście na terminal do obsługi kodów czasowych.

Opcjonalnie do aparatu możemy podłączyć produkt DMW-XLR1 (sprzedawany oddzielnie) w celu nagrywania wysokiej jakości dźwięku HI-RES 24-bit z próbkowaniem 48 lub 96 kHz.

Aparat umożliwia nieprzerwane filmowanie, nawet w bardzo wysokich temperaturach. Pomaga w tym wbudowany, uszczelniony wentylator chłodzący, który zapobiega przegrzewaniu się układów podczas filmowania. Jego praca jest bardzo cicha, aby nie zakłócać nagrywanego dźwięku. Prędkość wentylatora możemy wybrać (normalny, wolny, wyłączony) lub zdać się na jeden z dwóch trybów automatycznych.

Aparat zapewnia doskonałą jakość obrazu i uniwersalność pracy, co pozwala na skuteczne wykorzystanie go na każdym planie zdjęciowym.



Panasonic S1H wyposażono w wentylator, który zapobiegając przegrzewaniu się układów pozwala na nieprzerwane filmowanie.

Korpus

Korpus aparatu jest bardzo ergonomiczny, przemyślany tak by zapewnić szybką, intuicyjną pracę. Głęboki wyprofilowany uchwyt umożliwia stabilne filmowanie i fotografowanie z ręki nawet kiedy używamy większych obiektywów. Przycisk wyzwalania migawki (połączony z dźwignią włączania aparatu) oraz pokrętła sterujące są łatwo dostępne kiedy trzymamy aparat w dłoni. Górny panel wyposażono w duży, dedykowany przycisk nagrywania (jest jeszcze drugi przycisk nagrywania znajdujący się z przodu, obok mocowania obiektywu).



Użytecznym dodatkiem jest specjalna dioda zarówno z przodu jak i z tyłu aparatu sygnalizująca, że aparat jest w trakcie nagrywania. Przyciski funkcyjne aparatu zostały zaprojektowane w taki sposób, aby użytkownik był w stanie je rozpoznać bez odrywania oczu od wizjera czy ekranu. Każdy przycisk ma specjalne wyprofilowanie umożliwiające rozpoznanie go po dotyku. Punkt ostrości przesuwamy dedykowanym, ośmiokierunkowym *joystickiem*. Jest jeszcze drugi czterokierunkowy *joystick* z pokrętłem wyboru przeznaczony do nawigacji po menu. Pozostałe przyciski i pokrętła sterujące zapewniają bezpośredni dostęp do najważniejszych ustawień fotograficznych i filmowych.



Górny panel aparatu wyposażono w ekran LCD o przekątnej 1,8" wyświetlający aktualne parametry filmowania, m.in informacje o poziomie baterii, wolnym miejscu na karcie pamięci, ekspozycji czy poziomach głośności kanałów stereo. Ekran możemy dostosować aby wyświetlał białą czcionkę na czarnym tle lub odwrotnie. Kiedy pracujemy po ciemku możemy również włączyć tylne podświetlenie ekranu.

Aparat posiada podwójne gniazdo kart pamięci SD, kompatybilne ze standardem UHS-II oraz kartami SDXC.

Do wyboru mamy trzy tryby pracy:

- wykonanie kopii zapasowej na drugiej karcie,
- użycie drugiej karty po zapelnieniu pierwszej,
- przeznaczenie jednej karty na film, a drugiej na zdjęcia.

Aparat możemy ładować przez złącze USB, a jeśli nasze zasilanie zapewnia 27 watów przy napięciu 9V - możemy jednocześnie pracować z aparatem i ładować akumulator. Żywotność akumulatora obliczona została na 400 zdjęć (lub 1050 zdjęć w trybie *Power Save*).

Korpus aparatu został uszczelniony przeciw kurzowi i wilgoci i może pracować w temperaturach nawet -10°C.

Podgląd obrazu

Aparat posiada najwyższej jakości wizjer elektroniczny o rozdzielczości 5,76 mln punktów i dużym powiększeniu 0,78x. Wysokie odświeżanie 120 fps (które można zmniejszyć do 60 fps w celu oszczędności baterii) oraz bardzo niewielkie opóźnienie 0,005 sek. gwarantuje płynny i wyraźny obraz w kadrze.

Kadrować możemy również za pomocą ekranu dotykowego LCD o wielkości 3,2" i rozdzielczości 2,33 mln punktów. Ekran jest odchylany i obracany, zapewniając podgląd obrazu z praktycznie dowolnej perspektywy. Cały ekran jest umieszczony na osobnym, uchylnym panelu, dzięki czemu możemy bez przeszkód zmieniać kąt widzenia ekranu nawet kiedy do interfejsu bezlusterkowca podłączone są kable.

Zarówno wizjer jak i ekran mają proporcje obrazu 3:2.

Fotografia

Aparat jest co prawda stworzony dla filmowców, ale jest również zaawansowanym aparatem fotograficznym.

Matryca pełnoklatkowa 24.2 Mpix w połączeniu z bagnetem L-Mount pozwalającym na zamontowanie najwyższej jakości obiektywów Panasonic, Leica oraz Sigma samo w sobie stanowi podstawę do tworzenia najwyższej jakości fotografii cyfrowych.

Podwójne natywne ISO również zwiększy jakość zdjęć wykonywanych na wyższych czułościach matrycy.

Dodatkowo aparat umożliwia fotografowanie seryjne z prędkością 9 fps w trybie pojedynczego autofokusa oraz 6 fps w trybie śledzenia AF.

Funkcja High Resolution Mode, pozwala na wykonywanie 8 szybkich ujęć z przesunięciem sensora między ujęciami.

Tak wykonane kadry łączone są w jeden obraz RAW o rozdzielczości 96 Mpix. Przesunięcie sensora niweluje również błędy w obliczaniu barw wynikające z zastosowania filtra Bayera, zapewniając tym samym poprawioną, naturalną kolorystykę obrazu. Taka bogata informacja o barwach jest niezastąpiona podczas edycji wideo w post produkcji. Daje to zdumiewające możliwości - pozwala nawet na przekształcanie scen dziennych w nocne.

Balans bieli można ustawić w kilku trybach:

- auto,
- manualny,
- ustawienie w Kelvinach,
- ustawienia predefiniowane.

Łączność bezprzewodowa

Posiada moduł łączności bezprzewodowej Wi-Fi oraz Bluetooth, umożliwiając sparowanie aparatu z urządzeniem inteligentnym jak smartfon czy tablet. Po połączeniu możemy kopiować i przesyłać filmy i zdjęcia między urządzeniami.

Zestaw zawiera:

- aparat,
- osłona korpusu,
- osłona gorącej stopki,
- muszla oczna,
- osłona gniazda synchronizacji lampy błyskowej,
- osłona złącza uchwytu z akumulatorem,
- pasek na ramię,
- akumulator,
- ładowarka,
- zasilacz sieciowy,
- przewód zasilający,
- kabel połączeniowy USB (C-C),
- kabel połączeniowy USB (A-C),
- kabel konwertera BNC,
- uchwyt kabla.

8. Stacja robocza

Konfigurując stację roboczą do interaktywnego przetwarzania obrazu, kierowaliśmy się założoną w budżecie wykonywanego prototypu kwotą, aby jej nie przekroczyć. Staraliśmy się otrzymać możliwie jak najbardziej wydajną konfigurację komputera, która również będzie w przyszłości sprzedawana wraz z oprogramowaniem do klienta docelowego i żeby jej koszt nie był zbyt wysoki.

Zależało nam na dużej wydajności karty graficznej, oferującej najnowsze rozwiązania graficzne na rynku, takie jak *Ray Tracing* oraz dużą ilością pamięci karty graficznej - 11 GB, którą oferuje Geforce 2080Ti. Kolejną dla nas istotną kwestią była wydajność jednowątkowa procesora. Procesory z rodziny Intel i9-9900K oferują najwyższe taktowanie rzędu 5 Ghz dla jednego wątku i w parze z mocnym chłodzeniem NH-D15 pozwalają na ciche działanie procesora pod dużym obciążeniem obliczeniowym, co dodatkowo w połączeniu z obudową Silent Base 800 pozwala na pracę komputera nieprzekraczającą głośności 50 dB, co jest dość istotne w pracy scenicznej w teatrach. Prędkość komputera do realizowania interaktywnej obróbki danych podkreśla również zastosowane w komputerze pamięci RAM Trident Z 32GB, 3000 MHz oraz dysk SSD XPG SX8200 Pro, oferujący wydajność na poziomie 3500 MB/s odczytu oraz 2300 MB/s zapisu, co ma duże znaczenie w pracy z nieskompresowanymi plikami wideo.

Do obsługi wszystkich podzespołów komputera, zastosowaliśmy płytę główną MEG z390 ACE oraz zasilacz RM 850i 850W. Płyta główna pozwala na dalszą rozbudowę komputera w przyszłości oraz została dobrana w taki sposób aby nie sprawiała żadnego negatywnego wpływu na pozostałe podzespoły. Zasilacz został również dobrany w taki sposób, aby pod pełnym obciążeniem nie wydawał z siebie dźwięku w postaci przyspieszającego wentylatora, oraz aby został na nim zapas mocy w przypadku rozbudowy jednostki komputerowej.

Poniższa tabela zawiera zbiorowe zestawienie wykorzystanych komponentów przy budowie naszej jednostki komputerowej wraz z wykazem cen w dniu zakupu komputera.

Produkty (ceny zawierają podatek VAT)

	Nazwa	Ilość	Wartość
	RM 850i 850W (CP-9020083-EU)	1	676.02 zł
	Montaż komputera	1	79.00 zł
	Windows 10 Professional PL 64 bit OEM (FQC-08918)	1	639.00 zł
	NH-D15	1	413.00 zł
	Trident Z, DDR4, 32 GB,3000MHz, CL15 (F4-3000C15D-32GTZ)	1	790.67 zł

GeForce RTX 2080 Ti Dual 11GB GDDR6 (NE6208T020LC-150A)	1	4565.58 zł
MEG Z390 ACE	1	1239.00 zł
Core i9-9900K, 3.6GHz, 16 MB, BOX (BX80684I99900K)	1	2299.00 zł
XPG SX8200 PRO 512GB PCIe x4 NVMe (ASX8200PNP-512GT-C)	1	314.20 zł
Silent Base 800 (BG001)	1	553.08 zł

II. Decyzje

1. Wybór systemu operacyjnego

1.1. Wstęp

W celu zidentyfikowania z jakiego systemu operacyjnego najprawdopodobniej skorzystamy, została stworzona tabela, która bierze pod uwagę listę systemów do akwizycji ruchu, systemów operacyjnych oraz oprogramowania do tworzenia interaktywnych animacji.

Zestawiona została kompatybilność systemu operacyjnego z systemem do przechwytywania ruchu oraz systemu operacyjnego z oprogramowaniem. Badanie ma na celu zidentyfikowanie najodpowiedniejszego środowiska w celach realizowania naszego prototypu, łączącego ze sobą oprogramowanie oraz sprzęt w postaci systemów do akwizycji ruchu.

1.2. Kompatybilność systemów akwizycji z systemami operacyjnymi

Poniższa tabela ma na celu zidentyfikowanie czy w obrębie systemu istnieje możliwość bezpośredniego podłączenia danego systemu do przechwytywania ruchu oraz zidentyfikowanie, które z systemów operacyjnych najprawdopodobniej będą użyte do stworzenia prototypu oraz jaki rodzaj oprogramowania będą wykorzystane z pomocą kompatybilnego systemu operacyjnego.

SYSTEM	Windows	MAC OS	LINUX	KOMENTARZE
BLACKTRAX	TAK	NIE	NIE	
VV Albion	TAK	NIE	NIE	
OPENPTrack	NIE	NIE	TAK	Server na linux dane przesyłane do mac os lub windows
Augumenta	NIE	NIE	NIE	Dedykowany serwer komunikujący się sieciowo poprzez OSC
Bonsai	NIE	NIE	NIE	iOS nagrywanie
Leap Motion	TAK	TAK	TAK	
Kinect v2	TAK	NIE	TAK	
XSENS	TAK	NIE	TAK	
Sony Playstation Move	TAK	TAK	TAK	
Nunchack	TAK	TAK	TAK	
The Captury	TAK	NIE	TAK	
Dynamixyz	TAK	NIE	TAK	
Faceware	TAK	NIE	NIE	Opcjonalnie plugin do napisania Windows-> OS X, Windows->Linux
Reallusion	TAK	NIE	NIE	
HTC TRACKER	TAK	TAK	TAK	
RadarTouch	TAK	NIE	NIE	
RealSense	TAK	TAK	TAK/NIE	Server Windows można przesłać OSC do linux i Mac OS
RoKoKo Smartsuit Pro	TAK	TAK	TAK	
Perception Neuron	TAK	TAK	NIE	
Shadow	TAK	TAK	TAK	
Nansense suit	TAK	NIE	NIE	Możliwa komunikacja Windows -> Linux, Windows->MAC OS przez OSC
	18	8	11,5	

Tabela obrazująca kompatybilność systemów do akwizycji ruchu z systemami operacyjnym

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż najbardziej elastycznym systemem operacyjnym pod względem kompatybilności z różnego rodzaju systemami do akwizycji ruchu jest system Windows. Jest w stanie bezpośrednio komunikować się z większością z branych przez nas czujników do akwizycji ruchu.

Najgorzej wypadł tu system MacOS, który jest w stanie obsłużyć mniej niż połowę branych pod uwagę czujników ruchu. W niektórych przypadkach dobrym rozwiązaniem może się okazać system Linux który pomimo gorszego natywnego wsparcia niż Windows jako jedyny obsługuje system OpenPTrack.

1.3. Kompatybilność oprogramowania z systemami operacyjnymi

Poniższa tabela obrazuje kompatybilność oprogramowania do interaktywnej wizualizacji z systemami operacyjnymi. Tabela bierze pod uwagę deklarowaną przez producenta współpracę z danymi systemami operacyjnymi.

Oprogramowanie	Windows 10	MAC OS	Linux
TouchDesigner	TAK	TAK	NIE
Notch VFX	TAK	NIE	NIE
Unreal Engine 4	TAK	TAK	TAK
Unity	TAK	TAK	TAK
VVVV	TAK	NIE	NIE
SMODE	TAK	NIE	NIE
MAX/MSP	TAK	TAK	NIE
Biblioteka Cinder	TAK	TAK	TAK
Biblioteka Processing	TAK	TAK	TAK
Biblioteka OpenFrameworks	TAK	TAK	TAK
Biblioteka tree.js	TAK	TAK	TAK
Resolume	TAK	TAK	NIE
VVV PHOTON	TAK	NIE	NIE
	14	9	6

Tabela obrazująca oprogramowania do interaktywnej wizualizacji z systemami operacyjnymi.

2. Wybór czujników na podstawie zestawień ceny, kompatybilności, skalowalności, użyteczności

Wykorzystując poniższą tabelę, przy pomocy możliwe jak największej ilości czynników, wpływających na systemy czujników, staramy się odpowiedzieć na pytanie, jaki konkretnie system spełnia nasze wymagania w celach zastosowań scenicznych.

	Pojedyncza Kamera głębi	Wykrywanie blobów	Rozszerzona rzeczywistość	Motion Capture z wykorzystaniem markerów	Motion Capture bez wykorzystania markerów wizyjnych	Śledzenie radiowe						
	(e.g., Community Core Vision)	(e.g., AR Toolkit)	(w/ many popular frameworks)	(e.g., Vicon)	(e.g., Open Perception)	(e.g., Zebra)						
Klient docelowy (zazwyczaj)	Wszyscy	0	Wszyscy	0	Wysokobudżetowe produkcje	0	Wielkie przestrzenie / magazyny	0				
Technologia oparta o	Kamerę głębi	0	2D kamera(-y)	0	2D kamera	0	2D kamery	0	Częstotliwość Radiowa	0		
Dane wyjściowe	ID, Szkielet	4	ID, 2D z informacją o środku wykrywanego obiektu	1	ID, Pozycja w 3D, Zorientowanie/kierunek	2	ID, Gęste szczegółowe dane szkieletu	4	ID, Dane szkieletu	4	ID, pozycja w 3D	2
Wielkość śledzonej przestrzeni	mały	2	mały do średni	3	mały do średni	3	może być bardzo duży	4	średni do duży	3	może być bardzo duży	4
Połączenie wielu widoków	NIEDOSTĘPNE	0	zależne od dewelopera	0	zależne od dewelopera	0	Wewnętrzne	0	Wewnętrzne	0	NIEDOSTĘPNE	0
Typowe odświeżenia sensora (ms)	30	3	15-30	4	30-60	3	60-120+	2	60-120	2	20-50	4
Opóźnienie percepcyjne	Niski	3	Niski	3	Niski	3	Bardzo Niski	4	Niski	3	Średnie	2
Maksymalna ilość śledzonych ludzi	Zazwyczaj 4	3	zależna od przestrzeni i pozycji osób do 6	4	zależne od powierzchni wyszukiwania	4	Wiele	4	4	3	Wiele	4
Wykrywanie ludzi	TAK	4	NIE WE WSZYSTKICH	3	NIEDOSTĘPNE	1	TAK	4	TAK	4	NIEDOSTĘPNE	1
Stabilność w utrzymywaniu informacji o ID trackowanej osoby/obiektu	Średnia do Wysoka	2	niska	1	Wysoka	3	Wysoka	3	Średnia do Wysoka	2	Bardzo Wysoka	4
Trackowanie w przestrzeni 3d	TAK	4	NIE	1	TAK	4	TAK	4	TAK	4	TAK	4
Trackowanie szkieletu sylwetki	TAK	4	NIE	1	NIE	1	TAK	4	TAK	4	NIE	1
Musi nosić/mieć założony czujnik	NIE	4	NIE	4	TAK	2	TAK	2	NIE	4	TAK	2
Dokładność śledzenia pozycji	Wysoka	3	Niska	1	Średnia do wysoka	2	Bardzo Wysoka	4	Bardzo Wysoka	4	Średnia	2
Odporność na zakłócenia	Niska	1	Niska	1	Niska	1	Wysoka	4	Średnia	3	Wymaga wielu Tagów	2
Czułość w odniesieniu do światła otoczenia	MINIMALNE	3	TAK	1	TAK	1	Średnie	2	DUŻE	1	Żadne	4
Czułość w odniesieniu do światła podczerwonego	TAK	1	Zależy od kamery	2	Zależy od kamery	2	Często	2	Nie zazwyczaj	3	NIE	4
Czułość sylwetki	MUSI BYĆ CZŁOWIEKIEM	3	BRAK	1	Musi być widoczny TAG	2	MUSI NOSIĆ STRÓJ Z MARKERAMI widocznymi dla kamery	2	MUSI nosić markery bezprzewodowe	3	NIEDOSTĘPNE	1
Skomplikowość w integrowaniu z programami	mało	4	mało do średnio	3	mało do średnio	3	średnio do bardzo	2	średnio do bardzo	2	mało do średnio	3
Darmowe oprogramowanie / SDK	ZAZWYCZAJ	4	ZAZWYCZAJ	4	ZAZWYCZAJ	4	NIE	3	NIE	3	NIE	3
Czyści systemu łatwo dostępne w sklepach z elektroniką	TAK	4	TAK	4	TAK	4	NIE	3	NIE	3	NIE	3
Wysokość kosztów systemu	Mała	4	Mała	4	Mała	4	WYSOKA	3	BARDZO WYSOKA	2	WYSOKA	3



Pojedyncza Kamera głębi	60
Motion Capture z wykorzystaniem markerów	60
Motion capture bez wykorzystania markerów wizyjnych	57
Śledzenie radiowe	53
Rozszerzona rzeczywistość	49
Wykrywanie blobów	46

Technologie trackingowe - porównanie

Z porównania powyższej tabeli wynika, że najskuteczniejszymi technikami śledzenia pod względem ogólnej funkcjonalności są kolejno: pojedyncza kamera głębi, *motion capture* z wykorzystaniem markerów oraz *motion capture* bez wykorzystania markerów. Kolejne rozwiązania to śledzenie radiowe oraz rozszerzona rzeczywistość. Ostatnie miejsce pod względem funkcjonalności zajmuje wykrywanie blobów.

Ze względu iż jednymi z najbardziej pożądanymi przez nas funkcjonalnościami jest wykrywanie ludzi oraz czułość sylwetki możemy od razu wykluczyć opcje śledzenia radiowego, rozszerzonej rzeczywistości, wykrywania blobów oraz *motion capture* z wykorzystaniem markerów. Pozostałe metody śledzenia udostępniają nam ID śledzenia, dane szkieletu, *trackowanie* w przestrzeni 3D, *trackowanie* sylwetki oraz dają dużą dokładność śledzonych pozycji, które są przez nas najbardziej pożądane. Pojedyncza kamera głębi daje nam dostęp do ID osoby oraz do danych szkieletu, posiada niskie opóźnienie percepcyjne oraz jest w stanie śledzić około 4 postaci, posiada opcje wykrywania ludzi oraz jest w stanie przekazywać przestrzenne dane 3D, dokładność śledzonych danych jest wysoka.

Minusem natomiast jest mała wielkość przestrzeni, w której można używać, niska odporność na zakłócenia, przez co wymaga odpowiedniego ustawiania scenografii i aktorów oraz wymóg, iż jedyną opcją jest śledzenie postaci a nie elementów scenografii. Wykrywanie blobów ma niskie opóźnienie percepcyjne oraz jest w stanie śledzić nawet 6 osób, z minusów technologia ta, nie pozwala na śledzenie szkieletów tylko ID oraz środki postaci, zasięg raczej niewielki, nie zawsze jesteśmy w stanie wykrywać sylwetki ludzi oraz dokładność śledzenia i odporność na zakłócenia jest niska.

Wykluczającymi elementami natomiast są brak możliwości śledzenia w przestrzeni 3D oraz śledzenia sylwetki postaci, ze względu na brak jakiegokolwiek czułości pod tym względem. Techniki rzeczywistości rozszerzonej mają niskie opóźnienie percepcyjne oraz pozwalają na śledzenie elementów w przestrzeni 3D. Z minusów nie pozwalają na śledzenie szkieletu oraz mają niewielki zasięg śledzonej powierzchni. Maksymalna ilość ludzi ograniczona jest od otoczenia, a dane śledzenia odstają od pozostałych lepszych rozwiązań, niska odporność na zakłócenia nie pomaga w śledzeniu, niezbędność widoczności TAG-u przez kamerę nie jest również ułatwieniem.

Dyskwalifikującymi rozwiązaniem brakami, są brak natywnego wykrywania ludzi oraz brak *trackowania* szkieletu sylwetki. *Motion capture* z wykorzystaniem markerów ma bardzo wiele atutów w formie śledzenia postaci według ID oraz szkieletu danych, bardzo niskie opóźnienie percepcyjne, jest w stanie śledzić wiele osób bez zakłóceń oraz wykrywa sylwetki ludzi, jest w stanie podawać dane 3D oraz szczegółowe dane elementów szkieletu, metoda odznacza się bardzo dużą dokładnością śledzonych postaci oraz wysoka odpornością na zakłócenia zewnętrzne. Niestety dyskwalifikuje ją wymóg widocznych markerów na całym ciele w formie białych punktów, który w znaczący sposób wprowadzał by ograniczenia ruchu aktorów oraz psuł by immersyjny i estetyczny aspekt występów teatralnych.

Motion capture bez wykorzystania markerów wizyjnych - pozwala nam na przekazywanie ID postaci oraz dokładne dane szkieletu, przestrzeń w której może poruszać się aktor jest bardzo duża, opóźnienie percepcyjne jest niskie, system zazwyczaj jest w stanie śledzić 4 osoby, nie ma problemu z wykrywaniem ludzi oraz trackowania punktów w przestrzeni 3D jak również szkieletu.

Dokładność śledzenia pozycji jest bardzo wysoka. Z minusów są pewne obostrzenia jeżeli chodzi o odporność na zakłócenia, w szczególności w momencie gdy śledzonych jest więcej niż 1 aktor oraz aktor jest zmuszony nosić strój, który można schować pod strojem w niewidocznym miejscu.

Śledzenie radiowe - pozwala na śledzenie pozycji w bardzo rozległych obszarach oraz śledzić ludzi w bardzo dużych ilościach. Jest w stanie podawać dane w odniesieniu do przestrzeni 3D, z minusów niestety nie podaje danych o szkielecie oraz ma duże opóźnienie percepcyjne, dokładność śledzenia jest dosyć niska i wymaga synchronizacji wielu tagów.

Dyskwalifikujące braki to brak możliwości wykrywania ludzi, brak *trackowania* sylwetki oraz brak czułości na gesty ciała. Z powyższego wynika nam, iż jedynymi technikami *trackingu*, branyymi pod uwagę, są te oparte o pojedyncze kamery głębi oraz o *motion capture* bez wykorzystania markerów wizyjnych. Pojedyncze kamery głębi są dosyć tanie, ale posiadają duże ograniczenie przestrzenne natomiast techniki *motion capture* dają bardzo dobre rezultaty przestrzenne i stabilność *trackingu* kosztem droższej technologii.

Poniższa tabela prezentuje szacunkowe koszty dostępnych na rynku systemów do *trackowania*. Składowa od 1-6 oznacza jednostkowe koszty, jakie należy ponieść w celu zbudowania systemu u danego producenta. Dodatkowy koszt mówi nam o opcjonalnych kosztach rozwijającą możliwości aplikacji danych systemów. Zestaw 1-2 pokazuje najtańszą i najdroższą opcję zakupową. Zakładając budżet do 5000\$ za zestaw wyselekcjonowane zostało 11 różnych systemów do *trackowania* branych pod uwagę.

System	Składowa 1	Składowa 2	Składowa 3	Składowa 4	Składowa 5	Składowa 6	Dodatkowy koszt	Zestaw 1	Zestaw 2	Kosztowność	Współczynnik
BLACKTRAX	85000\$	X	X	X	X	X	47900\$	X	X	\$\$\$\$	130
VYV Albion	54500\$	400\$ / punkt tracker						1500\$	1500\$	\$\$\$\$	54,5
Dynamixyz	Live instant 742\$	live pro Single View - 6040\$	livepro Multi Vlew - 10040\$	PERFORMER Indie Single View - 6139\$	PERFORMER FACTORY Studios Single View with real time addons - 4905\$	PERFORMER FACTORY STUDIOS Multi View - 8,113\$	HEAD MOUNTED SYSTEMS od 1800\$ do 11100\$	PRFORMER FACTORY Studios Single View with REAL-TIME ADD-ONS - 15771\$	PERFORMER FACTORY Studios Multi Vlew with REAL-TIME ADD-ONS - 22979\$	\$\$\$\$	23
Nansense suit	suit- od 6299\$	software - 1799\$	gloves - od 5,799\$	X	X	X	X	8098\$	13897\$	\$\$\$\$	13,8
Faceware	live client for Unreal - 2500\$	Indie Realtime Headcam System - 3999\$	Mark III Realtime Wireless Headcam System - 13,499\$	X	X	X	X	X	X	\$\$\$-\$\$\$\$	13,5
RadarTouch	RTouch-500M E-LT - 5500€	RTouch-500ME - 8900€	RTouch-TH-Standard - 200€	X	X	X	X	5 700€	X	\$\$\$\$	8,9
Shadow	full body system - 4000\$	software -płacony miesięcznie 200\$	software na stałe - 4000\$	X	X	X	X	8000\$	6400\$	\$\$\$\$	8
Perception Neuron	Perception Neuron PRO 4,499.99\$	32 Neuron Edition V2 \$1,799.00 USD	X	X	X	X	X	1 x 32 Neuron Edition V2 + iClone Perception Neuron MOCAP Live 3,047\$	Perception Neuron Pro with iClone Perception Neuron MOCAP Live - \$5,647.00	\$\$-\$\$\$	5,6
XSENS	MTw2-DK-LITE - 740,00€	MTw2-DK-6 4390,00€	Awinda Recording + Docking Station - 950€	MTw Awinda Wireless 3DOF Motion Tracker - 400€	Awinda Receiving Dongle - 330€	X	MVN Awinda Full Body Strap Set - 600€	X	X	\$\$\$\$	4,4
RoKoKo Smartsuit Pro	Smartsuit Pro \$2,495	Partner integrations Reallusion partner bundles - 3,895\$	licencja pro \$39/miesiąc	X	X	X	X	4129\$/pierwszy rok	X	\$\$\$	4,2
Bonsai	2790CHF	X	X	X	X	X	X	X	X	\$\$\$	2,5
HTC TRACKER	HTC VIVE TRACKER - 119,99€	TRACKSTRAP / TRACKBELT - 69,99\$	professional vive pro starter kit - 1199€	Enterprise VIVE Pro FULL KIT - 1399€	X	X	X	1 318,99€	2 118,94€	\$\$-\$\$\$	2,2
The Capturey	Capturey studio basic - 1000€	captureystudio ultimate - 2000€	X	X	X	X	X	X	X	\$\$	2
Leap Motion	84€	X	X	X	X	X	dedykowany stand 500 zł	X	X	\$	1
Kinect v2	439zł	X	X	X	X	X	X	X	X	\$	0,5
OPENPTrack	Kinect x360-55zł	Kinect v2 - 439zł	Mesa SwissRanger SR4500 - brak dostępności	Blackfly S USB3-365 \$	X	X	X	X	X	\$	0,4

RealSense	Intel® RealSense™ Depth Camera D435i \$199.00	Intel® RealSense™ Tracking Camera T265 \$199.00	X	X	X	X	X	Intel® RealSense™ Depth + Tracking Bundle - \$359.00		\$	0,36
Sony Playstation Move	174zł	X	X	X	X	X	X	X	X	\$	0,05
Nunchack	120zł	X	X	X	X	X	X	X	X	\$	0,04
Augumenta	Augumenta is not fully ready for mass sale yet.									X	X

\$ - do 500€
\$\$ - od 500€ do - 2000€
\$\$\$ - od 2000€ do 5000€
\$\$\$\$ - od 5000\$

Zestawienie cen

3. Wybór oprogramowania do testów laboratoryjnych

W celu wybrania odpowiedniego oprogramowania do wykonania naszego prototypu, na podstawie wiedzy zgromadzonej w trakcie poszukiwania systemu do akwizycji ruchu oraz oprogramowania kompatybilnego, musimy odpowiedzieć sobie na pytanie jakie funkcjonalności musi implementować nasze oprogramowanie w celu możliwie jak najbardziej bezproblemowego przygotowania aplikacji końcowej oraz jak dane funkcjonalności przekładają się na koszty zakupu oprogramowania. Postaramy się również zidentyfikować możliwe połączenia między programami w celu uzyskania możliwie jak największego pokrycia różnego rodzaju funkcjonalności.

3.1. Funkcjonalności oprogramowania do użycia w końcowym programie

Po przeprowadzeniu *researchu* odnośnie wymogów naszej aplikacji dochodzimy do wniosku, że pewne niezbędne funkcjonalności są kluczowe w celu zapewnienia możliwie jak najlepszego, najwydajniejszego i najmniej czasochłonnego systemu poprzez zapewnienie implementacji następujących rozwiązań:

a) Protokół OSC/UDP - pozwala na realizowanie w prosty sposób komunikacji. Jest to protokół realizujący wymianę danych liczbowych pomiędzy systemami w możliwie prosty sposób. Open Sound Control(OSC) został pierwotnie stworzony na potrzeby wymiany danych pomiędzy komputerami a urządzeniami muzycznymi takimi jak keyboardy czy syntezatory. Dane mogą być przekazywane zarówno po sieci jak i kablem sieciowym czy też w obrębie systemu między programami. Pakiety OSC najczęściej przesłane są po przez protokół UDP, przez co użycie skrótów OSC i UDP może być tożsame. OSC cechuje się bardzo niskim opóźnieniem w przesyłaniu dzięki czemu idealnie nadaje się do stosowania w aplikacjach czasu rzeczywistego.

b) Plugin SPOUT - jest to darmowa biblioteka pozwalająca na strumieniowanie w czasie rzeczywistym materiałów wideo pomiędzy programami. Jeden program może jednocześnie wysyłać dane SPOUT jak i je jednocześnie odbierać. Niektóre programy tylko wysyłają lub odbierają dane SPOUT. Dane przesyłane przez SPOUT są to obrazki nie zawierające żadnych dodatkowych danych poza kolorem poszczególnych pikseli.

c) Python - możliwość implementowania bibliotek Python pozwala na znaczne rozszerzenie i dostosowanie oprogramowania pod szczegółowe wymagania. Pozwala na stworzenie fragmentu oprogramowania specjalnie na potrzeby tworzonego prototypu.

d) C++ - tak jak w przypadku Python, możliwość programowania w tym języku *shaderów* daje rozszerzone możliwości optymalizacyjne i pozwala w pewnych sytuacjach na znaczne przyspieszenie naszego oprogramowania. Pozwala też na tworzenie nowych komunikacji między programami a urządzeniami, które udostępniają SDK deweloperskie.

e) *fbx,*obj - ze względu na wymóg użycia w powstającym prototypie elementów 3D, większość popularnych programów na rynku pozwalają na wygenerowanie obiektów 3D z wykorzystaniem formatów *fbx oraz *obj.

f) Sensory TOF - sensory Time of Flight Camera, to kamery głębi pozwalające zidentyfikować nie tylko kolor danego obiektu, który stoi przed obiektywem, ale również

jego pozycję w przestrzeni poprzez pomiar prędkości światła odbitego od obiektów nie refleksyjnych. Sensory tego typu jak Kinect pozwalają na akwizycje ruchu w czasie rzeczywistym bez potrzeby zakładania jakichkolwiek sensorów na aktora.

g) Komunikacja seryjna - pozwala na wymianę danych komputera z kontrolerami typu Aduino, dzięki czemu mamy możliwość również stworzenia specjalnych części / sensorów opartych o mikrokontrolery.

h) Render czasu rzeczywistego - od naszego oprogramowania również wymagamy *renderingu* w czasie rzeczywistym, w rozdzielczości przynajmniej 1920x1080 oraz 60 klatek na sekundę. Dodatkowym atutem będzie wsparcie technologii *ray tracingu*.

i) Multidisplay render - wsparcie dla *renderowania* obrazu dla kilku wyświetlaczy jednocześnie, ponieważ chcemy by nasz końcowy prototyp wyświetlał animacje zarówno na podłodze sceny jaki i na tyle scenografii.

j) UI - wymagamy również od oprogramowania możliwość stworzenia przyjaznego użytkownikowi *interfejsu*, w celu zarządzania wyświetlanymi treściami.

k) TCP/IP - wsparcie dla komunikacji sieciowej, dzięki któremu można pobrać zarówno dane z sieci internet w czasie rzeczywistym jak i dane z lokalnego połączenia sieciowego między komputerami.

l) PBR - są to materiały wykorzystywane przez silniki gier komputerowych do odwzorowywanie fotorealistycznych tekstur, które oddziałują ze światłem jak w rzeczywistości na podstawie opisu ich właściwości fizycznych.

m) Wsparcie formatów filmowych - w niektórych sytuacjach jako tło naszych animacji zostaną wykorzystane gotowe animacje z biblioteki animacji naszego prototypu, dlatego niezbędne jest zaimplementowanie wsparcia dla formatów filmowych takich ze wsparciem bezdekompresyjnych kodeków takich jak HAP Q.

n) Proceduralna geometria - pozwala na tworzenie obiektów 3D poprzez zmianę parametrów wejściowych - takie podejście pozwoli na pewną elastyczność w trakcie generowania animacji w czasie rzeczywistym, w trakcie realizacji przedstawienia / eventu z użyciem naszego prototypu.

3.2. Niezbędne

1. Komunikacja OSC (wymiana danych liczbowych między systemami).
2. Komunikacja SPOUT (wymiana ramki obrazu między *software'em*).
3. Możliwość implementowania bibliotek zewnętrznych Python, C++.
4. Obsługa formatu 3D takich jak *.fbx oraz *.obj.
5. Wsparcie kamer głębi.
6. Wsparcie komunikacji seryjnej.
7. Wsparcie *renderingu* rozdzielczości 1920 x 1080 i w górę.
8. Wsparcie trybu 60 fps i więcej.
9. Wsparcie wielu wyświetlaczy.
10. Wsparcie tworzenia *interfejsu* użytkownika UI.
11. Wsparcie TCP/IP.
12. Materiały PBR.
13. Proceduralne tworzenie geometrii.

3.3. Funkcjonalności - opcjonalnie na plus

1. Jeżeli to możliwe całość oprogramowania na jednym zintegrowanym serwerze.
2. *Rendering* z wykorzystaniem *Ray Tracingu*.
3. Zintegrowany z programem silnik fizyczny.
4. Obsługa NVIDIA PHYSIX.
5. Obsługa kamer po NDI.
6. Wsparcie zewnętrznych programów graficznych takich jak np. Photoshop.
7. Natywny silnik cząsteczek CPU.
8. Natywny silnik cząsteczek GPU.
9. Wsparcie wielowątkowości CPU.
10. Wsparcie TUIO.
11. Wsparcie MIDI.

3.4. Cele do realizacji

1. Animacje interaktywne 2D.
2. Animacje interaktywne 3D.
3. Baza danych elementów animacyjnych (deszcz, śnieg, woda, kaplica, szkoła, las, łąka itp).
4. Oferta interaktywnej scenografii do sprzedaży.
5. W miarę możliwości niskie koszty zakupu i użytkowania.
6. Budowa prototypu / integracja całości systemu.
7. Nowy sposób połączenia ze sobą urządzeń.
8. Tła.
9. System zarządzania (oprogramowanie).
10. System kalibracji.
11. Zintegrowany odczyt danych z różnych czujników.
12. System zarządzanie energią (czujniki i inne elementy).

3.5. Zestawienie cen

Poniższa tabela prezentuje koszty oprogramowania możliwego do użycia w celu zaprogramowania prototypu naszego systemu do trackowania postaci scenicznych. W polu 'Trial' zawarty jest koszt za wersję próbną oprogramowania. W polach 'Cena 1-5' mamy zawarte ceny różnych konfiguracji i wariantów oprogramowania. Pole 'Koszt opcjonalny' zawiera opcjonalne koszty naliczane jako opcjonalne przy zamówieniu. Pola 'Zestaw 1-4' pokazują różne konfiguracje zestawów oprogramowania. Z poniższej tabeli widać, że przy założeniu budżetu na poziomie 5000\$ jesteśmy w stanie zakupić 12 z poniższych zakładanych oprogramowań.

Oprogramowanie	Trial	Cena 1	Cena 2	Cena 3	Cena 4	Cena 5	Koszt opcjonalny	Zestaw 1	Zestaw 2	Zestaw 3	Zestaw 4	Kosztowność
TouchDesigner	0	600\$ na stałe	300\$	2200\$	800\$	180\$	50\$	900\$	1130\$	3000\$	3230\$	\$\$-\$\$\$
Notch VFX	0	99£	99£/miesiąc	189£ / miesiąc	2500£ /rok	180\$	X	594£	1134£	2268£/rok	2500£/rok	\$\$\$
Unity	0	35\$/miesiąc	300\$/rok	125\$/miesiąc	125\$/miesiąc	X	X	0	420\$	300\$	1500\$	\$
Resolume	0	299€	799€	X	X	X	X	0	299€	799€	X	\$\$
VVV	0	238€/tydzień	595€	X	X	X	X	11424€	595€	X	X	\$\$
MAX/MSP	0	9,99\$/miesiąc	99\$/rok	399\$ na stałe	X	X	X	119,88\$	99\$	399\$	X	\$
Biblioteka Cinder	0	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	\$
Biblioteka OpenFrameworks	0	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	\$
Biblioteka Processing	0	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	\$
Biblioteka tree.js	0	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	\$
S.MODE	0	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	X
Unreal Engine 4	0	5%	X	X	X	X	X	0	5%	X	X	\$
VVV PHOTON	tylko dedykowanym serwerem 54,500\$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

\$ - do 500€
\$\$ - od 500€ do - 2000€
\$\$\$ - od 2000€ do 5000€
\$\$\$\$ - od 5000\$

4. Aplikacje testowe: czujnik + oprogramowanie.

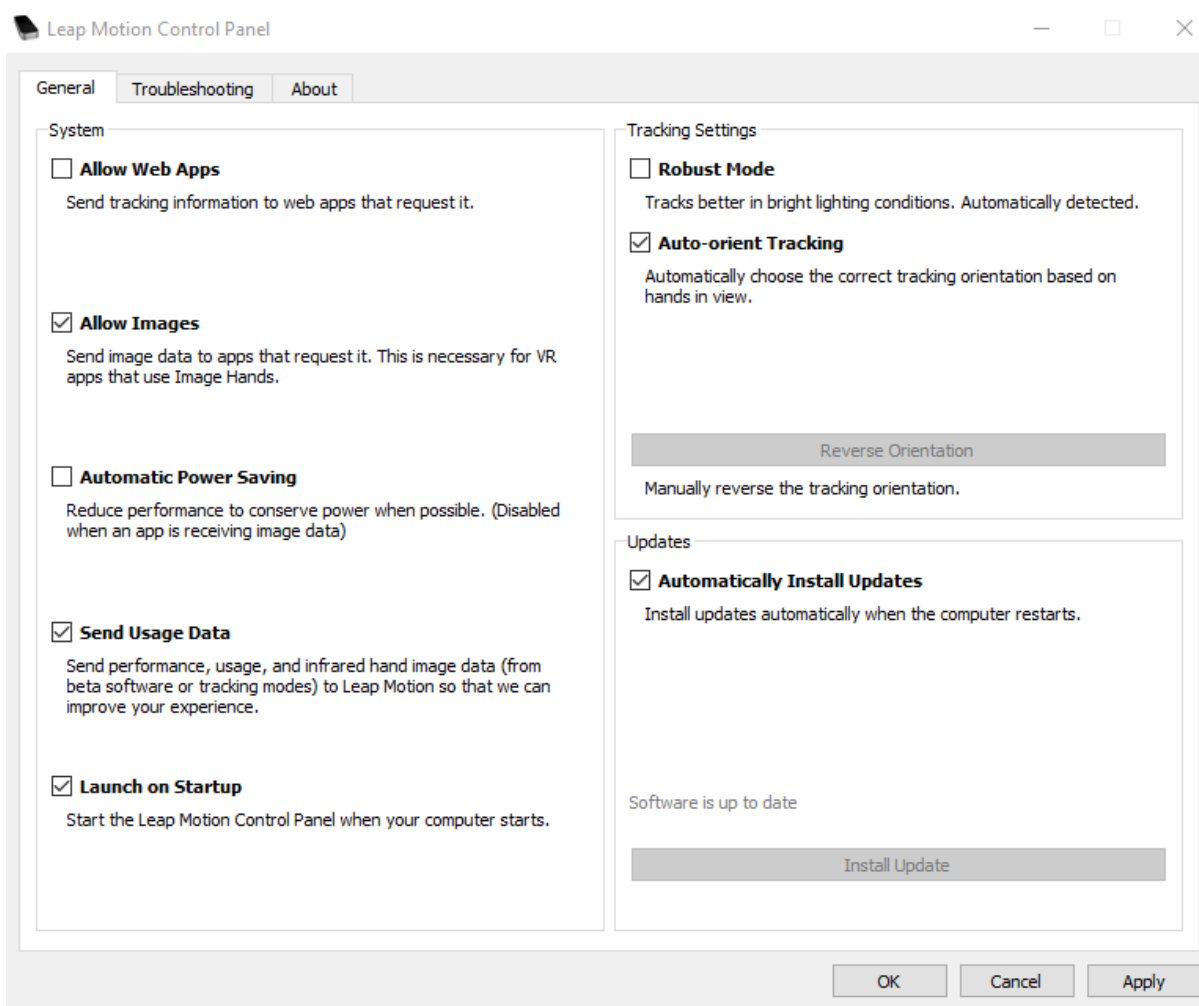
W ramach przetestowania możliwości, branych pod uwagę aplikacji oraz czujników, postaramy się przetestować różne rozwiązania pod kątem użyteczności ich wykorzystania w warunkach scenicznych. Skupimy się na możliwości implementacji różnych rozwiązań przy pomocy różnych programów i bibliotek. Postaramy się zidentyfikować najdogodniejsze rozwiązanie, które posłuży do budowy prototypu budowanego przez nas zestawu oprogramowania oraz czujników do akwizycji ruchu. Przegląd pozwoli nam również na wyeliminowanie wszelkich trudności które mogą zaistnieć na etapie wytwarzania oprogramowania naszego prototypu.

4.1. Leap Motion

4.1.1. Wstęp

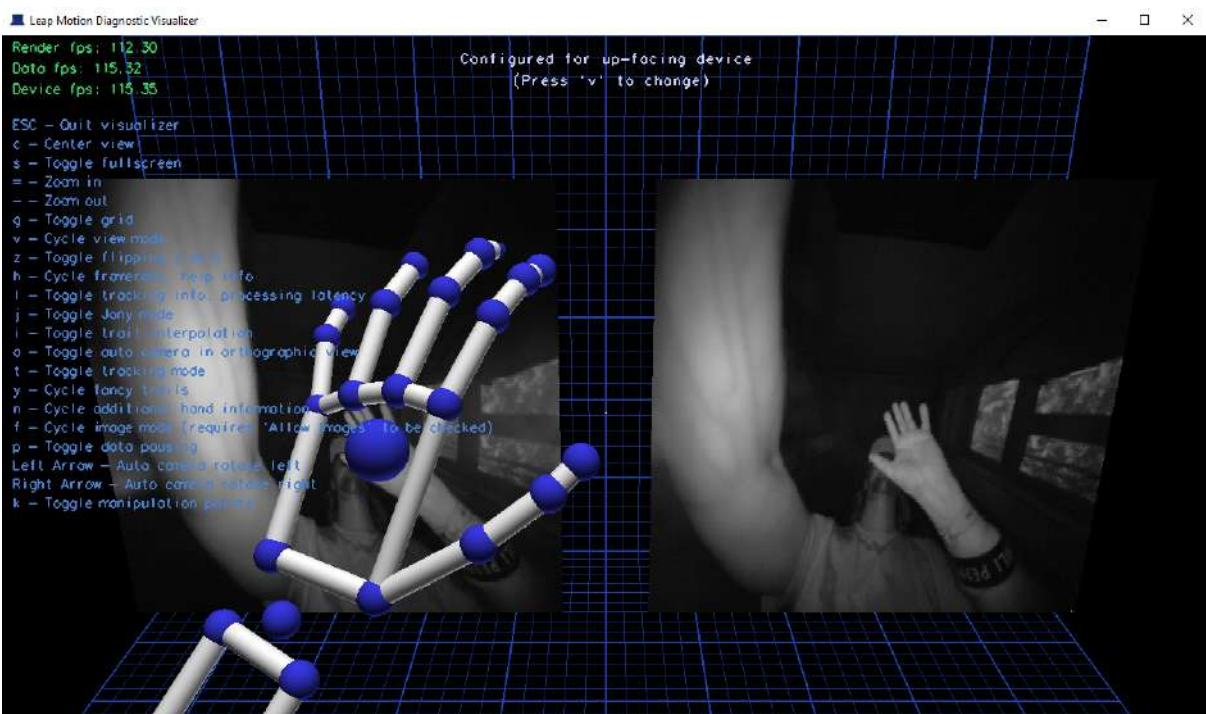
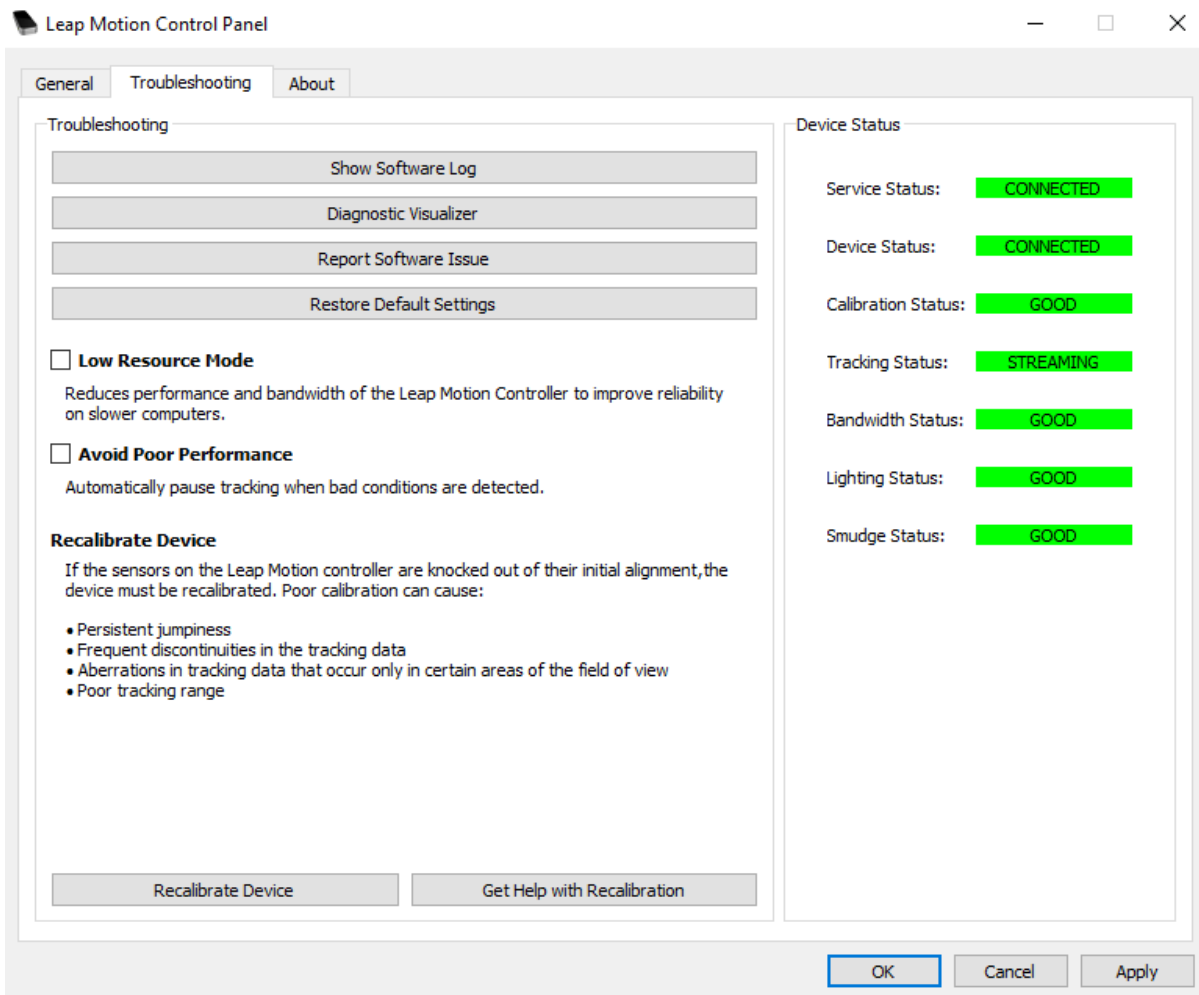
Leap Motion posiada własny panel Leap Motion Control, który używany jest do konfiguracji urządzenia oraz o dbanie o jakość przechwytywanego trackingu.

Leap Motion Control Panel zawiera dwie istotne zakładki. Pierwsza z nich *General* zawiera kilka ważnych funkcjonalności.



Z eventowego punktu widzenia, dla stabilnego funkcjonowania interesuje nas zapewnienie, że funkcja *Automatic Power Saving* jest odznaczona dzięki czemu responsywność urządzenia jest zwiększona. Ważne jest też, aby serwer Leap Motion był włączony wraz ze startem systemu. Dodatkowo funkcja *Robust mode* pozwoli na lepsze traktowanie w warunkach dużego oświetlenia scenicznego.

Druga zakładka *Troubleshooting* pozwala nam na wychwycenie wszelkich nieprawidłowości w funkcjonowaniu urządzenia. W tej zakładce należy mieć zaznaczoną funkcję *Avoid Poor Performance*, żeby urządzenie nie przerywało śledzenia w jakichkolwiek warunkach. Potwierdzić poprawność działania urządzenia, możemy poprzez *Diagnostic Visualizer* który pozwala nam na sprawdzenie funkcjonowania trackingu całej przestrzeni, udostępnianej przez Leap Motion oraz za pomocą *Recalibrate Device* możemy przywrócić pełnię działania urządzenia w przypadku wykrycia jakiś większych problemów.



Istotne jest też aby wszystkie statusy w polu *Device status* wyświetlały się na zielono, co oznacza, że nie występuje żaden problem w funkcjonowaniu Leap Motion.

4.1.2. Unity

Implementacja funkcjonalności Leap Motion w środowisku Unity jest najprostszym do wdrożenia w porównaniu do pozostałych programów. Funkcjonalności pozwalające na wchodzenie w interakcje z obiektami w scenie oraz samo dodanie wirtualnej dłoni do sceny jest proste i polega na dodaniu assetów Leap Motion do istniejącego programu i wstawieniu do sceny odpowiedniej kamery, która zawiera przykładową reprezentację wizualną dłoni. Podejście przedstawione w Unity w najprostszy sposób pozwala wizualizować interakcję z wirtualnym otoczeniem naszego programu.

W oknie *Project*, środowiska Unity należy zaimportować dostarczane *assets* przez producenta, które można znaleźć na stronie <https://developer.leapmotion.com/> "Unity Assets for Leap Motion Orion Beta", następnie w folderze *Rigged Hands* posiadamy gotowe dłonie wraz z odpowiednio ustawioną kamerą do użytkowania w naszych aplikacjach "Leap Hands Demo (*desktop*)".

Fizyka - dzięki wykorzystaniu wbudowanego silnika fizyki w środowisko Unity jesteśmy w stanie w prosty sposób symulować zachowanie różnego rodzaju obiektów przypisując im właściwości fizyczne, podobne do tych z realnego otoczenia. Działanie Leap Motion z wirtualnymi obiektami jest domyślnie włączone w funkcjonalności *assetów* dostarczonych przez producenta na potrzeby integracji ze środowiskiem Unity. Wchodzenie w interakcję jest intuicyjne, oraz stabilność symulacji fizyki jest na wysokim poziomie. Wystarczy do dowolnego obiektu w scenie dodać funkcjonalność *RigidBody* by móc automatycznie korzystać z wbudowanego silnika fizycznego.

Interakcja - wchodzenie w interakcje możliwe jest również dzięki *assetom* dostarczonym przez producenta na potrzeby współpracy z Unity. Wystarczy do dowolnego elementu w scenie dodać odpowiednią funkcjonalność, aby można było taki obiekt przenosić i przestawiać w obrębie sceny z wykorzystaniem kontrolera Leap Motion. Funkcjonalność jest prosta w użytkowaniu i intuicyjna. Z dostarczonych przez producenta *assetów*, należy do sceny dodać *Asset Interaction Manager* z folderu *prefabs* oraz połączyć go z *handModules* znajdującym się w obiekcie kamery Leap Motion projektu demo *Leap Hands Demo (Desktop)*, poprzez dodanie odpowiednio *Interaction Hand (Left)* oraz *Interaction Hand (Right)* oraz wskazania w obu przypadkach odpowiedniego menedżera *Interaction Manager*, który uprzednio dodaliśmy do sceny. Ostatnim krokiem jest dodanie do naszego obiektu z którym chcemy wejść w interakcję, odpowiedniego skryptu *Interactive Behaviour*, znajdującego się w folderze *scripts/unity* oraz wskazanie w skrypcie naszego *Asset Interaction Manager*. Jest to obok Unreal Engine najbardziej rozwinięta funkcjonalność obsługi różnego rodzaju zachowań interaktywnych.

Wizualizacja dłoni - dłoń w Unity posiada wbudowane dwie reprezentacje - jedna geometryczna prezentująca zarys dłoni oraz druga nisko poligonowa, bardziej realistyczna reprezentacja dłoni. Dostarczone dwa przykłady przez producenta są wystarczającą podstawą do stworzenia własnego obiektu reprezentującego dłoń.

4.1.3. Notch

Notch VFX nie posiada wbudowanego pluginu oraz producent nie dostarcza takiego rozwiązania bezpośrednio. W celu przekazania danych z sensora Leap Motion wykorzystana została komunikacja OSC. Ponieważ w programie Leap Motion domyślnie wbudowany jest plugin do Leap Motion oraz możliwa jest komunikacja OSC, został stworzony pomost przekazujący dane z Leap Motion do TouchDesigner a następnie poprzez komunikację OSC z TouchDesigner do Notch VFX. Rozwiązanie takie nie jest bardzo skomplikowane lecz wymaga dodatkowego programu przekazującego dane z Leap Motion do Notch VFX. Jest to jedyne rozwiązanie na obecny moment gdyż nie ma możliwości pisania własnych spersonalizowanych nodów wprowadzających dodatkowe funkcjonalności.

Fizyka - możliwa jest interakcja z fizyką w Notch VFX poprzez stworzenie obiektów kolizyjnych w notch VFX i wykorzystanie wbudowanego silnika fizycznego za pomocą Nod-u OSC, przekazujemy poszczególne dane o pozycjach poszczególnych punktów zgięcia naszej dłoni, przypisując odpowiednią pozycję rotacji dowolnemu obiektowi ruchomemu w Notch VFX.

Interakcja - powodu braku oficjalnego pluginu, jedyną możliwością zbudowania prostej interakcji jest skorzystanie z detekcji kolizji, która wywoływała by określone akcje w obrębie naszego programu.

Wizualizacja dłoni - raczej uproszczona, opierająca się na różnego rodzaju efektach graficznych przypisanych do punktów charakterystycznych śledzonych przez Leap Motion naszej dłoni.

4.1.4. Unreal engine

Leap Motion pomimo oficjalnego wsparcia pluginem w Unreal Engine w wersjach 4.7+ wymaga instalacje nieoficjalnych pluginów, gdyż oficjalny plugin nie dostaje pełnego wsparcia i w najnowszych wersjach najczęściej nie działa poprawnie. Sytuacja taka występuje ze względu na istnienie kilku wersji deweloperskich SDK, oprogramowania do Leap Motion. Dopiero wykorzystanie *pluginu* rozwijanego przez społeczność zebraną wokół urządzenia pozwolił na jego poprawną implementację w silniku.

Poprzez specjalnie przygotowane blueprinty jesteśmy w stanie odpalić urządzenie w najnowszej w wersji SDK 3.4 oraz wersji silnika Unreal Engine 4.23 oraz *pluginu* zawartego na oficjalnej stronie GitHub Leap Motion o nazwie Leap Unreal. W celu wykorzystania trackingu dłoni, po włączeniu *pluginu* po stronie silnika, wystarczy zmienić w ustawieniach podstawowego kontrolera z *default pawn* na LeapHandsPawn, bądź należy dodać obiekt *blueprint* do sceny i ustawić funkcję *auto-posses* do player 0, który jest domyślnym graczem odpalany przez Unreal Engine. Domyślnym ustawieniem urządzenia jest śledzenie dłoni z pozycji sensora leżącego poziomo na płaskiej powierzchni skierowanego kamerami w górę. Możliwe jest również zamontowanie takiego czujnika na goglach wirtualnej rzeczywistości, wtedy tracking dokonywany jest z perspektywy pierwszoosobowej gracza.

Fizyka - wykorzystując domyślnego aktora Unreal Engine 4 automatycznie, dostajemy zaimplementowane właściwości fizyczne ze wszelkimi obiektami w scenie. Realizm fizyki jest bardzo duży i najlepiej odwzorowany na tle pozostałych silników renderujących. Aby móc wchodzić w fizyczną interakcję z obiektami w scenie potrzebujemy tylko zmienić w ich właściwościach ustawienie *Mobility* z opcji *static* na opcje *movable*.

Interakcja - przy pomocy gotowych funkcji *blueprint* Grab oraz Pinch dla obu dłoni, jesteśmy w stanie podnosić i ścisnąć różne obiekty w scenie. Funkcjonalność taka pozwala nam na przesuwanie obiektów w scenie i umiejscowienie ich w precyzyjnie wyznaczonych przez nas miejscach. Obiekty do wchodzenia w interakcję przez obiekt LeapHandsPawn, nie wymagają żadnej dodatkowej obróbki - wystarczy ustawić opcje *mobility* na *movable* oraz zmienić *default pawn* na LeapHandsPawn. Funkcjonalności do wchodzenia w interakcje, dostępne są globalnie z poziomu samego aktora Leap, który z wykorzystaniem zdarzeń delegat pozwala na dodanie eventów informujących programistę o tym, w jakiej pozycji jest dłoń, czy dłoń została ściśnięta bądź też rozluźniona i w jakim stopniu został wykonany gest uszczypnięcia czyli odległość pomiędzy kciukiem a palcem wskazującym wybranej dłoni.

Wizualizacja dłoni - *plugin* do Unreal Engine, posiada własne wymodelowane oraz zrigowane dłonie, dzięki którym jesteśmy w stanie wchodzić w wizualną interakcję z obiektami w scenie. *Plugin* dostarcza tylko jeden taki obiekt dla obu dłoni. Możliwe jest stworzenie własnych modeli dłoni. GitHub LeapMotion zawiera instrukcje krok po kroku, jak należy postępować z modelem aby stworzyć odpowiedni *rig* i móc go używać w scenie. Na potrzeby naszych testów podstawowy *rig* dłoni dostarczony z *pluginem* jest jak najbardziej wystarczający.

4.1.5. TouchDesigner

TouchDesigner posiada wbudowany *plugin* do obsługi sensora Leap Motion, LeapMotion CHOP, dzięki czemu w prosty sposób jesteśmy w stanie pracować na danych przekazywanych przez sensor. TouchDesigner posiada również podgląd na żywo z kamery sensora LeapMotion TOP, który można również wykorzystać do wizualizacji i interakcji. *Plugin* nie wymaga żadnych dodatkowych instalacji i konfiguracji gdyż wbudowany jest w samo środowisko. Przekazuje on bardzo obszerne informacje na temat punktów charakterystycznych śledzonych dłoni. *Plugin* daje dużą swobodę co do ilości przekazywanych danych do obróbki.

Fizyka - możliwa jest interakcja z obiektami fizycznymi poprzez wbudowany silnik fizyczny *bullet solver*. Działanie fizyki jest precyzyjne i proste w użytkowaniu. Wystarczy do projektu dodać *Node Bullet Solver*, w którego wnętrzu zagnieżdżone są aktor oraz obiekty posiadające przypisane właściwości statyczne (*Static Infinite Mass*) oraz dynamiczne (*Dynamic Finite Mass*). Odpowiednim punktom zgięcia przypisuje modele, które zagnieżdżamy w środku *Bullet Solver Node*, dzięki czemu możliwa jest interakcja z fizyką.

Interakcja - wchodzenie w interakcję możliwe jest do zrealizowania poprzez detekcję pozycji w której znajdują się poszczególne elementy charakterystyczne, naszej śledzonej dłoni w środowisku 3D. Jeśli dany element dłoni wejdzie w odpowiednie pole, możliwe jest zaprogramowanie odpowiedniego zachowania i wywoływanie określonych akcji interaktywnych. *Plugin* posiada również informację o gestach wykonywanych dłońmi do których również można przypisać pewnego rodzaju akcje i zachowania. Alternatywną opcją wchodzenia w interakcję jest wykorzystanie obrazu z węzła Leap Motion TOP, który po odpowiedniej obróbce można wykorzystać w celach interaktywnych

Wizualizacja dłoni - jest możliwe stworzenie realistycznej dłoni z wykorzystaniem systemu kości oraz podpięcie odpowiedniego modelu 3D, poprzez wykorzystanie możliwości programowania shaderów GLSL jest to dosyć skomplikowany proces. Prostsza opcją przy wykorzystaniu dosyć podstawowej matematyki, jest możliwe zbudowanie geometrycznej reprezentacji abstrakcyjnej dłoni.

4.2. Xsens

4.2.1. Wstęp

Na podstawie rozważań zakup sprzętu do interaktywnej akwizycji ruchu aktorów na scenie, zdecydowaliśmy, że jednym z najbardziej obiecujących rozwiązań jest system strojów firmy Xsens. Po przeprowadzonym *researchu* zdecydowaliśmy się na zamówienie na potrzeby testów dwóch strojów Xsens Awinda oraz Xsens Link. Oba stroje mają podobne działanie, ale są nieco inaczej skonfigurowane.

Xsens korzysta z własnego oprogramowania MVN Animate, który powinien pozwolić na przekazywanie danych w czasie rzeczywistym do oprogramowania Unreal Engine 4. Wykorzystanie silnika Unreal Engine 4 do produkcji interaktywnych animacji oraz możliwe przekazanie przy jego pomocy danych do oprogramowania TouchDesigner, jest jednym z powodów rozważania wykorzystania strojów od Xsens do przechwytywania ruchu w czasie rzeczywistym.

Zamówienie strojów do testów poprzedzone zostało kontaktem z dystrybutorami rozwiązania na Polskę oraz rozmową internetową z twórcami rozwiązania, których siedziba zlokalizowana jest w Holandii. Została nam również przedstawiona prezentacja na żywo w siedzibie firmy, gdzie po pierwszym spotkaniu i możliwości zobaczenia stroju Xsens Link przygotowany został zestaw testów, który ma za zadanie zidentyfikować możliwość ewentualnego wykorzystania strojów w końcowym prototypie naszej pracy badawczej.

4.2.2. Zestawienie danych oraz ich interpretacja na podstawie wrażeń z użytkowania

Parametr	Deklarowany przez producenta MVN Awinda	Opinia po testach MVN Awinda	Deklarowany przez producenta MVN Link	Opinia po testach
Wersja	Osobne paski dla każdego z czujników	Czujniki mocowane na paskach, które po dłuższym czasie montażu na ubraniu powodują lekkie przemieszczenie nie powodujące problemu z obrabianymi danymi. Zasilanie każdego z czujników powoduje potrzebę demontowania wszystkich czujników w celu ich ponownego naładowania. Po mimo tego iż wersja czujników MVN Awinda mówi o wykorzystaniu pasków to do całości stroju dostarczana jest również koszulka oraz specjalny pas który utrzymuje czujnik na dolnym odcinku kręgosłupa oraz koszulkę w jednym miejscu. Koszulki dostaliśmy w zestawie w rozmiarach S,M oraz L i nie są przystosowane do zakładania na mniejsze lub większe osoby.	Strój z lajkry, 5 rozmiarów	Stroje dostosowane raczej do szczupłych osób. Wersja dostarczona posiadała 3 rozmiary S, M oraz L. Stroje komfortowe, aczkolwiek są ciepłe i podłożone pod strój aktora powodują lekki dyskomfort z powodu wzrostu temperatury. Brak wyraźnego zauważalnego ograniczenia w ruchu. Wygodny dostęp do odbiornika oraz baterii umiejscowionych na plecach aktorów.
Czujniki	17 czujników bezprzewodowych	Czujniki łatwo demontowalne, przytwierdzone przy pomocy rzepów. wszystkie komunikują się bezprzewodowo i nie powstaje dyskomfort prowadzenia przewodów po ciele aktora, Czujniki znacząco większe niż w Llnk i ciężko ukryć ich obecność pod strojem.	17 czujników przewodowych	Podmiana czujników między strojami dosyć czasochłonna z powodu potrzeby przeciągania przewodów przez specjalne tunele zawarte w stroju. Czujniki małe nie krępujące ruchów i praktycznie niewyczuwalne. Przewody na ciele są wyczuwalne ale nie powodują znacznego dyskomfortu u aktora.
Dane ze stroju	Jakość laboratoryjna	Odebrane dane są wystarczające na potrzeby realizacji eventu live przy wykorzystaniu animacji generowanych w czasie rzeczywistym odtwarzanych z prędkością 60 klatek na sekundę.	Jakość laboratoryjna	Odebrane dane pozwalają na stworzenie droższej wersji oprogramowania, pozwalającej na wykorzystanie wyświetlaczy o odświeżaniu powyżej 60 klatek na sekundę.
Czas założenia	10 minut	Pierwsze założenie stroju trwało znacznie krócej niż MVN Link, niestety każde następne założenie stroju zajmuje w okolicach deklarowanych 10 minut. Po założeniu stroju, jeżeli trzeba przebrać aktora jest trochę łatwiej niż w MBN Link, gdyż nie trzeba demontować wszystkich pasków, tylko te które utrudniają.	10 minut	Pierwsze założenie stroju wymagało znacznie więcej niż 10 minut, gdyż trzeba było zintegrować czujniki wraz ze strojem z lajkry. Natomiast gdy strój już ma naniesione odpowiednio czujniki jego założenie trwa nawet krócej niż deklarowane 10 minut. Strój w całości trzeba zakładać pod strój aktora. co może powodować pewne niezręczności.
Opóźnienie	30ms	Opóźnienie w przekazywaniu danych mieści się w 2-3 klatkach, czyli <48ms, co jest akceptowalnym wynikiem i jest praktycznie niezauważalne gołym okiem w aplikacji funkcjonującej w 60 klatkach odświeżania.	10ms	Opóźnienie jest na doskonałym poziomie równym 1-2 klatce < 32ms bardziej idealnego trackowania dla aplikacji chodzącej w 60 klatkach

				odświeżania nie jesteśmy w stanie uzyskać. Przy opóźnieniu na poziomie 10 ms moglibyśmy wyświetlić aplikacje do prędkości 100 klatek bez odczucią jakiegokolwiek opóźnienia.
Połączenie z wieloma strobami	Kilka stacji nadawczo odbiorczych	Z uwagi na posiadanie 1 stroju została tylko sprawdzona możliwość połączenia ze sobą MVN Awindy oraz MVN Linka.	Jeden router dla kilku strojów	Z uwagi na posiadanie 1 stroju została tylko sprawdzona możliwość połączenia ze sobą MVN Awindy oraz MVN Linka.
Zarządzanie zasilaniem	17 baterii	Oprogramowanie MVN Analize pokazuje jaki jest stan baterii każdego z czujników. To czy są aktywne również można sprawdzić w aplikacji. Włącza się je poprzez przytrzymanie przycisku na czujniku przez około 3 sekundy. Czujniki rozładowują się równomiernie, więc gdy zaistnieje potrzeba ładowania czujników to najczęściej należy je ładować wszystkie naraz. Robi się to poprzez wyciągnięcie czujników i włożenie ich do dostarczonych stacji ładujących z których każda obsługuje 6 baterii. Jedna ze stacji pełni również rolę zbiornika zbiorczego sygnału z poszczególnych czujników. Niestety wymiana stroju powoduje również iż po wyładowaniu nadajników nie jest możliwe prowadzenie dalszych prób bez posiadania dodatkowego zestawu.	1 bateria	Bateria zamontowana jest pod lewą łopatką aktora - wymiana oraz ładowanie jej jest bezproblemowe i nie wymaga większej ilości czasu. Można też wymienić pakiet baterijny i kontynuować pracę z naszym strojem.
Żywotność baterii	6h	Zmierzona przez nasz żywotność pakietów baterijnych pozwoliła określić, iż czas pracy zapewniony przez producenta jest czasem realnym, a w zależności od sesji można otrzymać kilka minut więcej na jednym pakiecie baterijnym.	9,5h	Zmierzona przez nasz żywotność pakietów baterijnych pozwoliła określić, iż czas pracy zapewniony przez producenta jest czasem realnym, a w zależności od sesji można otrzymać kilka minut więcej na jednym pakiecie baterijnym.
Zasięg wewnętrzny oraz zewnętrzny	20 m w pomieszczeniach zamkniętych, 50m w przestrzeniach otwartych	Zmierzony przez nas zasięg pozwalał na przekroczenie deklarowanych wartości przez producenta. Zwiększenie odległości względem deklarowanej przez producenta powodowało niestabilności w śledzeniu sylwetek.	50m w pomieszczeniach zamkniętych, 100m w przestrzeniach otwartych	Mierzony przez nas zasięg pozwalał na przekroczenie deklarowanych wartości przez producenta. Zwiększenie odległości względem deklarowanej przez producenta powodowało niestabilności w śledzeniu sylwetek.
Zapisywanie danych wewnątrz czujników	30 sekund	Pozwoliliśmy sobie pominąć tę daną z uwagi na wymogi naszego programu końcowego który przechwytuje dane w czasie rzeczywistym.	10 minut	Pozwoliliśmy sobie pominąć tę daną z uwagi na wymogi naszego programu końcowego który przechwytuje dane w czasie rzeczywistym.
Odświeżanie czujników	1000 Hz	Dane precyzyjne ciężko jest stwierdzić jakkolwiek różnice między strobami.	1000 Hz	Dane precyzyjne ciężko jest stwierdzić jakkolwiek różnice między strobami.
Prędkość odświeżania wychodzących danych	60 Hz	Odświeżanie w programie pokazywało dokładnie 60 Hz. przy korzystaniu z monitorów i projektorów odświeżanych w 60 HZ (60 klatkach) nie odnotowaliśmy straty w przesyłanych danych pod	240Hz	Odświeżanie w programie pokazywało 240hz, odczuwalna była różnica w porównaniu do Xsens Awinda pod względem zminimalizowania opóźnienia

		warunkiem przebywania stroju w obrębie deklarowanego zasięgu.		oraz dokładniejszej animacji. testowy ekran odświeżany był z prędkością 60hz. Zapas danych do interpolacji skutkował płynniejszą animacją.
--	--	---	--	--

Version
Strap-based

Trackers
17 Wireless

Motion data
Lab quality

Setup time
10 minutes

Latency
30 ms

Wireless data link
One Awinda station per person

Battery management
17 batteries

Battery life
6 h

Wireless range Indoor/outdoor
20/50 m (60/150 ft)

On-body buffering
30 s

Internal update rate
1000 Hz

Accessibility
Wearable straps, one-size-fits-all

Ideal for groups (education)
✓

Portability
Backpack

Output rate
60 Hz

Validated
✓

Version
Lycra suit

Trackers
17 Wired

Motion data
Lab quality

Setup time
10 minutes

Latency
20 ms

Battery management
One battery

On-body recording
✓

Wireless data link
One Access Point for Multiple persons

Wireless range Indoor/outdoor
50/150 m (150/450 ft) Extendable

On-body buffering
10 m

Internal update rate
1000 Hz

Output rate
240 Hz

Accessibility
Lycra suit, 5 sizes

Battery life
9.5 h

Portability
Suitcase

Validated
✓

4.2.3 Zestawienie komfortu dla aktora, różnice między strojami

Do wytestowania otrzymaliśmy dwa stroje Xsens Awinda oraz Xsens Link. Stroje działają w podobnej technologii, ale różnią się od siebie sposobem mocowania czujników na ciele aktora. Oba stroje składają się z 17 czujników umieszczonych w identycznych miejscach na ciele aktora.

Xsens Awinda korzysta z 9 pasków, dwóch rękawiczek, przepaski na głowę, miękkich wkładek ochronnych do butów oraz koszulki.

Xsens Link natomiast składa się z 2 rękawiczek kostiumu, przepaski na głowę oraz wkładek ochronnych do butów.

4.2.3.1. Montaż

Xsens Awinda - osiem pierwszych czujników Awindy mocowane jest przy pomocy pasków na nogach i rękach oraz jeden dodatkowy pasek do mocowania czujnika pośrodku w dolnej partii pleców. Paski mocowane są w każdym z miejsc gdzie docelowo mają znaleźć się czujniki zestawu Awinda i każdy z nich przyczepia się do pasków przy pomocy rzepów. Dwa pierwsze czujniki montowane są na przedramieniu, zaraz powyżej nadgarstka. Czujniki montowane na ramionach, montowane są po zewnętrznej płaskiej stronie ramion. Czujniki na łydkach mocuje się po wewnętrznej płaskiej stronie zaraz pod kolanem. Na udach czujniki montowane są po zewnętrznej stronie na płaskiej powierzchni uda. Trzy następne czujniki mocowane są do dostarczonej przez producenta koszulki, dwa z nich na łopatkach oraz jeden po środku klatki piersiowej. Dwa czujniki odpowiednio znajdują się na obu stopach aktorów i mocowane są do butów pod sznurówkę lub pod język buta. Dla wygody montażu producent dostarcza miękką wkładkę do buta która zwiększa komfort użytkowania, szczególnie ważny w stroju Awinda, gdyż czujniki są znacznie większe od Link i czujnik ten mocuje się w tym wypadku tylko pod językiem buta. Kolejne dwa mocowane są przy pomocy rękawiczek bez palców od górnej części dłoni. Ostatni czujnik montowany jest na głowie aktora przy pomocy elastycznej opaski opaski.

Xsens Link - producent dostarcza kombinezon w 3 rozmiarach bez stóp, dłoni oraz pokrycia głowy. W kombinezonie zintegrowanych jest 12 czujników. Należy samemu przeprowadzić okablowanie przez cały stój. Wszystkie czujniki są przewodowe i połączone są z nadajnikiem oraz baterią umiejscowioną na plecach aktora. Jeżeli chodzi o kombinezon to wszystkie czujniki w nim zawarte mają swoje pozycje w postaci doczepianych pól na rzepy. Dodatkowo 2 czujniki mocowane są na stopach z użyciem miękkich wkładek ochronnych do butów, bądź też możliwe jest mocowanie pod sznurkami butów. Czujniki przewodowo są dopinane do kombinezonu. Tak samo montowane są czujniki w dostarczonych do zestawu rękawiczkach oraz opasce na czoło.

4.2.3.2. Użytkowanie i komfort

Xsens Awinda - czas założenia tego stroju jest dłuższy niż Awindy i wygodniej się go zakłada z pomocą asystenta. Czujniki umiejscowione w rękawiczkach, koszulce oraz na głowie nie sprawiają większego problemu w montażu. Gorzej z czujnikami zamontowanymi przy pomocy pasków. Trzeba wyczuć jak mocno zacisnąć paski oraz umiejętnie założyć je na odzież wierzchnią, tak żeby paski nie powodowały dyskomfortu oraz przesunięcia w trakcie gry aktorskiej. Wskazane jest w miarę możliwości mocowanie pasków do gołego ciała. Z uwagi iż każdy z czujników posiada osobną baterię, to w przypadku rozładowania stroju (zakładając, że wszystkie czujniki rozładują się mniej więcej w takim samym czasie), jesteśmy zmuszeni do posiadania drugiego zestawu czujników, aby móc dalej pracować w momencie gdy czujniki są rozładowane. Wymiana ich też wymaga ściągnięcia każdego czujnika z osobną, co może wymusić na aktorze każdorazowe przebieranie się. Czujniki Awindy są większe niż Linka, przez co bardziej odczuwalna jest ich obecność na ciele oraz ciężiej je ukryć pod strojem scenicznym.

Xsens Link - główna różnica między strojami, jeżeli chodzi o wygodę to czas zakładania oraz komfort użytkowania. Xsens Link ze względu na wykorzystanie kombinezonu jest znacznie szybszy do zamontowania i czujniki pewniej leżą na miejscach na których mają się znajdować docelowo. Bezproblemowo mieściliśmy się w czasie poniżej 10 minut zakładając strój. Strój jest też znacznie wygodniejszy do zakładania samemu. Strój od Xsens Link musi być dopasowany możliwie ciasno co powoduje lekki dyskomfort w ruchu aktora. Jest to kwestia przyzwyczajenia i obycia aktora ze strojem. Po nałożeniu dodatkowego stroju scenicznego może się też okazać to rozwiązanie gorsze dla aktora ze względu na ciepło generowane przez dodatkową warstwę, ale generalnie strój jest wykonany z materiału oddychającego. Przewody umieszczone w środku stroju nie krępują ruchu i są nie wyczuwalne w trakcie użytkowania. Mniejsze czujniki niż od zestawu Link są również wygodniejsze w użytkowaniu zarówno na stopach jak i na dłoniach. Minusem są przewody łączące ze strojem dłonie, stopy i głowę. Jedną baterią do całego stroju jest zdecydowanie atutem Xsens Link, w momencie gdy bateria jest rozładowana wystarczy mieć dodatkową baterię, wymienić i można użytkować dalej. Do wymiany baterii potrzebna jest asysta ze strony drugiej osoby, ze względu na umiejscowienie elektroniki na plecach.

4.2.3.3. Wniosek

Z przeprowadzonych testów wygody użytkowania wynika, iż lepszym wyborem w naszym wypadku jest strój Xsens Link. Na naszą opinię wpływają takie kluczowe rozwiązania jak brak potrzeby posiadania drugiego zestawu czujników w celu umożliwienia ciągłej pracy aktorów w trakcie prób i występów przekraczających 4-5h.

Drugi czynnik kluczowy to dokładność stroju. Link posiada znacznie większą powtarzalność gdyż kombinezon wymusza bardziej precyzyjne umiejscowienie czujników. Dzięki temu zarówno aktor jak i realizator multimedialnych nie muszą się

przejmować jak dokładnie jest umiejscowiony czujnik i nie potrzebują one ingerencji nawet w trakcie wielogodzinnego wystąpienia.

4.2.4. Pomiar opóźnień i dokładności

Testowany przez nas projektor jest w stanie wyświetlić 60 klatek na sekundę, jest to też docelowa liczba klatek, którą nasza wynikowa aplikacja będzie obsługiwała i starała się nie schodzić poniżej tej wartości. Oba stroje, zarówno Xsens Awinda oraz Link mają odświeżanie równe bądź wyższe niż 60hz oraz stroje mając opóźnienie 20-30ms są w stanie dostarczyć dane do komputera w czasie renderowania poniżej 2 klatek. Dane o ruchu interpretowane przez komputer pojawiają się z opóźnieniem 2-3 klatek, czyli opóźnienie wynosi poniżej $2-3/60$ sekundy, co jest wartością bardzo dobrą i mieści się w oczekiwanym przez nas czasie opóźnienia. Awinda w porównaniu do Linka, miewa opóźnienie większe o $1/60$ sekundy. W trakcie występu na żywo takie opóźnienia nie powinny powodować u widza problemu z odbiorem prezentowanego materiału. Duże opóźnienie może powodować u widza rozczarowanie technologiczne, natomiast gdy opóźnienie jest wyeliminowane widz może nawet nie skupić się na tym, że animacja jest generowana w czasie rzeczywistym, tylko mieć uczucie ścisłego powiązania animacji z aktorem jak w idealnej choreografii w połączeniu z nie interaktywnym obrazem.

4.2.5. Próby driftu w czasie

Pierwszy test sprawdzał przesunięcie w czasie od momentu wykonania kalibracji.

W celu przetestowania pojawiającego się błędu przesunięcia danych zostały przeprowadzone testy na obu strojach Xsens Awinda oraz Link. Przed wykonaniem testów mieliśmy świadomość o powstawaniu pewnych *driftów* pozycji w czasie którym chcieliśmy sprawdzić jaki wpływ mogą mieć połączenie pozycji rzeczywistej z animacją wyświetlaną z projektora.

Test polegał na:

- ustawieniu aktora w pozycji startowej naszej przestrzeni testowej,
- przesunięciu postaci w środowisku wirtualnym do pozycji startowej,
- w następnym kroku aktor przemieszczał się losowo po pomieszczeniu testowym przez około 30 sekund i powracał w w ustaloną pozycję startową w rzeczywistości,
- w przypadku wystąpienia przesunięcia danych w celu obliczenia przesunięcia aktor w studiu przemieszczał się od punktu startowego w taki sposób aby postać w przestrzeni 3D znajdowała się w swoim punkcie startowym,
- ostatnim krokiem było zmierzenie przesunięcia, które zaistniało w rzeczywistości, pomiar sprawdzany był w centymetrach z zaokrągleniem do pełnych wartości uwzględniając przesunięcie pozycji Prawo Lewo (X) oraz Przód Tył (Y) względem pozycji 0,
- czynność powtórzyliśmy 10 razy dla obu strojów.

Wyniki badania podane zostały w tabeli poniżej:

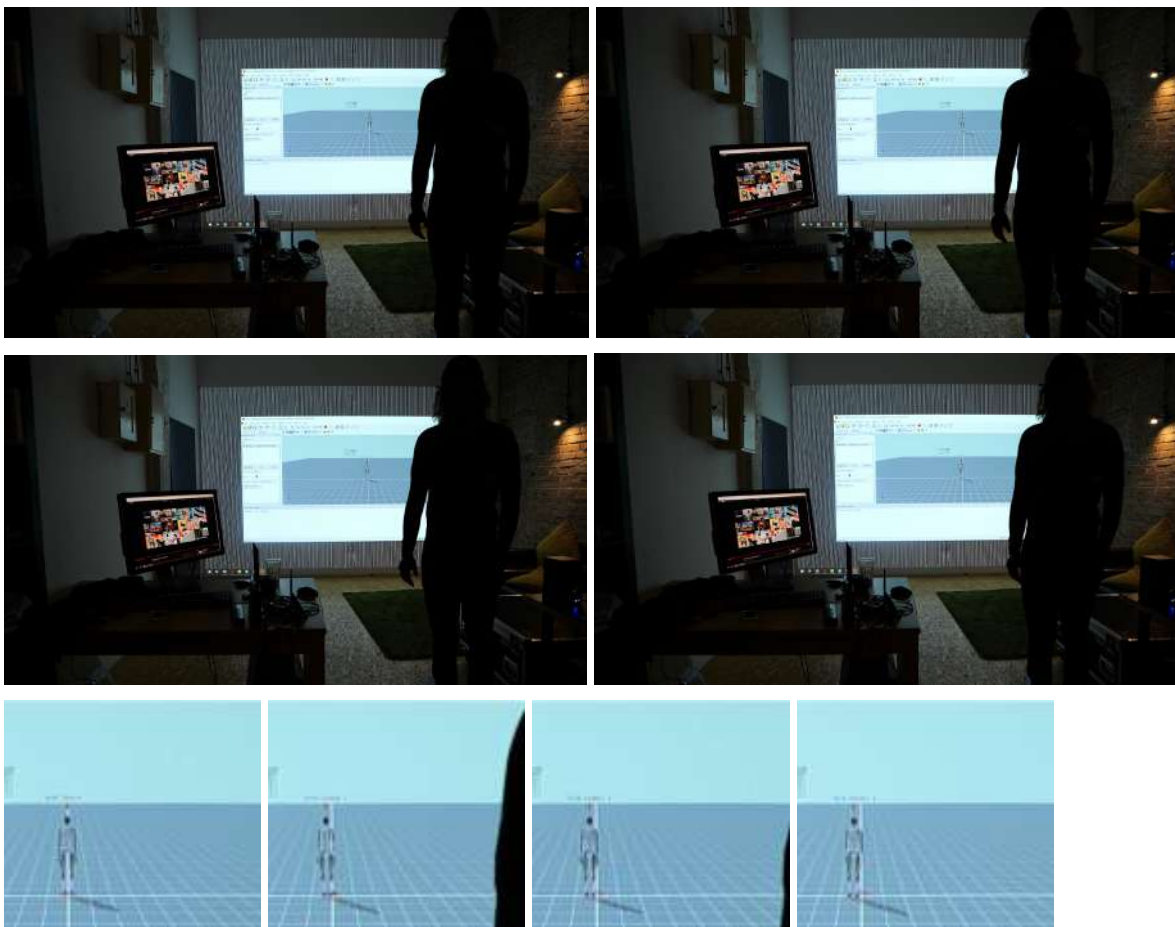
	Awinda	Link
1	X:12 Y: 8	X:-7 Y: 6
2	X:-6 Y: 11	X:-5 Y:4
3	X:-14 Y:-5	X:-3 Y:-2
4	X:17 Y:-20	X:8 Y: 3
5	X:-10 Y:6	X:-10 Y: 4
6	X:21 Y:-11	X:5 Y:3
7	X:13 Y:-7	X:7 Y:-2
8	X:10 Y:12	X:6 Y:-6
9	X:-5 Y:7	X:7 Y:-4
10	X:-8 Y: 10	X:-3 Y:9

Po przeanalizowaniu wyników z tabeli doszliśmy do wniosków, że *drift* powstający w czasie, nie mieści się w zadowalającym nas zakresie. *Drift* powstawał praktycznie od razu po zainicjalizowaniu próby, a jego kierunek przesunięcia pozostawał praktycznie zupełnie losowy. Aktor powracający do pozycji startowej przy każdorazowej próbie przesunięty był w losowym i nieprzewidywalnym kierunku przez co wyklucza się kompensację *driftu* w czasie. Z wykonanej przez nas próby wynika, że Xsens Link lepiej radzi sobie z problemem od stroju Xsens Awinda.

Duży i losowo narastający *drift* spowodował, że biorąc pod uwagę dłuższy okres czasu niż 3 minuty doprowadza do poważnego odchylenia w pomiarach czujników co skutkuje dużą rozbieżnością pozycji między strojem w rzeczywistości a jego pozycji w przestrzeni wirtualnej. Odchylenia takiej skali oraz brak możliwości korekcji danych dyskwalifikują użycie rozwiązania w obecnej formie w naszym ostatecznym prototypie.

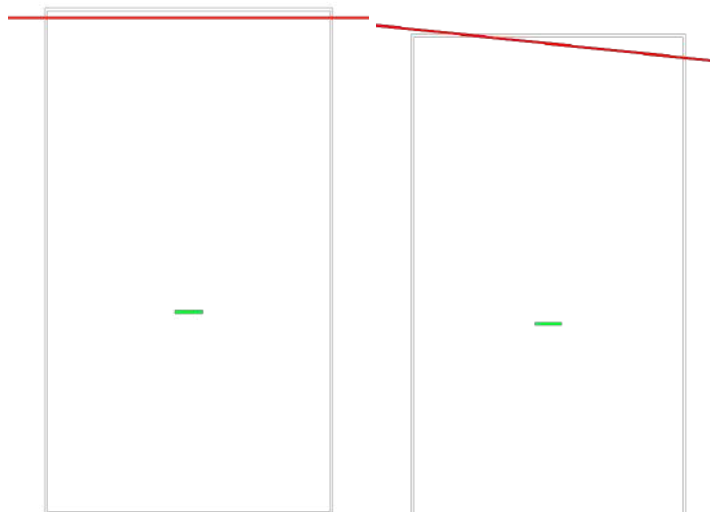


Na powyższych obrazkach widać jakie odchylenie od środka następuje w czasie 30 sekund z użyciem stroju Xsens Awinda. Przesunięcie jest mocno widoczne w stronę lewą i do tyłu.



Na powyższych obrazkach widać jakie odchylenie od środka następuje po około 2 minutach użytkowania Xsens Link. Przesunięcie dużo niższe niż w rozwiązaniu Xsens Awinda, jednak dalej niemożliwe do pominięcia w realizacji spektaklu na żywo.

Kolejnym problemem związanym z faktem istnienia *driftu*, jest jego obecność rotacji, co może powodować iż wyznaczona w pomieszczeniu, wirtualna płaszczyzna przesunie się, co skutkuje brakiem możliwości wejścia w prawidłową interakcję z powierzchnią z którą chcemy mieć styk/interakcję, bądź też fragment tej przestrzeni wycofa się poza możliwy do osiągnięcia obszar.



Biały prostokąt reprezentuje pomieszczenie testowe, zielona linia reprezentuje punkt kalibracyjny stroju, natomiast czerwona linia wyznacza płaszczyznę którą należy przekroczyć by wejść w interakcję ze środowiskiem wirtualnym.

Pierwszy obrazek pokazuje jak ta płaszczyzna możliwa jest do ustawienia zaraz po prezentacji, drugi obrazek reprezentuje jednocześnie *drift*, jaki może zaistnieć jak i możliwy błąd w procesie kalibracji, który może powstać poprzez niewłaściwe ustawienie się aktora w trakcie kalibracji, dlatego w takim wypadku ważnym czynnikiem byłoby wykonanie precyzyjnych markerów w przestrzeni, aby móc wyeliminować błąd możliwie jak najdokładniej. W przypadku wystąpienia dłuższego *driftu* przestrzeń dotykowa może znaleźć się całkowicie poza powierzchnią osiągalną fizycznie.

4.2.6. Wytestowanie 2 strojów jednocześnie

W wyniku przeprowadzenia szybkiego badania połączenia dwóch różnych strojów ze sobą okazało się to możliwe. Stroje nie powodowały dodatkowych interferencji między sobą.

Niestety z powodu matematyki wykonywanej w trakcie kalibracji oraz braku istnienia absolutnego punktu odniesienia, nie było możliwe wprowadzenie interakcji między strojami z zadowalającą precyzją. Po wykonaniu kalibracji oraz ustawieniu poszczególnych postaci w punktach zerowych naszej przestrzeni 3D, sytuacje takie jak podanie sobie ręki bądź też wchodzenie w interakcję ze ścianą były niewykonalne z powodu nałożenia się błędów spowodowanych *driftem* w czasie który jest zauważalny od samego początku użytkowania; problemem idealnego ustawienia sylwetki aby była skierowana równolegle do płaszczyzny ścian. Objawiało się tym, iż punkty wyznaczające dłonie które były punktami testowymi nie były w stanie się spotkać precyzyjnie w przestrzeni komputerowej pomimo zetknięcia swoich pozycji w rzeczywistości. Prawdopodobnym rozwiązaniem problemu deklarowanym przez przedstawiciela produktu jest wprowadzenie dodatkowego Trackera optycznego, który byłby w stanie nadać absolutną pozycję w przestrzeni 3D naszego środowiska.

4.2.7. Testowanie promienia zasięgu

W trakcie wykonywania testów na obu strojach zarówno Xsens Awinda jak i Xsens Link w otwartej przestrzeni, pozwalały one na osiągnięcie deklarowanych przez producenta odległości.

W przypadku braku interferencji pomiędzy strojem, a punktem odbiorczym danych w przestrzeni otwartej którym w przypadku Xsens Link jest Router, a w przypadku Awindy dedykowany odbiornik zintegrowany z ładowarką. W przypadku osiągnięcia maksymalnego zasięgu na otwartej przestrzeni, nie odnotowane zostały błędy w przetwarzaniu danych *motion capture*, inne niż miały miejsce w przypadku korzystania ze stroju w bezpośrednim sąsiedztwie odbiornika.

W przypadku zaistnienia interferencji pomiędzy strojem a odbiornikiem w przestrzeni otwartej w odległość trackingu spadała do około $\frac{2}{3}$ deklarowanego przez producenta dystansu.

Testy wykonywane na strojach Xsens Awinda oraz Link w przestrzeni zamkniętej wykazały, iż znajdowanie się w przestrzeni zamkniętej bez wprowadzania żadnej przeszkody pomiędzy trackerami stroju a stacjami odbiorczymi danych, pozwalały również na osiągnięcie stabilnego *trackingu* w obrębie deklarowanych wartości przez producenta.

Wprowadzenie lekkiej przeszkody w postaci ściany gipsowo kartonowej zmniejszyło zasięg do około $\frac{2}{3}$ deklarowanych wartości przez producenta. Wprowadzenie natomiast przeszkody w postaci solidnego muru, doprowadzało do braku możliwości stabilnego przeprowadzania śledzenia danych postaci bez wprowadzenia znaczącego *driftu* danych. Dane przekazywane przez strój w ten sposób dostawały nagłych przesunięć w dowolnym losowym kierunku, bądź też powodowały brak poruszania się stroju przez sekundy i nagły teleport, do aktualnie kalkulowanej przez strój pozycji. Dokonywane korekty w postaci teleportu możliwe było z powodu przetrzymywania ostatnich kilku sekund danych z przez oba stroje. Xsens Link w tym przypadku zachowywał się nieco bardziej stabilnie ale, wprowadzenie takiego rozwiązania byłoby i tak zbyt ryzykowne i wprowadzało niemożliwe do usunięcia przesunięcia odczytywanych pozycji w naszym programie testowym.

4.2.8. Testy zakłócenia nadajnik/odbiornik

Dostarczone stroje testowaliśmy pod względem zakłóceń, które mogłyby wywołać różnego rodzaju uwarunkowania sceniczne. Głównie obawialiśmy się wpływu metalowych konstrukcji na dane przekazywane do odbiornika. Czujniki zarówno Xsens Link jak i Awinda, nie są podatne na zakłócenia od strony elementów metalowych, co przetestowaliśmy poprzez test, w którym główny aktor dotykał bezpośrednio czujnikami dużych metalowych powierzchni, co w rezultacie nie powodowało żadnych zauważalnych zmian w przekazywanych danych do programu. Zwiększenie liczby osób w pomieszczeniu z aktywnymi telefonami komórkowymi bądź też ich całkowite wyeliminowanie z pomieszczenia nie miało żadnego wpływu dane przechwytywane przez odbiornik.

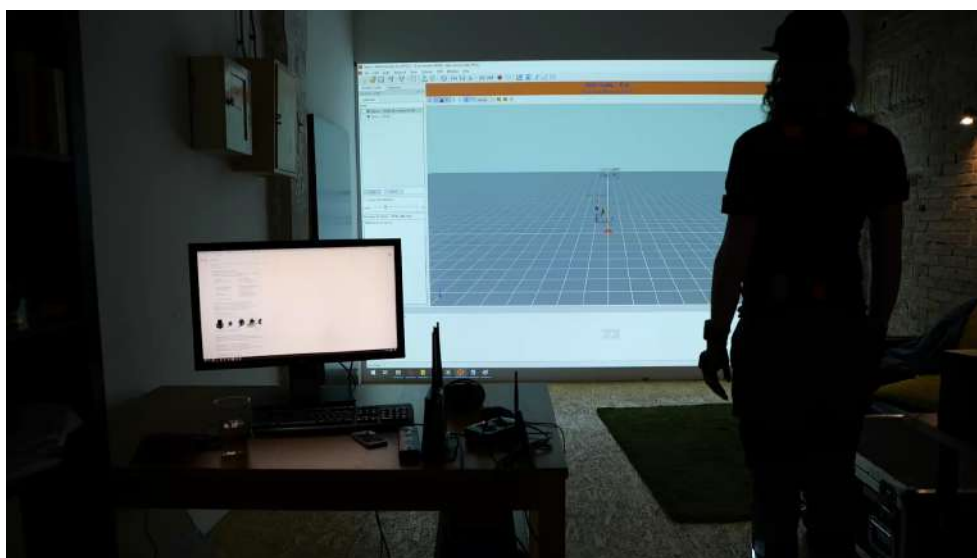
To co zostało zaobserwowane w trakcie testów, to okazjonalne straty przekazywania danych na krótkie odstępy czasu. Sylwetka przechodziła do pozycji podstawowej po czym po chwili wracała z powrotem do właściwej pozycji. Zachowanie takie możliwe jest z uwagi na przetrzymywanie przez oba stroje danych z ostatnich kilku sekund, dzięki czemu w razie zgubienia chwilowo zasięgu jest możliwe szybkie przywrócenie właściwej pozycji. Dobre ustawienie *routera* bądź stacji odbiorczej w przestrzeni pozwala na zminimalizowanie ryzyka utraty sygnału.

4.2.9. Kalibracja

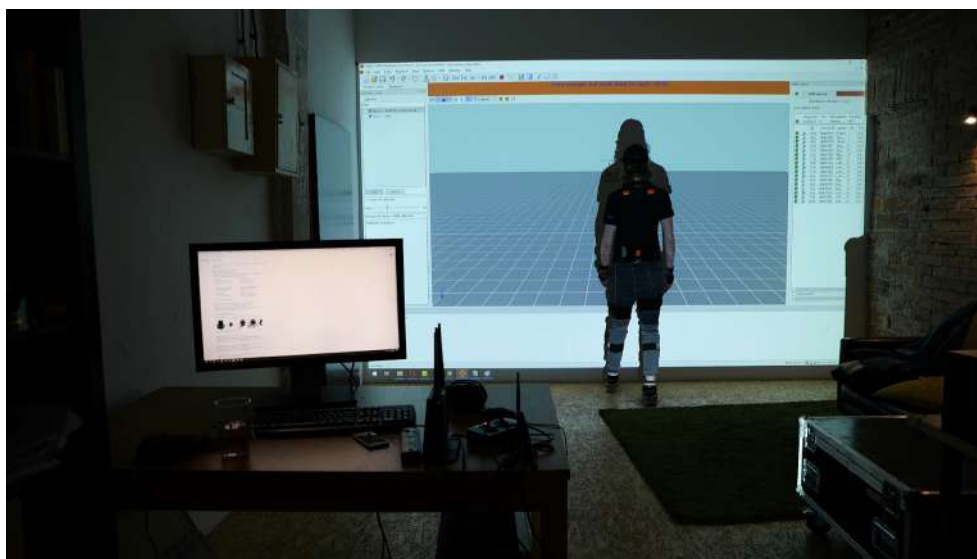
Test kalibracji polegał na sprawdzeniu jak wygląda proces kalibracji stroju i czego wymaga od użytkownika. Zarówno Xsens Link jak i Awinda do komunikacji z docelowymi programami korzystają z dostarczonej przez producenta aplikacji MVN. Przed dokonaniem właściwego kroku kalibracji należy stworzyć i uzupełnić profil użytkownika. Polega to na pomiarze rozpiętości ramion, rąk w momencie gdy są rozłożone na boki, wysokość biodra od ziemi, wysokość sylwetki. Pomiar wykonywany jest przy pomocy centymetra i wpisywany do programu ręcznie. Po stworzeniu profilu i wybraniu rodzaju stroju można przejść do procesu kalibracji.

Proces kalibracji musi być wykonywany każdorazowo po założeniu stroju przez aktora. Postępuje się według komunikatów wyświetlanych przez program kalibracyjny. Schemat kalibracji wygląda następująco:

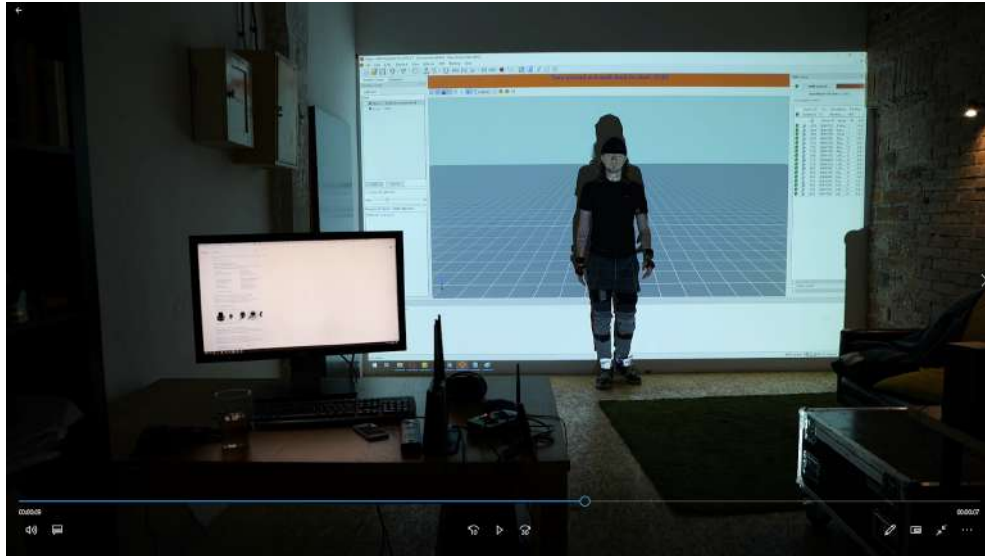
- Aktor stoi w pozycji naturalnej z rękami opuszczonymi wzdłuż ciała



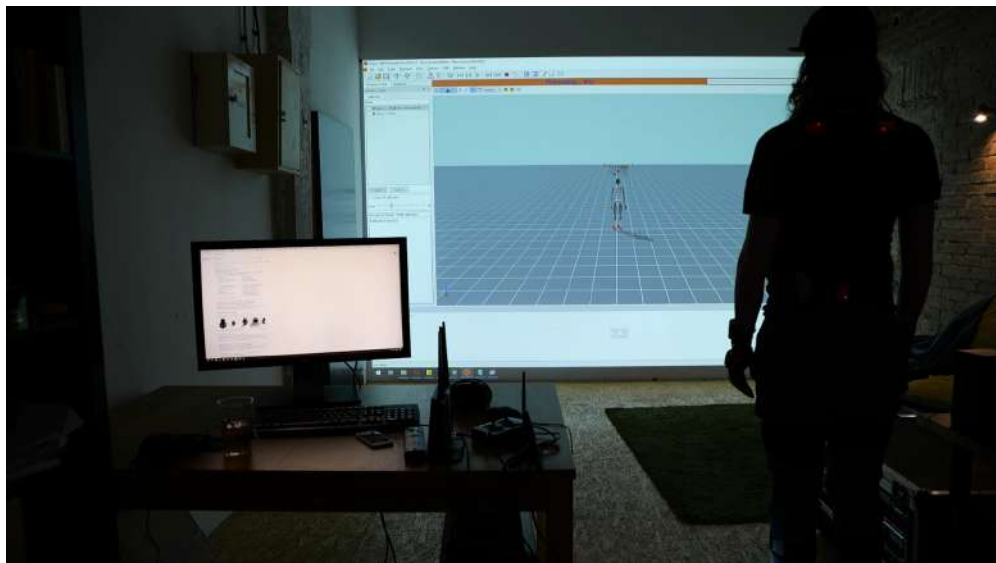
- Aktor idzie przez 7-8 sekund przed siebie naturalnym krokiem



- Aktor obraca się do tyłu i wraca na pozycję startową



- Aktor ponownie stoi w pozycji startowej z rękami opuszczonymi wzdłuż ciała



Po wykonaniu całej procedury następuje przeliczenie przez program MVN całej matematyki potrzebnej do właściwego obsłużenia stroju. W tym momencie aktor może swobodnie chodzić po przestrzeni. W następnym kroku wyskakuje komunikat informujący nas o jakości wykonanej kalibracji. W przypadku gdy nastąpiły jakieś komplikacje program daje nam możliwość do skorzystania z danej kalibracji i próby auto naprawy danych w trakcie użytkowania lub też należy ponownie wykonać proces kalibracyjny, co w naszym przypadku skutkowało dużo lepszymi rezultatami. Dobrze zrobiona kalibracja od samego początku ma duży wpływ na dokładność śledzenia postaci w późniejszych krokach. Po zakończonej procedurze generowania profilu program ustala pozycję startową na aktualną pozycję przemieszczenia aktora. Aby skorygować pozycję startową należy ustawić w rzeczywistości aktora na scenie w miejscu gdzie ustalamy naszą pozycję startową po czym należy przenieść jego origin point w dane miejsce oraz zresetować dane na temat rotacji. W trakcie korekcji pozycji, oprócz umiejscowienia

prawej stopy w pozycji startowej, bardzo ważne jest umiejscowienie jej w taki sposób aby nie nadawała rotacji pomiędzy płaszczyzną rzeczywistą a płaszczyzną wirtualną gdyż wprowadza to rozbieżność między pozycją rzeczywistą a wirtualną jeżeli chodzi o kierunki płaszczyzn. W trakcie testów zaobserwowaliśmy, że jest znacznie łatwiej uniknąć niechcianej rotacji w stroju Xsens Link niż w Xsens Awinda. Jest to ważne ze względu na późniejszy mniejszy problem przy obsłudze wystąpień na żywo.

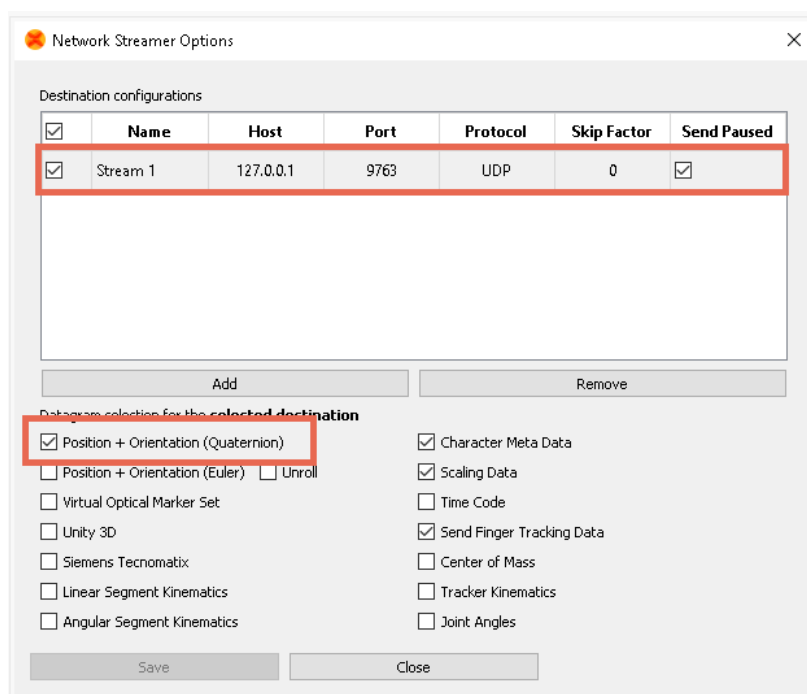
Nie da się użyć jednego czujnika z Awindy - w ramach testów oraz ograniczenia wydatków dokonaliśmy próby możliwości wykorzystania 4 pojedynczych czujników dla dłoni oraz stóp. niestety oprogramowanie Xsens MVN do poprawnego działania wymaga użycia całego kompletu 17 czujników. Czujniki są zależne od siebie i nie jest możliwe wykonanie kalibracji tylko czterech wybranych czujników. Jedyną zaobserwowaną przez nas możliwość ograniczenia ilości czujników, jest to funkcja zawarta w programie Xsens MVN pozwalająca na *tracking* górnej połowy lub dolnej połowy ciała.

4.2.10. MVN Plugin do Unreal Engine 4.23

W momencie testowania przez nas strojów Xsens Awinda oraz Link korzystaliśmy z oprogramowania Unreal Engine w wersji 4.23. Wersje silnikowe w trakcie prowadzonej przez nas pracy badawczej dynamicznie się zmieniają i także w trakcie przeprowadzanych testów przenosiliśmy projekt testowy pomiędzy wersją 4.22, a 4.23.

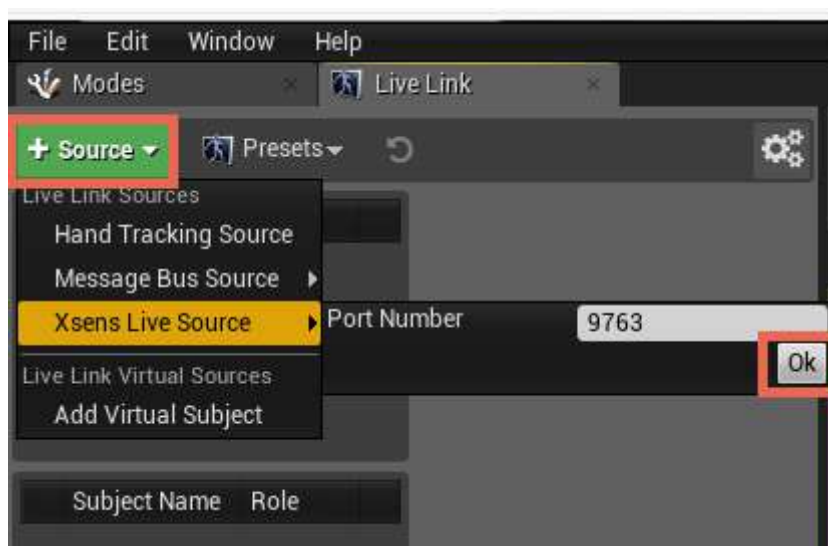
Aby zacząć pracę z programem Xsens MVN oraz Unreal Engine 4, należy do programu Unreal Engine dodać *plugin* MVN Live Link, który pozwala na podpięcie danych przekazywanych z programu MVN ANimate do dowolnej postaci posiadającej system kości w Unreal Engine. Producent dostarcza na swojej stronie odpowiedni tutorial na temat odpowiedniego opisanie nazw kości oraz sposobu mapowania szkieletu z istniejącego przykładowego szkieletu w środowisku Unreal Engine. Niestety pomimo istnienia tutorialu nie udało się właściwie przypisać nazw kości z powodu istniejących rozbieżności między plikami a dostarczonymi przez Xsens do Unreal Engine 4 a zawartością Tutoriala. Problem został rozwiązany poprzez skorzystanie z dostarczonego przez przedstawiciela na Polskę przykładowego projektu z wykorzystaniem strojów Xsens, który pomógł uzupełnić informacje odnośnie nieścisłości ustawień programu z tutorialiem.

W programie Xsens MVN należy ustanowić komunikację przy pomocy zakładki *Network Streamer*. Zastosowaliśmy ustawienia domyślne adresu Host 127.0.0.1 oraz Port 9763, gdyż używamy jednego komputera zarówno do odbioru danych ze stroju jak i generowania animacji. Komunikacja między programami realizowana jest przy wykorzystaniu protokołu UDP. Ważna opcja do zaznaczenia w MVN Animate była "*position + orientation (Quaternion)*", która odpowiada matematyce wykorzystanej w silniku Unreal Engine 4.



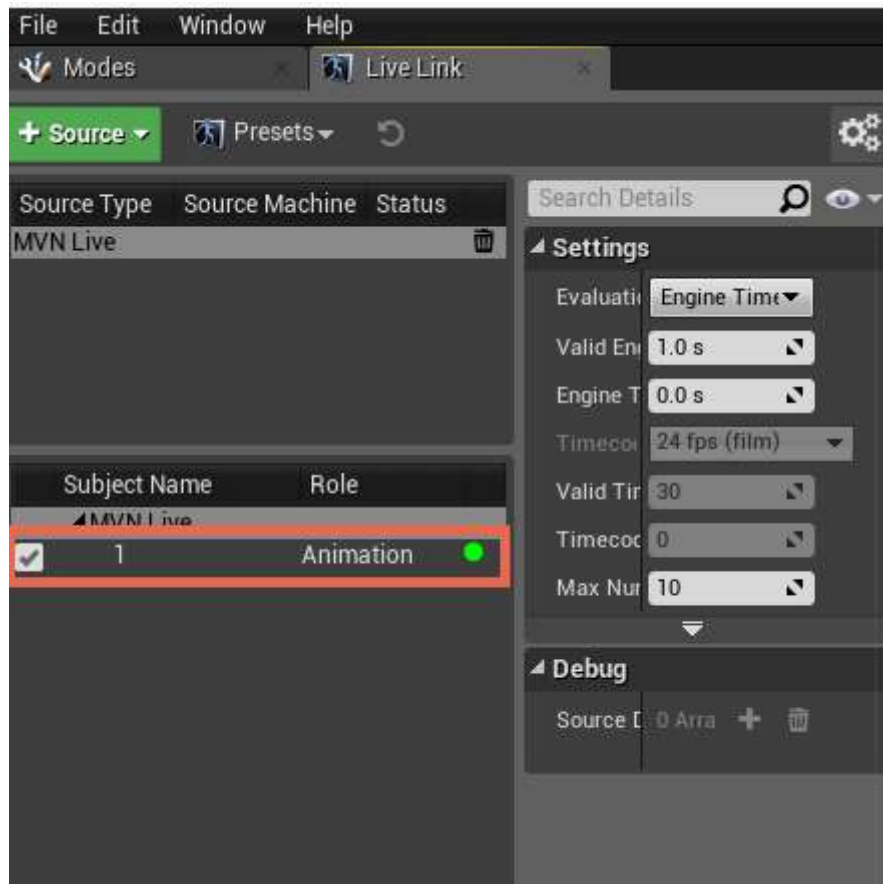
Ilustracja obrazuje ustawienia aplikacji Xsens Animate na potrzeby komunikacji z silnikiem Unreal Engine 4

Po ustanowieniu komunikatów wychodzących z oprogramowania MVN Animate, mogliśmy ustawić połączenie w Unreal Engine 4 z wykorzystaniem *pluginu* Live Link. Polegało to na ustawieniu zakładki Live Link poprzez dodanie nowego źródła Xsens Live Source i podaniu identycznego portu nasłuchiwania 9763 jak w MVN Animate.



Ilustracja obrazuje utworzenie połączenia między MVN Animate a Unreal Engine 4

Mając przygotowaną komunikację między programami mogliśmy przystąpić do procesu przetwarzania danych, w taki sposób aby móc je połączyć z dowolnym szkieletem w środowisku Unreal Engine 4, przy spełnieniu pewnych założeń. Pierwszym krokiem była identyfikacja stroju oraz informacja na temat jego połączenia. Za takie informacje odpowiada wtyczka Live Link. Jako że używaliśmy przy testach do Unreal Engine jednego stroju to nasz Subject Name był 1.



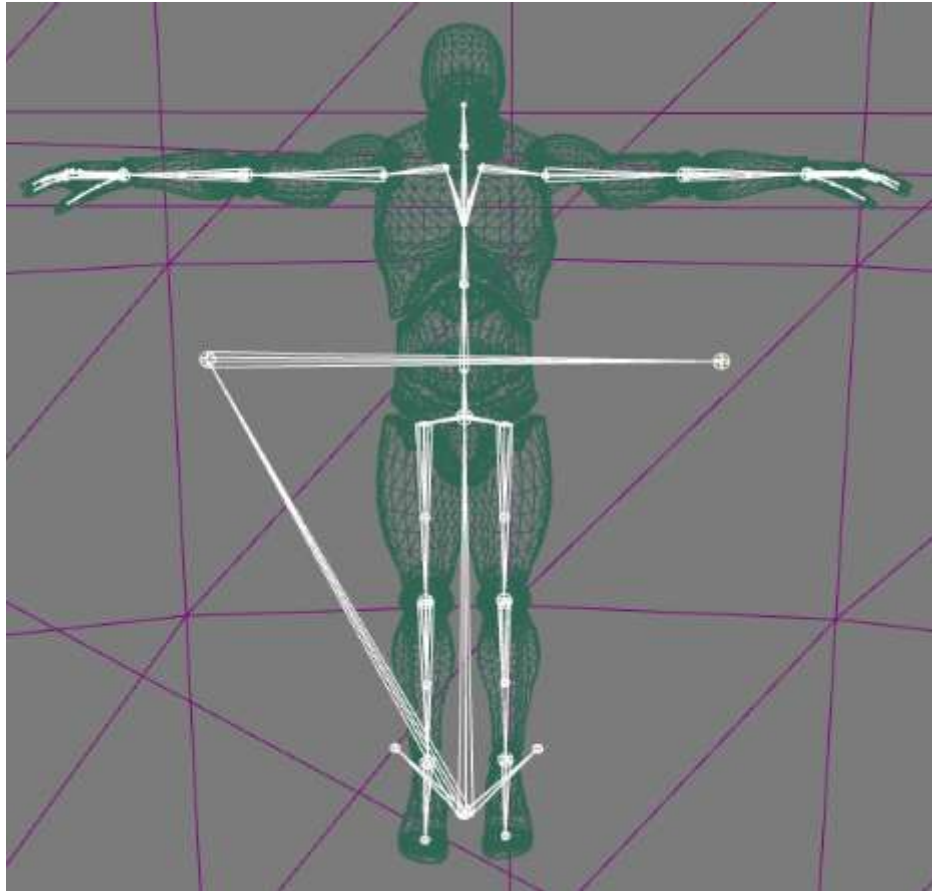
Ilustracja obrazuje menu Live link do wyboru stroju oraz sprawdzenia komunikacji.

Docelowa postać, którą chcemy poddać mapowaniu jest przykładowy model dostarczany wraz z silnikiem Unreal Engine 4. Model trzeba było odpowiednio skonfigurować pod kątem Xsens. W pierwszym kroku wprowadziliśmy pozycję tak zwaną T-Pose, ponieważ domyślna pozycja przykładowego modelu posiada ręce rozłożone na boki tylko pod kątem 45 stopni.



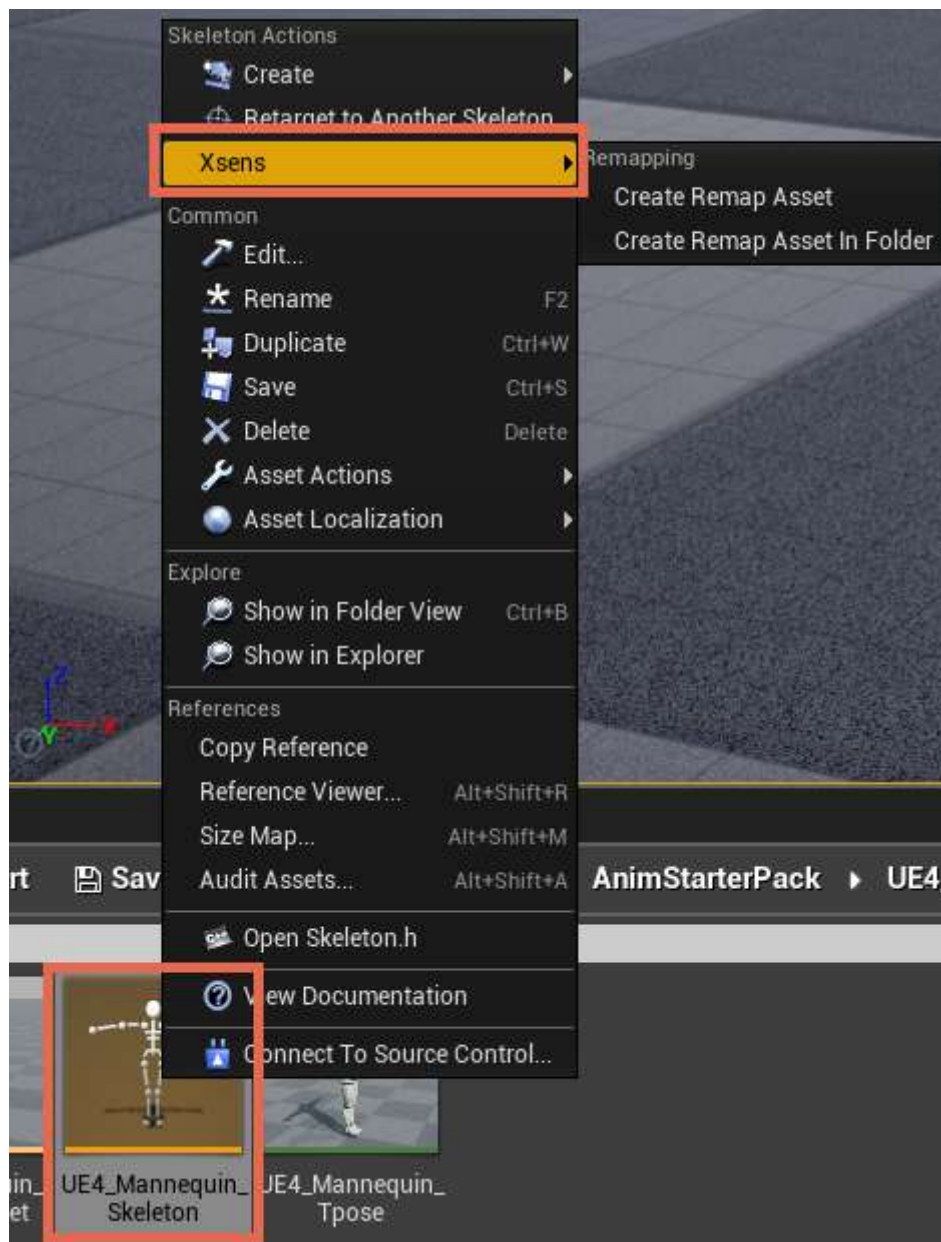
Ilustracja obrazuje domyślną pozycję przykładowego modelu Unreal Engine 4.

W celu skorygowania pozycji skorzystaliśmy z wbudowanych w silnik opcji. Należało przy zaznaczonym modelu wybrać opcję do kreowania animacji i ręcznie poprawić model do pozycji T-Pose manewrując jego domyślnymi kośćmi. Należało również ustawić postać tak aby jej twarz była skierowana zgodnie z kierunkiem dodatnim osi X. W takiej pozycji model rozłożone ma ręce maksymalnie na boki jak duża litera T. Następnie klatkę animacji należało zapisać jako domyślną pozycję startową modelu.



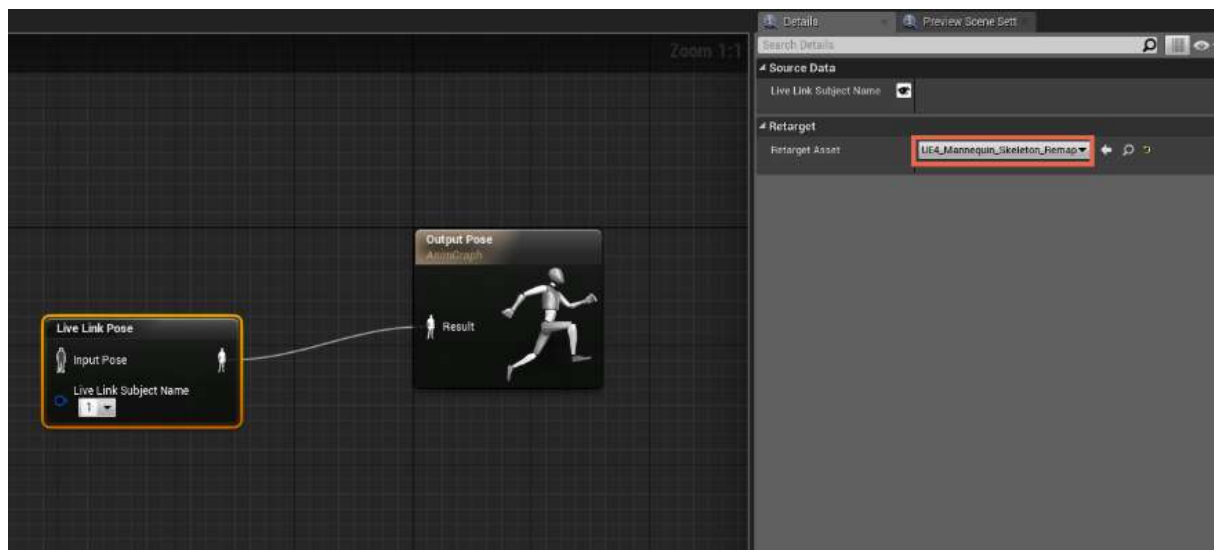
Ilustracja obrazuje poprawioną siatkę modelu Unreal Engine 4 do pozycji T-Pose.

Posiadając model w pozycji T-Pose, należało skorzystać z dostarczonych przez Xsens skryptów Retargetingu danych na postać. Do tego celu w ustawieniach przykładowego modelu Unreal Engine 4, z powodu zainstalowanego *pluginu* Live Link pojawia się dodatkowa zakładka Xsens, która pozwala wykonać tę operację automatycznie.



Ilustracja reprezentuje retargeting szkieletu Unreal do danych Xsens.

Po utworzeniu obiektu do *remappingu*, należy w jego ustawieniach podać przygotowaną pozycję T-Pose w zakładce *Details*. Narzędzie jest już na tyle zaawansowane, że samo jest w stanie przetłumaczyć nazwy kości Unreal Engine, aby się zgadzały z tymi których używa MVN Animate. Mając poprawnie przypisane kości naszego szkieletu do obsługi danych pochodzących z MVN Animate byliśmy w stanie stworzyć nowy obiekt *Animation Blueprint*. W obiekcie należało przejść do zakładki *Animation Graph* i tam stworzyć obiekt wejściowy *Live Link Pose* oraz *Output Pose* oraz połączyć je ze sobą. W menu rozwijanym *live Link Subject name* należy podać korespondujący numer z omawianej wcześniej wtyczki *Live Link* (w tym przypadku nr 1).



Połączenie danych pochodzących z Live Link z obiektem Animation Blueprint zawierającym zretargetowaną postać w pozycji T-Pose.

Po wykonaniu powyższych kroków, otrzymaliśmy bezproblemowo połączone dane z MVN Animate z modelem w Unreal Engine 4. W przypadku gdy chcielibyśmy skorzystać z innego modelu należy go zaopatrzyć w identyczną strukturę kości oraz nazewnictwo jak ten z Unreal Engine 4. Dalsza część tutorialu poruszała temat możliwych rozszerzeń akwizycji ruchu w postaci możliwości śledzenia palców oraz podpięcia dodatkowego elementu do dłoni naszego modelu. My z tych opcji nie korzystaliśmy i nie są to opcje potrzebne do wykonania prototypu naszej aplikacji.

4.2.11. HTC VIVE Tracker Integracja z Xsens

W trakcie wizyty przedstawicieli Xsens na region Polski, dowiedzieliśmy się, że wyeliminowanie problemów związanych z tzw. *driftem* danych danych może być w niedalekiej przyszłości zastosowanie urządzenia HTC VIVE Tracker. Niestety urządzenie posiada szereg swoich wad z których główną wadą jest spory rozmiar *trackera* oraz potrzeba zamontowania i okablowania specjalnych odbiorników na podczerwień. Ograniczona również zostaje przestrzeń w której mogą operować aktorzy, teoretycznie do 10m x10m. Rozwiązanie takie wprowadza również ograniczenia, co do ustawienia różnych elementów w przestrzeni scenicznej z uwagi na to, iż HTC VIVE Tracker jest urządzeniem optycznym, wymaga ono aby w trakcie użytkowania był bezpośredni kontakt w linii prostej bez przeszkód z przynajmniej jednym odbiornikiem a dla zapewnienia dużej stabilności trackingu najlepiej dwoma.



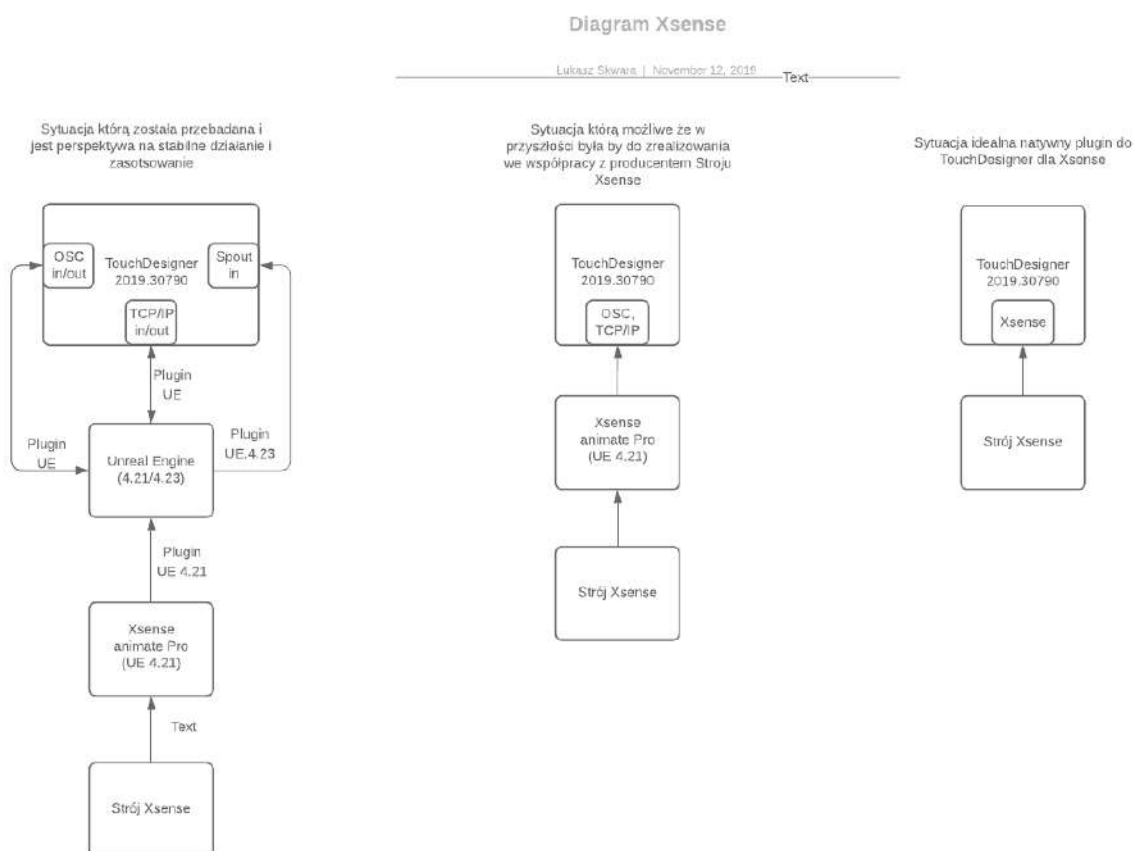
4.2.12. Programy na potrzeby testów

Animacje we fluidach - Przygotowane

Animacja wyzwalane w momencie zdarzenia - Przygotowana

Grid displacement - Przygotowane

Do celów testowych została przygotowana interaktywna siatka z którą nasze dane trackingu wchodzi w interakcję. Aplikacja reaguje na ruch dłoni wykrzywając pionowe linie w kierunku ruchu przechwytywania pozycji wejściowej. Aplikacja została stworzona w przestrzeni 3D w celu możliwości umiejscowienia jej w głębi naszej testowej sceny.



Schemat podłączenia strojów Xsens z oprogramowanie TouchDesigner z wykorzystaniem PPluginu Unreal Engine oraz aplikacji trackingowej Xsens animate Pro

4.3. ANTILATENCY / HTC VIVE TRACKER - systemy hybrydowe

4.3.1. Wstęp

Po przetestowaniu badań na strojach od firmy Xsens Link oraz Awinda zdecydowaliśmy się na zmianę podejścia systemu śledzenia z opartego tylko na systemach bezprzewodowych na systemy hybrydowe oparte zarówno na transmisji bezprzewodowej jak i korekcji pozycji na podstawie optycznych kamer.

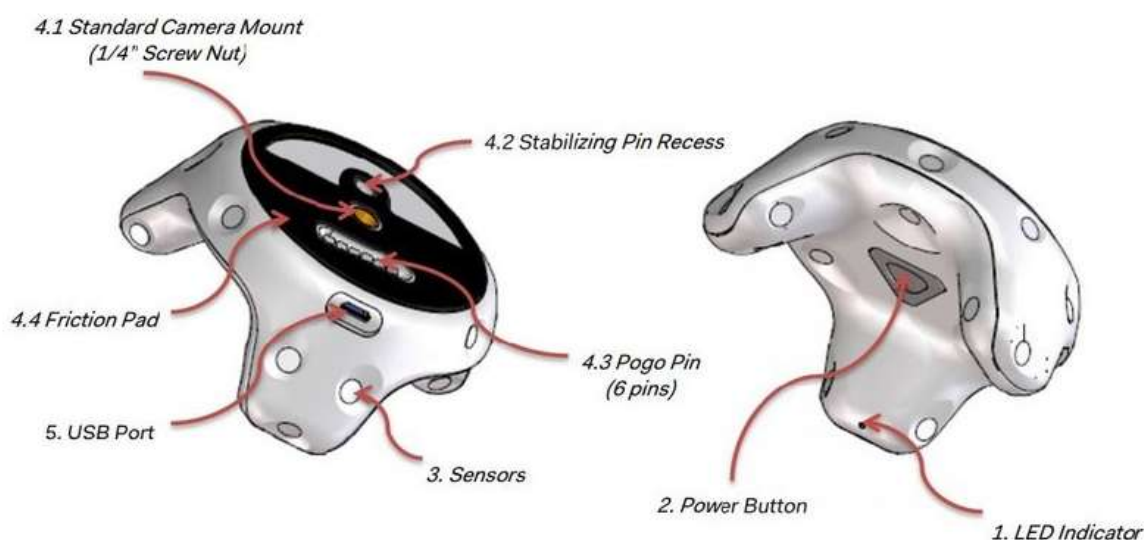
Według wiedzy uzyskanej na bieżącym etapie badań, rozwiązanie takie, daje znacznie większą niezawodność w kwestii akwizycji ruchu i eliminuje wiele problemów związanych z przeprowadzaniem każdorazowo odpowiedniej kalibracji. Systemy takie kalibruje się jednorazowo po zamontowaniu wszystkich odbiorników podczerwieni. Hybrydowość rozwiązania pozwala również na możliwość braku ciągłości w komunikacji optycznej pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Oznacza to iż chwilowy brak widoczności nadajnika z odbiornikiem nie wpływa na dane przekazywane do komputera. Dzieje się tak dzięki wbudowanym systemom IMU, które zajmują się aproksymacją położenia, które następnie jest korygowane jak tylko w zasięgu kamery optycznej czujnika pojawi się ponownie przynajmniej jeden z odbiorników zamontowanych w przestrzeni. *Drift* powstający na podstawie zastosowania samego IMU jest korygowany przez optyczny pomiar.

4.3.2. HTC VIVE Tracker

HTC VIVE Tracker jest reklamowane jako akcesorium do zestawów gogli wirtualnych HTC Vive, którego celem jest przenoszenie obiektów rzeczywistych do przestrzeni wirtualnej rzeczywistości. Urządzenie pod postacią dysku z wypustkami przypominającymi koronę zostało stworzone w taki sposób aby możliwe było w prosty sposób przymocowanie go do dowolnego fizycznego akcesorium, które ma wykorzystanie w wirtualnej rzeczywistości i pozwala użytkownikowi na zwiększenie immersji doświadczenia.

Dzięki urządzeniu przenoszona jest pozycja zaczepienie do świata wirtualnego, dzięki czemu możliwe jest mapowanie przedmiotów w przestrzeni wirtualnej. Urządzenie posiada również konektor 6-pinowy, dzięki któremu jesteśmy w stanie podpiąć wytworzone przez HTC Vive akcesoria. Możliwe jest również stworzenie własnych kontrolerów, dzięki wykorzystaniu wspomnianego konektora. Pozwala on również na przekazanie informacji wejściowej, przykładowo informującego o wciśnięciu spustu w stworzonym na potrzeby aplikacji pistolecie lub innym akcesorium. Akcesoria dołączane do HTC Vive mogą mieć również bardziej rozbudowane formy interakcji w postaci *track padów* czy też *joysticków*. Możliwe jest też przesłanie przez Tracker informacji na temat wibrowania akcesoriów dla zwiększenia immersyjności używanych rozwiązań i zapewnienia odpowiedzi haptycznej w postaci przykładowo wibracji.

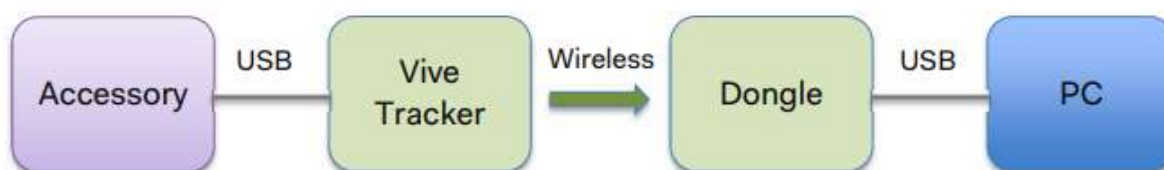
Dzięki takiemu zestawowi możliwości po stronie HTC VIVE Trackera, możliwe jest budowanie własnych kontrolerów, nie wykorzystując tych dostarczonych przez producenta. Sam Tracker również posiada na sobie programowalny przycisk, który można wykorzystać do wyzwalania różnych akcji oraz aktywacji / dezaktywacji działania jego w systemie.



Ilustracja przedstawia budowę HTC VIVE Tracker oraz wbudowane w niego porty.

Dzięki dostarczonemu przez producenta podręcznikowi dewelopera, mogliśmy się również dowiedzieć bez potrzeby wynajmowania bądź zakupu urządzenia, na temat

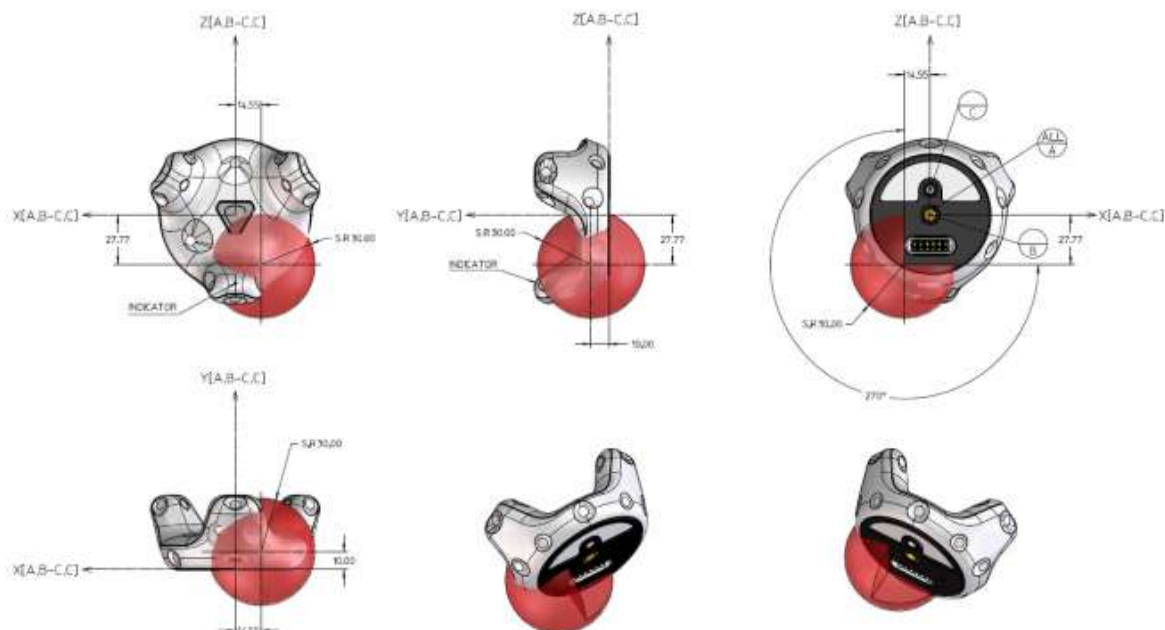
bardziej szczegółowych specyfikacji urządzenia. Dzięki temu mieliśmy możliwość przeprowadzenia dogłębniejszej analizy użyteczności rozwiązania w projektowanym przez nas prototypie. Dowiedzieliśmy się między innymi o tym, że urządzenie posiada wbudowaną diodę dzięki której urządzenie jest w stanie sygnalizować aktualny stan urządzenia taki jak informacja o tym czy poprawnie przechodzi proces ładowania, czy jest już naładowany w pełni, czy posiada połączenie bezprzewodowe z komputerem. Jest w stanie również poinformować czy bateria rozładowuje się oraz jak przebiega proces połączenia bezprzewodowego z komputerem. Dowiedzieliśmy się również, że przycisk znajdujący się na urządzeniu odpowiada również za jego włączanie / wyłączenie oraz możliwość parowania z komputerem. Sensory zamontowane na urządzeniu fotodiody użyte są w celu odebrania fali podczerwonej emitowanej z kamer na podczerwień dołączonych do zestawu. HTC VIVE Tracker posiada mocowanie na ¼ cala, dzięki któremu można wykorzystać dostępne na rynku mocowania, aby przytwierdzić Tracker do dowolnej powierzchni czy też wytworzyć mocowanie na stroju aktora. Wbudowany port micro USB pozwala na ładowanie urządzenia oraz jest możliwość zastosowania przewodowej komunikacji Trackera z komputerem. Wszystkie dane przechwytywane przez HTC VIVE Tracker zostają przekazywane bezprzewodowo do odbiornika USB podpiętego do komputera.



Ilustracja schematu podłączenia HTC VIVE Tracker z komputerem.

Możliwa jest również jego komunikacja bezpośrednia z goglami HTC VIVE, poprzez zamontowany w nich port USB, ale nie jest to interesująca w naszym wypadku funkcja gdyż w przypadku użycia rozwiązania HTC VIVE Tracker nie planujemy korzystać z gogli.

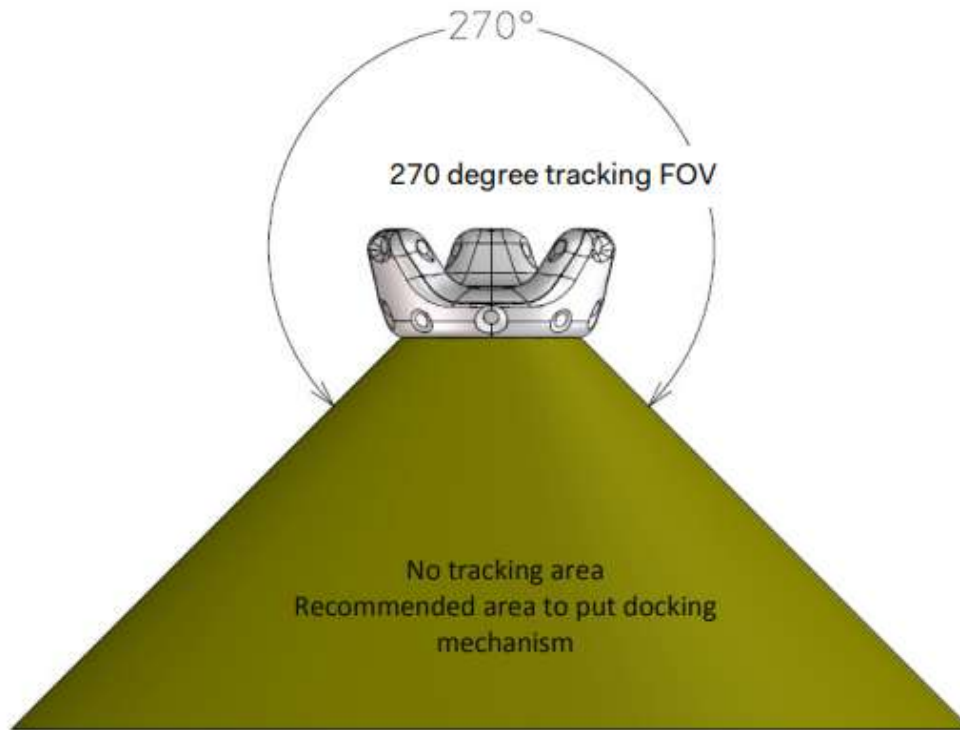
Zastosowana w HTC VIVE Tracker komunikacja radiowa RF pozwala na połączenie urządzenia z odbiornikiem USB co oznacza, że dla poprawnego funkcjonowania urządzenia musi się ono znajdować w odpowiedniej odległości od odbiornika. Użycie fali radiowych wymusza też, aby obiekt do którego montowany jest HTC VIVE Tracker nie był metalowy albo żeby jego część metalowe były oddalone od urządzenia przynajmniej o 30mm, w taki sposób, aby nie powodowały degradacji wysyłanego sygnału radiowego powyżej wartości 3 dB. Dzięki temu jesteśmy w stanie mieć możliwość wykorzystania maksymalnego zasięgu Trackera.



Ilustracja obrazuje przestrzeń która nie powinna stykać się z żadnym metalowym przedmiotem Trackera HTC VIVE.

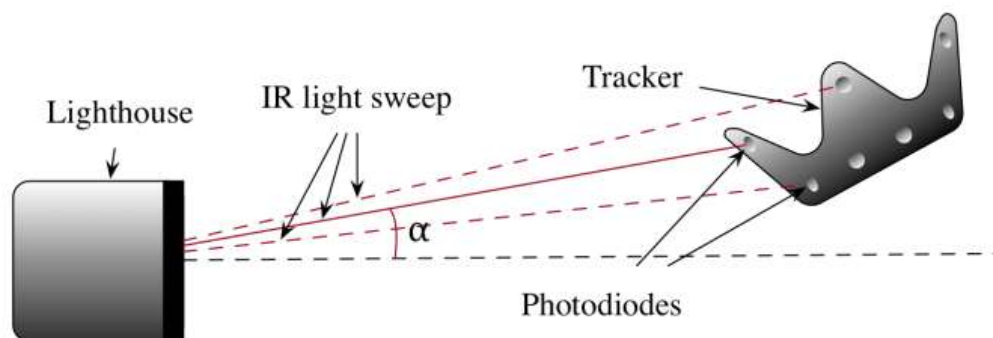
Czas ładowania urządzenia to 3h, w przypadku użycia portu USB natężeniu prądu 0,5A oraz 1,5h w przypadku wykorzystania złącza 1A. Możliwe jest również ładowanie HTC VIVE Tracker poprzez wykorzystanie pinu nr 3 z konektora 6-pinowego znajdującego się na urządzeniu.

Podręcznik dewelopera pozwala również zidentyfikować, jakie problemy mogą się pojawić w przypadku mocowania urządzenia na różnych powierzchniach. Zakres widoczności urządzenia wynosi 270 stopni i zalecany jest montaż w miejscu, które możliwie jak najlepiej będzie widziane przez kamery emitująca promienie na podczerwień.



Ilustracja obrazująca w jakim zakresie znacznik powinien pozostać w bezpośrednim kontakcie z kamerami emitującymi podczerwień

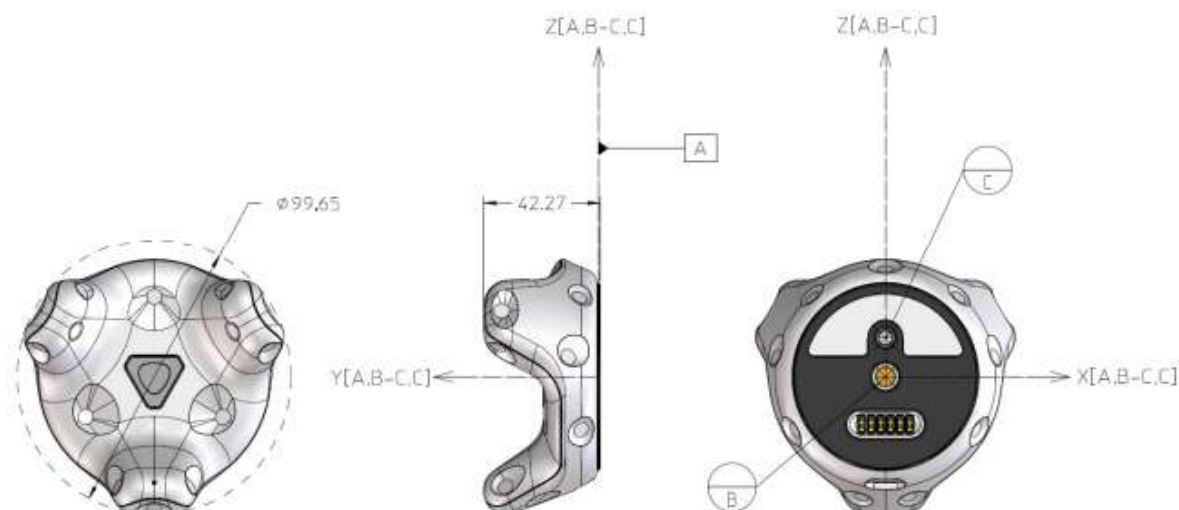
Śledzenie *trackera* w przestrzeni realizowane jest przez tą samą technologię którą wykorzystują gogle HTC VIVE oraz kontrolery do sterowania HTC VIVE. Tracker oblicza swoją pozycję na podstawie impulsów na podczerwień emitowanych przez stacje z kamerami na podczerwień, które wymagane są do działania przechwytywania ruchu. Na podstawie analizy przechwyconych promieni na podczerwień oraz zastosowaniu 10 fotodiod, możliwe jest przekonwertowanie danych na ich ekwiwalent w przestrzeni wirtualnej.



Ilustracja przedstawia sposób interpretowania danych przechwytywanych przez kamery na podczerwień odbitych od fotodiod umieszczonych na HTC VIVE Tracker

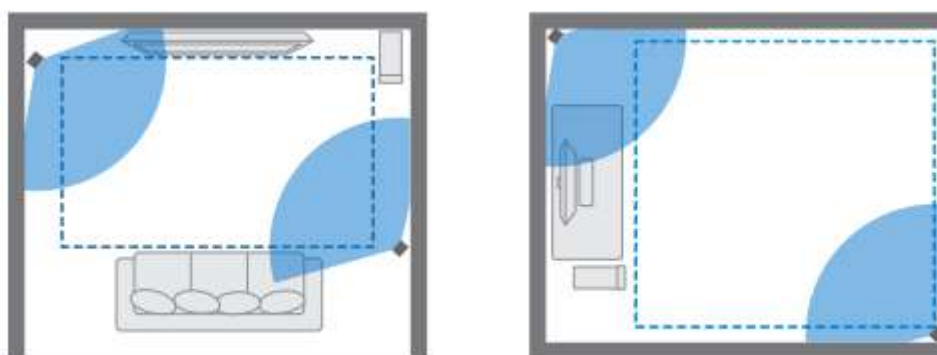
W celu poprawnego zidentyfikowania pozycji oraz rotacji przedmiotu przypiętego do HTC VIVE Tracker należy mieć na uwadze w jaki sposób koordynaty do programu

przekazuje Tracker. Koordynaty systemu VIVE Tracker podawane są w systemie prawoskrętnym i w trakcie montażu należy mieć na uwadze wyznaczone przez producenta punkty odniesienia.



Ilustracja prezentująca kierunki koordynatów HTC VIVE Tracker

Aby HTC VIVE Tracker mógł działać należy zastosować osobno sprzedawany zestaw nadajników kamer na podczerwień, których poprawne rozmieszczenie oraz konfiguracja pozwala na przeprowadzenie poprawnego śledzenia obiektów. Nadajniki można montować w dwóch opcjach - dla trackingu powierzchni po której aktor porusza się oraz mniejsza powierzchnia w której aktor siedzi w miejscu. Do *trackingu* powierzchniowego używa się zestawu minimum 2 kamer nadajników na podczerwień które w wersji 2.0 połączone razem mogą pokryć powierzchnię do 10m x 10m, według danych podawanych przez producenta. Niestety z researchu w internecie nie widać zbyt dużo tego typu przypadków użycia i ciężko się upewnić jak dobrze *tracking* zadziałałby na takiej powierzchni bez przeprowadzenia własnych testów. Z drugiej strony minimalna powierzchnia którą mogą pokryć nadajniki to 2m x 1,5m i same nadajniki muszą się znaleźć na zewnątrz tej przestrzeni. Przestrzeń powinna mieć kształt prostokąta i dwa nadajniki powinny znaleźć się w przeciwległych rogach.



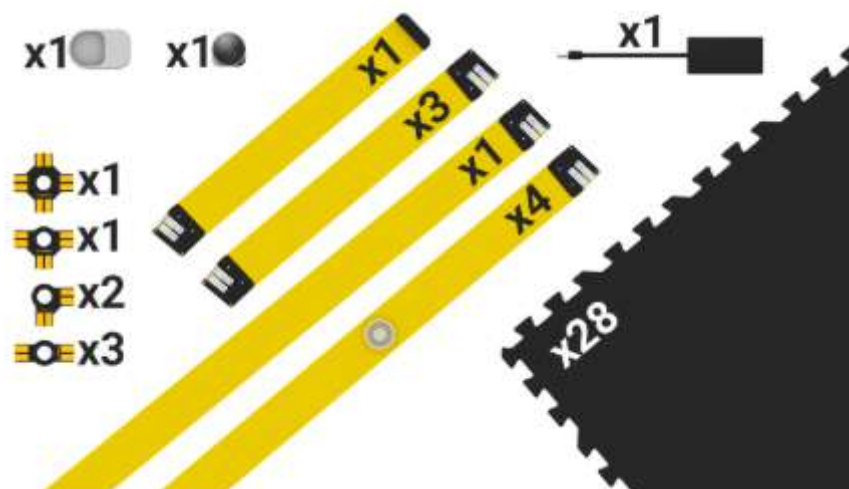
Kamery są zasilane z gniazdka elektrycznego i mogą być mocowane do ściany, sufitu czy też na statywach przy pomocy śruby $\frac{1}{4}$ cala. Po zamontowaniu nadajników należy dokonać kalibracji powierzchni co polega na przemieszczaniu się po obwodzie powierzchni naszego *trackingu* z HTC VIVE Trackerem w rękę. W przypadku zmiany pozycji któregoś z nadajników należy dokonać ponownej kalibracji.

4.3.2. Antilatency

Trackery od firmy Antilatency jest to dedykowana technologia do obsługi dużych powierzchni korzystających z VR oraz wielu punktów *trackowania* jednocześnie. Każdy z trackerów działa niezależnie i oblicza swoją pozycję wewnątrz na podstawie estymacji swojej pozycji przy pomocy wbudowanego modułu IMU oraz przy pomocy systemu optycznego z wykorzystaniem kamery oraz nadajników montowanych w podłodze lub suficie. Technologia jest dosyć nowa i dopiero od niedawna jest możliwy zakup zestawów deweloperskich, dlatego wszystkie możliwe informacje zebrane zostały za pomocą głównej strony informacyjnej, filmów reklamujących urządzenie, wywiadów oraz zapytań do samego producenta.

Na minimalny zestaw do użytkowania rozwiązania Antilatency składa się zestaw poszczególnych elementów:

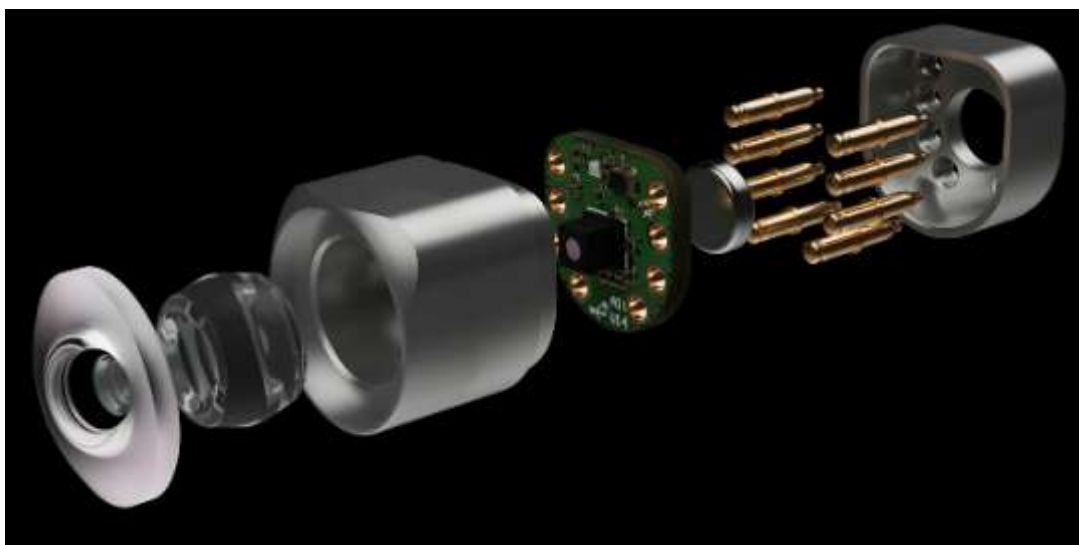
- 1 Antilatency Tracker,
- 1 przewodowe gniazdo USB,
- zestaw do budowy podłogi do trackowania powierzchni o maksymalnym rozmiarze 10m² w którego skład wchodzi:
 - a. 4 referencyjne listwy z markerami,
 - b. 4 listwy połączeniowe,
 - c. 1 listwa odprowadzająca zasilanie wraz zasilaczem,
 - d. 7 konektorów do listew (krzyżowy, 1 t-kształtny, 2 narożne i 3 podłużne),
 - e. 28 elementów maty podłogowej.



Ilustracja zestawu deweloperskiego Antilatency

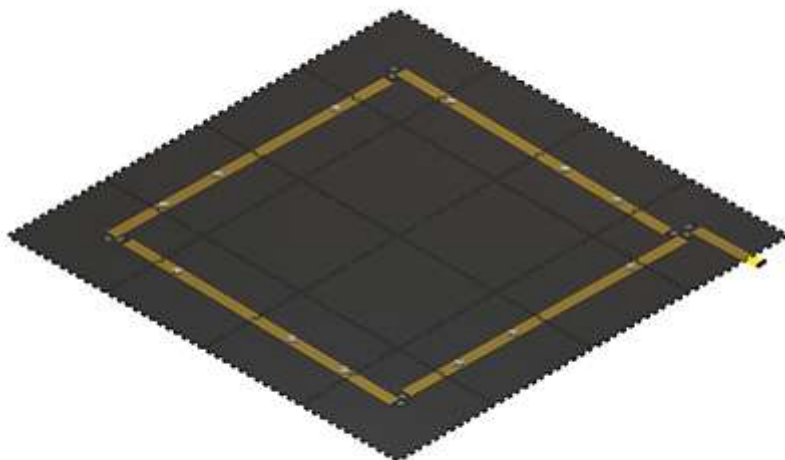
Antilatency Tracker zwany Alt, jest to sensor zbudowany na podstawie połączenia dwóch podejść technologicznych. W jego wnętrzu wbudowany jest wewnętrzny system mierzący IMU, który odpowiada za kalkulacje bieżącej pozycji w oparciu o dane pochodzące z drugiego systemu optycznego wyznaczania pozycji. Tracker robi 2000 pomiarów w ciągu sekundy, a jego obliczenia mają opóźnienie rzędu 2 ms, co pozwala na

wyliczenie w przybliżeniu przyszłej pozycji czujnika, dzięki czemu możliwy jest interpolowany *tracking* w czasie rzeczywistym przy zastosowaniu techniki kompensacji opóźnienia. Dzięki wykonywaniu wszystkich obliczeń po stronie Trackera Alt, możliwe jest odciążenie głównej jednostki *renderującej* z obliczania pozycji. Zbudowana specjalnie na potrzeby trackera soczewka, która jest w stanie widzieć nawet w 240 stopni kącie widzenia. Każdy z trackerów przechodzi przez specjalny system do kalibracji dzięki czemu dokładność urządzenia może być ustawiona co do mm w przestrzeni rzeczywistej.

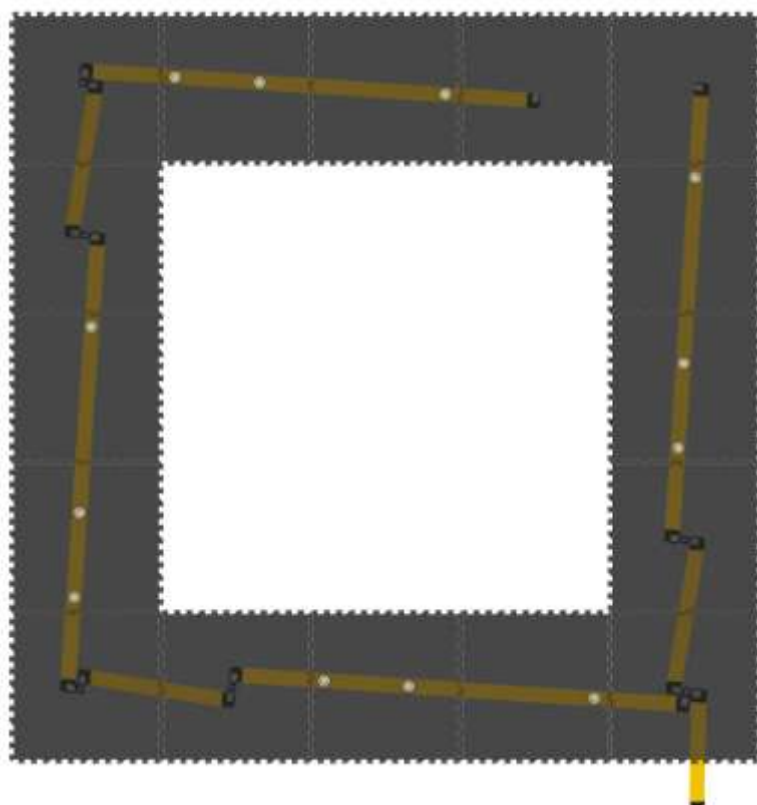


Ilustracja budowy Alt Antilatency Trackera.

Zestaw deweloperski pozwala na ułożenie nadajników w podłodze na 2 różne sposoby. System śledzenia Antilatency jest oparty o relatywne pozycjonowanie trackerów względem czujników rozlokowanych na podłodze lub też suficie. Specjalne elementy piankowe służą jako stelaż dla systemu listew na podczerwień, dzięki czemu mogą one zostać zamontowane w prosty i precyzyjny sposób na podłodze. Elementy piankowe można zastąpić własną podłogą dociętą na wymiar. Podejście takie pozwala na wybudowanie przestrzeni nawet do 100m x 100m oraz pozwala na jego dowolne dopasowanie w przestrzeni, co oznacza, że podłoga nie musi mieć kształtu tylko prostokąta, ale może być czymś na wzór labiryntu wybudowanego pomiędzy ścianami. Dzięki przeniesieniu mocy obliczeniowej na każdy z trackerów, możliwe jest zastosowanie nieskończonej liczby trackerów Alt, ponieważ każdy z nich może działać niezależnie w różnych systemach. Ogromną zaletą jest deklarowany przez producenta brak potrzeby kalibracji każdego z czujników Alt pod nową podłogę. Podłogę należy zaprogramować w odpowiedni sposób, tak jak jest ułożona i możemy już ponownie używać trackerów Alt, które zostały użyte przednio przy zastosowaniu innego ułożenia podłogi.

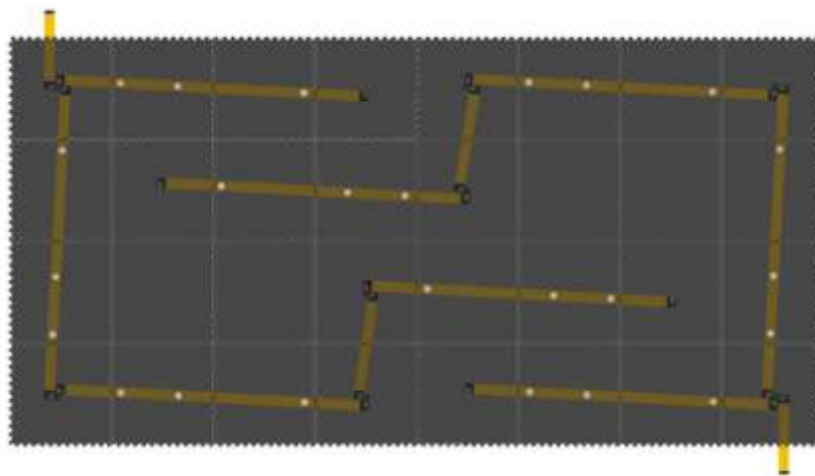


Ilustracja przykładowego montażu zestawu deweloperskiego Antilatency na przestrzeni 2.4m x 2.4m.



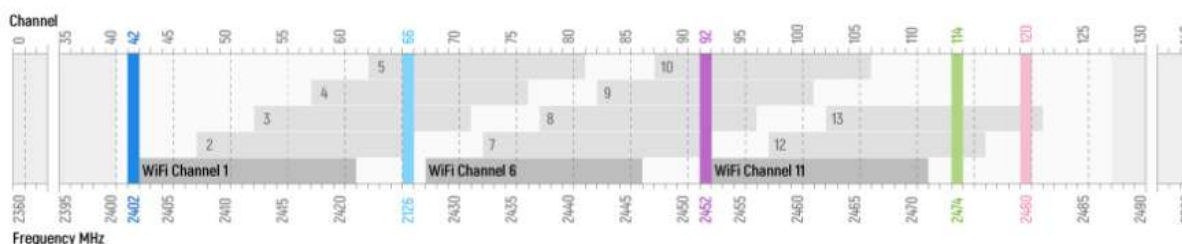
Ilustracja montażu zestawu deweloperskiego na powierzchni 3m x 3m.

Na stronie developera zawarty jest również schemat jak wygląda połączenie ze sobą dwóch zestawów deweloperskich. Rozszerzanie podłogi według zapewnień producenta jest możliwe w dowolny sposób i na dowolnym obszarze.



Ilustracja połączenia ze sobą dwóch zestawów deweloperskich w jedną podłogę o rozmiarze 2,4m x 4,8m.

Antilatency do połączenia z komputerem używa własnego autorskiego systemu radiowego. System działa w technologii 2,4 Ghz, a dokładnie mieści się między 2360-2500 Mhz i mieści się w obrębie 141 kanałów w celu zapewnienia lepszego działania urządzenia każdy z osobnych odbiorników radiowych HMD Radio, należy ustawić aby pracował na innym kanale. Zalecana odległość między kanałami jest to 5Mhz ze względu na długość fal oraz sposobu ich propagacji.



Trackery Alt mogą być użyte / wpięte w urządzenie HMD Radio Tracker i działać jako przewodowe złącze dla trackerów Alt, bądź też mogą być użyte jednocześnie z wykorzystaniem połączenia bezprzewodowego w celu odebrania sygnału radiowego pochodzącego od tagów bądź też bransoletek na ręce służących do wykrywania ruchu dłoni oraz ewentualnego zaciśnięcia dłoni. Obecnie do jednego urządzenia HMD Radio można bezprzewodowo podłączyć do 2 tagów jednocześnie lub 2 bransoletek na dłonie lub też kombinacja 1 bransoletki i jednego tagu.

W celu lepszego zarządzania trackerami Alt, które nie mają przypisanych konkretnej nazwy, jest możliwość nadawania nazw akcesoriom, które to nazwy przetrzymywane są na stałe. Dzięki temu, gdy tylko tracker osadzony w akcesorium tag znajdzie się w okolicy najbliższego HMD Radio, zostaje automatycznie włączony system trackowania. Można też przypisać konkretny HMD Radio do konkretnego taga, aby przy wykonywaniu *trackingu*

większej ilości aktorów, każdy z nich znajdował się na innym kanale radiowym co pozwala na zmniejszenie komplikacji w przetwarzaniu danych oraz eliminuje opóźnienia.

5. Wybór oprogramowania do realizacji prototypu

6. Wybór czujników wchodzących w system docelowy

III. Prace rozwojowe

1. TOUCH + NOTCH + UNREAL
2. Zarządzanie obrazami
3. Fotorealizm

IV. Prace wdrożeniowe

1. Dobór systemu (*hardware + software*)

2. Testy czujników - duża skala

3. Produkcja animacji 2D/3D, interaktywne 2D/3D

3.1. Wstęp

Jednym z założeń projektu jest powstanie biblioteki gotowych elementów/obiektów 3D do późniejszego wykorzystania w silniku Unreal Engine.

Ponieważ jednym z naszych założeń przy tworzeniu tej bazy jest możliwość kreacji jak najbardziej realistycznych elementów scenografii, do przygotowania elementów biblioteki założyliśmy ich wygenerowanie w środowisku 3D.

Grafika trójwymiarowa zajmuje się głównie wizualizacją/odwzorowaniem obiektów trójwymiarowych i bazuje na geometrii obiektów rzeczywistych, jako grafika komputerowa jest dziedziną informatyki zajmującą się cyfrową syntezą i manipulacją treści wizualnych.

Ze względu na reprezentację danych dzieli się na grafikę rastrową i wektorową, a ze względu na charakter danych na grafikę dwuwymiarową, trójwymiarową i ruchomą. Obejmuje także przetwarzanie obrazów.

Grafikę komputerową można także podzielić na teoretyczną skupiającą się algorytmach graficznych i praktyczną, skupiającą się na manipulacji i tworzeniu obrazów i modelowaniu trójwymiarowym. (np. w programie Blender).

Grafiki można podzielić na 3 rodzaje, w zależności od sposobu jej generowania:

1. **Nieinterakcyjna** - program wczytuje uprzednio przygotowane dane i na ich podstawie tworzy wynikowy obraz. Tak działa na przykład program POV-Ray, który wczytuje z pliku definicję sceny trójwymiarowej i na jej podstawie generuje obraz końcowy.
2. **Interakcyjna** - program na bieżąco aktualizuje obraz w zależności od działań użytkownika, dzięki temu może on od razu ocenić skutki swoich działań. Bardzo ważne w tym przypadku jest, aby czas odświeżania obrazu nie był zbyt długi – dlatego w przypadku grafiki interaktywnej akceptuje się i stosuje uproszczone metody rysowania obiektów, aby zminimalizować czas oczekiwania.
3. **Czasu rzeczywistego** - program musi bardzo szybko (co najmniej kilkadziesiąt razy na sekundę) regenerować obraz, aby wszelkie zmiany były natychmiast uwidocznione. Grafika czasu rzeczywistego ma szczególnie znaczenie w różnego rodzaju symulatorach, jest również powszechna w grach komputerowych.

Grafika trójwymiarowa jest elementem animacji komputerowej (animacja 3D).

3.2. Animacja komputerowa

Jest to sztuka tworzenia ruchomych obiektów, stanowi połączenie grafiki wektorowej i zaprogramowanego ruchu. W coraz większym zakresie jest ona realizowana jako animacja 3D, choć w zastosowaniach dysponujących niską przepustowością sprzętową i wymagających przetwarzania obrazów w czasie rzeczywistym cały czas ważną pozycję utrzymuje animacja 2D (płaska) lub animacja 2,5D.

W przypadku animacji 3D, obiekty (modele) są budowane (modelowane), po czym trójwymiarowe figury otrzymują wirtualny szkielet. Kończyny, oczy, usta, czy ubrania modelu są następnie poruszane przez animatora w kolejnych klatkach kluczowych. Różnice wyglądu między klatkami kluczowymi są następnie przeliczane przez komputer, korzystając z procesów *tweeningu* i *morfingu*. Ostatnim stadium prac jest renderowanie.

W przypadku animacji trójwymiarowych konieczny jest rendering wszystkich klatek po zakończeniu modelowania. W pracach nad dwuwymiarowymi animacjami wektorowymi, proces renderingu jest tożsamy ze stworzeniem każdej klatki kluczowej, zaś klatki pośrednie są renderowane w razie potrzeb.

Poszczególne klatki mogą również być renderowane w czasie rzeczywistym.

3.2.1. Geometria

Geometria obiektów 3D może być reprezentowana na kilka sposobów:

1. Siatka wielokątów - obiekt jest zbudowany z płaskich wielokątów (najczęściej trójkątów lub czworokątów), które mają wspólne wierzchołki i krawędzie. W ten sposób można tworzyć proste bryły, albo – jeśli siatka jest dostatecznie gęsta – dobrze przybliżyć skomplikowane objekty.

2. Woksele - obiekt jest zbudowany z elementarnych sześciątów (trójwymiarowych pikseli). Tego rodzaju reprezentacja jest rozpowszechniona szczególnie w diagnostyce medycznej, gdzie uzyskuje się szereg przekrojów (obrazów bitmapowych) ciała pacjenta i na ich podstawie tworzy trójwymiarowe modele.

3. Opis matematyczny - objekty są określone równaniami. Mogą to być kule, płaszczyzny oraz szczególnie użyteczne i powszechnie stosowane powierzchnie parametryczne (płaty powierzchni), na przykład płaty Béziera, Hermite'a, czy NURBS. Istnieją programy, które swoje funkcjonowanie opierają głównie o właśnie taki sposób modelowania (np. POV-Ray).

Dane trójwymiarowe mogą zostać pobrane ze świata rzeczywistego, między innymi za pomocą tomografów komputerowych, skanerów trójwymiarowych, ze zdjęć satelitarnych (topografia terenów) a także ze zdjęć stereoskopowych.

W animacji komputerowej wykorzystywana jest również technika motion capture, która polega na nagrywaniu ruchu człowieka – czujniki położenia umieszczone są w kluczowych punktach ciała: na rękach, nogach, głowie, karku i którą wykorzystujemy w projekcie. Przeniesienie nagranych w ten sposób ruchów na sztuczne postacie nadaje ich ruchom naturalność, trudną do uzyskania klasycznymi metodami animacji.

Obiekty trójwymiarowe mogą również zostać stworzone przez człowieka w procesie modelowania. Duże znaczenie mają też techniki komputerowe, które automatycznie modelują skomplikowane efekty (dym, ogień, śnieg, deszcz) i objekty (chmury, góry, drzewa).

3.2.2. Wizualizacja

Obecnie wszystkie urządzenia komputerowe wyświetlają dwuwymiarowe obrazy, dlatego z grafiką trójwymiarową związana jest bezpośrednio geometria wykreślna. Głównie w zastosowaniach inżynierskich (CAD) sceny trójwymiarowe przedstawione są w rzucie prostokątnym, natomiast w pozostałych w rzucie perspektywicznym.

—Efekt wizualny rzutu perspektywicznego (skrót perspektywiczny) jest bardzo podobny do efektów obserwowanych w fotografii oraz w układzie wzrokowym człowieka. Przez analogię do aparatu fotograficznego (lub kamery), w grafice trójwymiarowej istnieje pojęcie wirtualnej kamery, która tworzy „zdjęcie” sceny istniejącej w pamięci komputera. Kamerę wirtualną charakteryzują następujące parametry: położenie, kierunek w jakim jest skierowana oraz ogniskowa — mają one swoje odbicie w matematycznym modelu kamery.

Obrazy trójwymiarowe są tworzone głównie w technice rastrowej, wektorowo przedstawia się co najwyżej obrysy, szkice itp.

Głównym problemem w obu przypadkach jest wyznaczenie powierzchni widocznych, a więc selekcja tych obiektów (lub ich części), które są widoczne w danym rzucie. Robi się to na przykład za pomocą bufora Z, sortowania względem głębokości, śledzenia promieni.

Ponadto przeważnie obserwujemy niewielki fragment sceny, a dodatkowo scena może składać się z wielkiej liczby obiektów (sięgającej nawet setek milionów), dlatego również ważne jest określenie, które obiekty mogą być widoczne, aby przetwarzać tylko te dane, które naprawdę są potrzebne.

3.2.3. Realizm

Realizm obrazów generowanych przez komputer jest w większości zastosowań bardzo ważny. Aby go uzyskać modeluje się oświetlenie: definiuje światła - *ray tracing*, powierzchniom obiektów trójwymiarowych nadaje kolor i fakturę, określa cienie rzucane przez obiekty, odbicia zwierciadlane, załamanie i rozpraszanie światła i tym podobne.

Metody, które pozwalają na bardzo dokładne przedstawienie scen trójwymiarowych są również bardzo kosztowne obliczeniowo (np. śledzenie promieni, metoda energetyczna - *radiosity*). Z kolei szybkie, przybliżone metody cieniowania obiektów, tworzenia cieni, odbić zwierciadlanych są z powodzeniem wykorzystywane w grach komputerowych. Bardzo popularną techniką uzyskiwania realizmu w scenie jest obliczanie oświetlenia na każdy piksel z osobna. Jest to operacja kosztowna obliczeniowo, jednak dzięki wspomaganemu sprzętowemu (*pixel shader*) możliwa do uzyskania animacji w czasie rzeczywistym.

W przypadku animacji ważne jest także aby ruch obiektów, był możliwie najbardziej zbliżony do zachowania przedmiotów w świecie rzeczywistym.

3.2.4. GPU (graphics processing unit) i CPU (central processing unit)

Współczesne karty graficzne potrafią wyświetlać obiekty trójwymiarowe zbudowane z wielokątów, wykonując dużą część obliczeń związanych z generowaniem grafiki 3D:

- przekształcenia geometryczne (takie jak obrót, skalowanie, rzutowanie perspektywiczne),
- cieniowanie wielokątów,
- proste modele oświetlenia,
- teksturowanie wielokątów,
- mapy nierówności (mapowanie wypukłości, mapowanie normalnych).

Współczesne GPU (procesory graficzne) pozwalają dzięki shaderom (program komputerowy, często napisany w specjalnym języku programowania (*shader language*), który w grafice trójwymiarowej opisuje właściwości pikseli oraz wierzchołków) oprogramować praktycznie dowolne efekty, zarówno na poziomie wierzchołków (*vertex shader*), jak i pojedynczych pikseli (*pixel shader*).

Głównym zastosowaniem GPU jest wykonywanie obliczeń potrzebnych do uzyskania grafiki/animacji 3D przez co uwolniono z tego zadania procesor główny CPU. ~~W tej sytuacji mógł on zająć się innymi obliczeniami, co skutkowało zwiększeniem wydajności komputera podczas renderowania grafiki. Nowoczesne procesory graficzne wyposażone są w szereg rozkazów, których nie posiada CPU komputera.~~

3.2.5. Renderowanie

Renderowanie jest ostatnim procesem, kończącym pracę nad grafiką/animacją 3D; odbywa się w części programu odpowiedzialnym za renderowanie (silnik renderujący) bądź w osobnym programie (*renderer*). Sposób renderowania jest albo określony w samym dokumencie albo w osobnym pliku zwanym arkuszem stylów.

Renderowanie w grafice trójwymiarowej, nazywane też w tym kontekście obrazowaniem lub prezentacją, obejmuje analizę modelu danej sceny oraz utworzenie na jej podstawie dwuwymiarowego obrazu wyjściowego w formie statycznej lub animacji. Podczas renderowania rozpatrywane są m.in. odbicia, cienie, załamania światła, wpływy atmosfery (w tym mgła), efekty wolumetryczne itp. Jest to bardzo czasochłonna operacja nie wymagająca, poza przygotowaniem, żadnej ingerencji ze strony człowieka. Renderowanie może być przeprowadzone praktycznie w każdym programie do tworzenia grafiki trójwymiarowej, nie będącym wyłącznie programem do modelowania (modelerem). Przykładami takich programów są np. 3ds Max czy Cinema 4D, które opisujemy w dalszej części.

Najczęściej wykorzystywaną metodą renderowania w programach do grafiki trójwymiarowych jest *raytracing*, pozwalająca na bardzo wierne odwzorowanie obrazu z uwzględnieniem wielu rzeczywistych zjawisk fizycznych. Jest on wynikiem próby rozwiązania równania renderowania. Inne analogiczne metody to *raycasting* (uproszczona metoda *raytracing*) oraz dwie metody oświetlenia globalnego (*global illumination*): energetyczna (*radiosity*) i mapowanie fotonowe (*photon mapping*), ponadto wykorzystuje się metody do obrazowania kaustyki (*caustics* - skupienie lub ogniskowanie światła) i cienie powierzchniowe (*area shadows*), które umożliwiają uzyskanie cieni uwzględniających wielkość emitera światła.

Oprócz programowych metod renderowania bardzo powszechne jest wykorzystywanie sprzętowego wsparcia do generowania obrazów i scen trójwymiarowych, np. w grach komputerowych. Ogromne przyspieszenie obliczeń jest uzyskiwane dzięki zastosowaniu specjalizowanych modułów do obliczeń geometrycznych oraz modułów teksturowania obiektów czy też generowania efektów świetlnych. Dalsze przyspieszenie uzyskiwane jest przez uproszczony matematyczny sposób tworzenia obrazu 3D, zoptymalizowany bardziej pod kątem wydajności niż realizmu. Pozwala to odciążać główny uniwersalny procesor komputera - CPU, który może zająć się np. obliczeniami związanymi ze sztuczną inteligencją bohaterów świata wirtualnego. Z każdą kolejną generacją procesorów graficznych i zwiększającą się ich mocą obliczeniową grafika staje się coraz bardziej szczegółowa i realistyczna.

Renderowanie może się odbywać również w czasie rzeczywistym (*real time*).

3.2.6. Oprogramowanie

Do tworzenia grafiki 3D zostało stworzonych wiele programów na różne platformy sprzętowe i systemy operacyjne. Zwykle programy te dzieli się na modelery (tworzenie i obróbka scen trójwymiarowych) oraz renderery (generowanie trójwymiarowego obrazu lub animacji, wraz z nakładaniem tekstur, efektami świetlnymi itp.).

Przegląd oprogramowania, który jest poniżej ma na celu opisanie głównych programów dostępnych na rynku, ich porównanie oraz na podstawie wyciągniętych wniosków wybór odpowiedniego oprogramowania. Porównania dokonaliśmy na podstawie analizy dostępnych narzędzi do poszczególnych etapów animacji, wyglądu i funkcjonalności interfejsu użytkownika (GUI), możliwości renderowania, skryptowania, obsługiwanych formatów, wtyczek, kompatybilności z innymi środowiskami, dostępnego wsparcia technicznego oraz ceny.

3.3. Etapy procesu produkcyjnego

Proces powstawania animacji można podzielić na 4 główne etapy, zaczynając od bardzo wstępnej fazy, obejmującej etap developmentu projektu do etapu 4 - postprodukcji. Ewentualnym 5 etapem, może być archiwizacja wieczysta skończonego projektu.

1. Development projektu

Najwcześniejszy etap prac polegający na określeniu ram projektu, efektu finalnego, środków, które pozwolą na jego osiągnięcie, harmonogramu prac, listy zaangażowanych osób i innych podstawowych założeń.

2. Preprodukcja

Etap prac polegający na rozpoczęciu realizacji założeń z etapu developmentu.

- Prace przygotowawcze
- Faza koncepcyjna - określenie podstawowych założeń projektu oraz zebranie materiałów źródłowych i referencyjnych.

3. Produkcja

Najbardziej intensywny etap prac, obejmujący wszystkie prace produkcyjne, wykonywane wg. ustalonego harmonogramu prac. Wynikiem tego etapy jest powstanie wszystkich prac graficznych i animacyjnych.

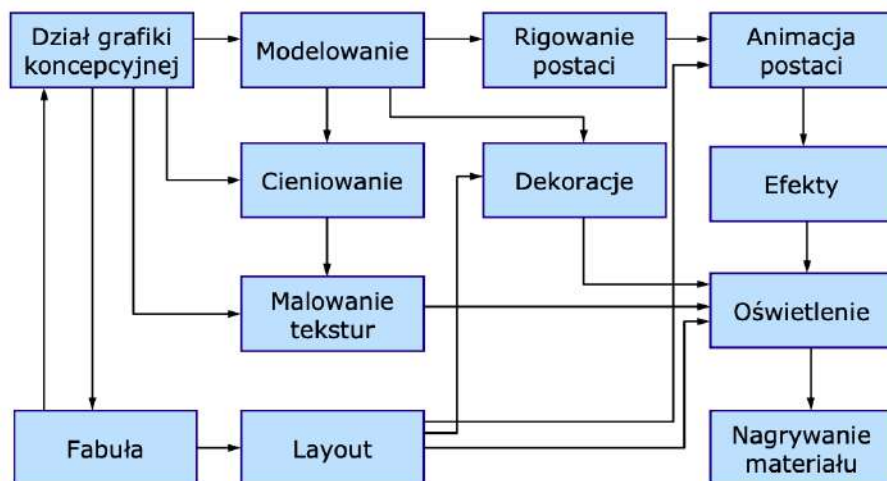
- Elementy graficzne - assety: tekstury, projekty graficzne postaci
- Modelowanie
- Teksturowanie: mapy UV
- Oświetlenie
- Cienowanie
- Kompozycja
- Animacja
- Animacja postaci / rig
- Animacja kamery
- Rendering

4. Post-produkcja

Końcowy etap prac, gdzie wszystkie grafiki i animacje, powstałe podczas etapy produkcji są finalnie składane. Podczas tego etapy powstaje produkt końcowy.

- Kompozycja
- Montaż
- Udźwiękowanie

- Rendering
- Deliverable - właściwe materiały wyjściowe



Proces tworzenia filmu animowanego

3.4. Animacja 3D

3.4.1. 3Ds Max

<https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Oprogramowanie 3D do modelowania, animacji, efektów specjalnych, oświetlania i renderingu przeznaczone do tworzenia animacji 3D, gier i wizualizacji projektów.

INTERFEJS

Nowoczesny i płynnie reagujący interfejs użytkownika i obszary robocze, możliwość tworzenia własnych obszarów, przystosowany do wysokiej rozdzielczości.

Selektor obszaru roboczego to dwuczęściowa lista rozwijana głównego interfejsu. Biblioteka zasobów, integracja narzędzi w procesie organizacji produkcji, inteligentne pakowanie zasobów. Integracja z wieloma narzędziami w procesie organizacji produkcji dzięki poszerzonemu i ulepszonemu zestawowi narzędzi Python/.NET. Duża elastyczność struktury folderów, inteligentne przełączanie projektów i możliwością przechowywania danych niestandardowych.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Program oferuje szereg narzędzi do poly modelingu oraz podstawowe narzędzia do modelowania w technice krzywych NURBS.

Zestaw narzędzi do kształtowania i definiowania szczegółowo odwzorowanych środowisk, obiektów i postaci.

Modelowanie postaci, miejsc i przedmiotów.

Modelowanie powierzchni i siatki.

Efektywne tworzenie obiektów parametrycznych i organicznych.

Funkcje modelowania oparte na wielokątach, powierzchniach pod podziałów i splajnach.

Modyfikator kanału danych, wykorzystujący informacje o wierzchołkach, krawędziach i powierzchniach czołowych do proceduralnego modyfikowania modeli.

Modyfikator fazowania - tworzy modele proceduralne, aby bezproblemowo wykonywać trudne zadania.

Procesy projektowania z zastosowaniem splajnów, tworzenie i animowanie geometrii na wiele intuicyjnych sposobów przy użyciu narzędzi splajnów.

TEKSTUROWANIE

1. Obsługa każdego etapu teksturowania:
 - określenie koordynatów teksturowania (UV lub UVW),
 - tworzenie tekstur w programie graficznym,
 - tworzenie map,

- tworzenie materiałów.
- 2. Obsługa języka *Open Shading Language*.
- 3. Tworzenie w edytorze materiałów różnego rodzaju map OSL - od prostych węzłów matematycznych po tekstury proceduralne.
- 4. Modyfikator włosów i sierści.
- 5. Przypisywanie materiałów do poszczególnych obiektów lub zestawów wyboru - pojedyncza scena może zawierać wiele różnych materiałów. Różne materiały mają różne zastosowania.
- 6. Edytor materiałów i przeglądarka materiałów, grupy materiałów; także grupa materiałów scenicznych, grupy bibliotek i grupy niestandardowe.
- 7. Definiowanie skóry przy użyciu funkcji *Geodesic Voxel* i *Heatmap* (mapa ciepła).
- 8. Tworzenie realistycznych definicji skóry w łatwy i szybki sposób.

TRACKING

Narzędzie *Camera Tracker* synchronizuje tło, animując ruch kamery, aby dopasować ją do ruchu prawdziwej kamery, której użyto do kręcenia materiału video.

KOMPOZYCJA

Większość elementów można komponować przy użyciu dodatkowej kompozycji. Głównymi wyjątkami są elementy tła, atmosfera i cienie.

Możliwość śledzenia kamery w After Effects, a następnie eksportu danych kamery do programu 3ds Max.

RENDEROWANIE

Dostępne różne silniki renderujące.

Arnold (MAXtoA) jest dołączony do domyślnej instalacji 3ds Max, obsługującej interaktywne renderowanie z poziomu interfejsu.

Rzutnia *Active Shade* (aktywne cienie) - wykonuje operacje bezpośrednio na zawartości sceny również podczas końcowego renderowania *ActiveShade*.

Kamera fizyczna - symulowanie rzeczywiste ustawienia kamery, takie jak szybkość migawki, przesłona, głębia ostrości, ekspozycja i inne opcje.

Rzutnia - dzięki integracji elementów języka OSL można wyświetlać w rzutni Nitrous, w jakości 1:1 mapy proceduralne utworzone w języku OSL.

ANIMACJA

Zaawansowane narzędzia do kontroli animacji za pomocą diagramów.

Narzędzia do animacji klatek kluczowych (*keyframe*) i proceduralnej.

Przeglądanie i edycja trajektorii animacji bezpośrednio w rzutni sceny.

Kontrolery *Max Creation Graph* - kontrolery animacji, które można dodatkowo modyfikować, grupować w pakiety i udostępniać.

Proste importowanie danych symulacji.

Animowanie danych symulacji w formatach CFD, CSV lub OpenVDB.

VFX/CGI

Tak. Tworzenie wirtualnego środowiska, postaci, obiektów i ich modyfikacja.

ANIMACJA POSTACI

Animacje proceduralne i siatki postaci za pomocą zestawu CAT (*Character Animation Toolkit*) oraz narzędzi do tworzenia postaci dwunożnych i animowania tłumu.

OŚWIETLENIE

Światła kierunkowe służą przede wszystkim do symulacji światła słonecznego. Można regulować kolor światła i jego położenie oraz obracać światło w przestrzeni 3D.

Światło Omni rzuca promienie we wszystkich kierunkach z jednego źródła, jest przydatne do dodawania „oświetlenia wypełniającego” do sceny lub symulacji źródeł punktowych.

DYNAMIKA

Dynamika odnosi się do procesu tworzenia animacji poprzez symulację fizycznych właściwości obiektów i ich interakcji. Interakcja może być w pełni parametryczna, tak jak w przypadku obiektów stałych opadających na inne/kolejne obiekty, lub może obejmować obiekty animowane klatką kluczową (takie jak rzucona piłka) i obiekty animowane dynamiką (takie jak kręgle). Ponadto symulacja dynamiki może obejmować takie siły, jak grawitacja, wiatr (z turbulencjami), opór, tarcie, odbicie i tak dalej. Bardziej zaawansowane silniki dynamiczne mogą również symulować ciała miękkie, takie jak tkanina, lina, płyny, takie jak woda i olej, oraz ciała połączone; ta ostatnia jest czasami nazywana fizyką „szmacianej lalki”.

Ścieżki ruchu - manipulowanie animacjami bezpośrednio w rzutni, aby na bieżąco dostosowywać scenę.

SYMULACJE

Symulacja fizyki (*reactor*), efekty przepływu cząstek.

3ds Max Fluids - realistyczne zachowania płynów.

Złożone i realistyczne efekty wody, ognia, mgiełki i śniegu.

Proste importowanie danych symulacji.

SKRYPTY

MAXScript to wbudowany język skryptowy, którego można używać do automatyzacji powtarzalnych zadań, łączenia istniejących funkcji w nowy sposób, opracowywania nowych narzędzi i interfejsów użytkownika i wielu innych.

Moduły wtyczek można tworzyć całkowicie w MAXScript.

Lista skryptów dostępna na:

<https://area.autodesk.com/downloads/3ds-max/scripts/>

EDYCJA VIDEO

Podstawowa edycja klatek animacji na osi czasu.

INTERAKCJA/VR

3ds Max Interactive.

Układ sceny w wirtualnej rzeczywistości.

W programie 3ds Max Interactive można edytować sceny bezpośrednio w środowisku wirtualnej rzeczywistości, a zmiany będą wprowadzane w czasie rzeczywistym.

REAL TIME

Realtime 3D Rendering Engine dla modeli, animacji, gier i wizualizacji.

STEREOSKOPIA

Stereoskopowa kamera za pomocą wtyczki Stereo Camera.

PIPELINE

Dane symulacji w formatach CFD, CSV lub OpenVDB.

PROGRAMOWANIE

Wbudowany interfejs API programu 3ds Max Python oparty na zestawie SDK programu 3ds Max C ++.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Silnik Autodesk Stingray 3D.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.

WTYCZKI

W programie można korzystać z wielu silników renderujących, wbudowanych jak i dostępnych jako wtyczki, m.in.:

- Scanline,
- mental Ray,
- V-ray,
- FinalRender,
- Brazil R/S,
- Maxwell render,
- fryRender,
- RenderMan,

- AfterBurn,
- FumeFX,
- DreamScape,
- Substance.

TRIAL

Tak.

CENA

Miesiąc - 1 089,29 PLN.

Rok - 8 714,30 PLN.

3 lata - 26 142,91 PLN.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- duży wybór silników renderujących,
- umożliwia pełną kontrolę nad każdym z wierzchołków oraz poligonów co jest bardzo ważne jeśli modelujemy skomplikowane formy,
- duża ilość dostępnych skryptów, wtyczek, tutoriali co wynika z popularności programu,
- duża kompatybilność z programami pakietu Adobe,
- import, eksport.

MINUSY

- brak możliwości edycji video,
- mało stabilny,
- cena,
- małe zmiany w modelowaniu na przestrzeni wersji,
- jednoplatformowy,
- wolny *viewport*.

OCENA/WNIOSKI

3Ds Max jest na pewno jednym z najbardziej popularnych programów, co przekłada się na szeroki wybór wtyczek, silników renderujących i innych rozszerzeń oraz na ilość dostępnych na rynku specjalistów pracujących w tym środowisku. Co roku wydawane są nowe wersje programu, przez co program jest udoskonalany i rozwijany na bieżąco.

3.4.2. Blender

<https://www.blender.org/>

LICENCJA

Otwarta.

OPIS

Otwarte oprogramowanie do modelowania, rzeźbienia, wizualnych efektów specjalnych 3D, oświetlenia, *rigowania* postaci 3D i renderowania obrazów oraz animacji 2D i 3D w oparciu o węzły (*node*). Niekonwencjonalny interfejs użytkownika. Umożliwia także tworzenie prezentacji interaktywnych (np. gier) na własnym silniku graficznym (istnieje osobny program pozwalający uruchamiać takie prezentacje). Program oferuje cały czas nowe funkcje, biblioteki, efekty etc. dzięki pracy użytkowników i udostępniania przez nich nowych rozwiązań.

INTERFEJS

1. Interfejs użytkownika bez zachodzących na siebie i blokujących się okien.
2. Elastyczny i w pełni konfigurowalny układ okien możliwy do zmiany w zależności od potrzeb.
3. Wielopoziomowe polecenie "cofnij".
4. Wygładzanie czcionek.
5. Możliwość tłumaczeń interfejsu programu.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

1. Szeroki zakres obiektów możliwych do utworzenia i późniejszej edycji:
 - siatki,
 - powierzchnie NURBS,
 - krzywe Béziera,
 - obiekty typu meta,
 - fonty wektorowe (TrueType, PostScript, OpenType).
2. Narzędzie pozwalające na rzeźbienie siatki.
3. Podział siatek metodą Catmull-Clarka.
4. Funkcje boolowskie dla siatek.
5. Edycja siatek oparta na wierzchołkach, krawędziach i wielokątach (poligonach).
6. Wiele funkcji do edycji obiektów pozwalających uzyskać praktycznie dowolny kształt.
7. BMesh - system pozwalający na tworzenie i edycję ścian o bardzo skomplikowanej budowie - np. o kilkunastu krawędziach.

TEKSTUROWANIE

Tzw. *system nodes*, umożliwiający zaawansowane komponowanie materiałów i tekstur oraz uzyskiwanie dodatkowych efektów na renderze.

Możliwość bezpośredniego malowania tekstur na modelach (*projection painting*).

TRACKING

1. Śledzenie kamery i obiektów.
2. Umożliwia importowanie surowego materiału, śledzenie materiału, maskowanie obszarów i obserwowanie ruchów kamery na żywo w scenie 3D, eliminując potrzebę przełączania między programami.
3. Moduł śledzenia kamery i obiektu obejmuje:
 - automatyczne i ręczne śledzenie,
 - rekonstrukcje kamery,
 - podgląd w czasie rzeczywistym śledzonego materiału i sceny 3D,
 - wsparcie dla *Planar* (śledzenia płaskiego) i solverów statywowych.

KOMPOZYCJA

Edycja i tworzenie materiałów na podstawie węzłów.

Wbudowany w pełni rozwinięty kompozytor, oznacza to, że nie ma potrzeby eksportowania do innych programów.

Kompozytor jest wyposażony w:

- biblioteka węzłów do tworzenia efektów kamery, gradacji kolorów, winiet i wielu innych,
- obsługa warstwy renderowania,
- pełne komponowanie z obrazami i plikami wideo,
- możliwość renderowania do wielowarstwowych plików OpenEXR,
- wielowątkowość.

RENDEROWANIE

1. Wbudowany *Raytracing*.
2. Obsługa raytracera YafRay.
3. Wygładzanie, rozmycie ruchu, możliwość dodawania różnych efektów przy pomocy sekwencera wideo.
4. Mapy środowiskowe, efekty "halo", flary soczewkowe, mgła.
5. Różne shadery.
6. Tzw. *system nodes* umożliwiający zaawansowane komponowanie materiałów i tekstur oraz uzyskiwanie dodatkowych efektów na renderze.
7. Wielofazowy rendering z obsługą różnej liczby rdzeni procesora.
8. Renderowanie krawędzi dla uzyskania efektu ręcznego rysowania.
9. Tekstury proceduralne.
10. *Ambient occlusion* (okluzja otoczenia).
11. *Radiosity* - metoda energetyczna – metoda wykorzystywana do wyznaczenia globalnego rozkładu oświetlenia scen 3D.
12. Skrypty Pythona pozwalają na wykorzystanie innych rendererów niż wbudowany Blender Internal, takich jak: Indigo, YafaRay, Luxrender, Sunflow, Renderman, V-ray.
13. Efekty wolumetryczne.
14. *Motion Tracking* pozwalający na łączenie filmów wykonanych np. za pomocą kamery z

animacjami.

15. Ustawienia kamery (np. kąt obiektywu, zasięg, ostrość itp.) oraz możliwość wybrania ustawień charakterystycznych dla jednego z popularnych modeli kamer.

16. Wsparcie CUDA i OpenMP.

17. Wbudowany renderer Cycles.

ANIMACJA

1. Animacja oparta na szkielecie z wykorzystaniem prostej i odwrotnej kinematyki.

2. Automatyczny skinning, interaktywne rysowanie wag bezpośrednio na obiekcie, ręczna edycja sposobu oddziaływania szkieletu na każdy wierzchołek oraz system *envelopes*.

3. Mikser animacji nieliniowej z automatycznym cyklem chodu wzdłuż krzywej.

4. System ograniczników animacji.

5. Możliwość animacji poszczególnych wierzchołków.

6. Edycja za pomocą kratownicy, pozwala łatwo animować nawet bardzo skomplikowane pod względem budowy obiekty.

7. System krzywych animacji, tzw. "IPO".

8. Obsługa tzw. "*driven-keys*", gdzie zmiana wartości jednego parametru (np. szerokości) powoduje automatyczną zmianę (proporcjonalną bądź nie) wartości innego (np. wysokości).

9. Możliwość kontrolowania wartości danych parametrów przy pomocy wyrażeń matematycznych (zapisanych w języku Python).

10. Możliwość wykorzystania plików dźwiękowych i ich edycji w celu odpowiedniej synchronizacji.

11. Skrypty Python dodające inne możliwości w dziedzinie animacji.

12. Synchronizacja z przechwytywaniem ruchu.

VFX/CGI

1. Dynamika bryły sztywnej.

2. Rozbudowany system cząstek (można go wykorzystać do tworzenia np. dymu, ognia, stada ptaków, trawy, włosów itd.).

3. System *soft-body* (symulacja ciał miękkich, np. ruchu mięśni).

4. Zaawansowany silnik fizyki umożliwiający tworzenie realistycznych symulacji.

5. Symulacja tkanin, włosów oraz płynów.

ANIMACJA POSTACI

1. Przekształcenia modelu w postać ruchomą za pomocą łatwych i szybkich narzędzi.

2. Zestaw narzędzi do olinowania, w tym:

- koperta, szkielet i automatyczne skórowanie,
- łatwe malowanie wagowe,
- funkcja lustra,
- warstwy kości i kolorowe grupy do organizacji,
- B-splajnowe kości interpolowane.

3. Modele można *rigg'ować*, nałożyć kości i deformować (także wykorzystując efekty wolumetryczne).

OŚWIETLENIE

1. Globalne oświetlenie.
2. Światła punktowe, słoneczne, punktowe i obszarowe.
3. Światła z siatki (*Mesh*).
4. Światło otoczenia.
5. Model Sky.
6. Portale (*Light Portal*).

DYNAMIKA

Pełna kontrola dynamiki i fizyki.

Cząsteczki np. włosów mogą mieć właściwości dynamiczne (przy użyciu fizyki).

SYMULACJE

1. Dym i ogień - kłębiący się dym z płomieniami i interakcja między scenami.
2. Płyny - realistyczna woda i symulacja płynów.
3. Włosy - falowanie włosów, wchodzenie w interakcje z innymi obiektami.
4. Ubrania - realistyczne symulacje ubrań.
5. *Rigid Bodies* - pozwala na zniszczenie każdego obiektu i kolizje z nim.
6. Cząsteczki - do tworzenia m.in. deszczu, iskier i odłamków.

SKRYPT

1. Obsługa skryptów Pythona, za pomocą których można dodać nowe narzędzia edycji.
2. Skrypty - generatory drzew, terenu, bluszczu i chmur.
3. Fracture objects - łamanie, pękanie, rozpadanie się obiektów.
4. Zestaw narzędzi do drukowania 3D.
5. System do *rigg'ingu* - *Rigify meta*.
6. Obsługa formatu importu i eksportu dla AfterEffects, DirectX, Unreal Game Engine.

EDYCJA VIDEO

Wbudowany edytor wideo.

Edytor wideo pozwala wykonywać podstawowe czynności, takie jak:

- przycinanie materiału wideo,
- łączenie materiału wideo,
- maskowanie wideo,
- podgląd na żywo,
- wykres fali Luma,
- wektory barwy,
- histogram,
- miksowanie,
- synchronizacja,
- wektoroskop chroma,

- 32 sloty na dodawanie wideo, zdjęć, audio, scen, masek i efektów,
- kontrola prędkości,
- warstwy dopasowania,
- przejścia,
- klatki kluczowe,
- filtry.

INTERAKCJA/VR

1. Cykle interaktywności.
2. Aktualizacje w czasie rzeczywistym.
3. Szybkie obiekty, moduł cieniujący, zmiany światła.
4. Render w czasie rzeczywistym progresywny i strukturalny.

REAL TIME

Kontrola w czasie rzeczywistym podczas symulacji i renderowania fizyki.

STEREOSKOPIA

1. Sferyczne stereo renderowanie dla VR.
2. *Multi-View* - kompletny zestaw narzędzi do pracy z renderowaniem stereoskopowym. Działa zarówno z silnikami renderującymi Blender Internal, jak i Cycles, a także obsługuje wiele różnych typów wizualizacji stereo 3D.
3. Wbudowany moduł "Stereo 3D".

PIPELINE

1. Import i eksport dla plików w formatach:

- Obrazki:

JPEG, JPEG2000, PNG, TARGA, OpenEXR, DPX, Cineon, Radiance HDR, SGI Iris, TIFF.

- Video:

AVI, MPEG and Quicktime (on OSX).

- Pliki 3D:

Alembic, 3D Studio (3DS), COLLADA (DAE), Filmbox (FBX), Autodesk (DXF), Wavefront (OBJ), DirectX (x), Lightwave (LWO), Motion Capture (BVH), SVG, Stanford PLY, STL, VRML, VRML97, X3D.

2. Zapisywanie wszystkich danych sceny do jednego pliku .blend. Format .blend obsługuje:

- kompresję,

- cyfrowe podpisy,

- kodowanie,

- kompatybilność między różnymi wersjami programu,

- może być użyty jako biblioteka [np. materiałów] dla innych plików .blend.

3. Obsługa różnorodnych formatów graficznych.

4. Oryginalny import/eksport formatów DXF, Inventor, VRML oraz kilkudziesięciu innych formatów plików.

5. Skrypty Pythona pozwalające na obsługę dodatkowych formatów.

6. Możliwość utworzenia plików binarnych zawierających interaktywną zawartość 3D i umieszczenia na stronie internetowej.

PROGRAMOWANIE

1. C.
2. C++.
3. Python.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. Graficzny edytor pozwalający zdefiniować "zachowanie" obiektów bez konieczności programowania - tzw. *Logic bricks*.
2. Detekcja kolizji i dynamika.
3. API dla skryptów Pythona pozwalające na pełną kontrolę nad tworzoną grą.
4. Pełna obsługa OpenGL.
5. Uruchamianie gier bez konieczności kompilacji.
6. System audio wykorzystujący bibliotekę SDL.
7. Dwa silniki fizyki: Sumo (obecnie przestarzały) i Bullet.

GAME ENGINE

1. Fizyka:
 - *soft body*,
 - *rigid body*,
 - obiekty wykrywające kolizję,
 - obiekty statyczne.
2. GLSL (dynamiczne oświetlenie).
3. Obsługa Pythona.
4. Animacja.

SYSTEM OPERACYJNY

1. GNU/Linux.
2. MacOS.
3. Microsoft Windows.
4. Solaris.
5. FreeBSD.
6. IRIX.
7. SkyOS.
8. MorphOS.
9. AmigaOS 4.1.
10. BeOS/Zeta.

WTYCZKI

<https://conceptartempire.com/blender-addons-plugins/>

TRIAL

Tak.

CENA

0 PLN.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- darmowy,
- minimalne rozmiary,
- uniwersalność,
- duża ilość plug-inów,
- wieloplatformowość,
- żmudne zadania można łatwo zautomatyzować, korzystając ze skryptów w Pythonie.

MINUSY

- lekkie migotanie widoku 3D w Ubuntu w środowisku Unity,
- występujący czasem w dużych ilościach szum w renderowaniu przy użyciu *Cycles Renderer*,
- brak profesjonalnego wsparcia technicznego.

OCENA/WNIOSKI

Program przeznaczony jest do wszelkiego rodzaju projektów 3D, jedyne ograniczenia to wyobraźnia twórcy i moc obliczeniowa komputera. Jest z pewnością najlepszym dostępnym na rynku, bezpłatnym rozwiązaniem do tworzenia 3D. Blender w dziedzinie wizualizowania i renderowania projektów w niczym nie ustępuje swoim płatnym odpowiednikom. Dla nowych użytkowników na pewno pomocny jest w pełni konfigurowalny interfejs użytkownika, który można ograniczyć tylko do potrzebnych funkcji lub też ułożyć tak, aby przypominał interfejs znany z innego oprogramowania. Jednak menu z początku (ustawienia fabryczne) jest mało czytelne i wymaga sporo czasu aby je dostosować w pełni. Mimo wielu dostępnych tutoriali, czy innych materiałów pomocnych przy rozpoczęciu prac z Blenderem szukanie odpowiedzi/pomocy zajmowało nam więcej czasu niż w programach, które oferują profesjonalne wsparcie użytkownika.

3.4.3. Autodesk Maya / Autodesk Maya LT

<https://www.autodesk.com/products/maya/overview>

<https://www.autodesk.com/products/maya-lt/overview>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Pakiet narzędzi przeznaczony do modelowania, symulacji, animacji video, oświetlania i renderowania grafiki 3D, wykorzystywany do tworzenia efektów specjalnych w filmach, trójwymiarowych modeli i obiektów w grach komputerowych, a także animacji flash.

Maya LT to tańsza i uboższa wersja programu Autodesk Maya, służy również do modelowania 3D, przygotowana specjalnie dla branży growej i niezależnych twórców gier.

INTERFEJS

Interfejs edytora UV obejmuje zestaw narzędzi UV z wieloma narzędziami i funkcjami. Użytkownik może go sam konfigurować. Interfejs użytkownika jest zbudowany za pomocą skryptów wykonujących (wywołujących) polecenia Maya.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

1. Modelowanie (siatki, powierzchnie sklejjane, NURBS):
 - modelowanie poligonów,
 - modelowanie NURBS,
 - mapowanie UV,
 - rzeźbienie.

Przy modelowaniu można skorzystać z możliwości tworzenia szkieletów i przywiązywania ich do konkretnych punktów siatki modelu. Dla postaci humanoidalnych można skorzystać z automatycznego systemu *riggowania* HumanIK.

TEKSTUROWANIE

Tekstury 2D i 3D.

Tworzenie szczegółów powierzchni z teksturami połączonymi z materiałem obiektów jako mapy tekstur. Materiały definiują podstawową substancję obiektu, a tekstury dodają szczegółów.

Narzędzia do szybkiego przygotowywania tekstur dla modeli, z możliwością przenoszenia ich między modelami o wysokiej i niskiej rozdzielczości.

TRACKING

Pełne śledzenie kamery i obiektów.

KOMPOZYCJA

Narzędzia do compositingu z obsługą HDR.

RENDEROWANIE

1. Zintegrowany moduł renderujący Arnold.
2. Renderowanie sieciowe z Backburner.
3. Renderowanie hardware i software oraz wektorowe.
4. Narzędzia Hypershade i Visor.
5. ShaderFX.
6. Zarządzanie kolorami.
7. Obsługa Microsoft DirectX 11.
8. Efekty cieniowania w czasie rzeczywistym DX11.
9. Obsługa HLSL i CgFX.

ANIMACJA

1. Narzędzia potrzebne do ożywienia postaci i przedmiotów w scenach, dające swobodę animowania dowolnego atrybutu obiektu i kontrolę, aby z powodzeniem przekształcać stawy i kości, uchwyty IK i modele.
2. Animacja klatek kluczowych umożliwia przekształcanie obiektów lub szkieletów poprzez ustawienie klatek kluczowych.
3. Animacja keyframe pozwala łączyć atrybuty jednego obiektu z atrybutami innego obiektu.
4. Animacja nieliniowa umożliwia dzielenie, duplikowanie i mieszanie klipów animacji w celu uzyskania pożądaných efektów ruchu.
5. Animacja ścieżki pozwala ustawić krzywą jako ścieżkę animacji dla obiektu.
6. Animacja przechwytywania ruchu umożliwia wykorzystanie importowanych danych przechwytywania ruchu w celu zastosowania realistycznego ruchu do postaci w scenie.
7. Animacja warstwowa pozwala tworzyć i mieszać animacje na osobnych warstwach.
8. Dynamiczna animacja pozwala tworzyć realistyczne ruchy przy użyciu reguł fizyki w celu symulacji sił naturalnych.
9. Ekspresja - wyrażenia to instrukcje, które można wpisać, aby animować atrybuty.
10. Nieliniowe narzędzia do animacji pozwalają na łatwe wprowadzanie deformacji, takich jak skręcanie, wyginanie, falowanie, zginanie, zwężanie, zginiatanie czy rozciąganie.

VFX/CGI

Tak.

ANIMACJA POSTACI

1. Ustawianie postaci i obiektów do animacji.
2. Możliwość skonfigurowania Maya® Dynamics™ do animacji - aby ograniczyć obiekty dynamiczne, takie jak emitery cząstek, pola i płyny, do obiektów lub postaci w scenie.
3. Używanie szkieletów.

4. "Skórowanie" postaci.
5. HumanIK - automatyczny system *riggowania*.
6. Efekty deformacji.
7. Dokumentacja animacji postaci.

OŚWIETLENIE

1. Światła otoczenia.
2. Kierunkowe światło.
3. Światło punktowe.
4. Point i spot - światła punktowe, kierunkowe.
5. Światło globalne.
6. Światło zbiorowe, wolumetryczne.
7. Efekty świetlne.
8. Efekty optyczne.
9. Atrybuty cienia.

DYNAMIKA

Dynamiczna animacja pozwala tworzyć realistyczny ruch, który jest trudny do osiągnięcia przy tradycyjnej animacji klatek kluczowych.

Silnik fizyki Bullet umożliwia tworzenie wielkoskalowych, wysoce realistycznych symulacji dynamicznych i kinematycznych. Możliwość używania Bullet'a do tworzenia treści do renderowanych animacji do filmów i wizualizacji, a także do konfiguracji silnika gry i symulacji w czasie rzeczywistym. Wtyczka Bullet zapewnia płynne mapowanie obiektów Bullet na obiekty. Sterowanie obiektami Bullet jest widoczne w obiektach Maya, a interakcja jest zgodna z typowym paradygmatem dynamiki.

Bullet Physics to biblioteka do wykrywania zdarzeń typu open source, biblioteki brył sztywnych i miękkich. Biblioteka zapewnia zbiór obiektów odpowiadających różnym aspektom symulacji dynamicznych. Na przykład *solver* Bullet, ciała sztywne, ciała miękkie i wiązania są unikatowymi obiektami Bullet.

Niedostępna w Maya LT.

SYMULACJE

1. Ciecze.
2. Gazy.
3. Tkaniny.
4. Włosy i sierść.
5. Dynamika (kolizje obiektów, odkształcenia pod wpływem siły).
6. Głęboka, adaptacyjna symulacja płynów.

SKRYPTY

Maya obsługuje dwa języki skryptowe:

1. MEL (*Maya Embedded Language*) to zastrzeżony język skryptowy wzorowany na skrypcie Uniksa, dzięki temu można dodać rozszerzoną funkcjonalność programu.

Otwarta architektura programu powoduje, że istnieje szereg produktów oferowanych przez niezależnych producentów, które dodają nowe możliwości do pakietu.

2. Python to dodatek do Mayi, który zapewnia taki sam dostęp do poleceń Mayi jak MEL. Python jest powszechnie używanym nowoczesnym językiem programowania.

3. Interfejs użytkownika zbudowany za pomocą skryptów wykonujących (wywołujących) polecenia.

EDYCJA VIDEO

Posiada zaawansowany edytor czasowy, posiadający wiele funkcjonalności, które pozwalają użytkownikowi skupić się na tworzeniu animacji, zamiast poświęcać swój czas na naprawę wytworzonych podczas animacji błędów.

INTERAKCJA/VR

Za pomocą wtyczki, działa na Oculus Rift i HTC Vive z natywnym 90 FPS Stereo.

REAL TIME

Wysokiej jakości podgląd w czasie rzeczywistym.

Render w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Stereoskopowa kamera 3D, animacja stereoskopowa 3D.

PIPELINE

Zasoby można eksportować od razu do środowisk Unity i Unreal, Mudboxa, a także Stingray firmy Autodesk.

Obsługa formatów Adobe, GIF, JPEG, DDS, Kodak Cineon, OpenEXR, TIFF, Targa, Sony PSX, HDR i innych.

PROGRAMOWANIE

1. C++.
2. MEL
3. Python.
4. C#.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Może być używana w silnikach gier, takich jak Unity Engine i Unreal Engine.

SYSTEM OPERACYJNY

1. GNU/Linux.
2. MacOS.
3. Microsoft Windows.

WTYCZKI

Szeroka gama wtyczek, m.in.: V-Ray, FumeFX.

<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-DF9366D9-E24B-4A08-88F1-8EE1B78A52F9-htm.html>

TRIAL

Tak.

CENA

Maya - rok - \$1,505.00.

Maya LT - rok - \$250.00.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- przewaga nad 3D Studio Max, za sprawą doskonałych możliwości modelowania powierzchni za pomocą krzywych, (ang. nurbs), znakomitego narzędzia do modelowania z wykorzystaniem siatki (*polymodelingu*) do tworzenia struktur architektonicznych,
- umożliwia rysowanie „od ręki” i używanie efektów specjalnych do malowania w 3D (zawartych w tzw. *Paint Effects*).

MINUSY

- mało stabilny,
- problemy z przenoszeniem atrybutów tekstur,
- ograniczone możliwości w Maya LT.

OCENA/WNIOSKI

Program Maya pod wieloma względami przypomina 3Ds Max, oba programy mają pakiet wspólnych narzędzi takich jak narzędzie do cięcia poligonów czy do modelowania. Podczas pracy z programem doceniliśmy profiler wydajności (*Performance Profiler*), który pozwala wizualizować i poprawiać wszystkie „wąskie gardła” przy obliczaniu sceny oraz użytych w niej poligonów, co przyśpiesza pracę. W trakcie generowania przykładowych animacji, korzystaliśmy z nowego, adaptatywnego solwera Aero w Bifrost, dzięki któremu stworzyliśmy w szybszy i prostszy sposób, niż w innych programach, efekty takie jak deszcz (bryza) i dym. Doceniliśmy także narzędzie symulacji sterowanych *Guided Simulation*, które pozwala wpływać na zachowanie cieczy podczas symulacji. Aby

pracować szybciej, używaliśmy niższej rozdzielczości symulacji w całej objętości cieczy do generowania wysokiej rozdzielczości tylko w jej obszarach - np. na powierzchni; dzięki czemu, otrzymywaliśmy lepszą jakość i ilość detali.

W trakcie pracy badawczej sporo czasu poświęciliśmy na pracę na dwóch programach tego samego producenta - Autodesk - czyli właśnie programy 3Ds Max i Maya, starając się zrozumieć różnicę między nimi. Doszliśmy do wniosku, że 3Ds jest programem skierowanym bardziej dla grafików i animatorów, lub też do tworzenia wizualizacji a Maya jest lepszym rozwiązaniem do tworzenia efektów specjalnych dla branży filmowej lub telewizyjnej. 3Ds Max wygrywa w tym zestawieniu całą paletą narzędzi do modelowania 3D, do podkreśla też fakt, że przy pomocy Maxa stworzone zostały takie gry jak Grand Theft Auto 4. Z drugiej strony Max ustępuje programowi Maya przy *riggowaniu* postaci, oferując lepsze narzędzia do budowania szkieletów. Maya również ma lepszą integrację z *motion capture*.

3.4.4. Modo

<https://www.foxit.com/products/modo>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Profesjonalny program do animowania, modelowania 3D, teksturowania i renderowania.

INTERFEJS

Prosty w obsłudze, w pełni konfigurowalny, dzięki czemu można go dostosować do potrzeb danego środowiska i użytkownika.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Unikalna kombinacja narzędzi do bezpośredniego modelowania, pracujących razem z elastycznym systemem modelowania proceduralnego.

Narzędzia logiczne *Mesh Fusion Boolean*, zintegrowane funkcje rzeźbienia i retopologii. Zintegrowane narzędzia do rzeźbienia oparte na pędzlach, aby intuicyjnie wyrównywać objętości i szybko dodawać wiele poziomów drobnych szczegółów.

TEKSTUROWANIE

Dostęp do bazy materiałów oraz tekstur.

Wypalanie tekstur dla Unity i Unreal.

TRACKING

Śledzenia kamery 3D.

KOMPOZYCJA

W połączeniu z Adobe Photoshop.

Każda warstwa jest dodawana do poprzedniej warstwy w kompozycji i może być edytowana.

RENDEROWANIE

Renderowanie progresywne.

V-Ray Modo płynnie integruje sprawdzone w produkcji możliwości realistycznego renderowania z natywnym tokiem pracy Modo.

ANIMACJA

1. Animacja dowolnych właściwości przedmiotu (geometria, kamera, światła).
2. Warstwy odkształcalne.
3. Animacja docelowej przemiany (*morfing*).

4. Olinowanie z odwrotną kinematyką całego ciała.
5. Ekspresja "dynamic parenting".

VFX/CGI

Oparte na regułach, kierowalne cząstki współpracują z całkowicie zintegrowanymi sztywnymi i miękkimi ciałami oraz rozbiciem proceduralnym do tworzenia symulacji dynamicznych.

Matte painting w wirtualnej kamerze.

ANIMACJA POSTACI

Nieniszczący (bez zniekształceń), nieliniowy zestaw narzędzi oraz w pełni zintegrowany modułowy workflow. Elastyczny system *riggowania* Modo oparty na węzłach pozwala łatwo tworzyć, edytować, zarządzać i ponownie wykorzystywać złożone zestawy znaków.

OŚWIETLENIE

Cieniowanie i oświetlenie.

Typy dostępnych świateł:

1. *Area Light*.
2. *Cylinder Light*.
3. *Directional Light* (kierunkowe).
4. *Dome Light*.
5. *Photometric Light* (światło fotometryczne).
6. *Point Light*.
7. *Portal*.
8. *Spot Light* (punktowe).

DYNAMIKA

Dynamika zapewnia sposób automatycznej animacji i pozycjonowania elementów w scenie; umożliwia przypisywanie przedmiotów z fizycznymi atrybutami, takimi jak waga, odbicie i tarcie. W symulacji, przypisane atrybuty są oceniane w całej scenie, w tym dalszy wpływ sił na elementy i ich oddziaływanie z innymi elementami dynamicznymi (kolizjami).

Dynamiczna symulacja ruchu.

System dynamiki korzysta z globalnego silnika.

SYMULACJE

Oparte na regułach, kierowalne cząstki Modo współpracują z całkowicie zintegrowanymi sztywnymi i miękkimi ciałami oraz rozbiciem proceduralnym, aby umożliwić tworzenie symulacji dynamicznych w krótkim czasie.

Pozwala tworzyć i manipulować realistycznymi włosami, futrem, trawą, piórami i innymi efektami opartymi na włóknach jako rzeczywistą geometrię, którą można rzeźbić, przyciemnić i renderować bezpośrednio na scenie.

SKRYPTY

1. Python +.
2. C++.
3. Perl.
4. Lua.

EDYCJA VIDEO

Podstawowa.

INTERAKCJA/VR

Implementacja VR Viewport, zestaw narzędzi VR, który umożliwia wybór komponentów i zestaw podstawowych narzędzi do modelowania. W trybie wyboru można przeskakiwać między zaznaczeniem wierzchołków, krawędzi i wielokątów, podczas gdy podzbiór narzędzia do modelowania zapewnia funkcje, takie jak narzędzie pióra i narzędzie krzywej. Można przesuwać, fazować, odwracać, wyciągać, zagęszczać.

Piéro topologiczne jako dodatek do VR Viewport, daje swobodę manipulowania powierzchniami, przesuwania komponentów i przesuwania krawędzi.

Sferyczna kamera 360 stopni.

Tworzenie zasobów WYSIWYG dla gier i tworzenia VR.

REAL TIME

Modo Bridge dla Unity daje podobną funkcjonalność jak w Unreal Bridge poprzez wspólny interfejs w celu usprawnienia interakcji z tworzeniem scen w czasie rzeczywistym.

V-Ray to kompletny zestaw narzędzi do interaktywnego oświetlenia, cieniowania i renderowania, który daje pełną kontrolę nad całym procesem twórczym, od opracowania wyglądu w czasie rzeczywistym do wyglądu ostatecznej klatki.

STEREOSKOPIA

Stereoskopowa kamera.

Wtyczka V-Ray Stereoscopic Extra.

Rendery w stereoskopii.

PIPELINE

Wsparcie dla takich formatów jak:

- OpenSubdiv,
- OpenColorIO,
- OpenEXR,
- OpenVDB,
- Alembic.

PROGRAMOWANIE

Dostosowanie do *pipeline'u* poprzez Python, C++ APIs.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Unity i Unreal.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Windows.
2. Linux.
3. MacOS.

WTYCZKI

M.in.: V-Ray, SOLIDWORKS, Substance.

<https://www.foundry.com/products/modo/add-ons>

TRIAL

Tak.

CENA

Licencja stała z rocznym planem wsparcia - 1619 euro.

Licencja roczna płatna miesięcznie lub rocznie - 539 euro rocznie.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- wysoka wydajność,
- obsługa UDIM,
- przetwarza dane znacznie szybciej.

MINUSY

- problem z eksportem *meshu*,
- problem z zaznaczeniem *verteksów*,
- brak widoku ortograficznego,
- cena.

OCENA/WNIOSKI

Podczas pracy z Modo doceniliśmy fakt, że większość dostępnych narzędzi jest łatwa w obsłudze. Problem sprawiały narzędzia do zaawansowanego modelowania, które nie są intuicyjne ani podobne do rozwiązań znanych z innych programów. Aby praca w Modo była wydajna trzeba dokupić licencję silnika renderującego V-Ray, który realnie wpływa na efekty pracy z tym programie. Modo na tle innych programów, choćby Maya, nie posiada aż tak zaawansowanych funkcji i narzędzi; brakowało nam narzędzi do modelowania, symulacji kinematyki i dynamiki; przez co program wydaje się bardziej przystosowany do branży gier niż naszych potrzeb. Największą zaletą programu była praca z UV, mapy można generować i edytować za pomocą kilku kliknięć, można tworzyć *morphing* ze zmianami topologii bez obaw o ich zepsucie.

3.4.5. ZBrush

<http://pixologic.com/zbrush/features/overview/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Program do modelowania, oświetlania, rzeźbienia, malowania, tworzenia realistycznych postaci 3D, świata oraz scen, a także zjawisk atmosferycznych i renderowania. Przygotowany model 3D można przeznaczyć do drukowania lub wykorzystania w innej aplikacji. Za sprawą zaawansowanych funkcji i intuicyjnemu sposobowi pracy program ZBrush pozwala pracować zarówno w trybie nieliniowym, jak i swobodnym (mode-free). To ułatwia wzajemne oddziaływanie modeli 3D, obrazów 2D i 2.5D Pixols w unikatowy sposób.

INTERFEJS

Interfejs ZBrushCore, różniący się od typowych rozwiązań, np. przykładowo: ta sama przestrzeń robocza służy do edycji 2.5D oraz 3D.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

1. *Multi Mesh.*
2. Pędzle 3D.
3. *Sub Tools* - dodatkowe narzędzia.
4. Ekstraktowanie siatki.
5. Warstwy.
6. *Surface Noise.*
7. *Transpose.*
8. Deformacje.
9. Geometria HD.
10. *Projection Master.*
11. *FiberMesh.*
12. *MicroMesh.*
13. *NoiseMaker.*
14. Topologia / geometria.

TEKSTUROWANIE

1. *Polypaint.*
2. *Spotlight.*
3. *UV Master.*

TRACKING

Śledzenie kamery.

KOMPOZYCJA

Nie.

RENDEROWANIE

Ulepszenia w BPR (*Best Preview Render*).

Renderowanie nierealistyczne (NPR).

ANIMACJA

Tylko postaci po zrobieniu reprotolegi i *zariggowaniu* (olinowaniu) modelu.

VFX/CGI

Do kreacji postaci i światów.

ANIMACJA POSTACI

Tworzenie postaci 3D umożliwiając przykładowe manekiny, które można łatwo edytować.

Narzędzia do pozy, rytm, gest, waga i wyważenie proporcji.

OŚWIETLENIE

Sceny mają *depth* - głębokość i właściwości materiału, do oświetlenia sceny i zawartych w nim obiektów wymagane są wirtualne światła.

Paleta światel zapewnia elementy sterujące do ustawiania i regulacji tych światel.

ZBrush oblicza zacienienie na podstawie liczby, typu, siły i położenia światel na scenie.

Światła są dodawane lub odejmowane od sceny przez ich włączenie lub wyłączenie. Po wybraniu światła można regulować jego właściwości, takie jak kierunek i natężenie.

DYNAMIKA

System *Dynamic Subdivision* zawiera alternatywne funkcje do trybu *Classic Subdivision Surface* w ZBrush, umożliwiając zastosowanie dynamicznego wygładzania modeli bez faktycznego dzielenia wielokątów. Ta funkcja jest przeznaczona głównie do współpracy z pędzlem ZModeler i modelami o niskiej wielokątce.

SYMULACJE

Fluid Simulation i Dynamesh.

SKRYPTY

ZScript.

EDYCJA VIDEO

ZBrush oferuje kilka opcji prezentacji pracy w formie wideo, w tym filmy poklatkowe.

Filmy ZBrush można eksportować w formacie MPG (*.mpg) i nagrywać własne wideo.

INTERAKCJA/VR

Oculus Medium.

REAL TIME

Modyfikowanie i podgląd obiektów w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Stereoskopowe tryby wyświetlania.

PIPELINE

Integracja z Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, Cinema 4D, LightWave 3D, Poser Pro, DAZ Studio, EIAS, Modo i Blender.

1. Formaty 3D:

A/ Formaty importowane:

- Wavefront OBJ (*.obj),
- Maya (*.ma),
- Mesh Ascii (*.mesh),
- Mesh binary (*.meshb),
- GoZ (ZBrush format dla programów GoZ-enabled),
- STL (*.stl) z wtyczką 3D Print Hub,
- FBX z wtyczką FBX Export Import.

B/ Formaty eksportowane:

- Wavefront OBJ (*.obj),
- Maya (*.ma),
- Web3D Standard (*.x3d),
- GoZ (ZBrush format dla programów GoZ-enabled),
- STL (*.stl) z wtyczką 3D Print Hub,
- VRML (*.wrl) z wtyczką 3D Print Hub,
- FBX z wtyczką FBX Export Import.

2. Formaty plików graficznych (obrazów):

A/ Formaty importowane:

- BMP (*.bmp),
- Photoshop PSD (*.psd),
- JPEG (*.jpg),
- TIF (*.tif),
- PNG (*.png) [tylko dla Windows],
- GIF (*.gif),

- HDR (*.hdr),
- Open EXR (*.exr).

B/ Formaty eksportowane:

- BMP (*.bmp),
- Photoshop PSD (*.psd),
- JPEG (*.jpg),
- PNG (*.png),
- TIF (*.tif),
- Open EXR (*.exr) - tylko dla 32 bit'ów.

PROGRAMOWANIE

Tak, poprzez wbudowany język skryptowy ZScript.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. CPU.

GAME ENGINE

Eksport do Unreal i Unity.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.

WTYCZKI

<http://docs.pixologic.com/user-guide/zbrush-plugins/>

TRIAL

Tak.

CENA

1. Subskrypcja miesięczna na 1 stanowisko/1 użytkownika - 39,95 USD / miesiąc.
2. Subskrypcja 6 miesięczna na 1 stanowisko/1 użytkownika - 179,95 USD.
3. Licencja wieczysta dla jednego użytkownika - 895 USD.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- rozbudowana pomoc,

- intuicyjny interfejs.

MINUSY

- podczas importowania obrazów z kanałem Alpha powinny one mieć 16-bitową skalę szarości,
- *flatten* nie ma blokowania *plane'a*,
- mało intuicyjny interfejs użytkownika,
- mało stabilny.

OCENA/WNIOSKI

Podczas pracy z programem ZBrush największą przeszkodą była jego mała stabilność. Podczas prac, program często się wyłączał bez zapisywania kopii zapasowych. Sporo trudności sprawiła nam opcja DynaMesh, podczas zmian jej parametrów, zmieniały się także inne parametry bryły. Program na pewno wyróżnia się podczas pracy z pędzlami, które działają niezwykle sprawnie.

3.4.6. Artlantis Studio

<https://artlantis.com/en/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Narzędzie do tworzenia fotorealistycznych wizualizacji 3D, budynków, wystroju wnętrz, ogrodów i tym podobnych, zarówno statycznych, jak i w postaci animacji i interaktywnych panoram do oglądania na goglach VR. Program głównie używany do wizualizacji architektonicznej, ale jest kompatybilny ze wszystkimi dostępnymi na rynku oprogramowaniem do modelowania 3D.

INTERFEJS

Przejrzysty i ergonomiczny interfejs jest łatwy do nauczenia się i obsługi. Przez cały czas niezbędne narzędzia są w pobliżu okna podglądu w czasie rzeczywistym, co pozwala zobaczyć wyniki każdej regulacji.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Bardzo ograniczone, można manipulować obiektami w 3D lub 2D i powiązać ich zachowania ze specyfiką sceny, kontrolując ich hierarchię.

TEKSTUROWANIE

Bogata biblioteka shaderów (materiały wraz z teksturami).

Każdemu materiałowi można ustawić jego atrybuty, takie jak kolor, odcień, krycie, odbicie i dyfrakcja, orientacja i skala wzoru itp. Można precyzyjnie dostroić ustawienia i zmienić wygląd powierzchni, modyfikując współczynnik odbicia, połysk lub nierówności.

TRACKING

Śledzenie kamery.

KOMPOZYCJA

Ograniczone możliwości.

RENDEROWANIE

Silnik renderujący pozwala generować dokładny podgląd modeli 3D w oknie roboczym. Dzięki temu łatwiej przewidzieć wygląd obrazu końcowego i dostosować oświetlenie.

Render sieciowy - optymalizacja czasu obliczeń renderowania: możliwość rozłożenia obliczenia na kilka komputerów w sieci lokalnej (Mac / PC), aby skrócić czas renderowania.

ANIMACJA

Łączy animację obiektów i kamer, aby umożliwić tworzenie skryptów i eksportowanie wirtualnej przestrzeni.

Umożliwia robienie scenografii i projektowanie filmu z jednej lub więcej sekwencji, których edycja odbywa się w prosty i intuicyjny sposób dzięki zintegrowanej osi czasu, umożliwiającej zdefiniowanie śledzenia kamery i / lub trajektorii obiektów i świateł projekt.

VFX/CGI

Nie.

ANIMACJA POSTACI

Nie.

OŚWIETLENIE

1. Zarządzanie obiektami i światłami. Światło naturalne można dostosować do wybranej pory dnia, sztuczne zaś odpowiednio poukładać w przestrzeni i dobrać barwę.
2. Sztuczne światła: łatwe do ustawienia i ustawienia koloru, intensywności lub ilości.
3. Profile IES: można importować niestandardowe profile IES i profile producentów lamp.
4. Heliodony: oświetlenie otoczenia, zależne od ustawienia godziny, daty i miejsca (długość i szerokość geograficzna).
5. Neon shader: symuluje powierzchnie emitujące światło.

DYNAMIKA

Własny system fizyki, który symuluje takie zjawiska jak ambient occlusion.

SYMULACJE

Nie.

SKRYPTY

Nie.

EDYCJA VIDEO

Nie.

INTERAKCJA/VR

Animacja i interaktywne panoramy do oglądania na goglach VR.

Obiekt VR umożliwia manipulowanie sceną w zakresie 360 ° i przejście do niej.

REAL TIME

Podgląd pracy w real time, umożliwiający ciągłą kontrolę każdej zmiany - od momentu otwarcia sceny 3D, nawigacji, zmiany shaderów i obiektów, świateł lub środowiska 3D - wszystko jest widoczne w real time podczas pracy.

STEREOSKOPIA

Nie.

PIPELINE

Modele można importować w wielu formatach, w tym DWF, DWG, DXF, OBJ czy 3ds. Kompatybilny z większością modeli 3D dostępnych na rynku.

Specjalne wtyczki dla ARCHICAD, Rhinoceros, Vectorworks, Autodesk Revit, SketchUp i Arc + pozwalają eksportować do programu.

Wideo można eksportować do wielu formatów, niezależnie od platformy: .jpeg, .dv, .mpeg, .tga, .mov lub .avi.

PROGRAMOWANIE

Nie.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Nie.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. Mac OS.

WTYCZKI

Dla wielu programów powstały wtyczki eksportujące dane dla Artlantis, m.in.: ARCHICAD, Rhinoceros, Vectorworks, Autodesk Revit, SketchUp, Arc +.

<https://atl.artlantis.com/en/blog/?tag=20>

TRIAL

Tak.

CENA

Pełna licencja - 650 euro.

POPULARNOŚĆ

Średnia.

PLUSY

- za dodatkową opłatą Artlantis Render Farm,
- duże biblioteki modeli architektonicznych.

MINUSY

- nie ma mamy możliwości modelowania bezpośrednio w programie,
- jakość renderingu gorsza od V-ray,
- brak skryptów,
- mało ustawień,
- ubogie biblioteki,
- sporadyczne błędy programu.

OCENA/WNIOSKI

Naszym zdaniem program jest przeznaczony do prac bardziej architektonicznych, np. wizualizacji, na co wskazuje choćby bogata biblioteka różnych shaderów, choć oferuje oczywiście inne funkcje. Podczas testowania programu doceniliśmy własny, wbudowany system fizyki, który bardzo dobrze działa, symulując takie zjawiska jak ambient occlusion oraz funkcję *Heliodon*, która służy do generowania nieba i chmur. Renderer pozwala w ograniczonym zakresie regulować parametry *Anty-aliasing* i *Radiosity* oraz parametry ekspozycji, co było znaczną przeszkodą w uzyskaniu efektu na jakim nam zależało.

3.4.7. LightWave 3D

<https://www.lightwave3d.com/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Składa się z dwóch osobnych programów:

1. Modeler używany jest do tworzenia obiektów.
2. Layout służy do ustawiania sceny, animowania i renderowania.

Zapewnia narzędzia potrzebne do tworzenia efektów wizualnych, w tym zaawansowane narzędzia do modelowania, animacji, oświetlania i renderowania.

INTERFEJS

Wszystkie skróty klawiszowe i rozkład przycisków w panelach bocznych interfejsu (*sidebars*) jest w pełni konfigurowalny. Umożliwia to dostosowanie programu do sposobu pracy. Dzięki oddzieleniu modeli od scen można bardzo łatwo aktualizować jednocześnie wiele obiektów w scenie. Pozwala to też zachować przejrzystość sceny oraz większą kontrolę nad nią. Niestety przez to nie można animować edycji obiektu w Layoucie. Jedyne wyjście jest tu używanie morfingu lub deformacji, które jednak nie zastąpią pełnej edycji. Z tego powodu od wersji 9.0 dokonywane jest stopniowe udostępnienie narzędzi modelowania w module *Layout*, co ma upodobnić pracę z programem do pracy w innych pakietach.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

1. Animowane rzeźbienie / malarstwo metamorficzne - "*Metamorphic*".
2. *Metamorphic* to uniwersalna animowana wtyczka do rzeźbienia siatki i manipulowania mapami wierzchołków, która działa w układzie i w pełni wykorzystuje nowe możliwości stosu modyfikatorów.
3. Animowane rzeźby (obiekty) o dowolnym kształcie.
4. Wbudowany system cofania / ponawiania.
5. W pełni wielowątkowe rzeźbienie przy użyciu wszystkich dostępnych rdzeni procesora.
6. Obsługa nacisku pióra dla rozmiaru, siły i twardości pędzla (tylko Windows).
7. Obsługa tekstury pędzla Nodal.
8. Trzy tryby animacji.
9. Nieliniowa interpolacja klatek kluczowych animacji rzeźbienia.
10. Obsługuje konwersję klatek kluczowych animacji rzeźbienia dla "Endomorfów".
11. Predyktywne korekcyjne rzeźbienie kształtu, które działa po odkształceniach dzięki wbudowanemu sterownikowi.
12. Pełna obsługa *Motion Blur*.

TEKSTUROWANIE

Program jest wyposażony w edytor tekstur węzłowych (*node*), który zawiera kolekcję specjalnych shaderów materiałów. Niektóre rodzaje powierzchni, dla których te shadery zostały zoptymalizowane, obejmują:

- ogólne podpowierzchniowe materiały rozpraszające dla materiałów takich jak wosk lub tworzywa sztuczne,
- realistyczna skóra, w tym rozproszenie pod powierzchnią i wiele warstw skóry,
- materiały metaliczne, odblaskowe, wykorzystujące algorytmy oszczędzania energii,
- przezroczyste materiały refrakcyjne, w tym dokładne algorytmy całkowitego wewnętrznego odbicia,
- cieniowanie dielektryczne w celu oddania zachowania promieni świetlnych przechodzących przez materiały o różnych współczynnikach załamania światła.

TRACKING

Poprzez wtyczkę *Voodoo Camera Tracker*.

COMPOSITING

Możliwość ustawienia koloru tła, zmiennego w czasie.

Obsługa obrazów alfa.

Tworzenie obrazów alfa.

Foreground Fader Alpha.

Foreground Key.

RENDEROWANIE

Fizyczny system renderowania.

Całkowicie przepisana architektura cieniowania, oświetlenia i renderowania.

Silnik PBR pozwala tworzyć obrazy z większym realizmem i dokładnością, a jednocześnie pozostaje intuicyjny w obsłudze.

ANIMACJA

Zawiera narzędzia do animacji proceduralnych, węzłów i klatek kluczowych.

Łatwy w użyciu i dostosowywany edytor wykresów klatek kluczowych pozwala umieszczać i edytować klucze, skalę czasu, filtrować, a nawet manipulować animacjami za pomocą wyrażeń.

Ułożenie animacji według klatek kluczowych lub ze skokami klatek.

Nieliniowy mikser ruchu.

Możliwość animowania w pamięci podręcznej geometrii Autodesk lub standardowych plikach MDD, aby uprościć scenę do renderowania lub eksportu do innych pakietów animacji.

Do animacji twarzy zawiera skuteczny system mieszania o nazwie Endomorphs, który obejmuje wszystkie cele przemiany w obrębie obiektu podstawowego. Endomorfy można rzeźbić w ZBrush za pomocą nowych narzędzi wymiany ZBrush GoZ zawartych w programie.

VFX/CGI

Tak. Komplet narzędzi do kreacji efektów specjalnych.

ANIMACJA POSTACI

Opcja *Bone Type* i *Limited Bones*, pozwala animatorowi ustawić limit w układzie liczby kości, które wpływają na dany punkt, aby dopasować limit w docelowym silniku gry, i włącza optymalizację w czasie rzeczywistym, aby ściślej dopasować wydajność silnika do gier (+ *Metamorphic*).

Metamorphic to uniwersalna animowana wtyczka do rzeźbienia siatki i manipulowania mapami wierzchołków, która działa w układzie i w pełni wykorzystuje nowe możliwości stosu modyfikatorów.

Animowane rzeźby o dowolnym kształcie.

Wbudowany system cofania / ponawiania.

W pełni wielowątkowe rzeźbienie przy użyciu wszystkich dostępnych rdzeni procesora.

Obsługa nacisku pióra dla rozmiaru, siły i twardości pędzla (tylko dla Windows).

Obsługa pędzla *Nodal* (tekstury).

Trzy tryby animacji.

Nieliniowa interpolacja klitek kluczowych.

Obsługa konwersji klitek kluczowych animacji rzeźbienia dla *Endomorphs*.

Predyktywne korekcyjne rzeźbienie kształtu, które działa po odkształceniach dzięki wbudowanemu sterownikowi.

Pełna obsługa *Motion Blur*.

OŚWIETLENIE

1. *Area Light* - globalne.
2. *Distant Light*.
3. *Environment Light* - środowiskowe.
4. *Linear Light* - liniowe.
5. *NGon Light*.
6. *Photometric Light* - fotometryczne.
7. *Point Light* - punktowe.
8. *Spherical Light*.
9. *Spot Light*.
10. *Primitive Light*.
11. *Lens Flares* - flary.
12. *Luxigons*.

Light Properties - ustawienia pojedynczych parametrów dla każdego rodzaju światła.

DYNAMIKA

Program zapewnia system fizyki / dynamiki wspierające ruchy ciała twardego i miękkiego, deformacje, ograniczenia, motoryzację, środowiska i cząstki.

Współdziała z modelami obiektów 3D, kośćcami i włosami (*FiberFX*).

Silniki Bullet, jak i starsze (zawierające ClothFX, SoftFX, HardFX, emiter ParticleFX, wiatr, kolizję i grawitację).

SYMULACJE

Hypervoxels - hiperwoksele są sposobem renderowania różnych efektów animacji cząstek.

Różne tryby działania mają zdolność generowania wyglądków, które naśladują:

- *metaball* - dla obiektów takich jak woda lub rtęć, w tym ustawienia powierzchni odbicia lub załamania,
- *Sprites* - które są w stanie odtworzyć takie efekty, jak ogień lub stado ptaków,
- *Volume shading* - do symulacji efektów typu chmur lub mgły.

SKRYPTY

Język LScript.

Zapewnia kompleksowy zestaw wstępnie zbudowanych funkcji, z których można korzystać podczas pisania skryptów.

NewTek dodał obsługę języka Python jako opcję niestandardowego skryptu.

EDYCJA VIDEO

Tak, ograniczona.

Oś czasu pokazuje klatki kluczowe dla aktualnie wybranego elementu lub elementów. Nie można edytować kluczy na samej osi czasu, mają one charakter wyłącznie informacyjny. Pokazują, że wybrany element ma klatki kluczowe w określonym momencie na scenie.

INTERAKCJA/VR

Virtual Reality Camera.

Tworzenie treści w wirtualnej rzeczywistości za pomocą nowej kamery VR: obejmuje tryby cylindryczny i sferyczny ze wsparciem stereoskopowym.

Idealny do tworzenia stereofonicznych 360-stopniowych renderów i animacji dla aplikacji VR, a nawet do tworzenia własnych HDR. Dedykowana wtyczka do łączenia z Oculus Rift.

REAL TIME

Współpraca w czasie rzeczywistym z Unreal Engine.

STEREOSKOPIA

Renderowanie stereoskopowe i zaawansowane stereoskopowe środowiska 3D.

PIPELINE

Formaty importowanych obiektów: OBJ, DXF, 3DS, DAE, FBX, STL, PLY.

Formaty obrazów *Flexible Format*, TIFF LogLuv i *Radiance* zawierające dane o wysokim zakresie dynamicznym, przechowują dane z zmiennoprzecinkową dokładnością zamiast liczb całkowitych.

Obsługiwane formaty obrazów:

PSD, Alias, BMP, Cineon FP, DPX, Flexible Image Format, IFF, JPEG, PCX, PICT, PNG, Radiance, RLA, RPF, SGI, Sun, TIFF, Targa, VBP, YUV.

Obsługiwane formaty wideo:

AVI, QuickTime, QuickTime Stereo, Flexible Image Format, Storyboard, 4X Storyboard, Film Expand.

Obsługiwane formaty 3D:

QuickTime VR, VRML i Shockwave do eksportu.

PROGRAMOWANIE

LScript, który umożliwia dostęp do prawie wszystkich funkcji programu.

Obsługa języka skryptowego Python.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

Połączenie z OTOY daje pierwszy na świecie renderer oparty na GPU i fizycznym renderze.

GAME ENGINE

Funkcja *LightWave™ Bridge* pozwala na przepływ pracy w czasie rzeczywistym między aplikacją 3D a silnikiem gry Unreal Engine.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.
3. Amiga OS.

WTYCZKI

Wtyczka do *LightWave 3D* do użytku z wyświetlaczem wirtualnej rzeczywistości Oculus Rift.

SDK zapewnia zestaw klas C do pisania natywnych wtyczek.

FPrime, Kray, HD Instance.

TRIAL

Tak.

CENA

Pełna wersja komercyjna - \$995 + plus VAT.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- Integracja z ZBrush'em i Unity3d,
- praca z danymi *motion capture*,
- LightWave™ Bridge.

MINUSY

- nie można animować edycji obiektu w layoucie,
- po wybraniu formatu 32-bitowego dla zapisanych obrazów RGB, 8-bitowy obraz Alpha jest zapisywany wraz z 24-bitowymi danymi RGB - jednak zapisując obrazy alfa bezpośrednio, zapisujesz tylko obraz alfa, nawet jeśli format jest 32-bitowy.
- mało rozwijany w kolejnych wersjach.

OCENA/WNIOSKI

W trakcie testowania programu doceniliśmy bardzo przejrzysty interfejs, który na tle innych wydawał się bardzo uporządkowany i mało chaotyczny już przy wstępnych ustawieniach. Program oferuje szereg bardzo profesjonalnych dodatków czy funkcji np. *Genoma* - mechanizmów służących do *riggingu* obiektów - wyposażeniu ich w kości, ustaleniu hierarchii kości i połączeniu ich odpowiednio łańcuchami kinematycznymi przed rozpoczęciem animacji. Dużą zaletą funkcji *Genoma* jest to, że pozwala ona na pracę bezpośrednio w modelerze co umożliwia korzystanie z gotowych *riggów* dla postaci; dzięki czemu możliwe jest szybkie przygotowanie postaci do animacji. Zmiana szkieletu powiązanego z modelem następuje automatycznie co bardzo przyspiesza i ułatwia pracę z animacjami zawierającymi wiele postaci. *Genoma* może być również używana z danymi przechwyconymi z *motion capture*.

3.4.8. Houdini / Houdini Apprentice

<https://www.sidefx.com/>

LICENCJA

Otwarta.

OPIS

Zasadniczą cechą programu, odróżniającą go od innych pakietów, jest jego czysto proceduralna natura. Służy do modelowania, renderowania, animacji i tworzenia efektów specjalnych do filmów.

Darmowa wersja programu (*Apprentice*) służy do modelowania, renderowania, animacji i tworzenia efektów specjalnych dla filmów – Houdini FX. Ta wersja skierowana jest do studentów, hobbystów i artystów chcących tworzyć na własne potrzeby.

INTERFEJS

Interfejs oparty na węzłach. Można go rozszerzyć za pomocą różnych metod:

- niestandardowe renderowanie rzutni (*viewport*),
- dodawanie niestandardowych haków (*hooks*) renderowania do rzutni 3D,
- niestandardowa obsługa zdarzeń rzutni,
- dodawanie niestandardowych haków (*hooks*) zdarzeń do rzutni 3D,
- programowanie natywnego interfejsu użytkownika,
- tworzenie natywnych okien dialogowych poprzez używanie języka skryptowego .ui Houdini,
- przegląd skryptów ze skrypcem .ui, w tym składni (*syntax*) i przykładów.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Wszystkie standardowe rodzaje geometrii włączając w to: poligony, NURBs, krzywe Beziera, krzywe, *patches* (łatki) & Trims, a także tzw. *Metaballs*.

Techniki modelowania proceduralnego można wykorzystać do utrzymania solidnej historii budowy i tworzenia złożonych modeli, takich jak widoki miast, środowiska i inne.

Narzędzia do modelowania ułatwiają tworzenie dobrej topologii powierzchni do użytku w filmie, telewizji, grach i VR, i mogą być używane interaktywnie w rzutni za pomocą szerokiej gamy narzędzi do modelowania powierzchni wielokąta, NURBS i Subdivision.

TEKSTUROWANIE

Paradygmat proceduralny dla tekstur.

TRACKING

Śledzenie ruchu w 3D + śledzenie cząstek.

KOMPOZYCJA

Tak. Narzędzia do tworzenia i manipulacji obrazem.

RENDEROWANIE

Do dyspozycji użytkowników jest silnik renderujący Houdini Mantra, który także w wersji darmowej programu może łączyć się z chmurą obliczeniową Amazon EC2 za pośrednictwem mechanizmu *HQueue*.

Wsparcie dla szeregu programów renderujących: Renderman (PRMan, 3delight, Air, RenderDotC), mental ray, Maxwell, Indigo, Sunflow.

ANIMACJA

Metodą klitek kluczowych oraz oparta na manipulacji próbkami (*samples*), a także wsparcie dla danych motion capture.

VFX/CGI

Proceduralny przepływ pracy jest dedykowany do tworzenia skomplikowanych cząstek i symulacji dynamicznych. Efekty są zazwyczaj zaprojektowane tak, aby reagować na działania mające miejsce w ujęciu, a rozwiązanie proceduralne „automatyzuje” te reakcje, zapewniając studiom bardziej kreatywną kontrolę i szybsze przetwarzanie.

ANIMACJA POSTACI

Kompletne rozwiązania do animacji i riggowanie postaci.

Tworzenia szkieletu postaci na potrzeby animacji.

Narzędzia te obejmują:

- automatyczne *riggi*,
- muskulatura i ciało,
- *Pose Space Deformation* - deformację pozy,
- *VELLUM Cloth* - materiały,
- włosy, futro,
- "*Biharmonic*" - automatyczne wychwytywanie skóry,
- mięśnie oparte na FEM.

Podejście oparte na węzłach pasuje do metodologii typowego *riggowania* TD. Postacie można łatwo "zawinąć" w przyjazny węzeł "*Digital Asset*" - zasób cyfrowy, który będzie animowany za pomocą niewidocznych *riggów* i póż z biblioteki.

OŚWIETLENIE

Środowisko graficzne oparte na węzłach (*node-based*) do tworzenia shaderów, praca nad oświetleniem między innymi przy pomocy IPR (*Instant Preview Renderer*) i wolumetryka.

Elastyczne i wydajne środowisko do zarządzania oświetleniem, budowania shaderów i definiowania wyglądu ujęcia. Oświetlenie środowiskowe i GI działa dobrze z fizycznym renderingiem Mantry.

DYNAMIKA

Symulacja fizyki ciał sztywnych (*Rigid Body Dynamics*), płynów (komputerowa mechanika płynów), dynamika krzywych (*Wire, Curve*) oraz symulacja ubrań (*Cloth Simulation*).

SYMULACJE

Symulacje zjawisk cząsteczkowych i wolumetryka fizyki ciał sztywnych, lekkich materiałów, m.in.: dym, ogień, woda, płyny, cząsteczki, piasek, śnieg, włosy.

SKRYPTY

Houdini to otwarte środowisko i obsługuje wiele skryptów API. Python jest coraz częściej wybieranym językiem skryptowym dla pakietu i ma zastąpić oryginalny język skryptowy podobny do CShell, Hscript. Jednak wszystkie główne języki skryptowe, które obsługują komunikację gniazd (socket), mogą współpracować z Houdini.

Skrypty Tcl/Tk.

EDYCJA VIDEO

Kompletny kompozytor pracujący w 32 bitowej palecie na kanał oraz obsługujący formaty deep raster (głęboki raster).

INTERAKCJA/VR

Wsparcie dla projektów rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej.

W Houdini można zastosować techniki proceduralne, aby szybciej tworzyć więcej treści i wspierać iteracyjny proces projektowania wirtualnych światów.

REAL TIME

Narzędzia VFX w czasie rzeczywistym do gier.

Renderowanie w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Obsługa i wsparcie dla:

1. Stereoskopia 3D.
2. Render 3D stereoskopowy.
3. Kamera Stereo.
4. Kamera Rig.
5. Szablony dla kamery stereo.
6. Houdini Oculus.

PIPELINE

Houdini Core oferuje możliwość eksportowania pracy do zasobów cyfrowych i udostępniania ich współpracownikom za pomocą wtyczek Houdini lub Houdini Engine dla aplikacji takich jak Maya, 3ds Max, C4D, Unity i Unreal.

Możliwość importu modeli z wielu używanych w branży formatów plików, w tym z opracowanego przez Autodesk formatu FBX oraz Sony i Lucasfilm ALEMBIC, co umożliwia łatwą współpracę aplikacji z innymi środowiskami 3D.

PROGRAMOWANIE

Houdini Development Kit, zestaw bibliotek C++ pomocnych przy tworzeniu rozszerzeń programu. Podobnie do innych programów tego typu, Houdini jest środowiskiem otwartym, umożliwiającym używanie kilku popularnych języków skryptowych, takich jak Tcl/Tk. Houdini posiada również swój własny język, podobny do C Shell, czyli Hscript. Obsługuje także język Python (za pomocą nowego API o nazwie HOM), który zastąpić ma Hscript w przyszłych edycjach programu.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. GPU.
2. CPU.
3. 2 procesory graficzne przyspieszające (OpenGL + OpenCL).

GAME ENGINE

Houdini Engine pozwala załadować cyfrowe zasoby do edytora gier. Wszelkie parametry dodane do zasobu są dostępne do edycji, a assety można ustawić w rzutni do dalszej interaktywnej manipulacji. Jeden zasób może być używany wiele razy na poziomie lub na wielu poziomach. Zmiany wprowadzone do podstawowego zasobu, nawet wprowadzone głęboko w strukturze, zaktualizują wszystkie wystąpienia danego zasobu.

SYSTEM OPERACYJNY

1. IRIX.
2. Microsoft Windows.
3. Linux.
4. MacOS.

WTYCZKI

Wtyczki i wtyczki dla silników:

- Unity,
- Unreal,
- MAYA,
- 3DS MAX.

https://www.sidefx.com/docs/hdk/h_d_k_intro_creating_plugins.html#HDK_Intro_CreatingPlugins_Intro

TRIAL

Tak.

CENA

Houdini FX - licencja stała - \$4,495.

HOUDINI CORE - licencja stała - \$1,995.

HOUDINI ENGINE - licencja stała - \$499.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- czysto proceduralna natura,
- możliwość konstruowania wysoce skomplikowanych obiektów geometrycznych i organicznych w stosunkowo małej liczbie kroków,
- umożliwia nieliniowy rozwój sceny (w każdej chwili możemy wrócić do dowolnego etapu pracy i poprawić go),
- potrafi generować muzykę i dźwięk przestrzenny,
- "*Biharmonic*" - automatyczne wychwytywanie skóry pozwala zaoszczędzić czas riggerów.

MINUSY

- cena,
- niepodobny do innych programów,
- trudny do opanowania.

OCENA/WNIOSKI

Opanowanie obsługi Houdiniego było na pewno największym wyzwaniem podczas testowania oprogramowania. Jest to program czysto proceduralny z różnymi językami skryptowania. Podczas testów mieliśmy problemy podczas samego włączania programu (liczne błędy skutkujące restartem). Silnik renderujący okazał się bardzo wydajny, jednak podczas jego uruchamiania również napotkaliśmy liczne błędy. W przyrównaniu do np. Bendera program wymaga bardzo dużo wolnego miejsca na dyskach oraz obciąża komputer. Doceniliśmy pracę z mechanizmami materiałów sypkich, takich jak piasek (suchy i mokry), bazujących na dynamice molekularnej.

3.4.9. Art of Illusion

<http://www.artofillusion.org/>

LICENCJA

Otwarta.

OPIS

Darmowe, otwarte środowisko do modelowania, mapowania tekstur i renderowania 3D, zarówno zdjęć, jak i animacji.

Posiada język graficzny do projektowania tekstur i materiałów proceduralnych.

INTERFEJS

Łatwy w obsłudze, intuicyjny.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Modelowanie brył:

- suma,
- różnica,
- przekształcania (np. za pomocą wyciągnięcia lub przesunięcia) ścian, krawędzi i punktów bryły,
- definiowanie stopnia wygładzenia (zaokrąglenia) punktów i krawędzi,
- przemieszczanie,
- obracanie,
- skalowanie.

TEKSTUROWANIE

Tekstury jednolite, bitmapowe i proceduralne (2D i 3D):

- możliwość definicji różnych atrybutów m.in. kolorów, lśnienia, przezroczystości, jasności, nierówności, przemieszczenia,
- stosowanie do atrybutów funkcji, m.in. suma, różnica, łączenie, mnożenie, dzielenie, minimum, maksimum, funkcji trygonometrycznych, a także zdefiniowanych przez użytkownika,
- szablony (turbulencja, komórki, drewno, itp.).

Materiały jednolite i proceduralne z atrybutami: kolor, przezroczystość, gęstość, rozpraszanie.

TRACKING

Proste moduły śledzenia, bezwzględny lub względny.

KOMPOZYCJA

Tak.

RENDEROWANIE

Rendering:

- *ray tracing*,
- oświetlenie globalne,
- *antialiasing*,
- łagodne cienie.

ANIMACJA

Wszystkie obiekty 3D można animować, zmieniając ich położenie i orientację. Oprócz tego właściwości każdego obiektu mogą być animowane, a tekstury i materiały proceduralne mogą mieć animowane funkcje.

Obiekty siatkowe można łączyć ze szkieletem, który można używać do kontrolowania zmian kształtu.

Dzięki szkieletom można zapisywać predefiniowane gesty, które można łączyć w pozy, aby generować złożone powtarzalne ruchy.

Dane animacji każdego obiektu są przechowywane w ścieżkach animacji jako klatki kluczowe.

VFX/CGI

Tak.

ANIMACJA POSTACI

Pose Tracks and Skeletons - praca na szkieletach i ścieżkach ruchu.

OŚWIETLENIE

Manipulacja punktami świetlnymi, światłem kierunkowym, reflektorami.

Światło proceduralne.

Efekty świetlne w tym realistyczne światła

DYNAMIKA

Dynamics - odwzorowanie sił fizyki, m.in.: deformacje przy kolizjach i grawitacja.

SYMULACJE

Symulacja płynów, tkanin.

SKRYPTY

Zawiera wbudowany język skryptowy, który oferuje możliwość rozszerzania programu lub definiowania nowych typów obiektów.

Art of Illusion obsługuje dwa języki skryptowe: BeanShell i Groovy i jest wyposażony w podstawowy edytor tekstowy do pisania, edycji i uruchamiania skryptów.

Istnieją trzy różne typy skryptów, każdy do określonego celu: *Tool scripts*, *Scripted objects* i *Start-up scripts*.

EDYCJA VIDEO

Nie.

INTERAKCJA/VR

Nie.

REAL TIME

Edycja obiektów w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Nie.

PIPELINE

Pliki scen Art of Illusion są zapisywane w formacie, oznaczonym rozszerzeniem „.aoi”.

Pakiet podstawowy zawiera wbudowaną funkcję importu dla Wavefront (.obj) i funkcje eksportu dla Wavefront (.obj), Povray 3.5 (.pov) i VRML (.wrl).

PROGRAMOWANIE

Java.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. CPU.

Akceleracja OpenGL jest dostępna dla interaktywnego renderowania.

GAME ENGINE

Współpraca z Unreal i Unity.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Windows.
2. MacOS.
3. Linux.

WTYCZKI

Dostępnych jest kilkadziesiąt wtyczek i kilkaset skryptów do pobrania przez wbudowanego menedżera.

TRIAL

Tak.

CENA

0 PLN.

POPULARNOŚĆ

Średnia.

PLUSY

- najlepszy darmowy program do do tworzenia i obróbki grafiki 3D,
- łatwy w obsłudze,
- duży wybór skryptów oraz wtyczek.

MINUSY

- słaba biblioteka obrazów,
- problem z importowaniem niektórych formatów,
- brak profesjonalnego wsparcia.

OCENA/WNIOSKI

Na tle innych darmowych narzędzi jest łatwy w obsłudze i można się go szybko nauczyć mimo braku profesjonalnego wsparcia. Największym minusem okazało się importowanie plików do programu; w większości przypadków mieliśmy problemy z ich poprawnością, niektóre parametry nie zostały przeniesione lub po przeniesieniu okazywały się zmodyfikowane. Sprawdzania poprawności importu plików zajmowało nam dużo czasu i powodowało ciągłe opóźnienia w pracach.

3.4.10. Cinema 4D /R21

<https://www.maxon.net/en/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Program do tworzenia grafiki 3D - animacji, oświetlania, modelowania, wizualizacji, efektów specjalnych, renderowania i symulacji, w obszarach:

- reklama / design,
- architektura
- film / vfx,
- filmy animowane,
- telewizja / *motion graphic*,
- gry,
- wizualizacje.

INTERFEJS

Intuicyjny, łatwy w obsłudze interfejs. Obsługa wyświetlaczy HiDPI. *Asset Inspector* ułatwia wyszukiwanie / łączenie / zbieranie zasobów, a narzędzie *UV Transform Tool* zapewnia dodatkowe narzędzia do pracy z UV.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

1. Modelowanie *OpenVDB Volume*.
2. Modelowanie wielokątów.
3. Modelowanie parametryczne.
4. Rzeźbienie.
5. Kopiowanie i przeklejenie punktów i wielokątów między obiektami i scenami.
6. Automatyczne spawanie zakończeń i skosów.
7. Polecenia wyciągnij, wyciągnij do zewnątrz, spawaj, podziel, wielokąt grupy do obiektów zachowują mapowanie UV i inne atrybuty powierzchni.
8. Kontrola nad objętościami opartymi na splajnach aby dostosować grubość objętości w każdym punkcie wzdłuż długości splajnu.

TEKSTUROWANIE

1. Biblioteka z materiałami.
2. Malowanie *3D painting* i *BodyPaint 3D R2* - malowanie tekstur bezpośrednio w 3D.
3. Shader materiałów.

TRACKING

Szybko i bezproblemowo integruje elementy 3D z materiałami z rzeczywistego świata za pomocą *Motion Tracker Cinema 4D*.

Dodawanie obiektów 3D do istniejących środowisk za pomocą funkcji śledzenia kamery i tworzenie całych środowisk 3D z materiału za pomocą "Scene Reconstruction" - rekonstrukcji sceny.

Dzięki śledzeniu obiektów łatwo jest zastąpić obiekty świata rzeczywistego kreacjami 3D, a kalibrator aparatu pomaga dopasować kąt kamery i perspektywę nieruchomego obrazu.

KOMPOZYCJA

Za pomocą m.in. „Live 3D Pipeline” Cinema 4D połączonego z Adobe After Effects można importować, modyfikować i renderować projekty Cinema 4D natywnie w interfejsie After Effects za pośrednictwem *Cineware*.

Można także eksportować pliki projektu After Effects bezpośrednio z Cinema 4D wraz z warstwowymi wieloprzebiegowymi i animowanymi bryłami 3D.

RENDEROWANIE

Szeroka gama opcji renderowania:

- technologia *Denoiser* od Intelu,
- węzły materiałowe,
- fizyczny renderer,
- renderer zespołowy (3 nody),
- obsługa profili kolorystycznych,
- technologia *HyperThreading*,
- technologia wielordzeniowa,
- wbudowany zaawansowany moduł renderowania to narzędzie do tworzenia obrazów i animacji, od standardowych 2D i 3D po stereoskopię.

Renderowanie wieloprzebiegowe umożliwia łatwe renderowanie kolorów, cieni, odbić i innych efektów w poszczególnych plikach. Wiele opartych na obiektach kanałów alfa ułatwia warstwowanie elementów z innymi zasobami 2D i 3D.

Advanced Render 2 - renderowanie z użyciem algorytmu energetycznego, efekty załamania światła, rozszczepienia, połyski i wiele innych.

ProRender (renderer oparty na GPU).

Przestrzenie węzłów do zarządzania konfiguracjami węzłów dla wielu silników renderujących w jednym materiale.

Węzeł *Cells* pozwala na kontrolę wzorców Voronoi.

Węzeł *Trace Multi-Ray* generuje zaawansowane efekty cieniowania w tym okluzja otoczenia, rozmazanie odbicia, zaokrąglone krawędzie.

Obsługa renderowania w 16-bitowej i 32-bitowej głębi kolorów dla obrazów o wysokim zakresie dynamiki.

ANIMACJA

1. Animacja postaci.
2. MoGraph.
3. Symulacja MOCCA 2 - zaawansowane animowanie obiektów.
4. Automatyzacja klatek kluczowych wszystkich lub wybranych parametrów.
5. *Powerslider* pozwala szybko zdefiniować klatki kluczowe dla bieżącego stanu w dowolnej ramce i modyfikować istniejące klatki kluczowe bez opuszczania domyślnego układu.
6. *Filed forces*.
7. Wbudowane automatyczne ważenie - menedżer wagi.
8. Algorytmy wygładzania.
9. Mikser kanału pól.
10. Konwertowanie między wartościami, kolorem i kierunkiem w polach aby zmieniać siłę efektów na podstawie koloru lub kierunku.
11. Używanie siły lub koloru do definiowania kierunku w nowym obiekcie siły pola.

VFX/CGI

Cinema 4D R18 Essentials do tworzenia efektów specjalnych.

ANIMACJA POSTACI

Narzędzie *Mixamo Control Rig* do szybkiego i łatwego riggowania postaci.

Szablony dla dwunogów, czworonogów, ryb i innych.

Możliwość dostosowania komponentów platformy do wymiarów postaci, połączenia szkieletu z modelem.

Tryby pomiaru objętości i mapy cieplnej oraz opcje kości.

OŚWIETLENIE

Oferuje szeroką gamę rodzajów światła i cienia, wydajny system oświetlenia Cinema 4D oferuje wiele opcji kontrolowania koloru, jasności, opadania i innych właściwości, a także regulacji gęstości i koloru cieni każdego światła.

Ustawienia światła, takie jak kontrast, refleksy obiektywu, światło widzialne lub wolumetryczne, szumy oraz możliwość użycia wartości jasności *Lumen* lub *Candela* zapewniają bardzo realistyczne efekty dla twoich scen.

DYNAMIKA

Dzięki obiektowi dynamiki siły pola można wykorzystać moc pól do kontrolowania sił dynamicznych w animacjach. Możliwość stosowania, dostosowywania i miksowania danych Mocap z Adobe Mixamo.

SYMULACJE

Symulacje dużej liczby obiektów lub cząstek wchodzących w interakcję ze sobą i/lub podlegających wpływom sił fizycznych takich jak wiatr czy grawitacja.

Złożone algorytmy są wykorzystywane do generowania animacji i interakcji tych elementów - szeroki zakres funkcji i ustawień wstępnych do tworzenia symulacji fizycznych i realistycznie wyglądających efektów.

SKRYPT

1. C++.
2. Python.

EDYCJA VIDEO

Tak, na osi czasu.

INTERAKCJA/VR

360 VR.

REAL TIME

Real-Time Graphics i wysokiej jakości renderowanie w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Stereoskopowe rendery.

Stereoskopowa kamera *Spherical VR*.

Oculus Rift.

3D Vision Shutter NVIDIA.

PIPELINE

Bezpośredni eksport do standardowych aplikacji: Adobe Photoshop, Adobe After Effects, Final Cut Pro, Nuke, Shake, Fusion lub Motion.

Warstwy Multi-Pass.

Eksport do DPX, HDRI lub OpenEXR.

PROGRAMOWANIE

Python.

SILNIK GRAFICZNY

Obsługa wszystkich kart graficznych obsługujących OpenGL 4.1.

Do korzystania z okularów *3D Vision Shutter NVIDIA* do oglądania obrazu stereoskopowego w Cinema 4D wymagana jest karta graficzna z poczwórnym buforowaniem.

GAME ENGINE

Płynna łączność Cinema 4D z Unity.

Kompletny zestaw narzędzi do tworzenia modeli środowiska i postaci, malowania szczegółowych tekstur i dodawania animacji postaci.

Malowanie tekstur bezpośrednio, stosowanie procedur *alegorithmic Substance* zarówno w C4D, jak i silniku gry lub wykorzystywanie wypalania (*bake*) tekstur Cinema 4D do przekształcania proceduralnych shaderów w bitmapy.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.
3. Amiga OS.

WTYCZKI

1. *Redshift* (akcelerowany przez GPU).
2. FinalRender stage.
3. Renderer FurryBall.
4. GPU FryRender.
5. Indigo Renderer.
6. Krakatoa.
7. Maxwell Render.
8. Mental ray & iray.
9. Octane Render (akcelerowany przez GPU).
10. Pixar Renderman Connection Cineman.
11. SunFlow.
12. V-ray (Vray4C4D).
13. Renderer Corona.
14. Arnold Renderer (C4DtoA).
15. Cycles 4D, Blender's Cycles Renderer.

<https://www.creativebloq.com/features/14-essential-cinema-4d-plugins>

TRIAL

Tak.

CENA

Roczna licencja / 1 stanowisko - 61,49 euro / miesiąc = 737,88 euro.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- najszybszy i najłatwiejszy w obsłudze program do animacji 3D,
- obszerna biblioteka kształtów,

- dźwięk Dolby Digital.

MINUSY

- cena,
- zwalnia gdy w scenie jest dużo elementów,
- nie przenosi wszystkich atrybutów materiałów tekstur podczas eksportu i importu.

OCENA/WNIOSKI

Cinema 4D jest z pewnością jednym z najbardziej zaawansowanych programów, a właściwie kompleksowych pakietów do grafiki 3D z dostępnych na rynku. Jest to kompletny zestaw, obejmujący praktycznie każdy aspekt modelowania, teksturowania, animacji, symulacji i renderingu. Ze wszystkich programów, Cinema oferuje najlepszą i najszybszą pomoc dla nowych użytkowników, która jest w pełni zintegrowaną z programem - przy każdym elemencie znajduje się okno pomocy, w którym są opisane wszystkie funkcje i możliwe zastosowania.

3.4.11. Daz Studio

<https://www.daz3d.com/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Oprogramowanie do modelowania 3D, renderowania i animacji, które koncentruje się na tworzeniu realistycznych postaci.

INTERFEJS

Interfejs można w pełni dostosować, pierwotnie program ma 4 „układy interfejsu”, z których każdy jest przeznaczony dla określonego poziomu użytkownika.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Oprogramowanie do modelowania *3D Hexagon*.

Program został wyposażony w narzędzia, które pozwolą stworzyć i wymodelować różne obiekty wraz z wirtualnymi modelami postaci, zwierząt, pojazdów, akcesoriów, pojazdów, rekwizytów lub nietypowymi obiektami graficznymi.

Oferuje pełny dostęp do szablonów, wspomagających przy tworzeniu i modelowaniu obiektów trójwymiarowych.

Umożliwia też modyfikowanie położenia i pracy kamery, a także skalowanie, obracanie, przesuwanie utworzonych obiektów oraz posiada wbudowanego samouczka.

TEKSTUROWANIE

Tak, możliwość tworzenia i edycji tekstur, mapy UV.

TRACKING

Śledzenie kamery.

KOMPOZYCJA

Ograniczone możliwości, które można rozszerzać przy korzystaniu z innych programów np. z Adobe Photoshop.

RENDEROWANIE

Silnik renderowania Arnold.

GPU Przyspieszone renderowanie w czasie rzeczywistym.

ANIMACJA

Daz Studio daje możliwość łatwego tworzenia własnych animacji za pomocą szeregu narzędzi.

VFX/CGI

Tak.

ANIMACJA POSTACI

Pozwala tworzyć realistyczne postacie, również możliwości morfingu, które pozwalają na połączenie różnych rozmiarów ciała, kończyn, kształtów i muskulatury.

Genesis 8 ma funkcje, które pozwalają użytkownikom przebierać postacie i postacie według płci.

Wbudowane wyginanie grup mięśni.

Program pozwala też na synchronizowanie mowy z ruchem ust i dowolne modyfikowanie mimiki twarzy na utworzonych, wirtualnych modelach postaci.

Specjalne narzędzia do morfowania.

OŚWIETLENIE

Wiele wtyczek i możliwych ustawień i shaderów. Dostępne:

- światła punktowe - *point light*,
- *distant light* (odległe),
- spot - reflektory,
- *volumetric light* - światło wolumetryczne,
- realistyczne oświetlenie otoczenia,
- realistyczne odbicia,
- realistyczne tło zgodne z oświetleniem i odbiciami,
- obsługa HDR.

DYNAMIKA

Dynamic clothing - dynamiczna kontrola animacji odzieży.

SYMULACJE

Fizyka symulacji włosów i odzieży jako wtyczki. Silnik *dForce* do symulacji drapowania materiału pod wpływem grawitacji, wiatru i zderzenia z innymi obiektami.

SKRYPTY

Daz Script 2 to dynamicznie pisany, interpretowany, obiektowy język skryptowy ściśle zintegrowany z interfejsem API Daz Studio. Jest to rozszerzenie *QtScript*, które jest rozszerzeniem ECMAScript zgodnie z definicją w ECMAScript Language Specification (ECMA-262).

Składniowo skrypt Daz jest bardzo podobny do JavaScript, JScript i ActionScript.

EDYCJA VIDEO

Proste manipulacje na osi czasu.

INTERAKCJA/VR

Tryb renderowania VR.

Współpraca z Masterpiece VR.

IRAY VR-360 Stereo.

3D Iray.

Renderzy 360 w 360 stereo 3D.

REAL TIME

Rendering w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Zestaw kamer do renderowanie par obrazu stereo przy użyciu metody projekcji *offaxis* - jako wtyczka.

PIPELINE

Wbudowane funkcje eksportu plików.

Zawartość Daz 3D można zaimportować do innych popularnych narzędzi oprogramowania 3D, takich jak 3DS Max, Mudbox i Maya.

Formaty eksportu obejmują:

- Autodesk FBX,
- COLLADA,
- OBJ,
- BVH,
- Universal 3D.

PROGRAMOWANIE

Java.

PROCESOR GRAFICZNY/RENDER

1. GPU.
2. CPU.

W pełni interaktywne renderowanie, przyspieszony przez GPU *rendering* w czasie rzeczywistym.

GAME ENGINE

Współpraca z Unity, Unreal, CopperCube.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.

2. MacOS.

WTYCZKI

<https://www.daz3d.com/forums/discussion/293/list-of-free-daz-studio-script-and-plugins>

TRIAL

Tak.

CENA

0 PLN.

POPULARNOŚĆ

Średnia.

PLUSY

- cena,
- duże możliwości rozbudowania programu poprzez wtyczki,
- interaktywny samouczek aplikacji.

MINUSY

- Daz Script 2 dla początkujących programistów może być nieintuicyjny,
- importuje wyłącznie obiekty 3D z płatnych programów,
- brak profesjonalnego wsparcia.

OCENA/WNIOSKI

Na samym początku pracy z programem, okazało się, że żaden z 4 układów interfejsu nie jest dla nas odpowiedni, dużo czasu straciliśmy na przełączanie poszczególnych okien i szukaniu potrzebnych nam funkcji. Daz Studio posiada ogromną płatną bibliotekę modeli, jednak po zapoznaniu z licencją okazało się jednak, że program jest co prawda bezpłatny, ale nie możemy rozpowszechniać, sprzedawać ani modyfikować żadnej części plików lub danych, które stworzyliśmy. Problemy sprawił nam eksport plików do formatu .fbx i Collada, co w dużym stopniu utrudniło i opóźniło nasze prace.

3.5. Animacja 2D, 2.5D, VFX, CGI, Motion graphics

3.5.1. Adobe After Effects

<https://www.adobe.com/pl/products/aftereffects.html>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Przeznaczony dla twórców animacji, grafiki i kompozycji do pracy nad animacjami i efektami wizualnymi do filmów, programów telewizyjnych, produkcji wideo oraz stron internetowych.

INTERFEJS

Aplikacje wideo i audio Adobe zapewniają spójny, konfigurowalny interfejs użytkownika. Chociaż każda aplikacja ma własny zestaw paneli, można przenosić i grupować panele w taki sam sposób w każdej aplikacji.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

1. HSB.
2. RGB.
3. Lab.
4. CMYK.
5. Hex.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Tak, podstawowe narzędzia.

TEKSTUROWANIE

Tak.

KOLOR KOREKCJA

Korekcja kolorów, gradacja kolorów i regulacja kolorów, pełne zarządzanie kolorami, przestrzeniami kolorystycznymi i wbudowane profile kolorów.

Obsługa plików LUT.

Wbudowany limiter kolorów.

Wbudowane narzędzia: efekty Lumetri, Auto Color, Auto Contrast, Auto Levels, czarno-biały, jasności i kontrastu, Broadcast Colours, zmiana koloru, mikser kanałów, balans kolorów w tym HLS, Color Link, stabilizacja koloru, Colorama, krzywe, ekspozycja, barwa, nasycenie, gamma, postument, wzmocnienie, poziomy, filtry fotograficzne, PS

Arbitrary Map, efekt selektywnego koloru, cienia, podświetlenia, trytonu, wibracji i ograniczniki wideo.

TRACKING

Śledzenie kamery i obiektu.

Dzięki śledzeniu ruchu można śledzić ruch obiektu, a następnie zastosować dane śledzenia tego ruchu do innego obiektu - takiego jak kolejna warstwa lub punkt kontrolny efektu - w celu utworzenia kompozycji, w których obrazy i efekty podążają za ruchem.

Można także ustabilizować ruch, w którym to przypadku dane śledzenia są wykorzystywane do animowania śledzonej warstwy w celu kompensacji ruchu obiektu w tej warstwie.

Można połączyć właściwości z danymi śledzenia za pomocą wyrażeń, które otwierają wiele różnych zastosowań.

AE śledzi ruch, dopasowując dane obrazu z wybranego obszaru w ramce do danych obrazu w każdej kolejnej ramce.

Można zastosować te same dane śledzenia do różnych warstw lub efektów.

Można także śledzić wiele obiektów na tej samej warstwie.

Moduł śledzenia masek.

KOMPOZYCJA

Aby utworzyć kompozycje z wielu obrazów, można ustawić przezroczystość części jednego lub więcej obrazów, aby inne obrazy mogły się wyświetlać.

Można uczynić części warstwy przezroczystymi za pomocą dowolnej funkcji w programie After Effects, w tym:

Roto Brush (pędzle do rotowania), *Refine Edge* (udoskonalanie krawędzi), *Masks* (maski), *Mattes*, malowanie na kanale alpha, *The Preserve Underlying Transparency layer option* (zachowywanie warstwy przezroczystości), *Keying effects* (kluczowanie).

RENDEROWANIE

Akceleracja GPU.

Renderowanie za pomocą GPU zwiększa wydajność odtwarzania podglądu i zapewnia wyraźny i bardziej szczegółowy podgląd projektu w czasie rzeczywistym.

Możliwość renderowania poprzez Media Encoder oraz kolejkowania prac.

ANIMACJA

Tak, 2D i 3D na osi czasu. Animacja warstw lub efektów na warstwie za pomocą właściwości warstwy, klatek kluczowych, wyrażeń (ekspresji) lub wszystkim naraz. Manipulacja kształtem, ścieżkami, grafiką wektorową.

Narzędzia do rysowania: pędzel, stempel, gumka.

Tworzenie kształtów i masek, animacja masek, ścieżek kształtów oraz śledzenie masek.

Program zawiera setki gotowych ustawień animacji, które można zastosować do warstw i zmodyfikować zgodnie z własnymi potrzebami, w tym wiele gotowych ustawień animacji tekstu.

WARSTWY

Każda warstwa ma właściwości, za pomocą których można modyfikować i animować.

ROTOSKOPIA

Narzędzie *Roto Brush* i narzędzie *Refine Edge* zapewniają alternatywny, szybszy przepływ pracy do segmentacji i tworzenia masek.

VFX/CGI

Tak.

3D

Różne renderery oferują różne opcje wyświetlania elementów 3D w kompozycji. Kompozycje mogą zawierać zarówno warstwy 2D, jak i 3D.

Kompozycje mogą zawierać warstwy o prawdziwej geometrii 3D i głębokości.

ANIMACJA POSTACI

Tak, narzędzie i efekt *Puppet* do animowania postaci.

Możliwość szkicowania ścieżki ruchu jednego lub więcej punktów deformacji w czasie rzeczywistym - lub z określoną prędkością - podobnie jak szkicowanie ścieżki ruchu warstwy za pomocą narzędzia *Motion Sketch*.

KLUCZOWANIE

Zawiera kilka wbudowanych efektów kluczowania, w tym efekt *Keylight*, który wyróżnia się profesjonalnym kluczowaniem kolorami.

OŚWIETLENIE

1. *Parallel Light*.
2. *Spot Light*.
3. *Point Light*.
4. *Ambient Light*.
5. *Casting Shadows*.

DYNAMIKA

Dynamic Physics Simulation.

Jako dodatek silnik Newton 3 wprowadza realistyczną fizykę do After Effects, dzięki czemu warstwy kompozycji 2D zachowują się jak stałe obiekty, które oddziałują na siebie - tak jak w prawdziwym świecie. Daje to wiele sposobów kontrolowania właściwości twoich obiektów, w tym typu, gęstości, tarcia, sprężystości i prędkości.

Można także zmieniać właściwości świata, takie jak grawitacja.

Co więcej, Newton 3 pozwala tworzyć realistyczne połączenia między obiektami, dzięki czemu można łatwo tworzyć złożone ruchy. Po zakończeniu symulacji animacja jest odtwarzana ponownie w programie After Effects ze standardowymi klatkami kluczowymi, dzięki czemu można dopasować czas w dowolny sposób.

SYMULACJE

Symulacje cząstek i symulacje m.in.: tworzenie mgły, mgły, deszczu i pirotechniki.

SKRYPTY

Język Adobe ExtendScript, który jest rozszerzoną formą JavaScript.

<https://aescrpts.com/bg-renderer/>

EDYCJA VIDEO

Tak.

INTERAKCJA/VR

Oferuje natywną obsługę edycji filmów 360 / VR. Można użyć wielu dynamicznych przejść, efektów, aby edytować i ulepszać wrażenia wideo i uzyskać płynny przepływ postprodukcyjny.

Edytowanie materiałów 180 i 360 stopni oraz VR.

Oprogramowanie oferuje efekty i przejścia takie jak rozmycie i wyostrenie VR, przejścia tęczy czy przecieki światła. Są one specjalnie sformatowane pod kątem nagrań 180 i 360 stopni, dzięki czemu nie generują niepożądanych artefaktów, na przykład widocznych połączeń lub zniekształceń.

Dźwięk z każdego kierunku wideo - oprogramowanie pozwala edytować dźwięk na podstawie orientacji lub położenia oraz eksportować wielokierunkowe nagrania audio bezpośrednio na platformy VR, takie jak YouTube czy Facebook.

Sonic Scape - metoda wizualizacji dźwięku z wielu kierunków w wideo 360 stopni.

Project Sidewinder - dodawanie realistycznej głębi w wideo VR przy użyciu narzędzia *Project Sidewinder*, które zapewnia kompletną iluzję przebywania w rzeczywistości wirtualnej.

Wbudowany edytor *VR Comp*, który pozwala na pracę z materiałem 360 stopni jak ze zwykłym.

REAL TIME

Podgląd pracy w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Stereoskopowe 3D.

PIPELINE

Wsparcie dla różnych formatów plików przy imporcie i eksporcie:

- Alembic,
- 3D Studio (3DS),
- Filmbox (FBX),
- Autodesk (DXF),
- SVG,
- STL (do druku 3D),
- VRML,
- X3D.

Obsługiwane formaty wideo animacji:

- QuickTime (MOV),
- Video for Windows (AVI; Windows only),
- Adobe Premiere Pro project (PRPROJ).

Obsługiwane formaty graficzne:

- Adobe Photoshop (PSD),
- Cineon (CIN, DPX),
- Maya IFF (IFF),
- JPEG (JPG, JPE),
- OpenEXR (EXR),
- PNG (PNG),
- Radiance (HDR, RGBE, XYZE),
- SGI (SGI, BW, RGB),
- Targa (TGA, VBA, ICB, VST),
- TIFF (TIF).

Obsługiwane formaty audio:

- Audio Interchange File Format (AIFF),
- MP3,
- WAV.

PROGRAMOWANIE

1. C.
2. C++.

SILNIK GRAFICZNY

After Effects w dużej mierze opiera się na pamięci i centralnej jednostce przetwarzania komputera, a nie na karcie graficznej lub GPU.

After Effects technicznie może korzystać z wielu kart jednocześnie.

GAME ENGINE

Istnieje sposób eksportu z After Effects m.in. do Unreal Engine 4.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.

WTYCZKI

<https://helpx.adobe.com/after-effects/plugin-ins.html>

TRIAL

Tak.

CENA

Jedno stanowisko na miesiąc - 24,59€ = 295,08€ rocznie.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- efekt *Keylight*,
- kompletne narzędzia w tym dźwiękowe do VR i 360 stopni,
- technologia *Dynamic Link* umożliwiająca przełączanie się między programami z rodziny Adobe i kontynuację dalszej pracy w dedykowanym do danego zadania programie,
- kompatybilność z resztą programów z rodziny Adobe.

MINUSY

- częste błędy podczas instalacji,
- błędy podczas aktualizacji programu.

OCENA/WNIOSKI

Podczas pracy doceniliśmy interfejs znany z innych programów z rodziny Adobe, profesjonalny program pomocy oraz wsparcie techniczne. Program nie sprawiał żadnych problemów z importem i eksportem plików do używanych przez nas formatów. Praca przebiegała sprawnie, wszystkie funkcje są dobrze nazwane, opisane i są intuicyjne. Pliki wektorowe lub rastrowe, których używaliśmy w kompozycji, można w każdej chwili zmodyfikować za pomocą Adobe Photoshop lub Illustrator, podczas ponownego importu program sam aktualizuje wszystkie warstwy. Technologia Adobe Dynamic Link niesamowicie ułatwia i przyspiesza pracę, była to jedna z najwygodniejszych opcji i wyróżniająca program na tle innych. Doceniliśmy także integrację z programami spoza rodziny Adobe, takimi jak Cinema 4D. Program jest bardzo rozbudowany, jest w nim

mnóstwo różnych opcji, znając inne programy Adobe, można mieć wrażenie, że jest narzędziem zbudowanym z segmentów innych programów - można w nim edytować krzywe, montować, robić kolor korekcję; pod tym względem jest prawdziwym kombajnem, jednak, żeby wykonać bardziej zaawansowane operacje, trzeba wrócić do innych programów Adobe. Program oczywiście posiada unikalne funkcje do których został stworzony i które zawiera świetnie się sprawdzają, narzędzia do tworzenia efektów są bardzo rozbudowane, dodatkowo można je rozszerzać lub ulepszać poprzez wtyczki. Z racji tego, że program jest bardzo popularny na całym świecie, ilość dodatków jest ogromna. Wiele efektów końcowych można uzyskać na różne sposoby, oraz dobrać wykorzystywane narzędzie/funkcję pod kątem efektu końcowego. Usługa Adobe Team Projects, działająca na razie w fazie beta, ułatwia współpracę i udostępnianie sekwencji oraz kompozycji w czasie rzeczywistym; która świetnie sprawdza się wraz z usługą Creative Cloud Assets - wszystkie zasoby można archiwizować i przywracać za pomocą usługi Creative Cloud. Obejmuje to Biblioteki Creative Cloud, zasoby tworzone w wersjach komputerowych programów a także projekty na urządzenia mobilne.

3.5.2. Natron

<https://natrongithub.github.io/>

LICENCJA

Otwarta.

OPIS

Darmowa i oparta na węzłach aplikacja do kompozitingu obrazu.

INTERFEJS

Intuicyjny, prosty interfejs.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Zarządzanie kolorami z *OpenColorIO*, ukierunkowane na produkcję filmów z naciskiem na efekty wizualne i animację komputerową.

Obsługa formatów LUT.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Nie.

TEKSTUROWANIE

Nie.

GRADING&CC

Tak.

TRACKING

Potężny moduł śledzenia 2D i planar do śledzenia zadań.

Węzeł śledzący: śledzenie punktów jest wbudowane w Natron do śledzenia wielu punktów.

Dodatkowy moduł śledzący od Blendera.

KOMPOZYCJA

Tak. Oparty na węzłach.

RENDEROWANIE

Renderowanie wielowątkowe, proxy, GPU i CPU, sieciowe, obsługa render farm.

Wielozadaniowość: może renderować wiele wykresów jednocześnie i wykorzystywać 100% mocy obliczeniowej procesora.

ANIMACJA

Edycja krzywych animacji: edytor krzywych.

Inne narzędzia do malowania: *Solid, Pencil, Eraser, Clone, Reveal, Blur, Smear, Dodge, Burn*.

WARSTWY

Wielowarstwowa rotoskopia.

ROTSKOPIA

Rotoskopia i roto malowanie: edytowanie i animowanie masek.

Obsługa krzywych Béziera.

Wielowarstwowa rotoskopia z możliwością edycji *stroke'ów*.

VFX/CGI

Szeroka gama narzędzi do manipulowania obrazem i kompozitingu.

3D

Obsługa kart, na które rzutowane są tekstury, projekcji tekstur 3D za pomocą kamery, a także edycji UV w celu dopasowania.

ANIMACJA POSTACI

Nie.

KLUCZOWANIE

Dostępne takie narzędzie jak:

- Keyer, Chroma Keyer,
- Difference Keyer,
- Hue Keyer,
- PIK Keyer.

OŚWIETLENIE

Nie.

DYNAMIKA

Nie.

SYMULACJE

Nie.

SKRYPTY

1. Python.
2. SeExpr script.
3. WebGL 1.0 (Shadertoy).

EDYCJA VIDEO

Transformacja obrazu (pozycja, obrót, skala, pochylenie).

Szeroka gama efektów dodatkowych (przekształcenia kolorów, przekształcenia geometryczne, generatory obrazu).

Edycja klitek kluczowych: *Dope Sheet*.

INTERAKCJA/VR

Obsługa kamery 360°.

REAL TIME

Odtwarzanie w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Obsługa stereoskopowego przetwarzania 3D.

PIPELINE

Obsługa takich formatów jak:

- EXR,
- DPX,
- TIFF,
- PSD,
- SVG,
- RAW,
- JPG,
- PNG i inne.

PROGRAMOWANIE

1. C++.
2. Python.

SILNIK GRAFICZNY

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Współpraca z Unreal za pomocą wtyczek.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.
3. Linux.
4. FreeBSD.

WTYCZKI

<https://github.com/NatronGitHub/natron-plugins>

System PyPlug (odpowiednik Nuke Gizmos).

TRIAL

Tak.

CENA

0 PLN.

POPULARNOŚĆ

Średnia.

PLUSY

- cena,
- kompatybilność z Blenderem,

MINUSY

- brak profesjonalnego wsparcia technicznego,

OCENA/WNIOSKI

Ta aplikacja może być używana jako alternatywa After Effects oraz Nuke, szczególnie w zakresie profesjonalnych narzędzi do edycji wideo. Jest to jednak program głównie służący do *compositingu* obrazu.

3.5.3. FXhome HitFilm

<https://fxhome.com/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

HitFilm łączy w sobie kilka aplikacji: FXHome VisionLab Studio, FXHome EffectsLab i FXHome CompositeLab w jednym oprogramowaniu do efektów specjalnych i nieliniowej edycji.

INTERFEJS

Interfejs został zaprojektowany przy użyciu mieszanki kontenerów i paneli i można go w pełni dostosować do swoich potrzeb. Kontener może pomieścić wiele paneli.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

1. RGB.
2. YCbCr.
3. Rec. 601: (SD).
4. Rec. 709: (HD).
5. Rec 2020: (UHD).

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Można importować modele 3D bez potrzeby instalowania dodatkowych wtyczek.

Modele 3D integrują się z interfejsem i efektami HitFilm, dzięki czemu są szybkie i łatwe w użyciu.

TEKSTUROWANIE

System tekstur HitFilm to metoda przypisywania tekstur do efektów *Gunfire* i symulatora cząstek.

KOLOR KOREKCJA

Pełna manipulacja kolorami:

Bleach Bypass, Cine Style, Classic Cine Style, Color Cycle, Color Map, Color Phase, Color Vibrance, Day for Night, Duo Tone, Hue Colorize, Hue Shift, Invert, LUT, Shadows & Highlights, Two and Three Strip Color, Vibrance, Vignette, Vignette Exposure, Auto Color, Auto Contrast, Auto Levels, Brightness & Contrast, Color Balance, Color Correction Wheels, Color Temperature, Crush Blacks & Whites, Curves, Custom Gray, Dehaze, Exposure, Exposure Pro, Gamma, Hotspots, Hue, Saturation & Lightness, Levels Histogram, Pro Skin Retouch, White Balance, YUV Color Correction, YUV Color Transform.

TRACKING

Wiele opcji śledzenia:

- optyczne śledzenie przepływu i dopasowanie szablonu dla szybkiego śledzenia funkcji i stabilizacji,
- śledzenie planarne do zaawansowanego rozwiązywania rotoskopii i kamer za pomocą Mokka,
- importowanie danych śledzenia kamery 3D z Boujou, SynthEyes, PFtrack i innych (sprzedawane osobno),
- śledzenie funkcji 2D - moduł śledzący 2D HitFilm został zaprojektowany do szybkiego śledzenia ruchomych elementów filmów.

KOMPOZYCJA

Tak.

RENDEROWANIE

HitFilm wykorzystuje akcelerację GPU i inteligentne buforowanie, aby zmaksymalizować wydajność w szerokim zakresie sprzętu.

ANIMACJA

Efekty animacji można zastosować do warstw w celu zastosowania gotowej animacji w różnych stylach. Efekty animacji dzielą się na dwie kategorie:

- zachowania (*Behaviors*),
- efekty.

WARSTWY

Tak. Każda warstwa na osi czasu ma kilka wspólnych elementów sterujących.

ROTOSKOPIA

Tak.

VFX/CGI

Zestaw prawie tysiąca wbudowanych efektów wizualnych.

3D

Można importować i animować modele 3D.

Symulowana kamera 3D.

Współpraca z Blender.

ANIMACJA POSTACI

Możliwe jest tworzenie animowanych postaci 2D w stylu „papierowej lalki” lub „ograniczonej animacji”. Brak narzędzi dedykowanych do animacji postaci.

KLUCZOWANIE

Narzędzie Klucz Chroma, zapewnia pełną kontrolę nad szczegółami krawędzi, korekcją kolorów i symulacją rozlewania (*spill*).

Zawiera kilka efektów do kluczowania warstw.

OŚWIETLENIE

Tak. Bardziej zaawansowane narzędzia przy współpracy z Blender.

DYNAMIKA

Obsługa Rigid Body Dynamics i Cloth Physics we współpracy z Blender.

SYMULACJE

Zaawansowana symulacja cząstek.

Pełna integracja z obiektami z kamer 3D, światłami i cieniami.

SKRYPTY

Nie.

EDYCJA VIDEO

Nieliniowa edycja.

INTERAKCJA/VR

Wsparcie dla kamer 360°.

REAL TIME

Render w czasie rzeczywistym (ograniczone) lub pre-render.

STEREOSKOPIA

Nie.

PIPELINE

<https://fxhome.com/reference-manuals/hitfilm-pro>

PROGRAMOWANIE

Nie.

SILNIK GRAFICZNY

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Nie.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.

WTYCZKI

<https://fxhome.com/reference-manuals/hitfilm-plugins#introduction.htm>

TRIAL

Tak.

CENA

209,30 euro/ rok.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- prosty import modeli 3D,
- współpraca z Blender.

MINUSY

- brak współpracy z Unity albo Unreal,
- brak możliwości pisania skryptów.

OCENA/WNIOSKI

Program zwalniał pracę komputerów, co jest jego największą wadą. Obsługa formatów 4K i więcej była bardzo czasochłonna. Z powodu braku współpracy z silnikami gier i możliwości pisania skryptów, program nie spełniał naszych oczekiwań.

3.5.4. NUKE

<https://www.foundry.com/products/nuke>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

NUKE to potężna aplikacja do komponowania, która zapewnia szybkość, wydajność, funkcjonalność, elastyczność i wydajny silnik renderowania z wykorzystaniem wielokanałowego skanowania liniowego oraz zestaw funkcji. Do tworzenia wysokiej jakości obrazów cyfrowych i efektów wizualnych.

INTERFEJS

Interfejs programu można dostosować do swoich potrzeb. Nuke wykorzystuje przepływ pracy oparty na węzłach, w którym łączysz szereg węzłów w celu odczytu, przetwarzania, i manipulować obrazami. Główne okno Nuke jest podzielone na trzy panele: panel Edytor wykresów / krzywych, panel Właściwości / edytor skryptów i panel Przeglądarki.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Nuke używa dwóch rodzajów zarządzania kolorami do definiowania używanych systemów przestrzeni kolorów: rodzimych „przestrzeni kolorów” Nuke i OpenColorIO (OCIO).

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Podstawowe możliwości. Przestrzeń robocza 3D jest zdefiniowana przez grupę węzłów. Najbardziej podstawowa konfiguracja obejmuje węzeł kamery, węzeł renderowania, węzeł sceny lub geometrii oraz węzły, które udostępniają obrazy 2D, w przestrzeni kompozytu 3D.

TEKSTUROWANIE

Węzły w menu *Shadera* pozwalają zdefiniować atrybuty materiału obiektów geometrycznych w scenie, w tym jakość światła odbijanego z powrotem do kamery z powierzchni obiektu. Za pomocą tych węzłów można kontrolować, z jakiego materiału wykonane są obiekty i jak się zachowują.

KOLOR KOREKCJA

Zaawansowane możliwości pracy z kolorami. Węzeł Color Correct służy do szybkich korekt kontrastu, gamma, wzmocnienia i przesunięcia. Można zastosować je do wzorca klipu (całego zakresu tonalnego), cieni, półcieni lub światła. Można kontrolować zakres obrazu, w cieniach, półcieniach i światłach, używając krzywych.

TRACKING

Zintegrowany moduł śledzenia kamery w NukeX® i Nuke Studio odwzorowuje ruch kamery 2D z animowaną kamerą 3D lub chmurą punktów w przestrzeni 3D Nuke,

umożliwiają dokładne komponowanie elementów 2D / 3D w odniesieniu do oryginalnej kamery użytej do ujęcia.

Opcje uszczegółowienia, zaawansowany podgląd funkcji 3D i obsługa zniekształceń obiektywu poprawiają wydajność i dokładność w najtrudniejszych zadaniach śledzenia.

KOMPOZYCJA

Narzędzia do komponowania *Deep Image* pozwalają tworzyć i pracować z obrazami, które zawierają wiele próbek krycia, kolorów i głębokości względnej kamery na piksel, więc nie trzeba ponownie renderować elementów CG, gdy zmienia się ich zawartość.

RENDEROWANIE

Nuke oferuje renderowanie kompilacji lub sekwencji w tle bezpośrednio z osi czasu, co pozwala kontynuować pracę podczas przetwarzania renderów.

Wbudowana funkcjonalność farmy renderującej *Frame Server* automatycznie wykorzystuje wszystkie dostępne zasoby w celu zwiększenia szybkości i wydajności, na jednym komputerze lub po podłączeniu do wielu komputerów z uruchomionymi węzłami Nuke Render.

ANIMACJA

Animacja parametru odnosi się do zmiany jego wartości w czasie. Animacja odbywa się na klatkach kluczowych poprzez interpolację wartości pomiędzy nimi. W ten sposób można animować większość parametrów w Nuke. Menu Animacja umożliwia ustawianie klatek kluczowych, usuwanie kluczy i wykonywanie innych operacji edycji na krzywych dla animowanych parametrów.

WARSTWY

Nie.

ROTOSKOPIA

Precyzyjna kontrola nawet nad najbardziej skomplikowanymi pracami rotoskopowymi bezpośrednio w programie.

VFX/CGI

Tak. Zaawansowane możliwości dla efektów 2D i 3D.

3D

Nieograniczone, zintegrowane środowisko 3D, które pozwala tworzyć i renderować złożone sceny złożone z materiału 2D, modeli 3D, kart, podstawowej geometrii, kamer, świateł i siatek.

ANIMACJA POSTACI

Tak.

KLUCZOWANIE

Szeroka gamę kluczy, która pomaga w wydobywaniu materii z obrazów. Obejmuje to standardowe klucze, takie jak Primatte, Ultimatte i własny IBK Nuke, a także Foundry's Keylight®.

OŚWIETLENIE

Tak, pełna manipulacja światłem w scenach.

DYNAMIKA

Różne systemy wbudowane lub dostępne za pomocą wtyczek.

SYMULACJE

Wbudowany Nuke Particle System.

System symulacji fluidów, ognia, dymu.

SKRYPTY

Program posiada wbudowany silnik skryptowy Nuke Python i narzędzie Nuke Developer Kit (NDK C ++ API).

EDYCJA VIDEO

Na osi czasu, narzędzia do edycji opisują sposób manipulowania zdjęciami bezpośrednio za pomocą szeregu modalnych narzędzi redakcyjnych, które uzupełniają narzędzie wielofunkcyjne. Osie czasu zawierają ujęcia wideo i audio, które odnoszą się do klipów źródłowych w projekcie. Po zakończeniu procesu dostosowywania, oś czasu wyświetla klipy w kontekście i umożliwia dokładniejszą edycję. Osie czasu mogą zawierać dowolną liczbę sekwencji wideo i ścieżek audio, przy czym każda ścieżka zawiera strzałki odwołujące się do klipów źródłowych w projekcie - wprowadzanie zmian w strzałkach na osi czasu nie wpływa na oryginalny klip źródłowy.

INTERAKCJA/VR

360 VR Compositing.

REAL TIME

Odtwarzanie w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Nuke natywnie obsługuje dowolną liczbę strumieni obrazu, dzięki czemu praca z wieloma widokami z kamery jest prosta.

Dzięki wydajnemu stereoskopowemu przepływowi pracy wbudowanemu w aplikację podstawową, Nuke ma zestaw kompleksowych narzędzi do postprodukcji stereo i

konwersji 2D na 3D.

PIPELINE

Obsługa formatów:

- Alembic,
- Apple ProRes,
- ARRIRAW,
- AVI,
- CIN,
- DNG,
- DPX,
- DTEX,
- FBX,
- GIF,
- Radiance,
- JPEG,
- Maya IFF,
- MXF,
- OBJ,
- Open EXR,
- PNG,
- PSD,
- QuickTime,
- Avid DNxHD Notes,
- RAW,
- REDCODE,
- SGI,
- SoftImage®PIC,
- TIFF,
- Truevision® TARGA,
- Wavefront®RLA,
- XPM,
- YUW.

PROGRAMOWANIE

Python.

SILNIK GRAFICZNY

Akceleracja GPU.

GAME ENGINE

Silnik *Nuke Game Engine* umożliwia systemom zarządzania treścią oferowanie użytkownikom gier online. Jest to platforma dla programistów gier PHP, która oferuje

możliwość pisania zaawansowanych gier dla społeczności, niezależnie od systemu hosta społeczności.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.

WTYCZKI

<https://www.foxit.com/products/nuke/plug-ins>

TRIAL

Tak.

CENA

NUKE - kupno - €3,948 / wynajem €1,349 / kwartał.

NUKE X - kupno €7,458 / wynajem €2,549 / kwartał.

NUKE STUDIO - kupno - €8,683 / wynajem €2,999 / kwartał.

NUKE render license - kupno €438.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- duża szybkość odtwarzania i pracy z formatami HD, 4K, 10K,
- wysoka wydajność pracy.

MINUSY

- cena,
- nagłe opóźnienia podczas pracy, zacina się,
- niektóre wtyczki innych firm działają wolno,
- skomplikowana obsługa.

OCENA/WNIOSKI

Jest to program stricte do komponowania, a nie edycji obrazu. Jest przeznaczony do pracy z planami / zdjęciami osobno: każde zdjęcie oznacza osobny skrypt. Jednak w porównaniu np. z After Effects ideologia osi czasu Nuke jest raczej słaba, połączenie dwóch obrazów nie jest łatwym zadaniem, a można je wykonać za pomocą dwóch kliknięć w innych programach.

3.4.5. Notch

<https://www.notch.one/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Program z przepływem pracy w czasie rzeczywistym do produkcji treści wideo, efektów wizualnych na żywo, VR i interaktywnych doświadczeń.

INTERFEJS

Interfejs użytkownika jest podzielony na kilka głównych sekcji:

1. Okno zasobów, w którym można zaimportować wszystkie pliki multimedialne do wykorzystania.
2. Okno właściwości, w którym atrybuty węzłów można zmienić lub zmienić dla różnych wariantów efektu.
3. Rzutnia, gdzie scena jest złożona i wyświetlane są wyniki.
4. Okno *Nodegraph*, w którym węzły są łączone w celu utworzenia efektu.
5. Oś czasu, do edycji razem wielu efektów w tym samym projekcie.
6. Edytor krzywych, do edycji klawiszy animacji i interpolacji.
7. Tracker, do śledzenia (kluczy) animacji i czasów.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

RGB, HSB, Web Colours.

MODELOWANIE/RZEźBIENIE

Tak, zasób obiektu 3D należy ustawić za pomocą właściwości Object. Nie ma możliwości edycji złożonej geometrii. Gotowe modele trzeba zaimportować.

TEKSTUROWANIE

Węzły materiałowe kontrolują interakcje światła z powierzchniami obiektów.

KOLOR KOREKCJA

Gradacja kolorów: węzeł zmienia rozkład kolorów na obrazie.

Klasyfikacja filmu: węzeł stosuje efekt gradacji filmu do obrazu.

TRACKING

Sprzętowa (za pomocą *hardware*) kamera śledząca odbiera dane z zewnętrznych systemów śledzenia kamer i wspomaga system NCAM.

Dane z Camera Frustum są odbierane z systemu śledzenia (Pozycja, Obrót, Pole widzenia) i aktualizuje kamerę w czasie rzeczywistym.

KOMPOZYCJA

Ogromne możliwości komponowania, również w źródłach wideo na żywo.

RENDEROWANIE

Renderowanie proceduralne. Obsługa WYSIWYG.

Wbudowany własny silnik oparty na DirectX.

ANIMACJA

Animacja 2D i 3D.

WARSTWY

Tak.

ROTOSKOPIA

VFX/CGI

Kompleksowe narzędzie do prac z zakresu VFX/CGI.

Kompletny, kontrolowany i zintegrowany silnik efektów wizualnych w czasie rzeczywistym.

3D

Węzeł renderuje obiekt 3D, który został zaimportowany z pliku zewnętrznego w jednym z obsługiwanych formatów plików obiektów 3D: Lightwave LWO, Wavefront OBJ, Cinema4D i FBX.

Oprócz renderowania bezpośrednio, węzły obiektów 3D mogą być również używane jako dane wejściowe dla różnych innych węzłów, w tym emiterów siatki cząstek, emiterów obiektów 3D pola, klonowania siatki, klonowania objętości, afektorów kolizji (*Collision Affectors*) i wielu innych.

ANIMACJA POSTACI

Riggowanie za pomocą takich narzędzi jak:

- *Rigid Body,*
- *Rigid Body Collision Mesh,*
- *Rigid Body Force Affector,*
- *Rigid Body Procedural,*
- *Rigid Body Root.*

KLUCZOWANIE

Automatyczna maska koloru klucza.

Węzeł automatycznie tworzy maskowaną maskę wideo.

OŚWIETLENIE

Pełna manipulacja i kontrola nad światłem.

Węzły oświetleniowe to węzły sterujące oświetleniem w scenie. Większość emituje światło z różnych kształtów lub przedmiotów, ale niektóre kontrolują sposób, w jaki światło jest emitowane lub rozpraszane na scenie.

DYNAMIKA

Węzły umożliwiają tworzenie prostych układów fizycznych i ruchów dynamicznych dla obiektów w scenie.

Zasadniczo tworzy system fizyki, łącząc obiekty 3D i kształty 3D z "sztywną" animacją ciała i dostosowuje ich wewnętrzne atrybuty fizyki. W przypadku używania dużej liczby podobnych obiektów możesz użyć sztywnego efektora w systemie klonów.

Manipulacja za pomocą:

- *Rigid Body* (fizyka "sztywna" ciała),
- *Rigid Body Collision Mesh* (siatka kolizyjna),
- *Rigid Body Force Affector* (czujniki do "sztywnej" fizyki),
- *Rigid Body Procedural* (procedury dotyczące "sztywnego" ciała),
- *Rigid Body Root* (sztywne korzenie ciała).

SYMULACJE

Węzły cząstek są węzłami stosowanymi w układzie cząstek.

System zaczyna się od węzła głównego cząstek i jest zbudowany z węzłów emiterów, affektorów i *shaderów*, zanim ostatecznie zostanie renderowany do kamery za pomocą węzła renderującego.

SKRYPTY

Węzły skryptowe pozwalają na skryptowanie zachowania projektu za pomocą Javascript.

EDYCJA VIDEO

Tak.

INTERAKCJA/VR

VR z przepływem pracy WYSIWYG w czasie rzeczywistym:

1. Profesjonalne narzędzie do grafiki ruchomej.
2. Błyskawiczne renderowanie wideo VR 360.
3. Interaktywny VR bez kodowania.
4. Obsługa wideo Oculus, Vive / SteamVR, VR / 360.
5. Tworzenie i edycja w czasie rzeczywistym.
6. Eksport do sklepów VR.

Interaktywne węzły dają dane wyjściowe oparte na różnego rodzaju wejściach na żywo. Większość działa z wartościami liczbowymi, chociaż węzeł kanału RSS i selektor tekstu RSS generują ciąg tekstowy, a selektor myszy generuje dane translacji.

Interaktywne węzły można zastosować do prawie dowolnego atrybutu węzła, wystarczy dwukrotnie kliknąć węzeł w węzle węzłów, aby wyświetlić jego rozwijaną listę atrybutów i połączyć się z kwadratem obok atrybutu. Jeśli atrybutu nie ma na liście rozwijanej, nie można go zmodyfikować za pomocą węzła interaktywnego.

REAL TIME

Real time tracking.

Zintegrowany silnik efektów wizualnych w czasie rzeczywistym.

VR z kontrolą w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Obsługa Kinect i kamery stereofonicznej.

PIPELINE

Obsługuje szeroką gamę kodeków.

Niektóre są obsługiwane natywnie i można je odtwarzać bez modyfikacji. Inne są automatycznie transkodowane do *NotchLC* podczas importu.

Lista kodeków wideo z natywną obsługą:

- NotchLC,
- DXV2,
- HAP,
- HAPQ,
- Photo JPEG,
- Animation.

Kodeki, które można automatycznie transkodować podczas importu:

- H.263,
- H.264 / AVC / MPEG-4 AVC / MPEG-4,
- HEVC,
- Magic YUV,
- DNxHD,
- MPEG 1 / 2 / 4,
- VP8 / VP9.

PROGRAMOWANIE

Tak.

SILNIK GRAFICZNY

GPU.

GAME ENGINE

Nie.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS - wygaszane.

WTYCZKI

<http://manual.notch.one/0.9.22/en/search?q=plugin>

TRIAL

Tak.

CENA

Learning - £99 / licencja wieczysta.

Base - £99 / miesiąc.

Professional - £2,100 / 1 rok.

£1,750 / rok / odnowa licencji.

£189 / miesiąc.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- pełna obsługa VR,
- praca w czasie rzeczywistym,
- czytanie kanałów RSS,
- pełna obsługa urządzeń VR, również kilku jednocześnie.

MINUSY

- cena,
- brak możliwości modelowania.

OCENA/WNIOSKI

Notch to zestaw narzędzi do wizualizacji, który pozwala tworzyć wrażenia wirtualnej rzeczywistości (VR) bez konieczności pisania kodu. Został stworzony w celu uproszczenia przepływu pracy użytkownika i skrócenia czasów renderowania. Jako jedyny program całkowicie działa w czasie rzeczywistym, dzięki czemu zmiany są natychmiast widoczne. Pozwala na tworzenie prawdziwego środowiska VR, w przeciwieństwie do pracy z innymi narzędziami, Notch pozwala skupić się na artystycznej stronie projektu bez zagłębiania się w techniki VR. Program jest częścią całej rodziny narzędzi do generowania obrazów i VR na żywo, na potrzeby wydarzeń, koncertów czy instalacji artystycznych. Notch był

używany podczas takich wydarzeń jak trasa koncertowa U2 czy spektakl Frozen, wystawiony na Broadwayu. Wykorzystywanie programu Notch w takich realizacjach potwierdziło jego pozycję na rynku jako lidera w wirtualnej rzeczywistości generowanej live. Podczas pracy z programem zauważyliśmy, że wielu aspektach łączy w sobie funkcjonalności i narzędzia znane nam z Cinema 4D oraz Houdini. Program jest kompletnym zestawem narzędzi do klonowania obiektów, łączenia ich z cząsteczkami, płynami, efektami teksturowania, oświetlania i innych manipulacji postprodukcyjnych w czasie rzeczywistym i dużych rozdzielczościach. Sceny mogą być sterowane przez dane wejściowe MIDI, wideo lub przechwytywania ruchu - zarówno strumieniowo na żywo, jak i offline - a oprogramowanie integruje się również z Microsoft Kinect i Intel RealSense 3D co było wielką zaletą programu. Autorski kodek NotchLC do odtwarzania i renderowania wideo, jest przeznaczony do transkodowania GPU i zapewnia lepszą jakość obrazu niż istniejące kodeki QuickTime czy Hap lub Hap Q. Wielką zaletą Notch jest obsługa wielu urządzeń VR jednocześnie.

3.5.6. Eyeon Fusion - Blackmagic Design

<https://www.blackmagicdesign.com/products/fusion/>

LICENCJA

Otwarta.

OPIS

Program do kompozitingu obrazu.

INTERFEJS

Interfejs oparty na węzłach.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Logarytmiczna i linearna, obsługa wszystkich standardów.

32-bitowy zmiennoprzecinkowy strumień kolorów Fusion, zintegrowany z Open Color I/O i obszerny zestaw narzędzi do przetwarzania prawdziwej liniowości, konwertowania przestrzeni kolorów i monitorowania wyświetlania, wraz z zakresami analizy ułatwia precyzyjne przetwarzanie kolorów.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Można tworzyć własne obiekty 3D za pomocą wbudowanych narzędzi do rysowania i prymitywów.

Dostępna biblioteka podstawowych obiektów i kształtów.

TEKSTUROWANIE

Tak.

KOLOR KOREKCJA

Tak, za pomocą DaVinci Resolve, obsługa plików LUT.

TRACKING

1. Śledzenie kamery.

Analizuje ruch kamery w ujęciach na żywo i odtwarza ruch kamery 3D, ogniskową obiektywu i tworzy chmurę punktów sceny 3D.

2. Śledzenie planarne.

Śledzi obszary obrazu, automatycznie wyszukując szczegóły śledzenia, a następnie oblicza płaszczyzny ruchu, które można użyć do przypięcia narożnika i stabilizacji obrazów.

3. Szybkie śledzenie ruchu.

Dopasowuje ruchy, stabilizuje kamery i śledzi punkty rotoskopu lub maluje pociągnięcia, aby obiekty i efekty płynnie się ze sobą łączyły w idealnej synchronizacji.

Program może automatycznie śledzić, dopasowywać ruch i stabilizować obiekty na zdjęciach. Można nawet użyć nowego narzędzia do śledzenia płaskiego, aby zamieniać znaki lub inne płaskie obiekty podczas ruchu. Dostępny jest również nowy moduł śledzący kamery, który analizuje i dopasowuje ruch kamery na żywo, która została użyta do kręcenia sceny.

KOMPOZYCJA

Prawdziwy *compositing* 3D.

Łączy akcję na żywo z modelami 3D, kamerami, światłami i innymi elementami w prawdziwej przestrzeni roboczej 3D, aby stworzyć fotorealistyczne efekty i animację.

Deep Pixel Compositing.

Przekazuje informację o kolorze RGB, jak i informacji o pozycji XYZ w każdym pikselu, korzystając z plików OpenEXR, dzięki czemu można mieszać obrazy 2D z elementami 3D, takimi jak mgła wolumetryczna i światła z interaktywnym sterowaniem.

RENDEROWANIE

Super szybki silnik renderujący w jakości produkcyjnej. Można dystrybuować zadania renderowania na nieograniczonej liczbie komputerów w sieci.

Nie ma opłat licencyjnych za renderowanie „na węzeł”.

Renderowanie wielokanałowe.

ANIMACJA

Tak, animacja 2D i 3D, możliwość importu modeli z innych środowisk. Animacja oparta na splajnach.

Edytor krzywych używa *splajnow* do tworzenia płynnego ruchu między klatkami kluczowymi. Mogą być interpolowane jako liniowe, Beziera lub jako *b-splajny*. Umożliwia to stosowanie niestandardowych krzywych do zapętlenia, odwracania lub ping-ponga między klatkami kluczowymi w celu tworzenia animacji. Można także przenosić, rozciągać i wyciskać grupy klatek kluczowych.

Wyrażenia i makra.

Można połączyć parametry razem i dodać zaawansowane wyrażenia, które kontrolują relacje między nimi za pomocą jednego suwaka. Wbudowana funkcja makr pozwala tworzyć i udostępniać narzędzia, które wyświetlają tylko żądane elementy sterujące.

WARSTWY

Praca oparta na węzłach.

Import plików Photoshop z zachowaniem warstw, które są automatycznie konwertowane na węzły.

ROTOSKOPIA

Rotoskopia planarna.

Stosuje płaskie dane śledzenia do elementów rotoskopowych, aby poruszały się prawidłowo i podążały za ruchem i perspektywą innych obiektów na zdjęciu.

Malowanie wektorowe i rotoskopia.

Zaawansowane narzędzia do malowania wektorowego i rotoskopii pozwalają tworzyć maski do stosowania efektów i poprawek do określonych części obrazu.

Narzędzie do rotoskopii wykorzystuje kształty do izolowania aktorów lub obiektów od innych elementów w ujęciu. Narzędzia *Fusion* i *B-splajn* pozwalają szybko rysować, śledzić i animować niestandardowe kształty. Dane śledzenia płaskiego mogą być używane w kształtach, dzięki czemu nie trzeba ręcznie animować ruchu, perspektywy, pozycji, skali lub obrotu w miarę zmiany obrazu.

VFX/CGI

Posiada w pełni oparty na węzłach interfejs 3D, może importować modele 3D i sceny z popularnych aplikacji oraz ma setki narzędzi, efektów i filtrów do tworzenia przekonujących i realistycznych efektów wizualnych.

3D

1. Tworzenie animacji 3D.

Tworzenie zaawansowanej grafiki ruchowej z głębią, możliwość łączenia grafiki wektorowej, akcji na żywo i obiektów 3D.

2. Importowanie i renderowanie modeli 3D.

Importuje pełne modele 3D z aplikacji takich jak Maya, 3ds Max i Cinema 4D, a następnie można je modyfikować za pomocą narzędzi służących do oświetlenia, cieniowania, kompozycjonowania i renderowania z pełnym przyspieszeniem GPU.

3. Cząsteczki 3D.

Generator cząstek 3D, który można użyć do symulacji realistycznego śniegu lub deszczu, wraz z fizyką, taką jak grawitacja, unikanie i odbijanie. Możliwość dodania sił behawioralnych, służących do tworzenia np. stada ptaków lub innych zwierząt.

ANIMACJA POSTACI

Tak, można *riggować* postacie.

KLUCZOWANIE

Narzędzia *Delta Keyer* i *Clean Plate*.

Kluczowanie z dowolnego koloru tła, dowolnych elementów nawet takich jak włosy.

Potężne kluczowanie.

Wprowadź dowolny element, używając nowego klucza *Delta*, *Primatte*, *Ultra*, *Chroma*, *Luma* i mechanizmu różnicowego, aby stworzyć najlepszy możliwy kompozyt.

OŚWIETLENIE

Realistyczne oświetlenie i zacienienie.

Program pozwala dodawać nieograniczone, konfigurowalne źródła światła i kontrolować, jak elementy w kadrze reagują na oświetlenie.

Kontrola światła otoczenia, kierunkowego i punktowego.

DYNAMIKA

Cząsteczki 3D z fizyką, taką jak unikanie, grawitacja i odbicie.

Cząsteczki mogą korzystać z geometrii 3D, zmieniać kolor w czasie ich trwania, a nawet emitować inne cząsteczki.

SYMULACJE

Efekty wolumetryczne, atmosferyczne, takie jak mgła.

SKRYPTY

Skrypty i automatyzacja, Fusion obsługuje zarówno Lua, jak i Python.

Gotowe skrypty do automatyzacji typowych przepływów pracy.

EDYCJA VIDEO

Tak, wbudowany Studio Player.

INTERAKCJA/VR

Obsługa wszystkich głównych zestawów VR w tym Oculus Rift i HTC Vive, wyświetlanie w czasie rzeczywistym interaktywności ze scenami VR, obsługa stereoskopowego VR. Pełną panoramiczną przestrzeń roboczą 360°, która jest całkowicie interaktywna. Można pracować w VR podczas noszenia zestawu słuchawkowego i uzyskać ponad 90 klatek na sekundę interaktywności.

REAL TIME

Podgląd pracy w czasie rzeczywistym.

Skrypty w czasie rzeczywistym.

Procesor graficzny przyspieszony dla interaktywności i renderowania w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Obsługa stereoskopowego VR i 360°, kamera sferyczna 360° renderuje kompletne sceny.

Kompleksowe narzędzia stereoskopowe.

Konwersja 2D na 3D.

PIPELINE

Obsługa prawie wszystkich dostępnych na rynku formatów plików 2D, 3D, video, audio, VR, stereo.

PROGRAMOWANIE

FusionScript.

SILNIK GRAFICZNY

Obsługa akceleracji GPU Metal, CUDA i OpenCL.

GAME ENGINE

SYSTEM OPERACYJNY

1. Windows.
2. MacOS X.
3. Linux.

WTYCZKI

Fusion Studio ma obsługę wtyczek OpenFX, w tym GenArts i RE: Vision Effects.

Własny natywny zestaw SDK dla rozszerzonych wtyczek 2D i 3D.

TRIAL

Nie.

CENA

\$299 / 1 395,00 zł / stacje robocze z donglem USB.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- prawdopodobnie najszybszy na świecie silnik renderujący w jakości produkcyjnej,
- darmowe rendery sieciowe,
- profesjonalne wsparcie,
- duża kompatybilność,
- cena.

MINUSY

- opcje edycji LUT nie są synchronizowane z aktualnie wybranym plikiem LUT podczas uruchamiania programu,
- problem z Python 3.6,
- sporadyczne błędy w renderach,
- problem z identyfikacją plików FFmpeg w Linuxie.

OCENA/WNIOSKI

Mimo, że Fusion jest oparty o nody a nie warstwy, praca w programie w wielu miejscach przypomina pracę w Adobe After Effects. Program łączy w sobie funkcję służące do animacji, efektów specjalnych, 3D, w pełni obsługuje VR i współpracuje z takimi programami jak Maya, 3Ds Max i Cinema 4D. Program jest prawdziwym kombajnem, jest bardzo rozbudowany i opanowanie wszystkich funkcji jest czasochłonne.

3.5.7. Action Pro

<https://fxhome.com/action-pro>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Oprogramowanie do animacji 2D i 3D, w którym tworzy się animację 3D za pomocą odpowiedniej metody w trybie 2D.

Projektowane elementy w czasie rzeczywistym są automatycznie przetwarzane do trybu 3D.

INTERFEJS

Prosty, przejrzysty interfejs, wbudowana biblioteka skrótów.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Wsparcie dla Rec 601, 709, 2020.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Podstawowa edycja prostych obiektów.

TEKSTUROWANIE

KOLOR KOREKCJA

TRACKING

KOMPOZYCJA

RENDEROWANIE

ANIMACJA

Wbudowane presety animacji.

Pełna kontrola prędkości odtwarzania i animacji w czasie rzeczywistym w pełnej rozdzielczości.

WARSTWY

ROTOSKOPIA

VFX/CGI

3D

Rysowanie z pełną elastycznością 3D.

Można łatwo kondensować, rozciągać i wygładzać animację.

Kamera ortograficzna lub swobodna perspektywa.

ANIMACJA POSTACI

KLUCZOWANIE

OŚWIETLENIE

DYNAMIKA

SYMULACJE

SKRYPTY

EDYCJA VIDEO

INTERAKCJA/VR

REAL TIME

Podgląd pracy w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

PIPELINE

Formaty importu: standardowe formaty, w tym JPEG i PNG.

Formaty specjalistyczne, w tym: CSV.

Formaty eksportu: shot kompozytowy HitFilm.

PROGRAMOWANIE

SILNIK GRAFICZNY

Akceleracja GPU.

GAME ENGINE

Kompatybilny i Unreal i Unity.

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. MacOS.

WTYCZKI

Poprzez Ignite Pro.

TRIAL

Tak.

CENA

Licencja na 3 stanowiska - €99. W tym rok pomocy technicznej i aktualizacji.

POPULARNOŚĆ

Niska.

PLUSY

- współpraca z Leap Motion,
- integracja z Adobe After Effects i Adobe Premiere Pro,
- wsparcie dla urządzeń VR.

MINUSY

- ograniczone możliwości animacyjne i kompozycyjne,
- wymaga dużo miejsca pod instalację

OCENA/WNIOSKI

Action Pro to przede wszystkim potężne narzędzie do rejestrowania ruchu w świecie rzeczywistym i przekształcania go w ścieżki, które można wykorzystać do animacji w innym oprogramowaniu i pod tym względem jest unikatowy na liście testowanych przez nas programów. Utworzone ścieżki można następnie udoskonalić, zmodyfikować lub połączyć i wyeksportować do formatu, który pozwala na użycie ich jako ścieżek ruchu do efektów wizualnych, animacji lub innej animacji. Jeśli chodzi o przekształcanie danych, był to z pewnością program, który wyróżniał się na tle innych.

3.5.8. Kite Compositor

<https://kiteapp.co/>

LICENCJA

OPIS

Narzędzie do animacji i prototypowania na kanwie WYSIWYG.

INTERFEJS

Adaptacyjny, skalowalny interfejs. Prosty w obsłudze.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

TEKSTUROWANIE

KOLOR KOREKCJA

TRACKING

KOMPOZYCJA

RENDEROWANIE

Render w czasie rzeczywistym.

Wbudowany silnik *Core Animation*.

ANIMACJA

Animacja na osi czasu.

Edycja ścieżki.

Za pomocą narzędzia Pióro można edytować ścieżki animacji i kształtować warstwy bezpośrednio na kanwie.

WARSTWY

Tak.

ROTOSKOPIA

VFX/CGI

3D

Tak. Podstawowe funkcje.

ANIMACJA POSTACI

KLUCZOWANIE

OŚWIETLENIE

DYNAMIKA

SYMULACJE

SKRYPTY

Wbudowany silnik skryptów JavaScript. Scripting API.

EDYCJA VIDEO

Tak, na osi czasu.

INTERAKCJA/VR

REAL TIME

Renderowanie w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

PIPELINE

PROGRAMOWANIE

SILNIK GRAFICZNY

GAME ENGINE

SYSTEM OPERACYJNY

1. MacOS.

WTYCZKI

Integrate with Adobe XD CC.

TRIAL

Tak.

CENA

\$99.00.

POPULARNOŚĆ

Duża.

PLUSY

- cena,

MINUSY

- problem z importowaniem niektórych plików,

OCENA/WNIOSKI

3.5.9. ButtleOFX

<https://buttleofx.wordpress.com/>

LICENCJA

Otwarta.

OPIS

Proste, przyjazne dla użytkownika oprogramowanie do komponowania obrazu i efektów specjalnych oparte na węzłach.

Opiera się na TuttleOFX, otwartej, modułowej i zrównoważonej architekturze przetwarzania obrazu.

INTERFEJS

Łatwy i przyjemny w obsłudze, trzy różne układy *Workspace* w zależności od potrzeb.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Przestrzeń kolorów HSL/RGB.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

TEKSTUROWANIE

KOLOR KOREKCJA

Tak.

TRACKING

KOMPOZYCJA

Tak. Praca oparta na węzłach.

Zarządzanie czasem za pomocą klatek kluczowych dla każdego parametru.

RENDEROWANIE

Akceleracja GPU.

ANIMACJA

Intuicyjny edytor grafów do łączenia węzłów (IO, transformacje kolorów, geometria, wypalanie tekstu).

Edytor parametrów do dostosowywania efektów.

WARSTWY

ROTOSKOPIA

VFX/CGI

Tak.

3D

Tak.

ANIMACJA POSTACI

KLUCZOWANIE

OŚWIETLENIE

DYNAMIKA

SYMULACJE

SKRYPTY

C++.

Python.

EDYCJA VIDEO

Tak, na osi czasu.

INTERAKCJA/VR

Wsparcie dla VR.

REAL TIME

STEREOSKOPIA

PIPELINE

Do importu i eksportu ButtleOFX korzysta z różnych bibliotek stron trzecich za pośrednictwem własnego wewnętrznego systemu wtyczek: OpenImageIO, ImageMagick, LibRaw, OpenJPEG, OpenEXR, TurboJPEG. Ma również własny kod do obsługi plików DPX. Wtyczka wideo oparta jest na bibliotece Libav. Interfejs użytkownika jest tworzony za pomocą QML, języka deklaratywnego Qt.

PROGRAMOWANIE

Python.

SILNIK GRAFICZNY

1. GPU.

GAME ENGINE

SYSTEM OPERACYJNY

1. Microsoft Windows.
2. Linux.

WTYCZKI

Pełna obsługa OpenFX.

<http://www.tuttleofx.org/user-documentation/plugins>

TRIAL

Tak.

CENA

0 PLN.

POPULARNOŚĆ

Mała.

PLUSY

- prosta kontrola efektów specjalnych,
- minimalne wymagania systemowe,

- automatyczna obsługa wtyczek OFX.

MINUSY

- problemy przy imporcie niektórych formatów,
- brak wsparcia technicznego,
- brak materiałów edukacyjnych.

OCENA/WNIOSKI

Program posiada liczne ograniczenia, na tym etapie nadaje się tylko do prostego kompozitingu obrazu. Wiele funkcji jest nadal w fazach beta, są rozwijane i poprawiane, większość potrzebnych narzędzi jest dostępna jako wtyczki, na tym etapie, program daje nam za mało możliwości i nie nadaje się do użytku. Większe możliwości oferuje również darmowy Natron.

3.5.10. Apple Motion

<https://www.apple.com/final-cut-pro/motion/>

LICENCJA

Zamknięta.

OPIS

Apple Motion służy do animowania i tworzenia efektów specjalnych 2D i 3D.

INTERFEJS

Interfejs Motion jest podzielony na kilka obszarów funkcjonalnych.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Rec. 709, Rec. 2100 i Rec. 2020.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Podstawowe operacje na prostych bryłach.

TEKSTUROWANIE

Tak, podstawowe narzędzia.

KOLOR KOREKCJA

Zaawansowane filtry do gradacji kolorów, takie jak koła kolorów, krzywe kolorów i krzywe barwy i nasycenia. Obsługa plików LUT.

TRACKING

Tracking 3D.

KOMPOZYCJA

Tak, Motion zawiera solidny zestaw narzędzi do tworzenia trójwymiarowych warstw, które przecinają się i oddziałują na siebie.

RENDEROWANIE

Kilka opcji renderowania do wyboru.

ANIMACJA

Motion Graphics dla Final Cut Pro.

WARSTWY

Tak.

ROTOSKOPIA

Nie.

VFX/CGI

Efekty specjalne stosowane do warstw wizualnych, podstawowe narzędzia

3D

Obsługa modeli 3D.

ANIMACJA POSTACI

Nie.

KLUCZOWANIE

Tak.

OŚWIETLENIE

Tak, podstawowe funkcje. Symulowane źródła oświetlenia, które można skierować na dowolną widoczną warstwę na płótnie.

DYNAMIKA

Nie.

SYMULACJE

Wbudowany generator cząsteczek.

SKRYPTY

Nie.

EDYCJA VIDEO

Tak.

INTERAKCJA/VR

Wsparcie dla 360°.

REAL TIME

Edycja w czasie rzeczywistym.

STEREOSKOPIA

Obsługa stereoskopowego 3D i 360°.

PIPELINE

Obsługa OpenEXR. Pełna kompatybilność z programami Apple.

Formaty wideo:

Apple Animation codec, Apple Intermediate codec, Apple ProRes (all versions), Apple ProRes RAW and Apple ProRes RAW HQ, AVCHD (including AVCCAM, AVCHD Lite, and NXCAM), AVC-ULTRA (including AVC-LongG, AVC-Intra Class 50/100/200/4:4:4, and AVC-Intra LT), DV (including DVCAM, DVCPRO, and DVCPRO50), DVCPRO HD, H.264 (AVC), H.265 (HEVC) (requires macOS High Sierra 10.13), HDV, iFrame, Motion JPEG, MPEG IMX (30 Mbps, 40 Mbps, 50 Mbps), QuickTime formats (in macOS Catalina, Motion does not support 32-bit-only QuickTime formats), Uncompressed 8- and 10-bit 4:2:2, XDCAM HD/EX/HD422, XF-AVC, XF-HEVC.

Container:

3GP, AVI, MOV (QuickTime), MP4, MTS/M2TS, MXF.

Formaty obrazów:

BMP, GIF, HEIF (requires macOS High Sierra 10.13), JPEG, PNG, PSD (merged and layered) SGI, TIFF, TGA, OpenEXR.

Inne formaty:

PDF.

Formaty audio:

AAC (listed in the Finder with the .m4p filename extension), AIFF, CAF, MP3, MP4, WAV.

PROGRAMOWANIE

Nie.

SILNIK GRAFICZNY

1. GPU.
2. CPU.

GAME ENGINE

Nie.

SYSTEM OPERACYJNY

1. MacOS.

WTYCZKI

Ekosystem wtyczek FxPlug.

TRIAL

Tak.

CENA

\$49.99.

POPULARNOŚĆ

Mała.

PLUSY

- cena,
- bardzo dobrze działający Chroma Key.

MINUSY

- integracja z Final Cut Pro X ogranicza się do eksportowania szablonów,
- brak importu EPS,
- problemy z przezroczystością,
- brak obsługi stereoskopowego 3D.

OCENA/WNIOSKI

Program działa tylko na platformie Mac i służy przede wszystkim do pracy z napisami.

3.6. Wnioski z przeglądu programów do animacji 2D i 3D

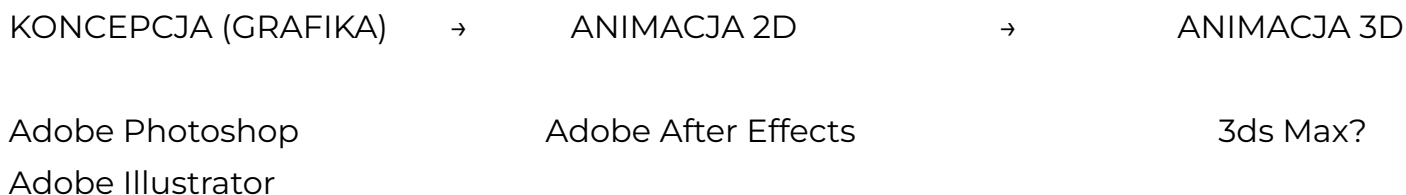
Po przetestowaniu wszystkich powyższych programów, porównaniu poszczególnych parametrów i możliwości oraz cen stwierdziliśmy, że najlepszym i najbardziej optymalnym programem do tworzenia grafiki dla nas, są programy z pakietu Adobe Creative Suite, które łączą różne funkcjonalności i są kompatybilne między sobą oraz współpracują z wieloma innymi programami.

Aby móc kompleksowo pracować zarówno z grafiką i animacją 2D i 3D postawiliśmy stworzyć workflow oparte na programach do projektowania takich jak Adobe Photoshop (grafika rastrowa) i Adobe Illustrator (grafika wektorowa) połączonych z programem do animacji 2D - Adobe After Effects, wsparty programem do animacji 3D - 3ds Max?????

Największy wybór dotyczył programów graficznych, gdzie mogliśmy wybierać wśród wielu alternatyw dla programów z rodziny Adobe. Wiele z nich ma narzędzia i funkcjonalność podobną do PS i Ai, jednak problemy pojawiają się na etapie eksportu i przenoszenia danych do innych programów, nie są również tak zoptymalizowane. Większość z nich jest również mało stabilna, pozbawiona wsparcia technicznego, i przestarzała w porównaniu do wspomnianych programów. Nie daje to komfortu pracy, powoduje opóźnienia w całym procesie, oraz niespodziewane problemy techniczne na różnych etapach pracy. Dodatkowo każdy z programów ma podobny interfejs użytkownika, przez co są intuicyjne w obsłudze.

Powyższy workflow daje nam dość dużą elastyczność, wszystkie programy obsługują te same formaty, możemy płynnie eksportować pracę z jednego do drugiego programu bez obaw o wyeksportowane dane.

Są to również bardzo popularne rozwiązania, gwarantujące ciągłe wsparcie techniczne, aktualizacje, do których pojawiają się często nowe dodatki w postaci wtyczek, nowych silników renderujących czy wsparcia dla nowych na rynku formatów. Taki wybór gwarantuje nam także dostęp do wysokiej jakości specjalistów, ponieważ zdecydowaliśmy się na wykorzystanie jednych z najbardziej popularnych programów. W grafice Adobe od wielu lat jest monopolistą a jego programy i formaty plików (zwłaszcza PDF) wyznaczają światowe standardy stąd wybór takiego workflow jest również bardzo bezpieczną opcją.



3.7. Słownik pojęć

LICENCJA

Licencja oprogramowania jest to umowa na korzystanie z utworu, jakim jest aplikacja komputerowa, zawierana jest pomiędzy podmiotem, któremu przysługują majątkowe prawa autorskie do utworu (twórcą), a osobą, która zamierza z danej aplikacji korzystać (użytkownikiem).

Umowa taka powinna określać przede wszystkim pola eksploatacji, czyli warunki, na jakich licencjobiorca jest uprawniony do korzystania z programu. W Polsce ustawa o prawie autorskim i prawach pokrewnych jako podstawowe elementy określające pola eksploatacji wskazuje zakres, miejsce i czas korzystania z utworu, przy czym jest to wyliczenie przykładowe i strony umowy mogą dowolnie kształtować charakter licencji (biorąc jednak pod uwagę treść przepisów ustawowych, których strony nie mogą modyfikować – tzw. *ius cogens*).

Rozróżniamy następujące rodzaje licencji:

- licencje niewyłączne, w których udzielający licencji może zezwolić na korzystanie z utworu wielu osobom równocześnie, które nie muszą mieć formy pisemnej,
- licencje wyłączne (rzadkość w przypadku aplikacji komputerowych), spotykane głównie w przypadku znacznych kontraktów np. na wykonanie systemów bankowych itp.,
- sublicencja, w której licencjobiorca może udzielić dalszej licencji, pod warunkiem wszakże takiego upoważnienia w jego umowie licencyjnej.

Użytkownicy komputerów najczęściej mogą spotykać się z licencją w odniesieniu do tzw. licencji użytkownika (EULA), które są używane przez producentów oprogramowania do wiązania użytkowników dodatkowymi ograniczeniami.

Licencja GPL (GNU General Public License), która jest licencją wolnego i otwartego oprogramowania i inne licencje FLOSS (ang. *free and open-source software*) są reakcją na restrykcyjność licencji na oprogramowanie własnościowe.

Otwarte oprogramowanie (ang. *open source movement lub free software*) – rodzaj oprogramowania komputerowego, w którym kod źródłowy jest wydawany na podstawie licencji, na mocy której właściciel praw autorskich przyznaje użytkownikom prawa do badania, zmiany i rozpowszechniania oprogramowania w ramach licencji wolnego oprogramowania. Oprogramowanie o otwartym kodzie źródłowym jest zazwyczaj rozwijane przez szeroką społeczność programistów. W naszym zestawieniu jest to np. program Blender.

INTERFEJS

Interfejs użytkownika, UI (ang. *user interface*)

Jest to przestrzeń, w której następuje interakcja człowieka z maszyną.

W technice interfejs użytkownika to część urządzenia lub oprogramowania odpowiedzialna za interakcję z użytkownikiem. Człowiek nie jest zdolny do bezpośredniej komunikacji z maszynami. Aby było to możliwe, są one wyposażone w urządzenia wejścia-wyjścia tworzące interfejs użytkownika. Do najczęściej stosowanych zaliczają się:

- wiersz poleceń (CLI) – urządzenie wejściowe to klawiatura, a wyjściowe to drukarka lub wyświetlacz w trybie znakowym,
- interfejs tekstowy (TUI) – urządzenie wejściowe to klawiatura lub myszka, a wyjściowe to wyświetlacz w trybie znakowym,
- interfejs graficzny (GUI) – wejście to urządzenie wskazujące (zwykle myszka), a wyjściowe to wyświetlacz graficzny,
- interfejs strony internetowej (WUI) – wejście i wyjście jest realizowane poprzez stronę internetową wyświetlaną w przeglądarce,
- interfejs głosowy (VUI) – urządzenie wejściowe to mikrofon, a wyjściowe to głośniki,
- interfejs gestowy – urządzenie wejściowe to ciało ludzkie lub specjalny kontroler, a wyjściowe to wyświetlacz graficzny; przykładem jest Kinect dla konsoli Xbox 360.

W informatyce interfejs użytkownika to część oprogramowania zajmującą się obsługą urządzeń wejścia-wyjścia przeznaczonych dla interakcji z użytkownikiem. W komputerach zwykle za obsługę większości funkcji interfejsu użytkownika odpowiada system operacyjny, który narzuca standaryzację wyglądu różnych aplikacji. Zwykli użytkownicy postrzegają oprogramowanie wyłącznie przez interfejs użytkownika.

W projektowaniu przemysłowym interfejsem użytkownika nazywana jest przestrzeń, w której dochodzi do interakcji. Celem tej interakcji jest umożliwienie skutecznego operowania i kontroli nad maszyną. Są to np. interaktywne aspekty komputerowych systemów operacyjnych, jak również narzędzi ręcznych, ciężkich maszyn sterowniczych i kontroli procesu.

Interfejs graficzny, środowisko graficzne, GUI (ang. *graphical user interface*)

Określenie sposobu prezentacji informacji przez komputer oraz interakcji z użytkownikiem, polegającego na rysowaniu i obsługiwaniu widżetów.

Najważniejszym elementem graficznego interfejsu jest okno lub okna programu prezentowane na pulpicie. Bezpośrednio na pulpicie lub wewnątrz okna są rozmieszczone (najczęściej w formie graficznych ikon lub menu) elementy interakcyjne, zwane widżetami. Użytkownik komunikuje się z aplikacją pośrednio przez te widżety, najczęściej za pomocą myszy i klawiatury.

MODELOWANIE/RZEŻBIENIE

Modelowanie

Proces tworzenia i modyfikacji obiektów trójwymiarowych za pomocą specjalizowanego programu komputerowego, zwanego *modelerem*, który dostarcza zestawu niezbędnych narzędzi, a także często zbioru podstawowych figur (ang. *primitives*), np. prostopadłościanów, kul, torusów i innych, które można wykorzystać od razu przy budowaniu obiektów.

Wierzchołek (ang. *vertex*)

Podstawowe pojęcie grafiki trójwymiarowej opartej na tzw. siatkach wielokątów, oznaczające wierzchołek zanurzony w modelowanej przestrzeni trójwymiarowej, będący końcem pewnego odcinka (krawędzi, krzywej sklepanej). Wierzchołek może wraz ze swoim położeniem nieść także informacje, takie jak: kolor, współrzędne mapowania tekstur (ang. *texture co-ordinates*) czy waga (istotna w procesie *riggowania*).

Siatka, siatka wielokątów

Dwa lub więcej wielokątów połączonych ze sobą krawędziami. Zwykle takie siatki tworzone są z najprostszych figur geometrycznych jak trójkąty czy czworokąty wypukłe. W ten sposób można opisywać proste bryły, albo – jeśli siatka jest dostatecznie gęsta – dobrze przybliżać skomplikowane obiekty. Obiekty trójwymiarowe reprezentowane przez siatkę wielokątów pozwalają w łatwy sposób na ich poddawanie różnym modyfikacjom i deformacjom.

Siatka może być reprezentowana na kilka sposobów:

Tablica wielokątów – każdy wielokąt przechowuje współrzędne swoich wierzchołków.

Tablica wielokątów ze wskaźnikami na wierzchołki – obiekt jest reprezentowany przez dwie tablice: wielokątów i wierzchołków. Każdy wielokąt przechowuje listę indeksów do tablicy wierzchołków, natomiast tablica wierzchołków zawiera współrzędne. Dzięki temu można łatwo stwierdzić, które wielokąty mają wspólne wierzchołki, także przekształcenia obiektu są szybsze, ponieważ wspólne wierzchołki są przekształcane tylko jeden raz. Reprezentacja ta pozwala na znaczne oszczędzenie pamięci wymaganej do zapamiętania siatki, ponieważ najczęściej jeden wierzchołek jest wspólny dla wielu wielokątów.

Tablica wielokątów ze wskaźnikami na krawędzie – obiekt jest reprezentowany przez trzy tablice: wielokątów, krawędzi i wierzchołków. Każdy wielokąt przechowuje listę indeksów do tablicy krawędzi, natomiast każda krawędź przechowuje parę indeksów do tablicy wierzchołków. Dzięki temu można łatwo stwierdzić, które krawędzie są wspólne dla wierzchołków, ma to istotne znaczenie w dwóch przypadkach: modelowaniu CSG oraz symulacjach fizycznych. W obu zastosowaniach należy zagwarantować, że siatka

wielokątów reprezentuje bryłę (zamyka pewną objętość), aby stwierdzenia punkt leży wewnątrz/na zewnątrz bryły miały sens. Mając listę krawędzi można to bardzo łatwo stwierdzić, jeśli bowiem każda krawędź należy do dokładnie dwóch wielokątów, to siatka jest bryłą. Jeśli istnieją krawędzie należące do pojedynczych wielokątów, wówczas w powierzchni bryły jest „dziura” i istnieją algorytmy, które potrafią takie „dziury” wypełnić. Jeśli natomiast jakaś krawędź należy do więcej niż dwóch wielokątów, wówczas siatka nie może reprezentować bryły.

Istnieją również rozwiązania hybrydowe, np. w których ze względu na efektywność wielokąty zawierają listę indeksów do tablicy krawędzi oraz listę indeksów do tablicy wierzchołków.

NURBS (ang. *Non-Uniform Rational B-Spline*)

Popularna nazwa dla dwóch rodzajów obiektów: krzywych i powierzchni.

Kształt tych krzywych określany jest za pomocą punktów kontrolnych tworzących wielobok kontrolny. Krzywe te znakomicie nadają się do modelowania kształtów organicznych w programach do tworzenia grafiki 3D.

Powierzchnia NURBS jest matematycznie najbardziej elastyczną metodą przedstawienia powierzchni dowolnego modelu. Powierzchnia B-spline jest łatwa w modyfikacji, gdyż każdy biegun jej siatki kontrolnej wpływa na kształt powierzchni tylko w ograniczonym stopniu. Siatka kontrolna jest analogiem wieloboku kontrolnego krzywej B-spline.

Krzywa B-sklejana (ang. *B-spline*)

Jedna z najczęściej stosowanych reprezentacji parametrycznych krzywych sklejanych. Angielska nazwa spline (postulowana nazwa polska to splajn lub łącznica) wzięta się z gwary kreślarzy i odnosiła do długiej elastycznej metalowej taśmy, której używano do rysowania samolotów, samochodów, statków itp. Zawieszając odpowiednio dobrane obciążniki można było uzyskać krzywą o ciągłości geometrycznej drugiego rodzaju. Odpowiednikiem matematycznym spline jest krzywa B-sklejana trzeciego stopnia. Angielska nazwa krzywych B-sklejanych – B-spline – jest skrótem od basis spline function, co znaczy „funkcja bazowa łącznicy”.

Krzywa Béziera

Parametryczna krzywa powszechnie stosowana w programach do projektowania inżynierskiego CAD (MicroStation), tworzenia grafiki wektorowej (Corel Draw, Adobe Illustrator, Inkscape), do reprezentowania kształtów znaków w czcionkach komputerowych (TrueType, METAFONT, Type1) i systemach przetwarzania grafiki (PostScript, MetaPost) oraz w grafice wektorowej (np. format SVG).

Krzywe Béziera zostały niezależnie opracowane przez Pierre’a Béziera, francuskiego inżyniera firmy Renault, oraz Paula de Casteljaou, pracującego dla konkurencyjnej firmy Citroën. Prace nad krzywymi prowadzone były przez obu naukowców od początku lat 60. XX w., ale przez długi okres objęte ścisłą tajemnicą służbową. Dopiero pod koniec lat 60. pojawiły się pierwsze ogólnodostępne publikacje Pierre Béziera przedstawiające jego

koncepcje, natomiast prace de Casteljau koncern Citroen ukrywał jeszcze przez kilka lat – pierwsze wzmianki o nim pojawiły się dopiero w 1971, gdy prace Béziera były znane od dawna. Do rozpowszechnienia się krzywych Béziera znacząco przyczynił się A.R. Forrest artykułem *Interactive interpolation and approximation by Bezier polynomials* opublikowanym w 1972 roku w branżowym piśmie „The Computer Journal”.

Krzywe Béziera są krzywymi parametrycznymi, tzn. każda współrzędna punktu krzywej jest pewną funkcją liczby rzeczywistej będącej wspomnianym parametrem; aby określić krzywą na płaszczyźnie, potrzebne są dwie funkcje, aby określić krzywą w przestrzeni – trzy itd. Ze względu na rodzaj tych funkcji mówi się o krzywych wielomianowych oraz krzywych wymiernych. Powszechnie stosuje się również krzywe złożone z kawałków gładko połączonych krzywych wielomianowych bądź wymiernych, tzw. krzywych B-sklejanych (także: krzywych gładkich).

Niezależnie od rodzaju krzywej, na jej przebieg wpływa łamana kontrolna, określona za pomocą punktów kontrolnych, których liczba jest zwykle niewielka. Ta cecha bardzo ułatwia pracę interakcyjną, bowiem człowiek w naturalny sposób może ustalać położenie punktów i łatwo korygować błędy.

Rzeźbiarstwo cyfrowe (ang. *digital sculpting*)

Dziedzina działań twórczych, której środowiskiem jest przestrzeń cyfrowa.

Obiektem w niej może się stać dowolna forma złożona z punktów zapisanych, określonych w środowisku cyfrowym. Punkty te łączą się w odcinki i płaszczyzny, złożone siatki tworzące obiekt lub grupy obiektów. Naszym materiałem rzeźbiarskim jest ich zbiór z możliwością określenia wielu właściwości fizycznych. W zależności od użytych narzędzi i metod w dowolny sposób możemy oddziaływać na każdy element składowy obiektów i przestrzeni go otaczającej. Dostępne dziś programy pozwalają na uzyskanie geometrii naszych przedmiotów przez połączenie powierzchni siatką wielokątów, którymi możemy obracać rozciągać i przesuwać w trzech osiach określających przestrzeń. Takie operowanie siatką daje swobodę przyporządkowania gęstości na różnych częściach w obrębie jednego obiektu. Niektóre programy umożliwiają prace na różnych poziomach szczegółowości. Modyfikacja siatki jednocześnie zmienia każdy z poziomów. Inny sposób budowania obiektu polega na dodawaniu lub odejmowaniu masy. Metoda w znaczny sposób odwzorowuje uwarunkowania naturalnego rzeźbiarstwa, np. lepienie w glinie. Modelowanie woksela (objętościowe) pozwala na olbrzymią swobodę w kreowaniu topologii obiektu. Woksel jest to najmierniejszy element objętości reprezentowany jako obiekt w przestrzeni 3D (nazywany inaczej rastrem przestrzennym). Niewątpliwą zaletą jest możliwość przypisania jednostce masy właściwości. Modelowanie na poziomie atrybutów pozwala wyodrębnić w obrębie obiektu tkanki z ich gęstością. Do kontroli bardzo złożonych struktur powiązanych elementów możemy użyć koncepcje hierarchii. Elementy składowe mogą być łączone w grupy obiektów.

Gama narzędzi komunikujących artystę z przestrzenią 3D jest bardzo szeroka i dobór jej jest często wynikiem indywidualnych zapotrzebowań autora, zaczynając od myszy przez tablety do touchpadów. W dalszej kolejności w skład tych narzędzi należałoby dodać całą technologię cyfrowej obróbki i powstawania obiektów (skanery 3D, drukarki 3D, maszyny cnc). Technika w tym zakresie umożliwia nie tylko wywołanie ruchu narzędzia, ale również siłę nacisku czy kąt pochylenia. Wachlarz ten jest stale powiększany o nowsze bardziej praktyczne wykorzystanie technologii do odwzorowania ludzkich zachowań pracy z modelem. W zależności od wykorzystania rzeźbiarstwa cyfrowego w dalszej drodze ekspozycji obiektów możemy w pełni kontrolować i modyfikować ten proces przez dobór odpowiednich technik.

Obiekty te mogą mieć zastosowanie w wielu projektach, których to odbiorca poddaje się oddziaływaniu form przestrzennych (rzeźbiarskich), przez każdego rodzaju dziś dostępne medium. (gry, film, reklama, architektura, formy użytkowe, każdego rodzaju działanie na wrażliwość artystyczną przy pomocy środków technologii cyfrowych) W zależności od zastosowania modele mogą przyjmować wysoko lub nisko poligonalną formę.

TEKSTUROWANIE

Teksturowanie lub fakturowanie

Jest to technika stosowana w grafice trójwymiarowej, której celem jest przedstawienie szczegółów powierzchni obiektów przestrzennych za pomocą obrazów bitmapowych (tekstur) lub funkcji matematycznych (tekstur proceduralnych).

Tekstury (faktury) bitmapowe

To na ogół zdjęcia powierzchni rzeczywistych przedmiotów (ścian, tkanin, kory drzew, desek itp.); tekstury proceduralne to parametryzowane wzory generowane programowo, na przykład szachownica, marmur, drewno, granit, chmury. Tekstury mogą być jedno-, dwu- i trójwymiarowe.

Teksturowanie jest alternatywą dla modelowania geometrycznego, bowiem przedstawienie wszystkich detali za pomocą geometrii jest trudne, niepraktyczne i w większości przypadków niemożliwe. Specjalnym przypadkiem teksturowania jest mapowanie wypukłości oraz mapowanie normalnych, gdzie tekstura wpływa na sposób obliczania natężenia światła odbitego, symulując niewielkie nierówności powierzchni.

Powierzchnia

Zbiór punktów (miejsce geometryczne) o tej własności, iż można wokół każdego jej punktu zbudować (niewielką) sferę, która w przecięciu z tym zbiorem daje jedynie obiekty jednowymiarowe (krzywe). Jest to trójwymiarowy odpowiednik pojęcia krzywej. Powierzchnia jest także potocznym określeniem pola powierzchni.

Mapowanie tekstury (faktury)

Mapowanie określa, w jaki sposób powiązać piksele (nazywane w tym kontekście tekselemi) lub wartości funkcji z powierzchnią obiektu. Tekstury niosą informacje o barwie powierzchni, jak również innych parametrach generowanego obrazu, związanych na przykład z modelem oświetlenia: barwa światła odbitego, rozproszonego, stopień przezroczystości, współczynnik załamania światła.

Odwzorowanie współrzędnych dwuwymiarowej tekstury na współrzędne obiektu trójwymiarowego nosi nazwę – mapowanie tekstury:

1. Odwzorowanie może zostać utworzone automatycznie, w procesie generacji obiektu przez oprogramowanie.
2. Jeśli obiekt jest reprezentowany przez siatkę wielokątów projektant może określić współrzędne tekstury dla każdego wierzchołka – jest to tak zwany *UV mapping*.

3. Tekstura mapowana jest najpierw na jakąś prostą figurę przestrzenną, a następnie konkretne punkty są rzutowane na teksturowaną figurę. Używane figury:
- płaszczyzna (mapowanie płaskie),
 - sfera lub elipsoida (mapowanie sferyczne),
 - powierzchnia walca (mapowanie cylindryczne),
 - sześcián (mapowanie sześciennie, ang. *box mapping*).

Odwzorowanie jest wykonywane w lokalnym układzie współrzędnych obiektu, co sprawia, że tekstura jest „przyklejona” na stałe do obiektu, nadając jego powierzchni pożądany charakter. Rzadziej tekstura jest ruchoma względem obiektu; w grafice czasu rzeczywistego (np. grach komputerowych), w ten sposób symuluje się metaliczne obiekty, które odbijają otoczenie (jest to tzw. mapowanie środowiska, ang. *environment mapping*).

Mapowanie UV (ang. *UV mapping*)

Nakładanie dwuwymiarowego obrazu na obiekt trójwymiarowy. Mapa siatki obiektu 3D transformowana jest na płaszczyznę jako obraz 2-wymiarowy. Tekstura UV posiada zatem tylko 2-wymiarowe współrzędne: U i V, zamiast X, Y, Z znane z teksturowania w trójwymiarze.

Po tak przygotowanym obrazie można rysować, tworząc teksturę UV, aby następnie nałożyć ją na obiekt 3D – w ten sposób powstaje efekt malowania po powierzchni obiektu. Taka metoda jest wygodna dla teksturatora tworzącego teksturę.

TRACKING

Wyróżniamy 3 rodzaje trackingu:

Tracking 2D

Polega na śledzeniu punktu/grupy punktów na płaszczyźnie obrazu takiej, jak ją widzimy. Zwykle najlepiej „zaczeplić” się o charakterystyczny punkt obrazu - świecącą w oddali latarnię na tle ciemnego nieba, punktowe zabrudzenie na stole, pieprzyk na twarzy bohatera, narożnik jakiegoś obiektu odcinający się od tła barwą lub jasnością.

Tracker zapisuje informacje o przesunięciu punktu/grupy punktów z klatki na klatkę w dwóch osiach kartezjańskich (X, Y). Możliwe jest także śledzenie 2 punktów lub ich grup w celu określenia rotacji i wielkości, która wynika ze zmiany odległości tychże punktów kontrolnych.

Zastosowanie:

Wszędzie tam, gdzie nie istotna jest perspektywa. Dotyczy to w szczególności ujęć z niewielkim ruchem, gdzie kamera nie przemieszcza się w przestrzeni względem *trackowanej* płaszczyzny. Najlepiej sprawdza się przy obiektach standardowych i długich, dla obiektów znajdujących się w oddali.

Dzięki *trackingowi* 2D można:

- podmienić/usunąć napis lub obraz na płaskiej powierzchni takiej jak ściana czy tablica reklamowa,
- dodać flary i prześwietlenia w obrazie,
- wystabilizować obraz z kamery stacjonarnej, ale niestabilnej.

Tracking planarny

Polega na śledzeniu wybranej płaszczyzny obrazu o dowolnym kształcie. Daje to efekty pozornie zbliżone do trackingu 2D ze śledzeniem dwóch punktów, ale daje więcej możliwości i działa na innej zasadzie. Ponieważ trackowane są nie 2 punkty a cała wybrana powierzchnia (musi być bezwarunkowo płaska), dostajemy dodatkowe informacje o perspektywie (w ograniczonym zakresie) oraz skrzywieniach rombówatych obrazu. Ta ostatnia informacja jest szczególnie ważna przy filmowaniu kamerami z matrycami CMOS – dotyczy to nie tylko lustrzanek, ale także takich kamer jak RED Epic, RED Scarlet czy Arri Alexa – wada kamer o której mowa, w branży nazywana jest *Rolling Shutter Effect*.

Informacje o przesunięciach, obrotach we wszystkich 3 osiach X, Y, Z i skrzywieniach rombówatych najlepiej generowane są na podstawie powierzchni niejednolitej, chropowatej, z napisami lub własną wyrazistą fakturą. Oczywiście sam fakt chropowatości nie wystarczy – chropowatość musi być wyraźnie widoczna w zarejestrowanym obrazie.

Zastosowanie:

W sytuacjach, kiedy potrzebujemy większej dokładności niż w przypadku trackingu 2D oraz kiedy kamera porusza się względem trackowanego obiektu. Ruch ten podlega pewnym ograniczeniom – są one zależne od śledzonej płaszczyzny i spełnione muszą być 2 warunki. Po pierwsze, płaszczyzna musi być stale widoczna w kadrze (dopuszczalne są częściowe zasłonięcia, np. przez przechodzącego bohatera). Po drugie płaszczyzna nie może podlegać drastycznym przekształceniom obrotowym (w osiach X,Y) – tracker lubi się gubić w takich sytuacjach.

Dzięki trackingowi planarnemu można:

- podmieniać płaszczyzny obrazu w ujęciach z ruchomą kamerą,
- wstawiać/zmieniać obraz na ekranach i monitorach,
- zmienić treść książki czytanej przez bohatera,
- wstawić logo firmy na ścianie/drzwiach samochodu,
- dodać/usunąć napis lub grafikę na szybie,
- wystabilizować obraz posiadający zniekształcenia rombówate.

Pewnym szczególnym zastosowaniem trackingu planarnego są systemy eyetrackingowe, pozwalające na śledzenie ruchu gałek ocznych. Informacje te są potrzebne do analizowania skuteczności stron internetowych, badania percepcji i psychologii wzroku, do wyświetlania informacji HUD w samolotach wojskowych i cywilnych.

Tracking 3D

Śledzi wybrane w sposób automatyczny lub przez użytkownika punkty znajdujące się w różnych płaszczyznach obrazu. Na podstawie relacji ich ruchu (np. punkty znajdujące się bliżej kamery przesuwały się szybciej, niż te w oddali) komputer odtwarza ścieżkę ruchu, który kamera wykonała w trakcie ujęcia. Dostajemy więc komplet informacji o obrazie. Translacje i rotacje kamery w przestrzeni, zmiany ogniskowej, dystorsje obiektywu oraz skrzywienia rombówate.

Zasada „zaczepiania” się jest taka sama co w przypadku Trackingu 2D jak i planarnego – analiza 3D wykorzystuje obie te metody. Konieczne jest jedynie wybieranie punktów z płaszczyzn znajdujących się na różnych głębokościach obrazu, dla jak najwierniejszego oddania perspektywy.

Zastosowanie:

Ten rodzaj trackingu daje pełną swobodę w sprawie ruchu kamery. Może ona dowolnie obracać się, przemieszczać, zmieniać przestrzeń w której się porusza. Zebrany komplet informacji wraz ze stworzonym poglądowym środowiskiem (w formie chmury punktów) pozwala lokalizować w nagrany obrazie obiekty 3D. Przy odpowiednim ich oświetleniu i dobrym *compositingu* będą sprawiały wrażenie, jakby rzeczywiście znajdowały się przed

kamerą i zostały zwyczajnie zarejestrowane. Tą metodą wykonano większość efektów specjalnych w takich filmach jak Władca Pierścieni, Transformers czy Matrix

Tracking 3D daje możliwość:

- wstawiania obiektów 3D do nagranych obrazów wideo (który jest 2D) przy zachowaniu pełnej spójności obu elementów.

Tracking 3D zawiera w sobie możliwości trackingu 2D i planarnego, ale jest czasochłonny, więc korzysta się z niego tylko w sytuacjach kiedy jest konieczny, aby obniżyć koszty i budżet projektu.

Motion Capture (MoCap)

Nie jest to typowy tracking obrazu wideo, ale w pewien sposób to technologia silnie powiązana i korzystająca ze zdobyczy trackingu. Służy ona do zapisywania danych o ruchu postaci (człowieka/zwierzęcia) do komputera. Aktor ubierany jest w czarny kostium z przyczepionymi markerami, które śledzone są przez zespół kamer. Dzięki rejestrowaniu tego samego punktu z różnych punktów widzenia, można określić precyzyjnie położenie każdego z punktów w przestrzeni oraz ich relację względem siebie – jest to więc tracking 2-D dla każdej z kamer, które po zsumowaniu różnych perspektyw dają tracking 3D. Aktor może poruszać się swobodnie w przestrzeni określonej przez wspólne pole widzenia kamer, a jego ruch zapisywany jest do komputera.

Zastosowanie: Motion Capture pozwala na zapisanie ruchu postaci, a następnie podpięcie pod nagrany ruch dowolnego modelu 3D. Tym sposobem np. po założeniu obciążników na ciało grającego aktora, możemy uzyskać wiarygodny ruch masywnej postaci, choćby nawet i aktor był bardzo drobnej budowy. Nałożony nań model 3D będzie poruszać się w sposób wiarygodny.

Motion Capture daje możliwość:

- nagrania ruchów postaci, w celu uniknięcia tworzenia ich animacji od podstaw,
- uzyskania wiarygodności ruchów animowanej postaci,
- łatwej interakcji między postaciami 3D,
- zachowania realistycznej fizyki upadków, walk, skoków itd...

MoCap jest dziś powszechnie stosowany w grach komputerowych, oraz filmach wykorzystujących postacie CGI.

Niektóre ujęcia wymagają nagrania dodatkowych trackerów (płaszczyzn/obiektów wspomagających proces trackowania, usuwanych później w procesie postprodukcji), w zależności od ruchu stosuje się różne czasy migawki, a nawet dla trackingu 3D istnieją ograniczenia co do ruchu, a w zasadzie jego szybkości. Pojawiają się problemy z dystorsjami obiektów, zmianą oświetlenia w trakcie ujęcia.

KOMPOZYCJA

Kompozycja (komponowanie, *compositing*)

Proces łączenia pojedynczych warstw obrazu w jedną całość, przeprowadzany w fazie postprodukcji. Łączone ze sobą warstwy obrazu mogą być: materiałem filmowym z kamery, animacją komputerową lub statycznymi obrazami. Nakładanie na siebie kolejnych warstw możliwe jest dzięki ich częściowej przezroczystości. *Compositing* ma stworzyć iluzję, że wszystkie te elementy są częścią tej samej sceny.

Jednym z zadań wykonywanych w ramach komponowania obrazu jest kluczowanie, które można podzielić na *chroma key*, kluczowanie kolorem zielonym lub niebieskim.

Komponowanie może odbywać się także w czasie rzeczywistym (np. w studiach telewizyjnych).

Cyfrowy *compositing* to rodzaj maty, a jeden z czterech podstawowych metod *compositing*. Inne są *compositingu* fizyczne wielokrotnej ekspozycji, a występ tła, sposób który wykorzystuje zarówno przedni występ i tylną projekcją.

Fizycznego tworzenia kompozycji oddzielne części obrazu umieszcza się razem z ramą i fotograficznym zapisane w ekspozycji.

Składniki są ustawione tak, że dają wygląd pojedynczego obrazu.

Najczęstsze elementy tworzenia kompozycji fizyczne są częściowe modele i witraże.

Częściowe modele są zwykle używane jako zestaw rozszerzeń, takich jak sufity lub wyższych kondygnacji budynków.

Model ten, zbudowany w celu dostosowania go do rzeczywistego zestawu, ale na znacznie mniejszą skalę, jest zawieszony w przedniej części aparatu, wyrównane tak, że wydaje się być częścią zestawu.

Modele są często dość duże, ponieważ muszą one być umieszczone na tyle daleko od aparatu tak, że zarówno oni, jak i zestaw daleko poza nimi są ostre.

Strzały szklane wykonane są przez umieszczenie dużą szybę tak, że wypełnia ramkę kamery i jest wystarczająco daleko, aby być utrzymywane w centrum uwagi wraz z tłem widocznym przez nią.

Cała scena jest malowany na szkle, z wyjątkiem obszaru ujawniając tło gdzie akcja ma się odbywać.

Ten obszar pozostaje jasne.

Znajdujący się w aparacie wielokrotnej ekspozycji dokonuje się przez zapis tylko na jednej części poszczególnych klatka, nawijania folii dokładnie w tym samym punkcie początkowym, ukazując drugą część i powtarzając proces w razie potrzeby.

Otrzymaany ujemny jest złożony z wszystkich poszczególnych ekspozycji.

(Z drugiej strony, „podwójne ekspozycja” zapisuje wiele obrazów na całej powierzchni ramy, tak, że wszystkie są częściowo widoczne przez siebie.)

Wystawienie jeden punkt w czasie, to możliwe przez umieszczenie obiektywu kamery (lub całego aparatu), na okno światła szczelne otwory do maskować, z których każdy odpowiada jednej z obszarów działania.

Tylko jeden otwór objawia za ekspozycji, aby nagrać tylko czynność umieszczoną przed nim.

Wielokrotna ekspozycja jest trudne, ponieważ działanie w każdym nagraniu musi być zgodny z innymi; w ten sposób kompozyty wielokrotnej ekspozycji zazwyczaj zawierać tylko dwie albo trzy pierwiastki.

Projekcja tło rzuca obraz tła na ekranie za przedmiotów na pierwszym planie, podczas gdy aparat sprawia kompozyt fotografując zarówno na raz.

Elementy planie ukryć części obrazu tła za nimi.

Zdarza się, że w tle jest rzutowany z przodu, odbijające się na ekranie, ale nie na pierwszym planie badani ponieważ ekran jest wykonany z wysoce kierunkową, wyjątkowo materiału odblaskowego. (The prehistoryczny otwarcie 2001: Odyseja kosmiczna używa przedniej projekcji).

Jednak tylnej projekcji była znacznie bardziej popularna technika.

W tylnej projekcji, zdjęć (często nazywany procesem fotografowania) tła (zwane „talerze”, czy nadal są zdjęcia lub ruchu) są fotografowane pierwszy.

Na przykład, samochód aparat może jechać wzdłuż ulic lub dróg podczas fotografowania zmieniającą się scenę za nim. W studiu wytworzone „płyta podstawy” jest ładowana do projektora z filmem „odwrócenie” (odwrotnie), ponieważ będzie to rzutowany (i przez) tyłu półprzezroczystego ekranu.

Samochód zawierający wykonawców ułożona jest w przedniej części ekranu, tak że dekoracje widoczny przez tylnych i / lub bocznymi oknami.

Aparat z przodu ewidencji samochodów zarówno w planie działania i przewidywanego scenerii, jako wykonawcy udawać pojechać.

Jak wielokrotnej ekspozycji, tylnej projekcji jest technicznie trudne.

Silniki projektora i kamery muszą być zsynchronizowane, aby uniknąć migotania i idealnie dopasowane za i przed ekranem.

Na pierwszym planie muszą być oświetlone, aby uniemożliwić wyciek światła na ekranie za nim.

(Dla nocnych scen jazdy, oświetlenie pierwszego planu są zwykle różne, jak samochód „porusza się” ze sobą.)

Projektor należy użyć bardzo silnego źródła światła tak, że prognozowany tło jest jasne jak na pierwszym planie. Kolor filmowanie prezentuje dodatkowe trudności, ale może być dość przekonujące, jak w kilku strzałów w słynnym crop duster sekwencji w Alfred Hitchcock „s Północ, północny zachód. (Znaczna część sekwencji została jednak nakręcony na miejscu). Ze względu na jego złożoność, tylny występ został w dużym

stopniu zastąpiony przez cyfrowe tworzenia kompozycji z, na przykład, samochód znajduje się przed ekranem niebieski lub zielony.

Cyfrowy matujący zastąpił tradycyjne podejście z dwóch powodów. W dotychczasowym systemie, pięć oddzielnych pasków folii (wiedzy i tła oryginałów, pozytywne i negatywne Mattes i kopiowania macierzystej) w dryfu może lekko rejestracji, w wyniku halo i inne artefakty krawędzi w wyniku. Wykonane prawidłowo, cyfrowe maty jest idealne, aż do poziomu pojedynczego piksela. Również ostateczna dupe ujemny był „trzeciej generacji” kopiuje i folia traci JAKOŚCI każdym razem jest on skopiowany. Obrazy cyfrowe mogą być kopiowane bez utraty jakości.

Oznacza to, że wielowarstwowe kompozyty cyfrowe może być wykonywane. Na przykład, modele do stacji kosmicznej, a statek kosmiczny, a drugi statek kosmiczny może być nagrywany oddzielnie na niebieskim ekranie, każdy „ruchome” inaczej. Poszczególne ujęcia mogłyby być następnie mieszać ze sobą, a na końcu z star tle. Z pre-cyfrowy maty, że kilka dodatkowych przechodzi przez drukarkę optycznego będzie pogorszyć jakość filmu i zwiększyć prawdopodobieństwo artefaktów krawędziowych. Elementy przecinające się za lub przed sobą stanowiłby dodatkowe problemy.

RENDEROWANIE

Renderowanie (ang. *rendering*)

Przedstawienie informacji zawartych w dokumencie elektronicznym w formie najbardziej właściwej dla danego środowiska (na przykład wizualnie, w tym na ekranie i w druku, lub dźwiękowo). Część programu komputerowego odpowiedzialna za renderowanie nazywana jest mechanizmem renderującym, silnikiem renderującym lub rendererem.

Renderowanie w grafice trójwymiarowej, nazywane też w tym kontekście obrazowaniem lub prezentacją, obejmuje analizę modelu danej sceny oraz utworzenie na jej podstawie dwuwymiarowego obrazu wyjściowego w formie statycznej lub animacji. Podczas renderowania rozpatrywane są m.in. odbicia, cienie, załamania światła, wpływy atmosfery (w tym mgła), efekty wolumetryczne itp. Jest to bardzo czasochłonna operacja nie wymagająca, poza przygotowaniem, żadnej ingerencji ze strony człowieka. Renderowanie może być przeprowadzone praktycznie w każdym programie do tworzenia grafiki trójwymiarowej, nie będącym wyłącznie programem do modelowania (modelerem). Przykładami takich programów są np. 3ds Max, Cinema 4D, LightWave 3D, PYTHA-RadioLab, Blender, Mental Ray, V-ray, Maxwell render czy też dostępne jako wtyczki do nich: Softimage XSi, CATIA, Final Render, Brazil R/S.

Najczęściej wykorzystywaną metodą renderowania w programach do grafiki trójwymiarowych jest metoda śledzenia promieni (ang. *raytracing*), pozwalająca na bardzo wierne odwzorowanie obrazu z uwzględnieniem wielu rzeczywistych zjawisk fizycznych. Jest on wynikiem próby rozwiązania równania renderowania. Inne analogiczne metody to raycasting oraz dwie metody oświetlenia globalnego (ang. *global illumination*): energetyczna (ang. *radiosity*) i mapowanie fotonowe (ang. *photon mapping*), ponadto wykorzystuje się metody do obrazowania kaustyki (ang. *caustics*) i cienie powierzchniowe (ang. *area shadows*), które umożliwiają uzyskanie cieni uwzględniających wielkość emitera światła.

Oprócz programowych metod renderowania bardzo powszechne jest wykorzystywanie sprzętowego wsparcia do generowania obrazów i scen trójwymiarowych, np. w grach komputerowych. Procesory graficzne we współczesnych kartach graficznych do komputerów domowych pozwalają na bardzo szybkie generowanie grafiki trójwymiarowej, zarazem zachowując realistyczny jej wygląd. Ogromne przyspieszenie obliczeń jest uzyskiwane dzięki zastosowaniu specjalizowanych modułów do obliczeń geometrycznych oraz modułów teksturowania obiektów czy też generowania efektów świetlnych. Dalsze przyspieszenie uzyskiwane jest przez uproszczony matematyczny sposób tworzenia obrazu 3D, zoptymalizowany bardziej pod kątem wydajności niż realizmu. Pozwala to odciążać główny uniwersalny procesor komputera, który może zająć się np. obliczeniami związanymi ze sztuczną inteligencją bohaterów świata wirtualnego. Z każdą kolejną generacją procesorów graficznych i

zwiększającą się ich mocą obliczeniową grafika staje się coraz bardziej szczegółowa i realistyczna.

Programów do renderowania grafiki trójwymiarowej używa się często do produkcji filmowych efektów specjalnych – na przykład program Renderman firmy Pixar posłużył do wykonania efektów specjalnych w wielu filmach animowanych, akcji, naukowo fantastycznych i fantasy. Na 44 nominacje do Oscarów w kategorii „efekty specjalne” 41 pozycji stworzono przy pomocy Rendermana.

Sposób renderowania jest albo określony w samym dokumencie (np. w przypadku dokumentów tekstu formatowanego RTF, DOC), albo w osobnym pliku zwanym arkuszem stylów (np. w SGML, HTML, XML, XHTML). W drugim przypadku arkusz napisany jest zwykle w specjalnym języku, np. CSS, XSL czy DSSSL dzięki czemu łatwo można zastosować jeden zestaw stylów dla wielu dokumentów.

Oświetlenie globalne (ang. *global illumination*) – model oświetlenia w grafice trójwymiarowej, w którym każdy obiekt na scenie 3D oświetlany jest zarówno przez światło emitowane bezpośrednio ze źródła światła, jak również przez światło odbite od innych obiektów na scenie (w przeciwieństwie do oświetlenia lokalnego, gdzie obiekty oświetlane są wyłącznie bezpośrednio przez źródło światła). Taki model oświetlenia wymaga zastosowania algorytmów, które są znacznie bardziej skomplikowane niż algorytmy oświetlenia lokalnego, jednak pozwalają uzyskać znacznie większy stopień realizmu.

Przykładowe algorytmy (techniki *renderingu*) realizujące oświetlenie globalne to: mapy fotonowe, *path tracing*, *radiosity*, Metropolis Light Transport.

Metoda energetyczna (ang. *radiosity*)

Metoda wykorzystywana w grafice komputerowej do wyznaczenia globalnego rozkładu oświetlenia scen trójwymiarowych. Algorytm wywodzi się z badań nad promieniowaniem cieplnym, a w dziedzinie grafiki komputerowej po raz pierwszy pojawił się w 1984 r., w pracy naukowców z amerykańskiego Cornell University.

Radiosity wyznacza globalny rozkład natężenia światła uwzględniając pochłaniania i odbicia światła jakie mają miejsce na wszystkich powierzchniach znajdujących się na scenie. Czyli modeluje w prawie idealny sposób to samo, co obserwuje się w rzeczywistym świecie, gdzie każda powierzchnia pochłania światło, ale także część jego odbija.

Radiosity nie uwzględnia efektów świetlnych zależnych od położenia obserwatora takich jak rozbłyski na powierzchniach metalicznych, odbicia zwierciadlane, załamanie światła itp. Metoda ta uwzględnia wyłącznie odbicia rozproszone, tj. intensywność światła odbitego jest niezależna od kierunku – dzięki temu uzyskane wyniki są niezależne od położenia obserwatora, co pozwala na wielokrotną, dowolną wizualizację sceny bez ponawiania obliczeń. Dobre efekty finalne trójwymiarowej sceny uzyskuje się po połączeniu tej metody z metodą śledzenia promieni modelującą te zjawiska, które metoda energetyczna pomija.

Śledzenie promieni, wsteczne śledzenie promieni (ang. *ray tracing, backward raytracing*)

Technika generowania fotorealistycznych obrazów scen trójwymiarowych opierająca się na analizowaniu tylko tych promieni światła, które trafiają bezpośrednio do obserwatora. W rekursywnym śledzeniu promieni bada się dodatkowo promienie odbite, zwierciadlane oraz załamane. Ponadto umożliwia łatwą realizację CSG, a także wizualizację idealnych, opisywanych formułami matematycznymi obiektów. Odwrotne podejście do techniki śledzenia promieni realizuje metoda prostego śledzenia promieni (ang. *forward raytracing*).

Metoda mimo uproszczonego modelu interakcji światła z otoczeniem daje bardzo dobre rezultaty, jednak ze względu na koszty obliczeniowe przez wiele lat jej wykorzystanie limitowała moc obliczeniowa komputerów, które były dostępne tylko dla dużych firm, głównie z branży filmowej. Współczesne komputery osobiste są w stanie bez problemu generować obrazy tą metodą i dostępne są komercyjne oraz darmowe programy (POV-Ray, Blender, 3ds Max, Maya, LightWave 3D, PYTHA).

HDR Rendering, HDRR (ang. *High Dynamic Range Rendering*, rendering z użyciem szerokiego zakresu dynamicznego)

Technika generowania sceny w grafice trójwymiarowej, której efektem jest renderowanie świata wirtualnego z realistycznym oświetleniem, przy użyciu znacznie szerszego niż normalnie zakresu jasności oświetlenia.

Największa różnica w tak otrzymanych obrazach dostrzegalna jest w najciemniejszych lub najjaśniejszych fragmentach sceny, gdzie symulowane jest natężenie światła wykraczające poza zakres możliwy do osiągnięcia na ekranie monitora (np. efekt oślepienia po spojrzeniu na słońce). Technologii tej użyto między innymi w grach *The Elder Scrolls IV: Oblivion* czy *Half-Life 2*.

Technika ta pozwala oddać bardzo duże, a także bardzo małe (mniejsze niż $1/256$) natężenie światła oraz koloru. Wymaga jednak znacznie większej mocy obliczeniowej do wyrenderowania sceny, a przez to również do jej wykorzystania do animacji w czasie rzeczywistym (czyli np. w grach komputerowych). Z tego powodu niezbędne jest wykorzystanie bardzo wydajnych procesorów graficznych, toteż nie jest ona realizowana przez starsze karty graficzne.

Rendering bazujący na fizyce (ang. *Physically Based Rendering*, PBR)

Model cieniowania, którego celem jest stworzenie bardziej realistycznego oświetlenia otoczenia poprzez zamodelowanie interakcji światła z powierzchnią. W tym celu wykorzystuje się optykę i rzeczywiste właściwości materiałów. PBR nie jest jednolitym standardem, a zbiorem wytycznych.

Do zalet renderingu bazującego na fizyce należą:

- ograniczenie „zgadywania” przez artystę parametrów materiałów, które sprawią, że tekstura będzie wyglądać realistycznie;
- materiały pasują do każdego otoczenia bez potrzeby dopasowywania ich,
- ułatwiają jednoczesne tworzenie przez wielu artystów spójnych i pasujących do siebie materiałów.

Na PBR składają się zazwyczaj:

- odbicia zwierciadlane (ang. *specular reflection*),
- rozproszona refrakcja (ang. *diffuse refraction*),
- zasada zachowania energii,
- równanie Fresnela (inaczej efekt Fresnela lub warunek Fresnela),
- przezroczystość i przezierność,
- metaliczność,
- mikropowierzchnie.

Model ten jest powszechnie używany w grach komputerowych powstałych po siódmej generacji gier komputerowych. Dostępny jest na silnikach graficznych takich jak: CryEngine, Decima, Fox Engine, Frostbite, Unity i Unreal Engine 4 oraz w programach do tworzenia trójwymiarowej grafiki i animacji takich jak: 3ds Max, Blender oraz Maya.

ANIMACJA POSTACI

Rigging

W grafice trójwymiarowej, przygotowanie obiektu (najczęściej organicznego) do animowania. Polega ono na wyposażeniu obiektu w kości połączone w łańcuchy kinematyczne, ustaleniu hierarchii poszczególnych kości i ich nazw oraz ustawieniu map wag dla odpowiednich partii siatki wielokątów. Pozwala w rezultacie animatorowi na odpowiednią kontrolę nad obiektem.

Problemy animacji postaci:

- odtworzenie wyglądu postaci,
- realistyczny ruch postaci (ruchy nóg),
- gestykulacja, „mowa ciała”,
- animacja twarzy:
 - symulacja mowy (układ ust),
 - mimika twarzy (odczucia postaci);
- indywidualizacja – różne postacie zachowują się w różny sposób.

Animacja szkieletowa

Animacja szkieletowa jest stosowana do odwzorowania ruchu osób, zwierząt, „stworów”. Obiekt składa się z dwóch części:

- skóra (*skin*) - powierzchnia określająca kształt obiektu (np. siatka trójkątowa);
- szkielet (*skeleton*) składa się z układu kości (bones), połączonych w strukturę hierarchiczną; służy do określenia ruchu obiektu.

Ruch kości szkieletu jest przenoszony na skórę.

Uproszczona hierarchia kości szkieletu



Goleń (Shin)



Stopa (Foot)

Goleń (Shin)



Stopa (Foot)

Łączenie hierarchiczne

Łączenie hierarchiczne ustala zależności pomiędzy „rodzicem” a „potomkiem” w szkielecie:

kinematyka sekwencyjna (*forward kinematics*) – poruszając obiektem rodzicem porusza się również jego obiektami potomnymi;

kinematyka odwrotna (*inverse kinematics*) – przemieszczające się obiekty potomne powodują ruch obiektów będących ich rodzicami.

Nakładane są też ograniczenia ruchu, np. na zakres obrotu kości w stawie.

Animacja szkieletowa

Obie metody animacji szkieletu są stosowane, często równocześnie.

Wybieramy tę metodę, która pozwoli nam uzyskać efekt prościej.

Jeżeli ruch jest ukierunkowany, np. chwytanie za klamkę, prościej jest zastosować kinematykę odwrotną.

Dla animacji siadania na krześle, lepsza będzie metoda sekwencyjna.

Animacja z użyciem systemu kości

Rigowanie (*rigging*) polega na powiązaniu ruchu szkieletu z ruchem siatki opisującej animowany obiekt.

Wagi (*weight*) opisują w jakim stopniu (od 0 do 1) ruch kości szkieletu jest przenoszony na ruch werteksu siatki.

Wagi są „malowane” w programie do modelowania (kolor obrazuje wagę).

Tworzone są obwiednie (*envelope*).

Płynne zmiany wag pozwalają uniknąć nienaturalnego odkształcania siatki.

Animacja z użyciem systemu kości

Siatka i system kości

Siatka i system kości nałożone na siebie pokazane osobno

Animacja z użyciem systemu kości

Efekt rigowania: barwa opisuje wpływ zaznaczonej kości na werteksy siatki.

Kolor czerwony – największy wpływ.

Kolor pomarańczowy i żółty – mniejsze wagi.

Kolor niebieski – brak wpływu.

Animacja z użyciem systemu kości

Postacie, które będą animowane, są najczęściej modelowane w jednej z pozycji referencyjnych: pozycja T (T-pose) – ręce pod kątem 90° pozycja A (A-pose) – ręce pod kątem 45° pozycja rozluźniona (relaxed pose)

Animacja metodą morph target Morph target lub per-vertex animation: metoda animacji stosowana jako uzupełnienie szkieletowej, głównie do animacji twarzy.

Definiuje się początkową i końcową pozycję werteksów siatki wielokątowej.

Obliczane są stany pośrednie pozycji werteksów (interpolacja).

Przykład: morphing „twarz neutralna” → „twarz uśmiechnięta”.

Animacja twarzy

Twarz postaci reprezentowana jest za pomocą siatki wielokątów. Animacja twarzy – zmiana położenia wybranych wierzchołków siatki.

Animacja ragdoll

Ragdoll animation („animacja szmacianej lalki”) - uproszczona animacja szkieletowa. Jest stosowana do uzyskania animacji ruchu bezwładnej postaci.

Reakcja obiektu na przyłożoną siłę jest obliczana za pomocą modelu fizycznego.

Metoda była stosowana w starszych grach komputerowych do animacji „zabitych wrogów” czy postaci spadającej ze schodów.

Obecnie stosuje się dokładniejsze modele.

Motion capture

Technika motion capture polega na rejestrowaniu ruchów aktora za pomocą znaczników umieszczonych na kombinezonie. Ich ruch rejestruje specjalna kamera.

Zarejestrowane ruchy znaczników są przenoszone na szkielet postaci.

Metoda ta jest powszechnie stosowana we współczesnych filmach animowanych, grach komputerowych, reklamach, itp.

Bardzo łatwa metoda – zamiast projektować ruch obiektu, po prostu go nagrywamy.

Performance capture

Współczesne techniki stosują rejestrację nie tylko ruchu aktora, ale także mimiki, ruchów ust przy mówieniu, itp.

Stosowane są specjalne znaczniki (farby) nakładane na twarz aktora.

Pozwala to uzyskać realistyczną animację twarzy komputerowej postaci.

Mówimy tu o rejestracji „gry” żywego aktora - performance capture.

Dzięki temu można wprowadzić do filmu animowanego lub gry postacie, które wyglądają i zachowują się jak żywy aktor.

OŚWIETLENIE

W grafice 3D wierne modelowanie rzeczywistego oświetlenia w dużej mierze stanowi o fotorealizmie danej sceny. Rozróżnia się dwa główne podejścia do oświetlenia sceny:

- oświetlenie lokalne – obliczenia związane z rozkładem oświetlenia są wykonywane w zależności od położenia obserwatora; to podejście jest wykorzystywane w *ray tracingu*;
- oświetlenie globalne – to oświetlenie jest liczone dla całej sceny; to podejście jest stosowane w mapowaniu fotonowym, *path tracingu*, *radiosity*.

Spora część efektów świetlnych (takie jak odbłaski, odbicia i załamanie światła) ściśle zależy od położenia obserwatora, natomiast oświetlenie globalne dobrze oddaje subtelne cienie. Dlatego też obecnie stosowane są rozwiązania hybrydowe, które pozwalają w bardzo dużym stopniu oddać rzeczywiste efekty świetlne, widziane ludzkim okiem.

O realizmie oświetlenia decydują następujące elementy:

- źródła światła,
- charakterystyka powierzchni obiektów trójwymiarowych,
- interakcja światła z obiektami: rzucanie cienia, odbicie, załamanie, rozszczepianie i skupianie światła,
- interakcja światła z otoczeniem – światło może być tłumione w ośrodku lub rozpraszane.

Źródła światła

Światła mogą być punktowe lub posiadać pewną powierzchnię. Światła punktowe są stosowane częściej, ponieważ ich model matematyczny jest bardzo prosty, ale niestety dają bardzo ostre, nienaturalne cienie. W świecie rzeczywistym promieniują powierzchnie, dając w efekcie miękkie cienie – modelowanie tego rodzaju źródeł światła jest trudniejsze i bardziej kosztowne obliczeniowo.

Światła mogą promieniować w każdym kierunku, ale również model matematyczny światła może nakładać ograniczenia, np. dając efekt podobny do światła latarki (ang. spot lights).

W oświetleniu lokalnym stosuje się również:

- Światła kierunkowe – określa się jedynie kierunek, z którego pada światło; promienie są do siebie równoległe – można w ten sposób symulować np. jaskrawe światło słoneczne.
- Światło otoczenia – jest to natężenie światła jakie „emituje” otoczenie; założenie, że natężenie jest wszędzie jednakowe rzadko kiedy jest spełnione w rzeczywistym świecie.

Charakterystyka powierzchni (cieniowanie)

Charakterystyki powierzchni mogą być oparte na fizycznych podstawach (np. cieniowanie Lamberta, Blinna) albo po prostu dobrze przybliżać wygląd niektórych powierzchni (np. cieniowanie Phong, metaliczne). Charakterystyki opisują jaki procent światła odbitego trafia do oka obserwatora, w zależności od kąta padania światła na powierzchnię; dodatkowo można również określić kolor światła odbitego.

Poza wybraniem charakterystyki powierzchni, obiektowi należy przypisać również kolor lub fakturę. W przypadku powierzchni metalicznych można określić współczynnik odbicia światła, a w przypadku obiektów przezroczystych stopień przezroczystości i współczynnik załamania światła.

Shader

Krótki program komputerowy, często napisany w specjalnym języku programowania (*shader language*), który w grafice trójwymiarowej opisuje właściwości pikseli oraz wierzchołków. Technologia ta zastąpiła stosowaną wcześniej w kartach graficznych jednostkę T&L.

Cieniowanie pozwala na znacznie bardziej skomplikowane modelowanie oświetlenia i materiału na obiekcie niż standardowe modele oświetlenia i teksturowanie. Jest jednak dużo bardziej wymagające obliczeniowo i dlatego dopiero od wprowadzenia bibliotek API DirectX 8 (rok 2000) sprzętowa obsługa cieniowania pojawiła się wśród możliwości kart graficznych komputerów osobistych. Wcześniej cieniowanie stosowane było tylko w niektórych fotorealistycznych rendererach (np. Renderman), gdzie grafika nie jest jednak generowana w czasie rzeczywistym.

W stosunku do standardowych modeli oświetlenia, stosowanych do generowania grafiki w czasie rzeczywistym, cieniowanie umożliwia uwzględnienie między innymi:

- refrakcji,
- odbić lustrzanych,
- oświetlenia HDR,
- mapy przemieszczeń (ang. *displacement maps*),
- innych efektów, takich jak rozmycie obrazu, zaszumienie, zmiana kolorów, itp.

Ambient occlusion

Metoda cieniowania powierzchni obiektów przestrzennych używana w grafice trójwymiarowej. Technika ta szacuje stopień zacielenia lub, mówiąc inaczej, wystawienia danej powierzchni na rozproszone światło otoczenia (tzw. światło ambientowe). *Ambient occlusion* pozwala na relatywnie szybkie imitowanie realistycznego wyglądu powierzchni bez stosowania jednego z wymagających obliczeniowo algorytmów oświetlenia globalnego.

Najpopularniejszą metodą obliczania efektu *ambient occlusion* jest *ray tracing* zastosowany do próbkowania otoczenia metodą Monte Carlo. Dla każdego cieniowanego

punktu powierzchni wybranych zostaje od kilku do kilkuset losowych (w rzeczywistości pseudolosowych) punktów na okalającej go hemisferze. Dla każdego z nich sprawdza się widoczność owego punktu powierzchni. Jeśli wszystkie punkty hemisfery „widzą” punkt powierzchni, wartość ambient occlusion wynosi 1, w przeciwnym wypadku jego wartość równa się 0. Wartość ambient occlusion jest średnią wszystkich próbek. Efekt takiego próbkowania, dla wszystkich punktów powierzchni, wyrażony za pomocą koloru (najczęściej czerni i bieli) przypomina miękkie cienie na obiekcie oświetlonym bardzo rozproszonym światłem.

W przeciwieństwie do metod lokalnych, takich jak cieniowanie Phong, ambient occlusion, obliczając zacienienie powierzchni, bierze pod uwagę nie tylko jej lokalne właściwości (tj. kierunek powierzchni w danym punkcie), ale także właściwości jej środowiska, dlatego zalicza się ją do grupy metod oświetlenia globalnego. Jest to jednak bardzo uproszczony model cieniowania, będący najczęściej tylko dodatkiem do innych technik. Mimo swoich niedogodności zyskał on popularność w animacji komputerowej dzięki swojej relatywnej prostocie i efektywności, co ma ogromne znaczenie szczególnie przy generowaniu scen trójwymiarowych w czasie rzeczywistym.

Model cieniowania ambient occlusion oferuje także bardziej naturalne kształty modeli 3D. Podczas prac z tą techniką pokazano, że nałożenie rozproszenia światła powoduje powstanie większych różnic w głębi wyświetlanego obrazu niż przy użyciu modelu bezpośredniego oświetlenia.

REAL TIME

Czas rzeczywisty (ang. *real-time*)

Termin często używany w celu wyróżnienia przypadków zgłoszenia, przedstawienia, raportowania oraz reakcji na zdarzenia w tej samej ilości, a czasami również w tym samym czasie, w jakim mają one miejsce. Dzięki temu podmiot nie musi kompresować opisów tych zdarzeń ani opóźniać wysłania raportu lub reakcji na zdarzenie.

Termin znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach i jest dosyć nienormowanym określeniem. Jeśli istnieje sieć działająca z prędkością 1 kbit/s, a zaprojektowany system daje nam wydajność o prędkości większej niż 1 kbit/s, to w związku z tą siecią będzie to system czasu rzeczywistego. Jednym z najprostszyc przykładów czasu rzeczywistego jest sytuacja, kiedy trwa rozmowa telefoniczna – odbywa się ona na bieżąco: obaj rozmówcy słyszą również to, co mówi osoba po drugiej stronie łącza.

STEREOSKOPIA

Stereoskopia

Technika obrazowania oddająca wrażenie normalnego widzenia stereoskopowego, to znaczy odwzorowująca nie tylko kształt i kolor obiektów, ale także ich wzajemne zależności przestrzenne, odległość od obserwatora i głębię sceny.

Wymaga dostarczenia do mózgu dwóch obrazów, widzianych z perspektywy lewego i prawego oka. W tym celu wykonuje się parę zwykłych dwuwymiarowych obrazów (stereoparę), reprezentujących obiekt lub scenę z dwóch punktów widzenia, oddalonych tak jak oczy obserwatora. Obrazy składowe stereopary są bardzo podobne, ale różnią się nieco kątem widzenia obiektów i szczegółami wzajemnego przesłaniania się obiektów w scenie. To właśnie te drobne różnice niosą informację o trzecim wymiarze.

Przy pomocy jednej z wielu technik prezentacji przedstawia się lewy obraz lewemu oku, a prawy prawemu. W mózgu następuje połączenie tych dwóch obrazów w jeden obraz przestrzenny, zwany cyklopowym, ponieważ odbieramy go tak, jakby był widziany przez jedno „trójwymiarowe” oko umieszczone u nasady nosa.

Sposoby odwzorowania trzeciego wymiaru

1. Najstarszym i najprostszym sposobem tworzenia obrazów stereoskopowych było łączenie ich w stereopary i oglądanie przez stereoskop zaopatrzone w dwie soczewki sferyczne lub sferyczno-klinowe. Pierwszy stereoskop Wheatstone'a powstał w latach czterdziestych XIX wieku.
2. Możliwe jest oglądanie stereopar bez użycia stereoskopu. Przy prostoglądzie ustawia się oczy w zezie rozbieżnym tak, aby każde oko było skierowane na odpowiedni obraz stereopary. W przypadku krzyżoglądu obrazy są zamienione miejscami, a oczy ustawia się w silny zez zbieżny. W obu metodach wadą jest ograniczony format obrazów.
3. Technika, która zyskała popularność dzięki komputerowemu przetwarzaniu obrazów, jest metoda anaglifowa. Obrazy nałożone są na siebie i zabarwione są na kolory: czerwony i niebieski. Przy oglądaniu przez okulary o tak samo zabarwionych szklach następuje separacja obrazów i pojawia się efekt przestrzenny przy nieco zubożonej kolorystyce.
4. Również komputery umożliwiają oglądanie obrazów metodą migawkową. Obrazy są wyświetlane przemiennie na ekranie monitora, a okulary o szklach ciekłokrystalicznych odsłaniają na przemian synchronicznie lewe i prawe oko.
5. W kinach stosowana jest metoda projekcji przez filtry polaryzacyjne na ekran pokryty folią aluminiową. Kierunki polaryzacji obu filtrów są ustawione prostopadle względem siebie. Widzowie zaopatrzeni w okulary z analogicznie ustawionymi filtrami widzą ruchome obrazy o idealnej jakości.
6. Na materiałach drukowanych stosuje się druk rastrowy. Obrazy składają się z prążków na przemian prawego i lewego obrazu, a nałożone przezroczyste folie z soczewkami cylindrycznymi zapewniają separację obrazów.

Sporządzanie fotografii stereoskopowych

Przy sporządzaniu pary fotografii stereoskopowych ważny jest wybór bazy stereoskopowej, czyli rozstawu punktów widzenia. Naturalna baza – rozstaw oczu ludzkich – wynosi około 65 mm i tyle wynosi zazwyczaj rozstaw osi obiektywów aparatów stereoskopowych. Optymalny efekt widzenia przestrzennego uzyskuje się, gdy baza wynosi od $1/100$ do $1/30$ odległości do przedmiotów pierwszego planu. Przy fotografowaniu dalekich krajobrazów baza musi wynosić nawet kilka metrów; przy fotografowaniu drobnych, blisko położonych przedmiotów powinna być proporcjonalnie niewielka.

Przy motywach nieruchomych można wykonać oba zdjęcia kolejno jednym aparatem z przesunięciem o wymiar bazy, przy czym konieczne jest zachowanie równoległości osi optycznych obiektywu. W przypadku motywów ruchomych trzeba użyć dwóch aparatów z synchronizacją obu migawek lub jednego specjalnego aparatu o dwóch obiektywach.

WTYCZKI

Wtyczka (ang. *plug-in, add-on*)

Dodatkowy moduł do programu komputerowego, który rozszerza możliwości produktu wyjściowego.

Stosowanie wtyczek jest coraz częstszym zabiegiem wśród twórców programów, a zwłaszcza tych tworzących otwarte oprogramowanie. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość wyboru funkcjonalności, które użytkownik chce wykorzystywać w programie, a których nie potrzebuje. Poza tym odciąża to autora programu od pisania kodu nawet dla funkcji niszowych, a przetrzuca to zadanie na zewnętrznych programistów. Jednak, aby możliwe było tworzenie wtyczek, programista musi zrazu dla swojej aplikacji udostępnić i udokumentować API, czyli interfejs programistyczny.

Z założenia wtyczki wymagają obecności programu oryginalnego, lecz niektóre z nich są w stanie pracować i jako wtyczki, i jako osobna aplikacja (często ma to miejsce np. w programie Adobe Photoshop). Zwykle komercyjne programy są pisane w sposób uniemożliwiający tworzenie do nich wtyczek przez programistów spoza danej firmy, natomiast wiele bezpłatnych programów jest celowo pisana tak, aby w łatwy sposób można było do nich tworzyć rozszerzenia. To pociąga za sobą prawidłowość, że wtyczki do programów komercyjnych są zazwyczaj tworzone przez producentów tych programów i trzeba je nabywać odpłatnie, natomiast wtyczki do programów bezpłatnych zazwyczaj są również bezpłatne.

Wtyczek nie należy mylić z kontynuacjami dobrze sprzedających się tytułów (na przykład popularna gra Might and Magic VII nie jest wtyczką gry Might and Magic VI ani żadnej innej), które do działania nie wymagają wcześniejszych wersji programów (gier). Choć poszczególne gry, jak The Sims 3, mają swoje dodatki, np. The Sims 3: Studenckie życie, działają one tylko na danej wersji głównej gry (w tym wypadku trzeciej).

PIPELINE

Czyli generalnie to jest to „coś” pomiędzy punktem początkowym – A, oraz punktem końcowym – B. Tym czymś może być **w zależności od kontekstu** właśnie rurka, przewód, łączenie, ale mogą to być również proces, zadania itd. To znaczy, że mamy do czynienia z pojęciem, które odnosi się do obiektów materialnych jak i pojęć abstrakcyjnych.

Przykładowe zdanie, również za www.businessdictionary.com

Efekty specjalne (FX, SFX)

Specjalne wrażenia wywierane na widzach, tworzone najczęściej komputerowo.

Po raz pierwszy efekty specjalne zostały zaprezentowane w filmach już w roku 1900 i 1902., polegały na zastosowaniu makiet, kukieł i trikach optycznych.

Obrazy generowane komputerowo (ang. *computer-generated imagery* – CGI)

Na początku lat 90. XX wieku efekty specjalne po raz pierwszy były tworzone za pomocą techniki komputerowej. Przełom w stosowaniu komputerowych efektów specjalnych nastąpił wraz z premierą filmu Terminator 2: Dzień sądu ze scenami z komputerowo wygenerowanym cyborgiem z płynnego metalu.

Są to wszelkie elementy obrazu (postacie, pojazdy, krajobraz), które powstały wyłącznie za pomocą komputera. Określenie CGI może się odnosić do obrazów dynamicznych bądź statycznych, również dwuwymiarowych (2D), ale pod pojęcie to podkłada się przeważnie technikę grafiki 3D.

CGI znajduje swoje zastosowanie w filmach, programach telewizyjnych, reklamach oraz grach komputerowych. Popularność techniki CGI wynika z tego, że jest w wielu przypadkach mniej kosztowna od metod fizycznych. Pierwszym pełnometrażowym filmem animowanym wykonanym w technice CGI był Toy Story (1995).

Efekty wizualne (w skrócie VFX) jest procesem, w którym obrazy są tworzone lub manipulowane poza kontekście [żywej akcji](#) nakręcony w produkcji filmowej.

Efekty wizualne zaangażowanie w integrację [live-action](#) filmy ([efekty specjalne](#)) oraz generowanych obrazów (efekty cyfrowe), aby stworzyć środowisko, które wyglądają realistycznie, ale byłoby niebezpieczne, drogie, niepraktyczne, czasochłonne lub niemożliwe, aby uchwycić na filmie. Efekty wizualne wykorzystujące [obrazy generowane komputerowo](#) (CGI), które niedawno stały się dostępne dla niezależnego filmowca z wprowadzeniem niedrogo i łatwe w użyciu [animacji](#) i [compositingu](#) oprogramowania.

Efekty wizualne są często integralną częścią historii filmu i odwołania. Chociaż praca większość efektów wizualnych jest zakończona podczas [postprodukcji](#) , to zazwyczaj musi być starannie zaplanowane i choreografii w [pre-produkcji](#) i [produkcji](#) . Efekty wizualne realizowane głównie w post-produkcji z wykorzystaniem wielu narzędzi i technologii, takich jak projektowanie graficzne, modelowania, animacji i podobnych programów, podczas gdy [efekty specjalne](#) , takie jak wybuchów i pościgów samochodowych są na [zestawie](#) . [Efektów wizualnych](#) jest zwykle związany z produkcją z wczesnym etapie do ścisłej współpracy z produkcji i filmu [reżysera](#) projektu, kierować i prowadzić zespoły niezbędne do osiągnięcia pożądaných efektów.

efekty wizualne głównie dzieli się na dwie grupy:

1. [Efekty specjalne](#) : Obejmuje ona żadnych efektów wizualnych, które odbywają się w akcji na żywo, np na zestaw wybuchów lub [występy kaskaderów](#) .
2. Efekty cyfrowe (powszechnie skracane do cyfrowego FX lub FX): Obejmuje on różne procesy, w którym obrazy są tworzone lub zmieniane za pomocą lub z aktywów fotograficznych. Efekty cyfrowe często obejmują integrację wciąż fotografii i [obrazy generowane komputerowo](#) (CGI), aby stworzyć środowisko, które wyglądają realistycznie, ale byłoby niebezpieczne, kosztowne lub niemożliwe do uchwycenia w aparacie. FX jest zwykle związane z nieruchomym tle świata, w przeciwieństwie do efektów wizualnych, które są związane z produkcją filmową ruchu. Cyfrowy FX dzieli również do różnych podgrup zawodów, takich jak:
 - [Obrazy matowe](#) i fotosy: cyfrowe lub tradycyjne fotografie lub obrazy, które służą jako tło dla postaci płyt 3D, efektów cząsteczkowych, zestawy cyfrowych środowisk.
 - [Motion capture](#) (Mo-Cap w skrócie): Proces rejestrowania ruchów i obiektów lub osób. W sesji motion capture, przedmiotu, którego ruch jest rejestrowany jest rejestrowana i próba wiele razy na sekundę przez różnych skanerów umieszczonych całego środowiska. Istnieją różne rodzaje systemów, które odczytują ruchy aktora. Jedną z nich jest metoda optyczna, która wykorzystuje śledzenia kamer, które namierzyć wyspecjalizowanych markerów umieszczonych na motion capture kostium aktora. Drugi rodzaj metody nazywa się metodą non-optyczny, gdzie zamiast przechwytywania lokalizację markerów w przestrzeni, rejestratory i mierzy bezwładność i ruch mechaniczny w okolicy. Tego typu motion capture nie dotyczy tylko do ciała, ale mogą być wykorzystywane do śledzenia ruchów twarzy i przejawów aktora i przenieść je do modelu 3D później w rurociągu. Ten sam typ koncepcji wykorzystania markerów śledzić ruch jest używany, ale nie częściej niż twarz aktora będzie malowane kropki na twarzy zamiast markerów kształcie kuli. Nie tylko ruchy aktora nagrane w tym procesie, ale ruch kamery jest również rejestrowane, co pozwala redaktorzy użyć tych danych do poprawy środowiska ruch schwytyany zestaw jest sobie wyobrazić w. Kiedy to wszystko jest zrobione, ruch schwytyany dane są odwzorowywane do wirtualnego szkieletu za pomocą oprogramowania, takich jak Autodesk [MotionBuilder](#) lub innego oprogramowania wyboru.
 - Modelowanie: Tworzenie [modeli 3D](#) rekwizytów lub znaków z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania.
 - [Animacja](#) : Przypisywanie ruchy wszelkich przedmiotów i postaci w [2D](#) lub [3D](#) .
 - [Compositing](#) : Łącząc elementy wizualne z różnych źródeł, aby stworzyć iluzję, że wszystkie te elementy są częścią tej samej sceny.

Efekty specjalne (często skracane jako SFX , osoba odpowiedzialna za efekty , lub po prostu FX) są iluzje wzrokowe lub sztuczki stosowane w [filmowych](#) , [telewizyjnych](#) , [teatralnych](#) , [gier wideo](#) i [symulator](#) branżach symulować wyobrażonej zdarzenia w [historii](#) lub [wirtualnym świecie](#) .

Efekty specjalne są tradycyjnie podzielone na kategorie efektów optycznych i efektów mechanicznych . Wraz z pojawieniem się cyfrowych filmowej rozróżnienie pomiędzy efektami specjalnymi i [efektów wizualnych](#) wzrosła, przy czym ostatni z nich odwołuje się do cyfrowej [postprodukcji](#) podczas „efekty specjalne”, odnosząc się do efektów mechanicznych i optycznych.

Efekty mechaniczne (zwane również [praktyczne](#) lub [efekty fizyczne](#)) są zwykle realizowane podczas strzelania live-action. Obejmuje to użycie zmechanizowanych [rekwizytów](#) , dekoracji, [modeli redukcyjnych](#) , [animatroniki](#) , [pirotechniki](#) i efektów atmosferycznych: tworzenie fizycznych wiatr, deszcz, mgła, śnieg, chmury, dzięki czemu samochód wydają się jechać sam i wysadzenie budynku itp efekty mechaniczne często są również włączone do scenografii i makijażu. Na przykład, zestaw może być zbudowany z drzwi lub ściany break-wyjazdowych w celu zwiększenia sceny walki, lub [protetyczne makijaż](#) może być używany do aktorem wyglądać niż ludzkie istoty.

Efekty optyczne (zwane również efekty fotograficzne) są techniki, w których obrazy lub klatek filmowych są tworzone fotograficznie, albo „w aparacie” za pomocą [wielokrotnej ekspozycji](#) , [Mattes](#) lub [proces Schüfftan](#) lub w postprodukcji przy użyciu [drukarki optycznej](#) . Efekt optyczny może być używany do umieszczania aktorów lub zestawy na innym tle.

Od 1990 roku, [obrazy generowane komputerowo](#) (CGI) przyszedł na czele specjalnej technologii efektów. To daje filmowcom większą kontrolę i pozwala wiele efektów, aby być bardziej bezpiecznie osiągnąć i przekonująco i-jak technologia poprawia, przy niższych kosztach. W rezultacie, wiele efektów optycznych i mechanicznych technik zostały zastąpione przez CGI.

Niedawny i głęboki innowacyjność efektami specjalnymi został rozwój [obrazy generowane komputerowo](#) lub CGI, która zmieniła niemal każdy aspekt filmowych efektów specjalnych. Cyfrowy compositingu pozwala znacznie większą kontrolę i swobodę twórczą niż compositingu optycznego, a nie degradować obraz jak analogowych (optyczne) procesów. Cyfrowe obrazy umożliwiło techników tworzyć szczegółowe modele, matowy „obrazy”, a nawet w pełni zrealizowane znaków z ciągłości oprogramowania komputerowego.

Prawdopodobnie największa i najbardziej „spektakularne” Zastosowanie CGI jest w tworzenie fotorealistycznych obrazów science-fiction i fantasy, ustawienia znaków i obiektów. Obrazy mogą być tworzone na komputerze przy użyciu technik animowanych i model animacji. [The Last Starfighter](#) (1984) używane generowane komputerowo kosmiczne zamiast fizycznego [modele w skali](#) . W 1993 roku, animatorzy poklatkowa pracujących na realistycznych dinozaurów [Steven Spielberg](#) „s [Park Jurajski](#) zostali przeszkoleni w zakresie korzystania z urządzeń wejściowych komputera. W roku 1995, filmy takie jak [Toy Story](#) podkreślił, że rozróżnienie pomiędzy filmów aktorskich i

animowanych filmów nie było już jasne. Inne przykłady punkt orientacyjny to znak składający się z połamanych kawałków witraż w [Piramida strachu](#) , a shapeshifting znaku w [Willow](#) , a macki wody w [Otchłani](#) , T-1000 Terminator w [Terminator 2: Dzień sądu](#) , hordy armie robotów i fantastycznych stworzeń w [Gwiezdnym wojen prequel trylogii](#) i [Władca Pierścieni trylogia](#) i planety Pandora w [Avatar](#) .

Chociaż praca większość efektów wizualnych jest zakończona w czasie [post-produkcji](#) , to musi być starannie zaplanowane i choreografii w [pre-produkcji](#) i [produkcji](#) . [Efektów wizualnych](#) jest zwykle związany z produkcją z wczesnym etapie do ścisłej współpracy z dyrektorem i wszystkich związanych personelu w celu osiągnięcia pożądaných efektów.

Efekty praktyczne wymagają również znaczący wstępnego planowania i koordynacji z wykonawców i zespołów produkcyjnych. Żywa natura z objawów może doprowadzić do sytuacji, w których resetowania powodu błędu, pomyłki lub bezpieczeństwa dotyczą ponosi znaczące koszty, czy też jest niemożliwe ze względu na destrukcyjny charakter efektu.

SILNIK GRAFICZNY

Silnik graficzny jest to część kodu aplikacji odpowiedzialna za tworzenie grafiki 2D, 2,5D lub 3D, która następnie widoczna będzie na urządzeniu wyświetlającym obraz. Zawiera on elementy konieczne do wykonywania złożonych matematycznych obliczeń i przekształceń elementów grafiki.

Silnik graficzny zajmuje się renderowaniem programowym bądź sprzętowym obrazu w czasie rzeczywistym na typowym ekranie komputera. W przypadku grafiki trójwymiarowej oznacza to, że każda klatka obrazu musi zostać wygenerowana na tyle szybko, aby możliwe było swobodne „poruszanie się” po trójwymiarowym świecie wirtualnym. Silniki graficzne do generowania obrazu trójwymiarowego są czasami nazywane silnikami 3D. Do przyspieszenia i wykonywania bardziej złożonych obliczeń mogą wykorzystywać wsparcie sprzętowe specjalizowanych procesorów graficznych oraz obsługujących je bibliotek graficznych, takich jak DirectX, OpenGL czy Vulkan.

Przykładami silników graficznych są: Genesis3D, Irrlicht, OGRE, Antirad Gx, Crystal Space. Choć zwykłemu użytkownikowi komputera kojarzą się one przede wszystkim z grami komputerowymi, to są projektowane do wielu innych celów, np. wizualizacji projektowanych budynków lub wnętrz. Nie powinny być utożsamiane z silnikami gier.

Na samym początku tworzenia obrazu, procesor przesyła do VRAM podstawowe informacje o danej scenie. Na niego składają się wszystkie tekstury, współrzędne wierzchołków elementów sceny, położenie względem siebie, umiejscowienie obserwatora oraz oświetlenie całej sceny.

Tworzenie siatek wielokątów

Kolejny krok to operacje związane ze współrzędnymi wierzchołków. Karta graficzna buduje krawędzie trójkątów, z których z kolei powstają siatki wielokątów – definiując powierzchnię wirtualnych obiektów. Procesor graficzny ustawia na wirtualnej scenie kamerę, czyli punkt, z którego wirtualny świat będzie obserwowany. Siatki wielokątów oraz otoczenia są umieszczane na scenie w odpowiednich pozycjach względem kamery lub obserwatora. Ponieważ kamera i obserwator to elementy nieruchome, siatki wielokątów zaczynają się poruszać, obracać i przekształcać względem nieruchomego obserwatora (kamery), by uzyskać wrażenie, że to on się porusza i obraca. Operacje te są na bieżąco synchronizowane z pozycją podglądu.

Usuwanie niewidocznych powierzchni - W całej scenie trójwymiarowej może pojawić się ogromna liczba wierzchołków, dlatego by zminimalizować obciążenie karty graficznej i procesora, stosuje się optymalizacje w postaci usuwania siatek powierzchni niewidocznych dla obserwatora. Wycinane są przede wszystkim obiekty znajdujące się za jego plecami, wszystkie poza kadrem obserwatora oraz elementy znajdujące się z tyłu obserwowanych obiektów. Procesor w obliczeniach nie uwzględnia także tych ścianek obiektów, które są zasłonięte przez inne przedmioty na scenie, chyba że są zdefiniowane jako przezroczyste.

Teselacja

Następny proces to teselacja, wykorzystująca obsługiwane przez biblioteki graficzne shadery, gdzie zachodzi cieniowanie wierzchołków i pikseli. Tworzone są w tym celu krzywe beziera, które trafiają do teselatora tworząc nową powierzchnię obiektu, a następnie dzieli on tę powierzchnię na siatkę geometryczną składającą się z odpowiednio większej liczby trójkątów (krzywe beziera zmieniają istniejące siatki wielokątów w nowe siatki).

Rasteryzacja

Do tego etapu wszystkie ww. procesy operowały na obiektach wypełnionych jednolitym kolorem z uwzględnieniem oświetlenia sceny. Przy użyciu modułu rasteryzacji grafika 3D jest spłaszczana i przygotowywana do wyświetlania w ustalonej przez użytkownika rozdzielczości ekranu. W międzyczasie część jednostek obliczeniowych procesora graficznego zajmuje się dalszą obróbką grafiki: nadaje obiektom różne kolory, połysk, fakturę i inne detale. W późniejszym etapie moduł rasteryzacji zajmie się wygładzaniem krawędzi w spłaszczonych obiektach.

KOLOR KOREKCJA

Korekcja kolorów (ang. *Color correction*)

Jest to ujednoczenie ujęć do stopnia, który pozwoli zachować wizualny ciąg historii oraz jednorodnych plastycznie obrazów. Podczas realizacji nagrań wiele czynników tworzy sceny niespójne ze sobą, są to między innymi różne źródła światła, zmiana pogody, różnorodność wnętrza, czy różne pory dnia, a także realizacja nagrań odmiennymi kamerami. Dzięki korekcji koloru można wyrównać poziom balansu bieli, poziomy nasycenia czernią, ujednoczyć kontrast ujęć oraz zmienić ogólne nasycenie barwami.

Gradacja kolorów (ang. *Color grading*)

Jest zarówno procesem kreatywnym, jak i pracą w aspekcie technicznym. Pozwala ukierunkować kolorystykę obrazu oraz wspomagać opowiadanie historii zawartej w filmie, co za tym idzie, pozwala wpływać na emocje widza podczas seansu.

Tablice LUT

To tak zwane: „słowniki kolorów pomiędzy sprzętami”. Tablice LUT są to wyliczone wcześniej dane wykorzystywane w celu dostosowania koloru wyświetlanego obrazu do urządzenia wideo, w tym przypadku kamery filmowej. Są to też kreatywne narzędzia pracy dla kolorysty. Tablice LUT nie są uniwersalne, wybór odpowiedniej tablicy jest elementem częściowo subiektywnym, biorącym pod uwagę klimat wizualnej opowieści, ale jest to również zagadnienie z dziedziny teorii koloru.

TRIAL

Trial (z ang. „próba”) – rodzaj licencji na programy komputerowe polegający na tym, że można go używać przez z góry ustalony czas (od 7 do 90 dni). Czasami zamiast ograniczenia na liczbę dni jest ograniczenie na liczbę uruchomień programu. Programy na tej licencji są w pełni funkcjonalne. Po upływie ustalonego czasu, zgodnie z licencją, wymagane jest uzyskanie wersji pełnej programu albo usunięcie go z dysku twardego. Większość tego typu programów po upływie tego czasu blokuje działanie części lub całości funkcjonalności do czasu zakupienia pełnej licencji i wprowadzenia klucza odblokowującego. Na tej licencji rozprawdza się zazwyczaj wersje próbne.

GRAFIKA 2,5D

Grafika dwuipółwymiarowa, również pseudo 3D – określenie systemów generujących grafikę, które próbują wywołać złudzenie trójwymiarowości, wykorzystując zasady rzutu izometrycznego (lub innej aksonometrii) i operując zestawami dwuwymiarowych obiektów ruchomych – tzw. duszków (ang. *sprite*).

Taki sposób wizualizacji został zastosowany m.in. w grze SimCity3000, jest także wykorzystywany w Mapach Google do wizualizacji budynków w większych miastach. Dla kontrastu, gry używające grafiki 3D nazywane są „prawdziwym 3D”.

Rzut aksonometryczny i skośny

W projekcji aksonometrycznej i projekcji skośnej, dwóch postaciach rzutowania równoległego, punkt widzenia jest nieco obrócony, aby ukazać inne aspekty otoczenia, niż te, które są widoczne w widoku z góry lub z boku, tworząc w ten sposób efekt trójwymiarowy. Obiekt jest „przedstawiany jako nachylony, co skutkuje skróceniem wszystkich trzech osi”, natomiast obraz jest „reprezentacją na jednej płaszczyźnie (jako powierzchni rysunkowej) trójwymiarowego obiektu umieszczonego pod kątem do płaszczyzny rzutowania”. Linie prostopadłe do płaszczyzny stają się punktami, linie równoległe do niej mają rzeczywistą długość, a linie skośne do płaszczyzny są skrócone.

Te rodzaje rzutowania stanowią popularne perspektywy kamery w grach wideo 2D, najczęściej w tych przeznaczonych na konsole 16-bitowe lub wcześniejsze oraz przenośne, a także w późniejszych grach strategicznych i fabularnych (RPG). Zaletą tych perspektyw jest to, że łączą one widoczność i mobilność widoku odgórnego (top-down) gry z rozpoznawalnością postaci w widoku bocznym (side-scrolling). W ten sposób graczowi można przedstawić ogląd świata gry w zakresie widzenia go z góry, w mniejszym lub większym stopniu, wraz z dodatkowymi szczegółami grafiki możliwymi do zobaczenia pod kątem. Zamiast pokazywać humanoida w perspektywie odgórnej, z głową i ramionami widzianymi z góry, cały korpus można narysować przy użyciu kąta pochyłego. Obracanie postaci wokół własnej osi pokazałoby, jak wygląda ona z boków oraz z przodu i z tyłu, podczas gdy w widoku odgórnym, niezależnie, wyświetlana byłaby sama głowa i ramiona.

Istnieją trzy główne rodzaje rzutu aksonometrycznego:

- izometryczny (równy pomiar),
- dimetryczny (symetryczny i niesymetryczny),
- trimetryczny (pojedynczy widok lub tylko dwa boki).

Najpowszechniejszym z tych typów rysunku w rysunku technicznym jest rzut izometryczny. Jego nazwa pochodzi stąd, że wszystkie trzy osie stykają się pod równym kątem wynoszącym 120° . W rezultacie wszystkie trzy osie są równo skrócone.

Bardziej powszechna w grach wideo jest forma rzutowania dimetrycznego o stosunku pikseli 2:1, ze względu na problemy wygładzania (ruchu postaci) oraz kwadratowe piksele występujące w większości monitorów komputerowych.

W projekcji skośnej zwykle wszystkie trzy osie są pokazane jako nieskrócone. Wszystkie linie równoległe do osi są rysowane w skali, a przekątne i zakrzywione linie są zniekształcone. Jedną z charakterystycznych oznak projekcji skośnej jest to, że twarz skierowana w stronę kamery zachowuje swoje kąty proste w stosunku do płaszczyzny obrazu.

Najpopularniejsze gry tworzone w rzucie ukośnym to: Ultima VII: The Black Gate and Paperboy. Natomiast wykorzystujące rzut aksonometryczny to SimCity 2000, Baldur's Gate, Diablo.

Techniki filmowe i animacyjne 2,5D

Termin ten jest również używany do opisanie efektu animacji dość powszechnie stosowanego w wideoklipach muzycznych, a częściej w czołówkach (filmów i seriali). Na tego rodzaju efekty położono duży nacisk podczas realizowania filmu „The Kid Stays in the Picture” opartego na książce producenta filmowego Roberta Evansa. Dotyczyły one warstwowania i animowania dwuwymiarowych obrazów w przestrzeni trójwymiarowej. Wcześniejsze przykłady tej techniki to teledysk „Down” do piosenki Liz Phair w reżyserii Rodneya Aschera oraz „A Special Tree” w reżyserii muzyka Giorgio Morodera.

GAME ENGINE

Silnik gry komputerowej (ang. *game engine*)

Główna część kodu gry komputerowej dostępna wraz ze zintegrowanym środowiskiem programistycznym zaprojektowanym dla osób i zespołów tworzących gry komputerowe.

Silnik gry zajmuje się interakcją pomiędzy elementami gry. Może mieć wbudowane moduły grafiki, wejścia, sieci czy też AI, wykrywania kolizji między obiektami gry itd. Może także korzystać z oddzielnych silników implementujących obsługę wymienionych modułów. Silnik gry jest często błędnie utożsamiany z silnikiem graficznym lub silnikiem 3D.

Najczęściej jest on projektowany i realizowany z użyciem paradygmatu obiektowego. Producenci gier korzystają z gotowych silników lub też sami je tworzą, przy czym praktycznie zawsze silnikowi towarzyszą narzędzia, dzięki którym można stworzyć pewne elementy gry bez ingerencji w kod źródłowy silnika.

GRAFIKA 2D

Grafika dwuwymiarowa, grafika 2D

Dział informatyki zajmujący się cyfrowymi obrazami dwuwymiarowymi i technikami ich obróbki, jak również te obrazy jako takie (mogące składać się z tekstu, grafiki oraz obiektów dwuwymiarowych).

Grafika dwuwymiarowa znajduje zastosowanie głównie tam, gdzie pierwotnie używano tradycyjnych technologii drukowania oraz rysowania - między innymi typografii, kartografii, kreślarstwie, reklamie, filmie animowanym.

W tych zastosowaniach dwuwymiarowy obraz jest nie tylko reprezentacją obiektu ze świata rzeczywistego, ale niezależnym elementem, któremu nadano konkretne znaczenie. Dwuwymiarowy model jest w tym wypadku preferowany, ponieważ daje bardziej bezpośrednią kontrolę nad obrazem niż model trójwymiarowy, który lepiej odnosi się do fotografii niż do typografii.

Grafika komputerowa 2D rozpoczęła swój rozwój w latach 50. XX wieku od urządzeń grafiki wektorowej. Z czasem zostały one wyparte przez urządzenia grafiki rastrowej. Język PostScript oraz system X Window były jednymi z najważniejszych projektów w tej dziedzinie.

Techniki związane z grafiką 2D

Grafika może być tworzona poprzez:

- rysowanie bezpośrednio na ekranie
- rysowanie w pamięci (obraz jest niewidoczny), a następnie wyświetlanie obrazu na ekranie
- rysowanie w pamięci, następnie zapisywanie do pliku (np. plik PPM)
- rysowana i zapisywana bezpośrednio do pliku. Obraz jest niewidoczny, aby go zobaczyć należy otworzyć plik (np. w przeglądarce grafiki).

Grafika 2D może zawierać w sobie modele geometryczne (nazywane grafiką wektorową), obrazy cyfrowe (nazywane grafiką rastrową), tekst (zdefiniowany przez styl i rozmiar czcionki, kolor, pozycję i orientację), funkcje i równania matematyczne. Składowe te mogą być modyfikowane i manipulowane przez dwuwymiarowe transformacje geometryczne takie jak translacja, rotacja, skalowanie.

W grafice obiektowej obraz jest opisywany pośrednio przez obiekt stosujący *autorendering* – procedurę ustalającą kolory pikseli obrazu poprzez bezwzględny algorytm. Złożone modele tworzy się z połączenia prostszych obiektów, jak w przypadku programowania obiektowego.

Rysowanie bezpośrednie

Wygodnym sposobem aby stworzyć złożony obraz jest rozpoczęcie pracy od pustego obrazu (*canvas*) - mapy rastrowej (jest to tablica pikseli - bitmapa lub pixmapą jeśli obraz jest kolorowy) wypełnionej jakimś jednolitym kolorem tła - następnie „rysowanie”, „malowanie” lub „wklejanie” prostych kolorowych fragmentów obrazu w określonym porządku. W szczególnych przypadkach obraz może być przedstawiany jako bufor ramki.

Niektóre programy ustawiają kolory pikseli bezpośrednio w pamięci karty graficznej, jednak większość opiera swe działanie na którejś z bibliotek graficznych 2D. Biblioteki te zazwyczaj implementują następujące operacje graficzne:

- wklejenie zadanego obrazu w zadanym miejscu na płaszczyźnie
- wypisanie odpowiednią czcionką i pod odpowiednim kątem ciągu znaków w zadanym miejscu,
- rysowanie prostych figur geometrycznych – na przykład trójkąta przy zdefiniowanych trzech wierzchołkach, lub okręgu przy zdefiniowaniu jego środka oraz promienia,
- rysowanie linii prostych i krzywych oraz łuków krzywych, za pomocą wirtualnego pióra o zadanej grubości.

Rozszerzone modele barw

Tekst, kształty i linie są renderowane kolorem określonym przez klienta. Wiele bibliotek i kart dostarcza kolorowych gradientów, które są pomocne przy wyświetlaniu tła z przejściami tonalnymi między kolorami, efektów cieniowania, itp. (zobacz także cieniowanie Gourauda). Kolory piksela mogą być także pobrane z tekstury, np. z obrazu cyfrowego.

Namalowanie piksela danym kolorem zazwyczaj zastępuje poprzedni kolor. Jednakże, wiele systemów pozwala na malowanie przezroczystymi kolorami, które tylko modyfikują wartość poprzedniego piksela.

Dwa kolory mogą również być wymieszane w bardziej wyszukany sposób, na przykład przez wykonanie na nich bitowej operacji XOR. Ta technika, znana jako odwracanie kolorów (negatyw), jest często używana w interfejsach graficznych (np. w okienkach) do podświetlania elementów, a także innych zastosowań, gdy potrzebne jest zaznaczenie części rysunku bądź interfejsu tylko na chwilę - ponowne wykonanie na tych pikselach operacji XOR przywróci oryginalny jego kolor.

Warstwy

Modele rysowania 2-wymiarowej grafiki komputerowej nie mają możliwości tworzenia kształtów trójwymiarowych oraz stosowania efektów charakteryzujących przestrzeń trójwymiarową (oświetlenie, cienie, odbicia, załamania fal świetlnych). Jednakże istnieje możliwość nałożenia na obraz 2D wielu różnorodnych warstw, czyli czegoś w rodzaju kartki lub półprzezroczystej bądź przezroczystej folii ułożonych na sobie w odpowiedniej kolejności. Kolejność ta jest zwykle zdefiniowana przez pojedynczą liczbę - położenie warstwy lub jej odległość od obserwatora.

Grafika zawierająca warstwy jest czasem nazywana grafiką dwuipółwymiarową. Taka technika pozwala na wykorzystanie podobnych możliwości, co w przypadku obróbki obrazu na papierze oraz półprzezroczystych foliach. Możliwe jest wycinanie oraz wklejanie elementów na pojedynczych warstwach nie zmieniając pozostałych warstw. Z tych powodów są one używane w większości edytorów graficznych. Modele warstwowe pozwalają także na lepszy *antialiasing* bardziej złożonych obrazów.

Warstwy umożliwiają użytkownikowi na pozostawianie lub usuwanie niepotrzebnych informacji podczas przeglądania bądź drukowania różnego rodzaju dokumentów, np. pozwalają na usunięcie dróg bądź torów kolejowych z map, ścieżek ze schematów układów elektronicznych lub odręcznych notatek w jakimś dokumencie.

Końcowy obraz jest tworzony poprzez „malowanie” lub „wklejanie” każdej z warstw na początkowo czysty obraz, zgodnie z kolejnością położenia każdej z warstw. Każda warstwa jest najpierw renderowana jako pojedynczy obraz, a następnie tak wyrenderowany obraz jest malowany piksel po pikselu na obrazie docelowym. Jeśli część warstwy jest przezroczysta, ta część nie jest oczywiście malowana. Renderowanie i malowanie może odbywać się równolegle, tzn. piksel każdej z warstw może być malowany od razu po tym jak zostanie wyrenderowany.

Jeśli warstwa zawiera bardziej złożone obiekty geometryczne - tekst, linie krzywe - może być rozbita na prostsze elementy, na przykład pojedyncze litery w przypadku tekstu, albo odcinki linii prostych. Następnie są one malowane jako osobne warstwy, w odpowiedniej kolejności. To rozwiązanie jednak może doprowadzić do utworzenia niepożądanych efektów w obrazie, gdy dwa elementy będą musiały zostać namalowane na jednym pikselu.

INTERAKCJA/VR

Rzeczywistość wirtualna (ang. *virtual reality*), fantomatyka

Obraz sztucznej rzeczywistości stworzony przy wykorzystaniu technologii informatycznej. Polega na multimedialnym kreowaniu komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń. Może on reprezentować zarówno elementy świata realnego (symulacje komputerowe), jak i zupełnie fikcyjnego (gry komputerowe science-fiction).

Technologia

Na obecnym poziomie rozwoju technologii komputerowej rzeczywistość wirtualną uzyskuje się głównie poprzez generowanie obrazów i efektów akustycznych. Rzadziej stosowane są doznania dotykowe, a nawet zapachowe czy smakowe. Dodatkowo technologia ta umożliwi interakcję ze środowiskiem symulowanym przez komputer poprzez różnego rodzaju manipulatory.

Doświadczenia wizualne odbieramy za pomocą oczu obserwując środowisko przedstawiane za pomocą różnego rodzaju ekranów. Najczęściej stosowane są ekrany komputerowe. Wykorzystuje się do tego celu również ekrany wielkopowierzchniowe (w tym kinowe) oraz miniaturowe (umieszczane w specjalnie skonstruowanych "okularach"). Wszystkie te technologie umożliwiają wyświetlenie obrazu zarówno w trybie 2D, jak i 3D (stereoskopowo). Do uzyskania efektu trójwymiarowego stosuje się kilka technologii. Najstarsza ze stosowanych to zastosowanie dwukolorowych (niebiesko-czerwonych) okularów anaglifowych przez które ogląda się specjalnie spreparowany obraz. Wadą tej technologii jest słaba głębia kolorów, dlatego coraz częściej jest ona zastępowana przez okulary polaryzacyjne. Tu również mamy do czynienia za specjalnie przygotowanym obrazem oraz okularami, których szkła posiadają odwrotną polaryzację przepuszczanego światła. Już przy pierwszym kontakcie odczuwamy olbrzymią przewagę tej technologii nad "czerwono-niebieską". Nie ogranicza ona widzenia barw oraz tworzy bardzo realistyczną głębię obrazu 3D. Warto w tym miejscu wspomnieć też technologię półprzeźroczystych okularów LCD podłączonych elektrycznie do układu i zsynchronizowanych z obrazem wyświetlanym na ekranie w postaci dwóch półobrazów. Każdy z półobrazów wyświetlany jest naprzemiennie (najczęściej z częstotliwością 120 Hz), podczas gdy okulary zaciemniają się na przemian przepuszczając do lewego i prawego oka tylko parzyste lub nieparzyste klatki obrazu. Kolejną technologią są "okulary" zawierające wbudowane dwa miniaturowe ekrany, z których każdy wyświetla właściwą część obrazu.

Doznania akustyczne nie zawsze towarzyszą środowisku rzeczywistości wirtualnej. W niektórych zastosowaniach są one elementem zbędnym (modelowanie pogody, medycyna, spacer po mieście). W innych stanowią nieodzowny element tego środowiska, zwiększający głębię doznań wirtualnego świata. Szczególnie ciężko wyobrazić sobie gry komputerowe bez efektów dźwiękowych. Aby maksymalnie zwiększyć efekt doznań, stosuje się układy dźwięku wielokanałowego 3D. Do tego celu konstruuje się układy wielogłośnikowe (również w słuchawkach nagłownych) oraz układy elektroniczne

wywołujące wirtualizację dźwięku w systemach dwugłośnikowych. Najczęściej stosowanym układem głośnikowym jest system 5.1 składający się z dwóch głośników przednich, dwóch tylnych, centralnego i niskotonowego. Producenci komputerowych kart dźwiękowych prześcigają się w konstrukcji rozwiązań wspomagających obliczanie środowisk akustycznych 3D, poprzez matematyczną analizę ich kształtu i zastosowanych materiałów.

Podjęmowane są już próby konstrukcji układów mających wzbogacić doznania w środowisku rzeczywistości wirtualnej o zapach, chociaż podobnie jak w przypadku dźwięku nie wszystkie zastosowania ich wymagają. W 2001 roku Amerykańska firma DigiScents ogłosiła premierę urządzenia o nazwie iSmell Personal Scent Synthesizer, które działało jak zapachowy cartridge. Zadaniem oprogramowania załączonego do urządzenia było uwalnianie w odpowiednich momentach różnych mieszanek zapachów, znajdujących się w dołączonych do urządzenia zbiornikach, które można było napełniać i wymieniać jak naboje do drukarek. Niestety projekt okazał się fiaskiem finansowym ze względu na znikome zainteresowanie klientów tym produktem.

Niektóre symulacje zawierają środowisko wirtualne w którym znajdują się wirtualne artefakty, które mogą być obsługiwane lub wchodzić w interakcje z użytkownikiem (najczęściej reprezentowanym przez awatara) przez różnego typu urządzenia wejścia-wyjścia. Najczęściej do tego celu służą: myszka komputerowa, klawiatura, dżojstik, gamepad, kierownica, tablet, touchpad lub ekran dotykowy. Bardziej futurystycznymi rozwiązaniami są różnego rodzaju wirtualne rękawice, hełmy z czujnikami ruchu, kompletne kombinezony, fotele, a nawet całe kabiny symulacyjne. Część z tych urządzeń posiada mechanizmy wywołujące efekt zwrotny wobec użytkownika. Najprostszą formą tego typu efektów są wibracje, pojawiające się na urządzeniu w określonym momencie. Zazwyczaj ich intensywność jest stała, inaczej mówiąc działają u układzie logicznym 0-1. Bardziej skomplikowane konstrukcje opierają się na silniczkach elektrycznych i siłownikach. Tego typu konstrukcje odwzorowują zazwyczaj siłę doznania i jego charakterystykę i kierunek. Przykładowo, bardziej zaawansowane modele kierownic do samochodowych wyścigów komputerowych potrafią odwzorowywać w inny sposób doznania związane z rodzajem nawierzchni po której się porusza pojazd, inaczej zareagują na uderzenie boczne, czołowe, a inaczej zachowują się gdy pojazd wpadnie na mokrej nawierzchni w poślizg. Z kolei hełmy poprzez wbudowane czujniki ruchu sterują ruchem wirtualnej głowy awatara, czyniąc rozglądanie się po otoczeniu bardziej naturalnym. Podobnie rękawice, wyposażone w czujniki grawitacyjne i dotykowe dają możliwość sterowania wirtualnymi rękami i palcami, a co za tym idzie wykonywania wirtualnych prac w sposób intuicyjny. Używając połączenia tych sterowników można w całej pełni korzystać z potencjału środowiska 3D. Taki układ obsługuje bowiem 6 stopni swobody (ang. 6 DOF – Degree Of Freedom), czyli jednocześnie dostarcza informacji zarówno o pozycji (3 wymiary), jak i orientacji (3 wymiary), w sumie zatem sześć wartości. W zaawansowanych modelach symulacyjnych często stosuje się kabiny. Zwiększają one immersję poprzez odizolowanie operatora od świata realnego, wewnętrznym wykończeniem przypominają rzeczywisty kokpit, a czasami sterowane siłownikami symulują przeciążenia wykorzystując ruch obrotowy wokół osi oraz różne kąty nachylenia do siły grawitacji. Inżynierowie pracujący dla Facebook Reality Labs oraz Oculus opracowali pierwszy system śledzenia dłoni dla headsetu VR Oculus Quest, który w całości opiera się

wyłącznie na kamerach monochromatycznych. Za pomocą wykorzystania techniki uczenia maszynowego (deep learning) oraz śledzenia opartego na modelu dłoni, udało im się osiągnąć lepszy rezultat, niż przy wykorzystaniu technologii opartej na badaniu głębi obrazu. Warto zwrócić uwagę na to, że użytkownik nie musi być wyposażony w dodatkowe gadżety jak rękawice, aby cały proces badania ręki odbył się prawidłowo. Nowa technologia ma zostać wprowadzona w życie na początku 2020 roku.

W praktyce rzeczywistość wirtualna jest pojmowana jako system, składający się ze specjalistycznego oprogramowania oraz sprzętu. Ze względu na mnogość systemów przyjęto definiować je jako rzeczywistość wirtualną. Rola oprogramowania najczęściej skupia się na dwóch warstwach. W jednej, przy wsparciu akceleratorów sprzętowych służy przetwarzaniu środowiska w obraz i dźwięk. Ze względu na trójwymiarowość środowiska, wiąże się to z ogromną ilością obliczeń matematycznych. Czasami mamy do czynienia z obliczeniami dokonywanymi w czasie rzeczywistym. W niektórych przypadkach obliczenia wykonane zostają przed właściwą projekcją. Wówczas mamy zazwyczaj do czynienia z efektem końcowym znacznie lepszej jakości i o nieporównywalnie większej precyzji. Często też, dodatkowy sprzęt wspiera uczucie tzw. immersji czyli zagłębienia w środowisku generowanym komputerowo.

Patrząc przez pryzmat aktualnych rozwiązań, można powiedzieć że postęp osiągnięty w ostatnich latach w dziedzinie technologii jest przeogromny. Jednak wierności modeli jeszcze sporo pozostało do osiągnięcia pełnego realizmu świata rzeczywistego. Hamują nas wciąż ograniczenia sprzętowe. Coraz rzadziej jest to kwestią rozdzielczości obrazu czy pasma komunikacji sieciowej. Problemy wynikają z naszej fizjologii. Współpraca naszego organizmu ze sprzętem nie przebiega w sposób bezproblemowy – pojawiają się efekty uboczne. Interaktywne gadżety w rodzaju hełmów czy rękawic tylko pozornie odwzorowują nasze ruchy w cyberprzestrzeni. Wzrok i błędnik grają fundamentalne role w naszym określaniu równowagi i lokalizacji przestrzennej. W przypadku wzroku problemem staje się opóźnienie pomiędzy zarejestrowanymi przez hełm ruchami naszej głowy a obrazem generowanym przez komputer i wysyłanym na ekran. Analogiczna sytuacja opóźnienia ma miejsce w przypadku odwzorowania ruchu rękawic. Z kolei błędnik inaczej zarejestruje naszą orientację w odniesieniu do grawitacji, niż wskazywać będzie algorytm wyliczony przez aplikację. Dla naszego mózgu jest to sytuacja konfliktowa, ponieważ odbiera on od różnych zmysłów sprzeczne informacje. Inną przyczyną konfliktu może być różnica pomiędzy zbieżnością oczu a zbieżnością kreowaną przez parę stereoskopowych obrazów umieszczonych w hełmie. W życiu codziennym ciągle musimy fiksować nasz wzrok na rozmaicie od nas oddalonych przedmiotach (od ok. 28 mm do nieskończoności). Tymczasem urządzenia wyświetlające, kreują wirtualny obraz w stałej od nas odległości. Nasz organizm szybko przyzwyczaja się do tej nowej sytuacji, jednakże – jak na ironię – rodzi to problem powrotu do realnej rzeczywistości. Im bardziej immersyjny system, tym trudniejszy powrót. Nastawienie sobie na powrót ostrości postrzegania, czy odzwyczajanie się od opóźnień, czasami wcale nie jest takie proste. Przebywając w wirtualnych światach przeprogramujemy nasz mózg, zaś powrót do rzeczywistości wymaga kolejnego przeprogramowania. Jednak technologia rozwija się, nie ograniczając się tylko do prawa Amdahla, więc w niedalekiej przyszłości można się spodziewać pokonania barier czysto techniczno-sprzętowych. Pozostanie

kwestia ceny i zastosowań w praktyce, które miejmy nadzieję nie wymkną się spod kontroli twórców.

Zastosowania

Technologia rzeczywistości wirtualnej ma zastosowanie zarówno w dziedzinie użytkowej jak i rozrywkowej. Daje nam narzędzia przy użyciu których możemy uporać się z poważnymi problemami jakie niesie ze sobą życie i rozwój cywilizacji. Udostępnia również pole dla czystej zabawy intelektualnej jaką potrafią dać szczególnie dzieciom gry komputerowe.

Symulowane środowisko może być podobne do świata rzeczywistego. Tworzy się więc symulacje przydatne dla pilotów oraz różnego typu treningi wojskowe, a także modele prac remontowych, konstrukcyjnych i medycznych, których wirtualne scenariusze przebiegają w bardzo trudnych, czy nawet ekstremalnych i nietypowych warunkach, ale są całkowicie bezpieczne dla zdrowia i życia. Tworzy się również matematyczne modele klimatu świata, służące prognozowaniu pogody. Od wielu lat możemy oglądać rozwój specjalistycznego sprzętu, który umożliwia poruszanie się w innym, kontrolowanym przez człowieka świecie. Rzeczywistość wirtualna to nieocenione narzędzie pozwalające tworzyć w sposób bezpieczny modele, które po sprawdzeniu można zrealizować w rzeczywistości realnej.

Przykładowe zastosowania użytkowe:

Symulatory

- lotnictwo wojskowe i cywilne
- astronautyka
- pojazdy, maszyny i konstrukcje naziemne
- pojazdy, maszyny i konstrukcje górnicze
- pojazdy, maszyny i konstrukcje podwodne i morskie

Medycyna

- interaktywne szkolenia chirurgów
- interaktywne doświadczenia w medycynie
- leczenie oparzeń (wirtualny świat Snow World)
- leczenie fobii
- leczenie PTSD (Zespół stresu pourazowego)

Prototypowanie

- tworzenie modeli CAD

Komunikacja audiowizualna

- teleimersja

Rzeczywistość rozszerzona (ang. augmented reality)

- HUD
- obrazowanie medyczne
- szkolenia
- muzealnictwo
- marketing

Mówiąc o rozrywce w kontekście rzeczywistości wirtualnej, na myśl przychodzą oczywiście gry komputerowe, będące odzwierciedleniem mniej lub bardziej rzeczywistego świata. Część gier ma swój rodowód w zastosowaniach użytkowych, które z czasem zawitały w świecie rozrywki multimedialnej. Do takich należą przede wszystkim wszelkiego rodzaju symulatory lotu, zarówno jednostkami militarnymi jak i cywilnymi. Ale symulatory nie ograniczają się do lotnictwa. Powstały już praktycznie symulatory wszelkich pojazdów, maszyn, a nawet całych systemów – takich jak lotniska, dworce, parki rozrywki. Inną formą są produkty wykorzystujące perspektywę FPP. Są to głównie tzw. shootery. Kolejną formą są gry MMORPG realizujące wizje całych światów, po których poruszają się postacie (awatary) nawet kilku tysięcy graczy, realizujących swoje cele wyznaczone przez fabułę.

Przykładowe gatunki:

- symulatory
- gry FPP
- gry MMORPG

Formą relaksu w środowisku rzeczywistości wirtualnej niekoniecznie muszą być gry. Do tego celu mogą służyć specjalnie stworzone środowiska, mające na celu relaksację w otoczeniu wirtualnej oazy, w której można uspokoić umysł przy pomocy obrazów, muzyki, czy nawet zapachów kojących umysł.

Coraz częściej swoje modele w świecie rzeczywistości wirtualnej przygotowują instytucje i organizacje pragnące w ten sposób zainteresować środowiska konsumenckie ich odpowiednikiem w świecie realnym i w ten sposób zwiększyć atrakcyjność oferty i skłonić do wizyty raz w świecie wirtualnym, dwa w naturze. Powstają więc wirtualne modele najciekawszych fragmentów miast (centra kulturalne i handlowe), czy słynnych budowli (np. Zakazane Miasto w Pekinie). Niektóre funkcjonują w postaci oddzielnych aplikacji, inne stają się częścią ogólnoswiatowych projektów (Google Earth, Second Life) stale rozwijanych i udoskonalanych.

Przykładowe rozwiązania:

Handel

- Rozszerzona wirtualna rzeczywistość (ang. Augmented Reality) w handlu, muzeach

Turystyka

- Wirtualne Zakazane Miasto

Aspekty zdrowotne

Stymulowanie impulsami wizualnymi 3D szczególnie w dłuższym przedziale czasu może powodować różne reakcje organizmu (np. epilepsje) szczególnie gdy doznania wzrokowe różnią się od grawitacyjnych (błędnik). Ważnym aspektem pozostają również choroby stawów i kręgosłupa. Jest to jedna z wad, która przez długie korzystanie z różnych symulatorów najczęściej w grach powoduje negatywne skutki.

Rzeczywistość rozszerzona (ang. augmented reality), rzeczywistość poszerzona – system łączący świat rzeczywisty z generowanym komputerowo. Zazwyczaj wykorzystuje się obraz z kamery, na który nałożona jest, generowana w czasie rzeczywistym, grafika 3D. Istnieją także zastosowania wspomagające jedynie dźwięk (jak aplikacja RjDj na iPhone).

Na przykład użytkownik AR może za pomocą półprzezroczystych okularów obserwować życie toczące się na ulicach miasta jak również elementy wytworzone przez komputer nałożone na rzeczywisty świat.

Definicja

Ronald Azuma zaprezentował definicję, która jest syntetycznym opisem rzeczywistości rozszerzonej. Definiuje on AR jako system:

- łączący w sobie świat realny oraz rzeczywistość wirtualną,
- interaktywny w czasie rzeczywistym,
- umożliwiającą swobodę ruchów w trzech wymiarach.

„AR Tower Defense” gra Nokii wykorzystująca markery

AR jest wykorzystywana w różnych obszarach nauki i biznesu:

- medycyna – obrazowanie medyczne, lekarze mogą mieć dostęp do danych na temat struktury i czynności narządów wewnętrznych pacjenta;
- lotnictwo – instrumenty pokładowe pokazują pilotom ważne dane na temat ukształtowania terenu, który widzą przed sobą;
- motoryzacja - wyświetlanie kluczowych informacji lub obrazów np. z komputera pokładowego, radia lub systemu nawigacji na przedniej szybie samochodu lub motocykla, dzięki czemu poprawia się bezpieczeństwo jazdy gdyż kierowca nie musi odrywać wzroku od drogi;
- szkolenia – AR zapewnia studentom niezbędne dane o specyficznych obiektach, nad którymi pracują;
- muzea – wystawiony eksponat może być oznakowany informacjami takimi jak kontekst historyczny lub miejsce odkrycia artefaktu;
- marketing - markery AR stosowane bywają w trakcie kampanii marketingowych.

W szkołach wyższych w USA wykładowcy przywiązują coraz większą wagę do wzbogacania doświadczeń swoich studentów, łącząc edukacyjne treści ze specyficznymi miejscami i obiektami, na temat których studenci zdobywają wiedzę. Nieodłącznymi

elementami wielu kursów są wycieczki. Poprzez uzupełnienie mobilną technologią lekcja może stać się jeszcze bardziej atrakcyjna. W niektórych przypadkach technologie AR są zintegrowane z grami edukacyjnymi. W Massachusetts Institute of Technology istnieje program „Detektywi Środowiskowi”, w którym studenci na terenie kampusu uczelni zdobywają wiedzę o ekosystemie wyszukując wskazówki i stopniowo odkrywając tajemnicę. Studenci używają w tym celu palmtopów oraz systemu nawigacji GPS. AR znajdują również zastosowanie w przypadku awarii w przemyśle, gdzie ważne jest zachowanie ciągłości produkcji. Pracownicy mogą to naprawić zgodnie z instrukcjami na żywo za pomocą inteligentnych okularów AR.

Markery

Technologia rzeczywistości rozszerzonej wykorzystuje tzw. markery - punkty odniesienia, na bazie których aplikacja AR określa swoje położenie względem świata rzeczywistego. Markery są identyfikowane przez kamerę urządzenia AR (np. kamerę smartfona), początkowo miały więc formę łatwych do wykrycia symboli i wzorów, takich jak Kod QR. W 2017 roku wprowadzona została technologia bezmarkerowego AR, której działanie polega na określaniu rzeczywistej płaszczyzny na zasadzie wykrywania wzorców kolorystycznych i unikalnych kształtów występujących na oglądanej powierzchni.

Animacje interaktywne Interaktywne animacje stosowane są w grach komputerowych. Główna cecha: nie możemy z góry przewidzieć przebiegu animacji. Obiekty animacji interaktywnej: główna postać (interaktywna) – zachowanie zależne od sterowania przez gracza oraz interakcji z innymi obiektami, postacie i „stwory” sterowane przez komputer (NPC – non-playable characters) – zachowanie opisane przez skrypty i modele, obiekty statyczne i tło 2D – interakcje z postaciami.

SYSTEM OPERACYJNY

System operacyjny (ang. *operating system*, OS)

Oprogramowanie zarządzające systemem komputerowym, tworzące środowisko do uruchamiania i kontroli zadań.

W celu uruchamiania i kontroli zadań użytkownika system operacyjny zajmuje się:

- planowaniem oraz przydziałem czasu procesora poszczególnym zadaniom,
- kontrolą i przydziałem pamięci operacyjnej dla uruchomionych zadań,
- dostarczaniem mechanizmów do synchronizacji zadań i komunikacji pomiędzy zadaniami,
- obsługą sprzętu oraz zapewnieniem równoległe wykonywanym zadaniom jednolitego, wolnego od interferencji dostępu do sprzętu.

Dodatkowe przykładowe zadania, którymi może, ale nie musi, zajmować się system operacyjny to:

- ustalanie połączeń sieciowych,
- zarządzanie plikami.

Większość współczesnych systemów operacyjnych posiada środowiska graficzne ułatwiające komunikację maszyny z użytkownikiem.

Wczesne komputery były urządzeniami bardzo kosztownymi, wobec czego właścicielom tych urządzeń zależało na maksymalnym wykorzystaniu ich możliwości, czyli najczęściej wykonania możliwie jak największej liczby prac. Miało to efektywniej wykorzystać nakłady poniesione na zakup komputera. Komputer zainstalowany w ośrodku obliczeniowym pracował niekiedy nie tylko na potrzeby swojego właściciela, ale realizował usługi dla innych podmiotów gospodarczych. Rozpoczęto poszukiwania możliwości zwiększenia wydajności komputera oraz ułatwienie jego programowania, a ponieważ proste rozwiązania w postaci zmiany CPU na szybszą itp. nie wchodziły w grę (ze względu na koszt), zaczęto szukać innych możliwości polepszenia sytuacji.

Szybko dostrzeżono fakt, że szybkość działania interfejsów wejścia/wyjścia jest niewspółmiernie mniejsza niż jednostki centralnej (zresztą ta zależność utrzymuje się dzisiaj i zdaje się pogłębiać). Wprowadzanie programu i danych z kart perforowanych, a nawet taśm magnetycznych czy drukowanie wyników trwało dużo dłużej niż same obliczenia.

Pierwszą drogą jaką znaleziono było umieszczenie na stałe w pamięci komputera oprogramowania realizującego obsługę sprzętu oraz komunikację sprzętu z użytkownikiem. Dzięki temu nie było już konieczne każdorazowe ładowanie kodu obsługi sprzętu i komunikacji z użytkownikiem przy ładowaniu programu użytkowego. Uzyskano w ten sposób pewną oszczędność czasu oraz zwiększono efektywność.

Dalsze ulepszenia polegały na dostrzeżeniu faktu, że podczas samego wprowadzania programu lub wyprowadzania danych na drukarkę procesor komputera jest niewspółmiernie mniej obciążony pracą niż podczas wykonywania obliczeń. Zrodził się

więc pomysł aby w tym czasie procesor był zajęty przetwarzaniem innego programu. Taka funkcjonalność, w której komputer wykonuje kilka zadań w tym samym czasie nazywa się wielozadaniowością i jest jedną z podstawowych cech nowoczesnych systemów operacyjnych.

Najszerszym, ale najbardziej podstawowym kryterium podziału systemów operacyjnych jest podział na:

- system operacyjny czasu rzeczywistego (RTOS)
- systemy operacyjne czasowo niedeterministyczne

Podział ten odnosi się do najbardziej podstawowej funkcjonalności systemu operacyjnego jakim jest planowanie i przydział czasu procesora poszczególnym zadaniom.

Ze względu na sposób realizacji przełączania zadań systemy operacyjne można podzielić na:

- systemy z wywłaszczaniem zadań
- systemy bez wywłaszczania.

Inny rodzaj podziału to podział na:

- otwarte systemy operacyjne
- wbudowane systemy operacyjne.

Systemy otwarte można uruchomić na dowolnej maszynie wskazanego rodzaju np. PC i w określonym stopniu modyfikować. Systemy wbudowane jak sama nazwa wskazuje są zaszyte [wbudowane] wewnątrz urządzeń użytkowych, maszyn pojazdów itp. Aby uzyskać wysoką niezawodność pracy, minimalizuje się w takich przypadkach możliwość dokonywania zmian w konfiguracji systemu operacyjnego.

Pod względem środowiska użytego do implementacji systemu można wprowadzić podział na:

- programowe
- sprzętowe.

Sprzętowe systemy operacyjne to: sprzętowo programowe rozwiązania integrowane z wybraną architekturą procesora. W takim przypadku sprzętowa część systemu przyspiesza wybrany zakres czynności wykonywanych przez system (przykładowo przełączania zadań i zachowywanie ich kontekstu).

Można ustalić pewną relację pomiędzy wymienionymi kryteriami podziału. Zazwyczaj jako otwarte systemy operacyjne spotyka się systemy w pełni programowe, czasowo niedeterministyczne stosujące wywłaszczenie przy przełączaniu zadań. Wbudowane systemy operacyjne są najczęściej czasowo deterministyczne, zazwyczaj nie stosują wywłaszczenia zadań, bywa, że są realizowane również w sprzęcie.

SYMULACJE

Symulacja komputerowa

Program komputerowy symulujący wybrane zjawisko fizyczne lub społeczne, najczęściej implementujący jego model matematyczny. Techniki symulacyjne są szczególnie przydatne tam, gdzie analityczne wyznaczenie rozwiązania byłoby zbyt pracochłonne, a niekiedy nawet niemożliwe, co często ma miejsce w systemach złożonych.

Symulacje komputerowe można podzielić ze względu na:

A. przewidywalność zdarzeń

- stochastyczne – korzystają z generatora liczb pseudolosowych lub (bardzo rzadko) losowych (szczególnie popularna jest metoda Monte Carlo).
- deterministyczne – wynik jest powtarzalny i zależy tylko od danych wejściowych i ewentualnych interakcji ze światem zewnętrznym.
- rozmyte

B. sposób upływu czasu

- z czasem ciągłym – czas zwiększa się stałymi przyrostami, jak w symulacji z czasem dyskretnym, lecz wartości próbek sygnałów są interpolowane dla chwil pośrednich pomiędzy momentami odczytu.
- z czasem dyskretnym – czas zwiększa się stałymi przyrostami, a krok czasowy dobiera się optymalnie ze względu na zasobożerność systemu, jego wydajność i charakter symulowanego obiektu i/lub zjawiska (mikrosekundy w obwodach elektrycznych i miliony lat przy symulacji ewolucji gwiazd).
- symulacja zdarzeń dyskretnych – czas zwiększa się skokowo, ale jego przyrosty są zmienne (ważniejsza jest tu sekwencja zdarzeń niż rzeczywisty lub wirtualny upływ czasu).

C. formę danych wyjściowych

- statyczne – wynikiem jest zbiór danych, statyczny obraz itp.
- dynamiczne – wynikiem jest proces przebiegający w czasie np. animacja.
- interaktywne – reagują na sygnały ze świata zewnętrznego np. operatora.
- nieinteraktywne

D. liczbę użytych komputerów

- lokalne – przetwarzanie odbywa się na pojedynczym komputerze.
- rozproszone – przetwarzanie odbywa się w wielu komputerach połączonych w sieci lokalnej (LAN) lub zewnętrznej np. Internet.

E. liczbę zmiennych niezależnych

- o parametrach skupionych
- o parametrach rozłożonych

Program symulacyjny może być napisany w dowolnym języku programowania. W ograniczonym zakresie można do symulacji wykorzystać również arkusz kalkulacyjny.

Zostały jednak stworzone specjalne narzędzia przeznaczone do wykonywania symulacji komputerowych. Obecnie stosowane są np.:

- język programowania GPSS
- Crystal Ball
- @Risk
- Arena
- SciLab
- FlexSim

Jednym z nietypowych dostępnych języków programowania jest ModSim oparty na Microsoft Visual C++ w wersji 1.5, choć programuje się w nim w języku podobnym do Pascala (za pomocą translatora jest zamieniany na C++). Posiada on mechanizmy do przeprowadzania zaawansowanych symulacji m.in. monitory i generatory liczb losowych. Możliwe jest też wizualizowanie w czasie rzeczywistym zachodzących procesów za pomocą np. wektorowych funkcji rysujących.

Najczęściej jednak używanym językiem programowania w symulacji komputerowej jest Python. Jest on darmowy, ma intuicyjną składnię, dla tego języka opracowania szereg bibliotek o otwartym kodzie, łatwo więc znaleźć przykłady użycia.

Systemy cząsteczkowe System cząsteczkowe (particle system) – stosowane są do animacji zjawisk takich jak ogień, mgła, fajerwerki, deszcz, itp. Animacja polega na obliczeniu stanu (położenia, wyglądu) cząsteczek wysyłanych przez emiter. Zadawane są parametry początkowe. Obliczenia wykonywane są przez model proceduralny danego systemu. W obliczonych miejscach obrazu rysowane są cząstki (np. małe tekstury).

Przykład działania – np. ogień: opis cząstki: pozycja, prędkość, temperatura emiter (ognisko) wyrzuca cząstki z określoną prędkością i w pewnym zakresie kątów pozycja i prędkość cząstek jest obliczana na podstawie modelu dynamicznego + czynnika losowego temperatura jest zmniejszana z czasem, gdy spadnie poniżej poziomu – cząstka umiera rysowanie cząstek w obliczonym miejscu, temperatura wyznacza barwę Symulacja zjawisk fizycznych Fizyczny model ruchu obiektu pod wpływem działających na niego sił: wymuszenie (przyłożona siła), prędkość, przyspieszenie (model dynamiczny) grawitacja tarcie sprężystość (zderzenia, odbicia) trwałe odkształcenia, uszkodzenia, itp. Model fizyczny jest szczególnym przypadkiem animacji proceduralnej.

PRZESTRZEŃ KOLORYSTYCZNA

Przestrzeń barw

Widma fal elektromagnetycznych z zakresu od 380 do 780 nm (światła widzialnego), których matematyczne modele są przedstawiane w trójwymiarowej przestrzeni barw. Dzięki tym modelom barwę można opisać nie tylko przez podanie jej widma, ale przez modele w różnym stopniu zbliżone do ludzkiej percepcji barwy, związanej z fizjologią oka ludzkiego, a szczególnie z występowaniem w siatkówce trzech rodzajów czopków.

Najważniejsze przestrzenie barw ujęto w normach międzynarodowych. Stosuje się je w różnych dziedzinach przemysłu (farbiarskim, tekstylnym, spożywczym, fotograficznym).

Istnieją różne modele przestrzeni barw, między innymi:

- RGB (oraz RGB z kanałem alfa),
- CMYK,
- CIEXYZ (CIE1931),
- CIELab (CIE1976),
- CIELUV,
- HSV oznaczane również jako HSB,
- HSL, HSI,
- YUV oraz YIQ.

EDYCJA VIDEO

Wraz z rozwojem technologii i rozpowszechnieniem prostszych w użyciu systemów do modyfikacji klipów, nawet osoby z małym doświadczeniem w tym temacie mogą realizować swoje pomysły za pomocą intuicyjnych narzędzi. Jedną z nowoczesnych opcji jest np. oś czasu, czyli liniowy układ treści w obszarze roboczym, do którego łatwo importować elementy, takie jak obraz, tekst czy dźwięk. Pracę ułatwia również graficzny interfejs użytkownika czy informacje dotyczące poszczególnych funkcji i wskazówki do ich używania. Dla początkujących zalecamy zatem jak najprostszą aplikację z przejrzystym panelem i obszernym plikiem pomocy.

Język skryptowy (ang. *script language*)

Język programowania obsługujący skrypty. Często służący do kontrolowania określonej aplikacji.

Skrypty

Programy napisane w językach skryptowych, przeznaczone do wykonywania w specjalnych środowiskach uruchomieniowych automatyzujących wykonywanie zadań, które alternatywnie mogą być wykonywane jedno po drugim przez użytkownika.

Języki skryptowe są to najczęściej języki interpretowane, zaprojektowane z myślą o interakcji z użytkownikiem. Niejednokrotnie polecenia używane w skryptach są bardzo skomplikowane – na przykład w systemach operacyjnych UNIX, w języku skryptowym sh większość poleceń to tak naprawdę samodzielne programy. Skrypty są też często używane do jednorazowych zadań, na przykład administracyjnych.

Oprócz skryptów powłoki systemów uniksowych oraz narzędzi administracyjnych języki skryptowe osadzone bywają w różnych programach, dzięki czemu zapewniają możliwość zautomatyzowania powtarzających się czynności. Na przykład pakiet Microsoft Office wyposażony jest w osadzony interpreter języka Visual Basic for Applications (VBA). Swoje języki skryptowe mają też inne profesjonalne narzędzia edycyjne, jak AutoCAD czy 3D Studio Max.

Interpretery języków skryptowych są wykorzystywane przez serwery WWW do serwowania dynamicznych stron internetowych (np. przez interfejs CGI lub dodatkowe moduły serwera Apache). Używany w ten sposób jest m.in. PHP, Perl, Python i Ruby.

Języki skryptowe osadzone są także w grach komputerowych. Służą wtedy do sterowania przebiegiem gry – fabułą, dialogami, zachowaniem wirtualnych postaci, a czasem nawet do sterowania działaniem całego interfejsu graficznego.

Coraz częściej języki skryptowe kompilowane są do binarnego kodu pośredniego, który wykonywany jest w specjalnej prostej maszynie wirtualnej dużo szybciej, niż przebiegałaby jego interpretacja bezpośrednio z tekstowej postaci źródłowej.

ANIMACJA

Animacja – technika filmowa polegająca na tworzeniu efektu ożywienia martwych kształtów przez dokonywanie serii pojedynczych zdjęć rysunków, wycinanek, kukiełek lub sylwetek i wyświetlaniu ich w sposób ciągły.

Animacja jest sposób, w którym zdjęcia są manipulowane, aby pojawić się jako ruchome obrazy. W tradycyjnej animacji, obrazy są rysowane lub malowane ręcznie na przezroczystych arkuszy celuloideu byc fotografowane i wystawiane na filmie. Obecnie większość animacje wykonane są obrazy generowane komputerowo (CGI). Animacja komputerowa może być bardzo szczegółowe animacje 3D, podczas gdy komputer animacja 2D mogą być używane ze względów stylistycznych, niskiej przepustowości lub szybszym renderowaniem w czasie rzeczywistym. Inne typowe metody animacji zastosować ogranicznik ruchu technikę obiektów dwu i trójwymiarowych takich jak wykrojów z papieru, lalki lub gliny dane.

Zwykle efekt animacji uzyskuje się szybko po sobie kolejnych obrazów, które w minimalnym stopniu różnią się od siebie. Iluzja, jak w filmach w ogóle, jest myśl, aby polegać na zjawisko fi i beta ruchu, ale dokładne przyczyny są nadal niepewne. Analogowe mechaniczne mediów animacji, które polegają na szybkim wyświetlaniem kolejnych zdjęć należą phénakisticope, Zoetrope, klapki książki, praksinoskop i filmu. Telewizja i wideo są popularne nośniki animacja elektroniczny, który pierwotnie były analogowe i teraz działają cyfrowo. Na ekranie komputera, techniki, takie jak animowane GIF i animacji Flash zostały opracowane.

Animacja jest bardziej rozpowszechniony niż wiele osób zdaje sobie sprawę. Oprócz filmów krótkometrażowych, fabularnych, animowanych GIF i inne nośniki przeznaczone do wyświetlania ruchomych obrazów, animacji jest również powszechne w grach wideo, animacji, interfejsów użytkownika i efektów wizualnych.

Fizyczne przemieszczanie części obrazu za pomocą prostych mechaników - na przykład w ruchomych obrazów w latarni magicznej wystawowe - można również uznać za animację. Mechaniczna manipulacja lalek i przedmiotów trójwymiarowych naśladować żywe istoty ma bardzo długą historię w automatach. Elektroniczne automaty zostały spopularyzowane przez Disneya jako animatroniki.

Technika ramek kluczowych (*tweening*)

Ramki kluczowe (*key frames*) definiują ważne fazy ruchu obiektów, są tworzone przez grafika ramki pośrednie są interpolowane na podstawie ramek kluczowych zastosowanie komputerów pozwala automatycznie obliczać interpolowane ramki sposób interpolacji może być ustalany i korygowany przez grafika

Animacja proceduralna (*procedural animation*) to metoda tworzenia animacji, w której poszczególne klatki animacji oblicza się przy użyciu procedur – algorytmów (skryptów), np. opartych na prawach fizyki.

Przykładowe zastosowania:

- symulator gry w bilard,
- modelowanie systemów fizycznych,

- systemy cząsteczkowe.

Animacja behawioralna

Zachowanie się obiektów „nieożywionych” może być dość dokładnie opisane prawami fizyki. Nie można w ten sam sposób modelować zachowania się ludzi i zwierząt – dochodzi tu czynnik indywidualny (zachowanie instynktowne oraz świadoma reakcja).

Animacja behawioralna (*behavioral animation*) bierze pod uwagę indywidualne zachowanie się istot żywych podczas ruchu. Animacja ma oddać indywidualny charakter każdej postaci komputerowej.

Skrypty: określone warunki → zdefiniowana reakcja.

Wynik: postacie NPC zachowują się w sposób łatwy do przewidzenia.

Kilka alternatywnych skryptów, losowy wybór - wprowadzamy pewne zróżnicowanie. Zastosowanie modeli sztucznej inteligencji, z pewnym czynnikiem losowym.

Analiza warunków panujących w otoczeniu, na tej podstawie podjęcie decyzji. Dostosowanie zachowania się NPC do sposobu sterowania postacią bohatera przez gracza.

Animacja behawioralna

Animacja behawioralna musi brać pod uwagę: prawa fizyki zjawiska stochastyczne (czynnik losowy) model „charakteru” obiektu interakcje z innymi „żywymi obiektami” Przy tworzeniu animacji behawioralnych stosuje się m.in. algorytmy sztucznej inteligencji, np. oparte na zbiorze reguł.

Aby animacja była realistyczna, nie wystarczy sama technika, animowana postać musi grać tak jak prawdziwy aktor!

Animacja kamer i oświetlenia

Efekt animacji możemy uzyskać nawet wtedy, gdy scena pozostaje zupełnie niezmienna.

Animacja kamery – zmiana położenia punktu obserwacji.

Kamera może przemieszczać się po różnym torze, z różną prędkością, obracając się, zmieniając zoom i ostrość.

Przykład: animacja „z lotu ptaka”.

Źródło światła może zmieniać swoje położenie, barwę światła, energię, obszar emisji, itp. Przykłady: obrotowy reflektor, światła na dyskotece.

DYNAMIKA

Dynamika ciał sztywnych (*Rigid body dynamics*)

Opisuje ruch ciał sztywnych pod wpływem sił zewnętrznych, siły grawitacji, z uwzględnieniem tarcia i odbić. Nie uwzględnia się odkształceń obiektu. Ciało sztywne porusza się ruchem liniowym oraz obrotowym. Uproszczona metoda, ale sprawdza się w niektórych zastosowaniach (np. symulator gry w bilard czy wyścigi samochodowe).

Dynamika ciał plastycznych (*Soft body dynamics*)

Uwzględnia to, co model brył sztywnych, ale także:

- odkształcenia chwilowe (plastyczność),
- odkształcenia trwałe (uszkodzenia obiektów).

Metoda daje bardziej realistyczne efekty, np. animacja odbicia piłki od podłogi. Jest bardziej złożona obliczeniowo. Wymaga deformowania modeli obiektów oraz realistycznego odwzorowania wpływu siły na kształt obiektu.

ROTOSKOPIA

Rotoscoping jest to technika animacji.

animatorzy użyć do śledzenia przez Motion Picture materiału, ramka po ramce, w celu wytworzenia realistycznego działania. Początkowo animatorzy przewidywana fotografowane obrazy live-action film na szklanym panelu i prześledzić nad obrazem. Sprzęt ten występ jest określany jako rotoscope , opracowany przez amerykański animator polski- [Max Fleischer](#). Urządzenie to zostało ostatecznie zastąpione przez komputery, ale proces nadal nazywa Rotoscoping.

W [efektów wizualnych](#) branży rotoscoping jest technika ręcznego tworzenia kamienia dla elementu na płycie live-action, więc może to być [wmontować](#) na innym tle.

Rotoscoping często wykorzystywane jako narzędzie do [efektów wizualnych](#) w [live-action](#) filmów. Poprzez śledzenie obiektu, MovieMaker tworzy sylwetkę (tzw [matowy](#)), które mogą być używane do pobierania tego obiektu ze sceny do użytku na innym tle. Chociaż techniki niebieskich i zielonych ekranów dokonały procesu nakładania obiektów w scenach łatwiej Rotoscoping nadal odgrywa dużą rolę w produkcji efektów wizualnych obrazów. Rotoscoping w domenie cyfrowej jest często wspomagane przez [ruch śledzenia](#) i [cebuli skórowania](#) oprogramowania. Rotoscoping jest często używany do wytwarzania [otoczek śmieci](#) w innych procesach matowych ciągnięcie.

Rotoscoping został również użyty do stworzenia specjalnego efektu wizualnego (np poświatą, na przykład), która jest prowadzona przez matowej lub rotoscoped linii. Klasyczny wykorzystanie tradycyjnej rotoscopingu była w trzech oryginalnych Gwiezdnym Wojen filmów, których produkcja stosowali ją stworzyć świecąca świetlnego efektu otoczki opartej na kije posiadanych przez aktorów. Aby osiągnąć ten cel, technicy efektów wywodzi się linii, na każdej ramki z podporą, następnie powiększony każdą linię i dodaje blask.

KLUCZOWANIE

Chroma compositingu klucz lub chroma kluczowanie, to wizualne efekty i post-produkcja techniką compositing (warstw) dwa obrazy lub wideo strumieni razem na podstawie odcieni koloru (chroma zakres). Technikę tę wykorzystano w wielu dziedzinach, aby usunąć tło z tematu zdjęcia lub filmu - w szczególności wiadomości, film i gra wideobranże. Zakres kolorów na pierwszym planie jest przezroczysty, co umożliwia wstawienie osobno nagranych materiałów tła lub statycznego obrazu do wstawienia do sceny. Technika kluczowania kolorem jest powszechnie stosowana w produkcji wideo i postprodukcji. Technika ta jest również określana jako koloru kluczowania, nakładki kolor separacji (GUS, głównie przez BBC), albo przez specyficzne dla różnych terminów związanych kolorów warianty, takie jak zielony ekran, niebieski ekran i magia różowy; kluczowanie kolorem można wykonać na tle dowolnego koloru, który jest jednolity i wyraźny, ale częściej stosuje się zielone i niebieskie tła, ponieważ najbardziej różnią się odcieniem od kolorów skóry ludzkiej. Żadna część fotografowanego lub fotografowanego obiektu nie może powielać koloru użytego jako podkład, w przeciwnym razie część może zostać błędnie zidentyfikowana jako część podkładu.

Jest powszechnie używany do transmisji prognoz pogody, w których prezenter wiadomości jest zwykle widziany przed dużą mapą CGI podczas transmisji telewizyjnych na żywo, chociaż w rzeczywistości jest to duże niebieskie lub zielone tło. Podczas korzystania z niebieskiego ekranu różne części pogody są dodawane do części obrazu, w których kolor jest niebieski. Jeśli prezenter wiadomości nosi niebieskie ubrania, jego ubrania zostaną również zastąpione filmem w tle. Kluczowanie kolorem jest również powszechne w branży rozrywkowej dla efektów wizualnych w filmach i grach wideo. Zamiast tego można wykonać rotoskopię na obiektach, które nie znajdują się przed zielonym (lub niebieskim) ekranem. Śledzenia ruchu można także używać w połączeniu z kluczowaniem kolorem, na przykład do przesuwania tła podczas poruszania się obiektu.

Główny obiekt jest filmowany lub fotografowany na tle jednego koloru lub względnie wąskiego zakresu kolorów, zwykle niebieskiego lub zielonego, ponieważ kolory te są uważane za najbardziej oddalone od odcienia skóry. Części wideo, które pasują do wcześniej wybranego koloru, są zastępowane przez alternatywne wideo w tle. Proces ten jest powszechnie znany jako „kluczowanie”, „kluczowanie” lub po prostu „klucz”.

Przetwarzanie zielonego tła

Zielony jest używany jako tło dla telewizji i kinematografii bardziej niż jakikolwiek inny kolor, ponieważ meteorologowie telewizyjni zwykle noszą niebieskie garnitury. Kiedy kluczowanie chrominancji po raz pierwszy pojawiło się w produkcji telewizyjnej, niebieski ekran, który był wówczas normą w branży filmowej, był przyzwyczajony, dopóki inne względy praktyczne nie spowodowały zmiany branży telewizyjnej z niebieskiej na zieloną. Kolorowe kamery telewizyjne o jakości nadawania używają oddzielnych czujników obrazu czerwonego, zielonego i niebieskiego, a wczesne urządzenia do barwienia telewizji analogowej wymagały niezawodnego działania komponentu RGB. Z technologicznego punktu widzenia również możliwe było użycie kanału niebieskiego lub zielonego, ale ponieważ niebieskie ubrania były ciągłym wyzwaniem, zielony ekran wszedł do

powszechnego użytku. Prezenterki czasami zapominają o stroju kluczowym w kolorze chroma, a kiedy klucz nakłada się na ubrania tego samego koloru co tło, osoba wydaje się znikać w kluczu. Ponieważ zielone ubrania są mniej powszechne niż niebieskie, wkrótce stało się jasne, że łatwiej było używać zielonego matowego ekranu, niż stale nadzorować wybór ubrań talentu na antenie. Ponadto, ponieważ ludzkie oko jest bardziej wrażliwe na zielone długości fal, które leżą w środku widma światła widzialnego, zielony analogowy kanał wideo zwykle przenosi większą siłę sygnału, co daje lepszy stosunek sygnału do szumu w porównaniu z innymi składowymi kanałami wideo, więc klawisze zielonego ekranu mogą dać najczystszy klucz. W erze telewizji cyfrowej i kina większość ulepszeń wymaganych do uzyskania klucza dobrej jakości została zautomatyzowana. Jednak jedyną stałą, która pozostaje, jest pewien poziom koordynacji kolorów, aby zapobiec wykluczeniu obiektów na pierwszym planie.

Przetwarzanie niebieskiego tła

Przed elektronicznym kluczowaniem kolorem kompozycję przeprowadzono na (chemicznej) błonie. Negatyw koloru kamery został wydrukowany na czarno-białym negatywie o wysokim kontraście, przy użyciu filtra lub czułości koloru filmu o wysokim kontraście, aby eksponować tylko częstotliwości niebieskie (i wyższe). Niebieskie światło świeci tylko przez negatyw kolorów tam gdzie jest nie niebieski na scenie, więc opuścił film jasne, gdzie niebieski ekran był i nieprzezroczysty gdzie indziej, oprócz tego, że również produkowane jasne dla wszystkich białych obiektów (ponieważ zawierał również niebieski). Usunięcie tych plam można wykonać poprzez odpowiednią podwójną ekspozycję z dodatnim kolorem (w ten sposób zmieniając dowolny obszar zawierający czerwony lub zielony nieprzezroczysty) i wiele innych technik. Efektem końcowym był film, który był wyraźny w miejscu, w którym znajdował się niebieski ekran, i nieprzezroczysty wszędzie indziej. Nazywa się to matowym żeńskim, podobnym do matowego alfa w cyfrowym kluczowaniu. Kopiowanie tego filmu na inny negatyw o wysokim kontraście dało przeciwny męski mat. Negatyw tła został następnie zapakowany matowym materiałem żeńskim i naświetlony na końcowym pasku filmu, a następnie negatyw aparatu został zapakowany matowym materiałem, który został podwójnie wydrukowany na tym samym filmie. Te dwa obrazy razem tworzą końcowy efekt.

Główne czynniki

Najważniejszym czynnikiem dla klucza jest separacja kolorów na pierwszym planie (obiekt) i tła (ekran) - niebieski ekran zostanie użyty, jeśli obiekt jest przeważnie zielony (na przykład rośliny), mimo że aparat jest bardziej wrażliwy na zielone światło.

W analogowej telewizji kolorowej kolor jest reprezentowany przez fazę podnośnej barwy względem oscylatora odniesienia. Klucz chrominancji jest uzyskiwany przez porównanie fazy wideo z fazą odpowiadającą wstępnie wybranemu kolorowi. Części wideo w fazie są zastępowane przez alternatywne wideo w tle.

W cyfrowej telewizji kolorowej kolor reprezentowany jest przez trzy liczby (poziomy intensywności czerwony, zielony, niebieski). Kluczowanie kolorem uzyskuje się przez proste numeryczne porównanie wideo z wybranym kolorem. Jeśli kolor w danym punkcie

ekranu pasuje (dokładnie lub w pewnym zakresie), wideo w tym punkcie jest zastępowane przez alternatywne tło.

Oświetlenie

Aby stworzyć iluzję, że filmowane postacie i przedmioty są obecne na zamierzonej scenie tła, oświetlenie w dwóch scenach musi być rozsądne. W przypadku scen na zewnątrz pochmurne dni tworzą rozproszone, równomiernie kolorowe światło, które można łatwiej dopasować w studio, podczas gdy bezpośrednio światło słoneczne musi być dopasowane zarówno w kierunku, jak i ogólnym kolorze w zależności od pory dnia.

Studio wykonane przed zielonym ekranem będzie miało naturalnie światło otoczenia tego samego koloru co ekran, ze względu na rozpraszanie światła. Ten efekt jest znany jako rozlanie. Może to wyglądać nienaturalnie lub powodować znikanie części postaci, więc należy to zrekompensować lub uniknąć, używając większego ekranu umieszczonego daleko od aktorów.

Aparat fotograficzny

Głębina ostrości użyta do zarejestrowania sceny przed kolorowym ekranem powinna odpowiadać głębi tła. Może to oznaczać nagrywanie aktorów z większą głębią ostrości niż zwykle.

Nawet oświetlenie

Największym wyzwaniem przy ustawianiu niebieskiego lub zielonego ekranu jest nawet oświetlenie i unikanie cieni, ponieważ najlepiej jest wymienić możliwie wąski zakres kolorów. Cień prezentowałby się w aparacie jako ciemniejszy kolor i może nie zarejestrować się w celu wymiany. Czasami można to zaobserwować w programach niskobudżetowych lub na żywo, w których błędów nie można ręcznie naprawić. Zastosowany materiał wpływa na jakość i łatwość równomiernego oświetlenia. Błyszczące materiały będą znacznie mniej skuteczne niż te, które nie są. Lśniącą powierzchnia będzie miała obszary, które odbijają światła, dzięki czemu wydają się blade, podczas gdy inne obszary mogą być zaciemnione. Matowa powierzchnia rozprasza odbite światło i ma bardziej równomierny zakres kolorów. Aby uzyskać najczystszy klucz podczas fotografowania zielonego ekranu, konieczne jest utworzenie różnicy wartości między obiektem a zielonym ekranem. Aby odróżnić obiekt od ekranu, można zastosować różnicę dwustopniową, ustawiając zielony ekran o dwa stopnie wyżej niż obiekt, lub odwrotnie.

Czasami cień można wykorzystać do stworzenia efektu wizualnego. Obszary niebieskiego lub zielonego z cieniem na nich można zastąpić ciemniejszą wersją pożądanego obrazu wideo w tle, dzięki czemu wygląda na to, że osoba rzuca na nich cień. Każde rozlanie koloru chrominancji sprawi, że wynik będzie wyglądał nienaturalnie. Różnica w ogniskowej zastosowanych soczewek może wpłynąć na powodzenie kluczowania kolorem.

Narażenie

Kolejnym wyzwaniem dla niebieskiego lub zielonego ekranu jest odpowiednia ekspozycja aparatu. Niedoświetlenie lub prześwietlenie kolorowego tła może prowadzić do złych poziomów nasycenia. W przypadku kamer wideo niedoświetlone obrazy mogą również zawierać duże ilości szumu. Tło musi być wystarczająco jasne, aby aparat mógł stworzyć jasny i nasycony obraz.

Istnieje kilka różnych technik zoptymalizowanych pod kątem jakości i prędkości do wprowadzania kluczowania kolorów w oprogramowaniu.

W większości wersji funkcja $f(r, g, b) \rightarrow \alpha$ jest stosowana do każdego piksela obrazu. α (alfa) ma znaczenie podobne do tego w technikach łączenia alfa. $\alpha \leq 0$ oznacza, że piksel znajduje się całkowicie na zielonym ekranie, $\alpha \geq 1$ oznacza, że piksel znajduje się całkowicie na obiekcie na pierwszym planie, a wartości pośrednie wskazują, że piksel jest częściowo zakryty przez obiekt na pierwszym planie (lub jest przezroczysty). Potrzebna jest dodatkowa funkcja $g(r, g, b) \rightarrow (r, g, b)$, aby usunąć zielone rozlanie na obiektach na pierwszym planie.

Bardzo prostą funkcją $f()$ dla zielonego ekranu jest $A(r + b) - Bg$, gdzie A i B to stałe regulowane przez użytkownika o wartości domyślnej 1,0. Bardzo prostym $g()$ jest $(r, \min(g, b), b)$. Jest to dość zbliżone do możliwości wyciągania ekranu analogowego i filmowego.

Współczesne przykłady tych funkcji najlepiej opisują dwie zamknięte, zagnieżdżone powierzchnie w przestrzeni 3D RGB, często dość złożone. Kolory na wewnętrznej powierzchni są uważane za zielony ekran. Kolory na zewnątrz są nieprzezroczystym pierwszym planem. Kolory między powierzchniami są częściowo zakryte, im bardziej nieprzezroczyste, tym bliżej powierzchni zewnętrznej. Czasami używa się bardziej zamkniętych powierzchni, aby ustalić, jak usunąć zielony wyciek. Często zdarza się, że $f()$ zależy od czegoś więcej niż tylko koloru bieżącego piksela, może także używać pozycji (x, y) , wartości pobliskich pikseli, wartości z obrazów odniesienia lub statystycznego modelu kolorów scena i wartości z masek rysowanych przez użytkownika. Tworzą one zamknięte powierzchnie w przestrzeni o więcej niż trzech wymiarach.

Inna klasa algorytmów próbuje obliczyć ścieżkę 2D oddzielającą pierwszy plan od tła. Ścieżka ta może być wyjściem lub obraz można narysować, wypełniając ścieżkę $\alpha = 1$ jako ostatni krok. Przykładem takiego algorytmu jest użycie aktywnego konturu. Większość badań w ostatnich latach dotyczyła tych algorytm

Raport końcowy z przeprowadzonych badań B+R w ramach projektu:

„Nowoczesne rozwiązania medialne Atomy Studio stworzone dzięki badaniom w zakresie łączenia wiedzy z dostępną technologią”.

Czas realizacji projektu

1.10.2018 – 30.06.2021

Cel badań:

Celem badań było stworzenie prototypu scenografii multimedialnej, która w czasie rzeczywistym reagowałaby i współpracowałaby z ruchem aktora na scenie.

Wirtualna rzeczywistość oraz rozszerzona rzeczywistość to pojęcie dosyć abstrakcyjne, szczególnie dla kogoś, kto nigdy nie miał z nią do czynienia czy chociażby nie widział, jak wygląda ona w praktyce.

Rzeczywistość wirtualna to rzeczywistość stworzona i zaprezentowana dzięki technikom komputerowym w taki sposób, że widz czuje się w niej obecny. Dziś takie wrażenie osiąga się najczęściej dzięki grafice trójwymiarowej, goglom wirtualnej rzeczywistości oraz śledzeniu ruchów i dodatkowym akcesoriom pogłębiającym poczucie przebywania w innej przestrzeni – są to podstawowe założenia naszej inwestycji.

Pojęciem często występującym w towarzystwie VR jest AR, oznaczające rzeczywistość rozszerzoną – i to o jej oparcie zamierzamy skonstruować przy udziale prac badawczych prototyp sceny. Podobnie jak w przypadku wirtualnej wykorzystuje się tu techniki komputerowe, ale tym razem nie chodzi o zastępowanie przestrzeni, w której przebywamy, tylko o uzupełnienie jej o osadzone w niej wirtualne elementy.

Dotychczas multimedialna scenografia składała się głównie z wygenerowanych uprzednio animacji, których reżyser i scenograf nie są w stanie na bieżąco modyfikować ze względu na potrzeby ponownego generowania każdej z animacji co znacząco wpływa na wydłużenie tworzonych efektów. Aktorzy również byli zmuszeni do zapamiętywania odpowiedniej choreografii której jak dokładnie by nie powtarzali, zawsze istniała różnica między połączeniem ruchu scenicznego a animacji w scenografii. System który sam analizuje ruch obiektów oraz aktorów, który można skonfigurować w trakcie przygotowań jest wysoce pożądanym produktem każdego wydarzenia realizowanego na żywo.

Opracowano elementarny schemat działania prototypu w oparciu o doświadczenie i znajomość tematyki:

1. **Aktor** - obiekt, generator, element wyzwalający interakcję.
2. **Przestań sceniczna** - miejsce akcji.
3. **Urządzenia przetwarzające/wyświetlające obrazy** będące rozszerzoną rzeczywistością.

Na ten aspekt składa się:

- a. *software* - generujący animacje/obrazy,
- b. *hardware* - urządzenia stacjonarne generujące moc obliczeniową pozwalającą przetworzyć dany obraz/animacje.

W toku prac badawczych zespół naukowy analizował poszczególne aspekty tego procesu oraz środowisko urządzeń, podzespołów oraz oprogramowania niezbędnego do wykonania prototypu.

Pierwsze badania dotyczyły wyboru głównego systemu operacyjnego i komunikacji z urządzeniami.

Poniższa tabela ma na celu zidentyfikowanie czy w obrębie systemu istnieje możliwość bezpośredniego połączenia danego systemu do przechwytywania ruchu oraz zidentyfikowanie, które z systemów operacyjnych najprawdopodobniej będą użyte do stworzenia prototypu oraz jaki rodzaj oprogramowania będą wykorzystane z pomocą kompatybilnego systemu operacyjnego.

SYSTEM	Windows	MAC OS	LINUX	KOMENTARZE
BLACKTRAX	TAK	NIE	NIE	
VYV Albion	TAK	NIE	NIE	
OPENPTrack	NIE	NIE	TAK	Server na linux dane przesyłane do mac os lub windows
Augumenta	NIE	NIE	NIE	Dedykowany serwer komunikujący się sieciowo poprzez OSC
Bonsai	NIE	NIE	NIE	iOS nagrywanie
Leap Motion	TAK	TAK	TAK	
Kinect v2	TAK	NIE	TAK	
XSENS	TAK	NIE	TAK	
Sony Playstation Move	TAK	TAK	TAK	
Nunchack	TAK	TAK	TAK	
The Captury	TAK	NIE	TAK	
Dynamixyz	TAK	NIE	TAK	
Faceware	TAK	NIE	NIE	Opcjonalnie plugin do napisania Windows-> OS X, Windows->Linux
Reallusion	TAK	NIE	NIE	
HTC TRACKER	TAK	TAK	TAK	
RadarTouch	TAK	NIE	NIE	
RealSense	TAK	TAK	NIE	Server Windows można przesłać OSC do linux i Mac OS
RoKoKo Smartsuit Pro	TAK	TAK	TAK	
Perception Neuron	TAK	TAK	NIE	
Shadow	TAK	TAK	TAK	
Nansense suit	TAK	NIE	NIE	Możliwa komunikacja Windows -> Linux, Windows->MAC OS przez OSC
	18	8	11,5	

Tabela obrazująca kompatybilność systemów do akwizycji ruchu z systemami operacyjnym

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż najbardziej elastycznym systemem operacyjnym pod względem kompatybilności z różnego rodzaju systemami do akwizycji ruchu jest system Windows. Jest w stanie bezpośrednio komunikować się z większością z branych przez nas czujników do akwizycji ruchu.

Najgorzej wypadł tu system MacOS, który jest w stanie obsłużyć mniej niż połowę branych pod uwagę czujników ruchu. W niektórych przypadkach dobrym rozwiązaniem może się okazać system Linux który pomimo gorszego natywnego wsparcia niż Windows jako jedyny obsługuje system OpenPTrack.

Poniższa tabela obrazuje kompatybilność oprogramowania do interaktywnej wizualizacji z systemami operacyjnymi. Tabela bierze pod uwagę deklarowaną przez producenta współpracę z danymi systemami operacyjnymi.

Oprogramowanie	Windows 10	MAC OS	Linux
TouchDesigner	TAK	TAK	NIE
Notch VFX	TAK	NIE	NIE
Unreal Engine 4	TAK	TAK	TAK
Unity	TAK	TAK	TAK
VVVV	TAK	NIE	NIE
SMODE	TAK	NIE	NIE
MAX/MSP	TAK	TAK	NIE
Biblioteka Cinder	TAK	TAK	TAK
Biblioteka Processing	TAK	TAK	TAK
Biblioteka OpenFrameworks	TAK	TAK	TAK
Biblioteka tree.js	TAK	TAK	TAK
Resolume	TAK	TAK	NIE
VVV PHOTON	TAK	NIE	NIE
	14	9	6

Tabela obrazująca oprogramowania do interaktywnej wizualizacji z systemami operacyjnymi.

Kolejnym elementem badań w zakresie hardware-u był wybór czujników na podstawie zestawień ceny, kompatybilności, skalowalności, użyteczności

Wykorzystując poniższą tabelę, przy pomocy możliwie jak największej ilości czynników, wpływających na systemy czujników, staramy się odpowiedzieć na pytanie, jaki konkretnie system spełnia nasze wymogi w celach zastosowań scenicznych.

	Pojedyncza Kamera głębi		Wykrywanie blobów		Rozszerzona rzeczywistość		Motion Capture z wykorzystaniem markerów		Motion Capture bez wykorzystania markerów wizyjnych		Śledzenie radiowe	
	(e.g., Community Core Vision)		(e.g., AR Toolkit)		(w/ many popular frameworks)		(e.g., Vicon)		(e.g., Open Perception)		(e.g., Zebra)	
Klient docelowy (zazwyczaj)	Wszyscy	0	Wszyscy	0	Wszyscy	0	Wysokobudżetowe produkcje	0	Wysokobudżetowe produkcje	0	Wielkie przestrzenie / magazyny	0
Technologia oparta o	Kamerę głębi	0	2D kamera(-y)	0	2D kamera	0	2D kamera	0	2D kamery	0	Częstotliwość Radiowa	0
Dane wyjściowe	ID, Szkielet	4	ID, 2D z informacją o środku wykrywanego obiektu	1	ID, Pozycja w 3D, Zorientowanie/kierunek	2	ID, Gęste szczegółowe dane szkieletu	4	ID, Dane szkieletu	4	ID, pozycja w 3D	2
Wielkość śledzonej przestrzeni	mały	2	mały do średni	3	mały do średni	3	może być bardzo duży	4	średni do duży	3	może być bardzo duży	4
Połączenie wielu widoków	NIEDOSTĘPNE	0	zależne od dewelopera	0	zależne od dewelopera	0	Wewnętrzne	0	Wewnętrzne	0	NIEDOSTĘPNE	0
Typowe odświeżenia sensora (ms)	30	3	15-30	4	30-60	3	60-120+	2	60-120	2	20-50	4
Opóźnienie percepcyjne	Niski	3	Niski	3	Niski	3	Bardzo Niski	4	Niski	3	Średnie	2
Maksymalna ilość śledzonych ludzi	Zazwyczaj 4	3	zależna od przestrzeni i pozycji osób do 6	4	zależne od powierzchni wyszukiwania	4	Wiele	4	4	3	Wiele	4
Wykrywanie ludzi	TAK	4	NIE WE WSZYSTKICH	3	NIEDOSTĘPNE	1	TAK	4	TAK	4	NIEDOSTĘPNE	1
Stabilność w utrzymywaniu informacji o ID trackowanej osoby/obiektu	Średnia do Wysoka	2	niska	1	Wysoka	3	Wysoka	3	Średnia do Wysoka	2	Bardzo Wysoka	4

Trackowanie w przestrzeni 3d	TAK	4	NIE	1	TAK	4	TAK	4	TAK	4	TAK	4
Trackowanie szkieletu sylwetki	TAK	4	NIE	1	NIE	1	TAK	4	TAK	4	NIE	1
Musi nosić/mieć założony czujnik	NIE	4	NIE	4	TAK	2	TAK	2	NIE	4	TAK	2
Dokładność śledzenia pozycji	Wysoka	3	Niska	1	Średnia do wysoka	2	Bardzo Wysoka	4	Bardzo Wysoka	4	Średnia	2
Odporność na zakłócenia	Niska	1	Niska	1	Niska	1	Wysoka	4	Średnia	3	Wymaga wielu Tagów	2
Czułość w odniesieniu do światła otoczenia	MINIMALNE	3	TAK	1	TAK	1	Średnie	2	DUŻE	1	Żadne	4
Czułość w odniesieniu do światła podczerwonego	TAK	1	Zależy od kamery	2	Zależy od kamery	2	Często	2	Nie zazwyczaj	3	NIE	4
Czułość sylwetki	MUSI BYĆ CZŁOWIEKIEM	3	BRAK	1	Musi być widoczny TAG	2	MUSI NOSIĆ STRÓJ Z MARKERAMI widocznymi dla kamery	2	MUSI nosić markery bezprzewodowe	3	NIEDOSTĘPNE	1
Skomplikowość w integrowaniu z programami	mało	4	mało do średnio	3	mało do średnio	3	średnio do bardzo	2	średnio do bardzo	2	mało do średnio	3
Darmowe oprogramowanie / SDK	ZAZWYCZAJ	4	ZAZWYCZAJ	4	ZAZWYCZAJ	4	NIE	3	NIE	3	NIE	3
Czyści systemu łatwo dostępne w sklepach z elektroniką	TAK	4	TAK	4	TAK	4	NIE	3	NIE	3	NIE	3
Wysokość kosztów systemu	Mała	4	Mała	4	Mała	4	WYSOKA	3	BARDZO WYSOKA	2	WYSOKA	3
		60		46		49		60		57		53

Pojedyncza Kamera głębi	60
Motion Capture z wykorzystaniem markerów	60
Motion capture bez wykorzystania markerów wizyjnych	57
Śledzenie radiowe	53
Rozszerzona rzeczywistość	49
Wykrywanie blobów	46

Z porównania powyższej tabeli wynika, że najsukuteczniejszymi technikami śledzenia pod względem ogólnej funkcjonalności są kolejno: pojedyncza kamera głębi, *motion capture* z wykorzystaniem markerów oraz *motion capture* bez wykorzystania markerów. Kolejne rozwiązania to śledzenie radiowe oraz rozszerzona rzeczywistość. Ostatnie miejsce pod względem funkcjonalności zajmuje wykrywanie blobów.

Ze względu iż jednymi z najbardziej pożądanymi przez nas funkcjonalnościami jest wykrywanie ludzi oraz czułość sylwetki możemy od razu wykluczyć opcje śledzenia radiowego, rozszerzonej rzeczywistości, wykrywania blobów oraz *motion capture* z wykorzystaniem markerów. Pozostałe metody śledzenia udostępniają nam ID śledzenia, dane szkieletu, *trackowanie* w przestrzeni 3D, *trackowanie* sylwetki oraz dają dużą dokładność śledzonych pozycji, które są przez nas najbardziej pożądane. Pojedyncza kamera głębi daje nam dostęp do ID osoby oraz do danych szkieletu, posiada niskie opóźnienie percepcyjne oraz jest w stanie śledzić około 4 postaci, posiada opcje wykrywania ludzi oraz jest w stanie przekazywać przestrzenne dane 3D, dokładność śledzonych danych jest wysoka.

Minusem natomiast jest mała wielkość przestrzeni, w której można używać, niska odporność na zakłócenia, przez co wymaga odpowiedniego ustawiania scenografii i aktorów oraz wymóg, iż jedyną opcją jest śledzenie postaci a nie elementów scenografii. Wykrywanie blobów ma niskie opóźnienie percepcyjne oraz jest w stanie śledzić nawet 6 osób, z minusów technologia ta, nie pozwala na śledzenie szkieletów tylko ID oraz środki postaci, zasięg raczej niewielki, nie zawsze jesteśmy w stanie wykrywać sylwetki ludzi oraz dokładność śledzenia i odporność na zakłócenia jest niska.

Wykluczającymi elementami natomiast są brak możliwości śledzenia w przestrzeni 3D oraz śledzenia sylwetki postaci, ze względu na brak jakiegokolwiek czułości pod tym względem. Techniki rzeczywistości rozszerzonej mają niskie opóźnienie percepcyjne oraz pozwalają na śledzenie elementów w przestrzeni 3D. Z minusów nie pozwalają na śledzenie szkieletu oraz mają niewielki zasięg śledzonej powierzchni. Maksymalna ilość ludzi ograniczona jest od otoczenia, a dane śledzenia odstają od pozostałych lepszych rozwiązań, niska odporność na zakłócenia nie pomaga w śledzeniu, niezbędność widoczności TAG-u przez kamerę nie jest również ułatwieniem.

Dyskwalifikującymi rozwiązaniem brakami, są brak natywnego wykrywania ludzi oraz brak *trackowania* szkieletu sylwetki. *Motion capture* z wykorzystaniem markerów ma bardzo wiele atutów w formie śledzenia postaci według ID oraz szkieletu danych, bardzo niskie opóźnienie percepcyjne, jest w stanie śledzić wiele osób bez zakłóceń oraz wykrywa sylwetki ludzi, jest w stanie podawać dane 3D oraz szczegółowe dane elementów szkieletu, metoda odznacza się bardzo dużą dokładnością śledzonych postaci oraz wysoką odpornością na zakłócenia zewnętrzne. Niestety dyskwalifikuje ją wymóg widocznych markerów na całym ciele w formie białych punktów, który w znaczący sposób wprowadzał by ograniczenia ruchu aktorów oraz psuł by immersyjny i estetyczny aspekt występów teatralnych.

Motion capture bez wykorzystania markerów wizyjnych - pozwala nam na przekazywanie ID postaci oraz dokładne dane szkieletu, przestrzeń w której może poruszać się aktor jest bardzo duża, opóźnienie percepcyjne jest niskie, system zazwyczaj jest w stanie śledzić 4 osoby, nie ma problemu z wykrywaniem ludzi oraz trackowania punktów w przestrzeni 3D jak również szkieletu.

Dokładność śledzenia pozycji jest bardzo wysoka. Z minusów są pewne obostrzenia jeżeli chodzi o odporność na zakłócenia, w szczególności w momencie gdy śledzonych jest więcej niż 1 aktor oraz aktor jest zmuszony nosić strój, który można schować pod strojem w niewidocznym miejscu.

Śledzenie radiowe - pozwala na śledzenie pozycji w bardzo rozległych obszarach oraz śledzić ludzi w bardzo dużych ilościach. Jest w stanie podawać dane w odniesieniu do przestrzeni 3D, z minusów niestety nie podaje danych o szkielecie oraz ma duże opóźnienie percepcyjne, dokładność śledzenia jest dosyć niska i wymaga synchronizacji wielu tagów.

Dyskwalifikujące braki to brak możliwości wykrywania ludzi, brak *trackowania* sylwetki oraz brak czułości na gesty ciała. Z powyższego wynika nam, iż jedynymi technikami *trackingu*, brany pod uwagę, są te oparte o pojedyncze kamery głębi oraz o *motion capture* bez wykorzystania markerów wizyjnych. Pojedyncze kamery głębi są dosyć tanie, ale posiadają duże ograniczenie przestrzenne natomiast techniki *motion capture* dają bardzo dobre rezultaty przestrzenne i stabilność *trackingu* kosztem droższej technologii.

Poniższa tabela prezentuje szacunkowe koszty dostępnych na rynku systemów do *trackowania*. Składowa od 1-6 oznacza jednostkowe koszty, jakie należy ponieść w celu zbudowania systemu u danego producenta. Dodatkowy koszt mówi nam o opcjonalnych kosztach rozwijającą możliwości aplikacji danych systemów. Zestaw 1-2 pokazuje najtańszą i najdroższą opcję zakupową. Zakładając budżet do 5000\$ za zestaw wyselekcjonowane zostało 11 różnych systemów do *trackowania* branych pod uwagę.

System	Składowa 1	Składowa 2	Składowa 3	Składowa 4	Składowa 5	Składowa 6	Dodatkowy koszt	Zestaw 1	Zestaw 2	Kosztowość	Współczynnik
BLACK TRAX	85000\$	X	X	X	X	X	47900\$	X	X	\$\$\$\$	130
VYV Albion	54500\$	400\$ / punkt tracker						1500\$	1500\$	\$\$\$\$	54,5
Dynamixyz	Live instant 742\$	live pro Single View - 6040\$	livepro Multi Vlew - 10040\$	PERFORMER Single View - 6139\$	PERFORMER Single View with real time addons - 4905\$	PERFORMER FACTORY Studios Single View with real time addons - 8,113\$	PERFORMER FACTORY STUDIO S Multi View - 1800\$ do 11100\$	PRFORMER FACTORY Studios Single View with REAL-TIME ADD-ONS - 15771\$	PERFORMER FACTORY Studios Multi Vlew with REAL-TIME ADD-ONS - 22979\$	\$\$\$\$	23
Nansen se suit	suit- od 6299\$	software - 1799\$	gloves - od 5,799\$	X	X	X	X	8098\$	13897\$	\$\$\$\$	13,8
Faceware	live client for Unreal - 2500\$	Indie Realtime Headcam System - 3999\$	Mark III Realtime Wireless Headcam System - 13,499\$	X	X	X	X	X	X	\$\$\$-\$\$\$	13,5
RadarTouch	RTouch-500ME-LT	RTouch-500ME - 8900€	RTouch-T H-Standar	X	X	X	X	5 700€	X	\$\$\$\$	8,9

	- 5500€		d - 200€								
Shadow	full body system - 4000\$	software -płacony miesięcznie 200\$	software na stałe - 4000\$	X	X	X	X	8000\$	6400\$	\$\$\$\$	8
Perception Neuron	Perception Neuron PRO 4,499.99 \$	32 Neuron Edition V2 \$1,799.00 USD	X	X	X	X	X	1 x 32 Neuron Edition V2 + iClone Perception Neuron MOCAP Live 3,047\$	Perception Neuron Pro with iClone Perception Neuron MOCAP Live - \$5,647.00	\$\$\$-\$\$\$	5,6
XSENS	MTw2-DK -LITE - 740,00€	MTw2-DK-6 4390,00€	Awinda Recording + Docking Station - 950€	MTw Awinda Wireless 3DOF Motion Tracker - 400€	Awinda Receiving Dongle - 330€	X	MVN Awinda Full Body Strap Set - 600€	X	X	\$\$\$\$	4,4
RoKoKo Smartsuit Pro	Smartsuit Pro \$2,495	Partner integrations Reallusion partner bundles - 3,895\$	licencja pro \$39/miesiąc	X	X	X	X	4129\$/pierwszy rok	X	\$\$\$	4,2
Bonsai	2790CHF	X	X	X	X	X	X	X	X	\$\$\$	2,5
HTC TRACKER	HTC VIVE TRACKER - 119,99€	TRACKSTRAP / TRACKBELT - 69,99\$	professional vive pro starter kit - 1199€	Enterprise VIVE Pro FULL KIT - 1399€	X	X	X	1 318,99€	2 118,94€	\$\$\$-\$\$\$	2,2
The Capture	Capture studio basic - 1000€	capturestudio ultimate - 2000€	X	X	X	X	X	X	X	\$\$	2
Leap Motion	84£	X	X	X	X	X	dedykowany stand 500 zł	X	X	\$	1
Kinect v2	439zł	X	X	X	X	X	X	X	X	\$	0,5
OPENP Track	Kinect x360-55zł	Kinect v2 - 439zł	Mesa SwissRanger	Blackfly S USB3-	X	X	X	X	X	\$	0,4

			SR4500 - brak dostępnoś ci	365\$							
RealSense	Intel® RealSense™ Depth Camera D435i \$199.00	Intel® RealSense™ Tracking Camera T265 \$199.00	X	X	X	X	X	Intel® RealSense™ Depth + Tracking Bundle - \$359.00		\$	0,36
Sony Playstat ion Move	174zł	X	X	X	X	X	X	X	X	\$	0,05
Nuncha ck	120zł	X	X	X	X	X	X	X	X	\$	0,04
Augume nta	Augmenta is not fully ready for mass sale yet.									X	X

\$ - do 500€
\$\$ - od 500€ do - 2000€
\$\$\$ - od 2000€ do 5000€
\$\$\$\$ - od 5000\$

Zestawienie cen

Poprzez analizę środowiska przyjęto graniczne wytyczne w kwestii obsługi i komunikacji tj.:

1. Komunikacja OSC (wymiana danych liczbowych między systemami).
2. Komunikacja SPOUT (wymiana ramki obrazu między *software'em*).
3. Możliwość implementowania bibliotek zewnętrznych Python, C++.
4. Obsługa formatu 3D takich jak *. fbx oraz *.obj.
5. Wsparcie kamer głębi.
6. Wsparcie komunikacji seryjnej.
7. Wsparcie *renderingu* rozdzielczości 1920 x 1080 i w górę.
8. Wsparcie trybu 60 fps i więcej.
9. Wsparcie wielu wyświetlaczy.
10. Wsparcie tworzenia *interfejsu* użytkownika UI.
11. Wsparcie TCP/IP.
12. Materiały PBR.
13. Proceduralne tworzenie geometrii.

Na podstawie rozważań zakup sprzętu do interaktywnej akwizycji ruchu aktorów na scenie, zdecydowaliśmy, że jednym z najbardziej obiecujących rozwiązań jest system strojów firmy Xsens. Po przeprowadzonym *researchu* zdecydowaliśmy się na zamówienie na potrzeby testów dwóch strojów Xsens Awinda oraz Xsens Link. Oba stroje mają podobne działanie, ale są nieco inaczej skonfigurowane.

Xsens korzysta z własnego oprogramowania MVN Animate, który powinien pozwolić na przekazywanie danych w czasie rzeczywistym do oprogramowania Unreal Engine 4. Wykorzystanie silnika Unreal Engine 4 do produkcji interaktywnych animacji oraz możliwe przekazanie przy jego pomocy danych do oprogramowania TouchDesigner, jest jednym z powodów rozważania wykorzystania strojów od Xsens do przechwytywania ruchu w czasie rzeczywistym.

Zamówienie strojów do testów poprzedzone zostało kontaktem z dystrybutorami rozwiązania na Polskę oraz rozmową internetową z twórcami rozwiązania, których siedziba zlokalizowana jest w Holandii. Została nam również przedstawiona prezentacja na żywo w siedzibie firmy, gdzie po pierwszym spotkaniu i możliwości zobaczenia stroju Xsens Link przygotowany został zestaw testów, który ma za zadanie zidentyfikować możliwość ewentualnego wykorzystania strojów w końcowym prototypie naszej pracy badawczej.

Pierwszy test sprawdzał przesunięcie w czasie od momentu wykonania kalibracji.

W celu przetestowania pojawiającego się błędu przesunięcia danych zostały przeprowadzone testy na obu strojach Xsens Awinda oraz Link. Przed wykonaniem testów mieliśmy świadomość o powstawaniu pewnych *driftów* pozycji w czasie którym chcieliśmy sprawdzić jaki wpływ mogą mieć połączenie pozycji rzeczywistej z animacją wyświetlaną z projektora.

Test polegał na:

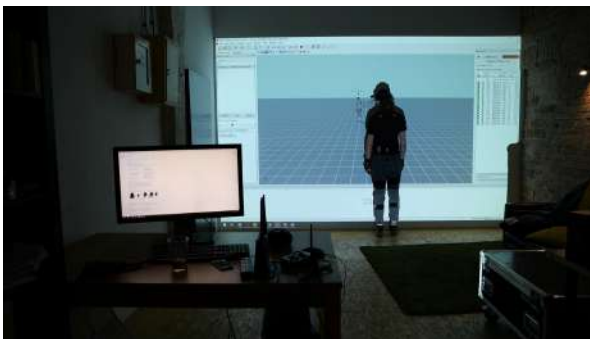
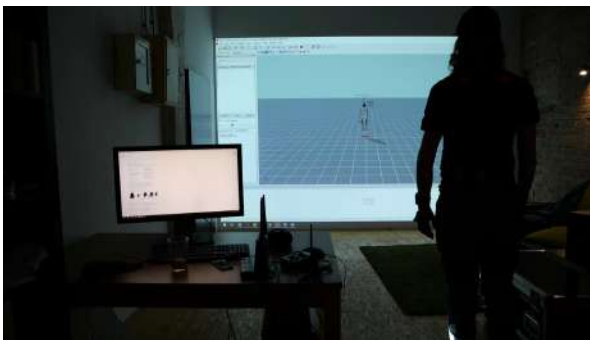
- ustawieniu aktora w pozycji startowej naszej przestrzeni testowej,
- przesunięciu postaci w środowisku wirtualnym do pozycji startowej,
- w następnym kroku aktor przemieszczał się losowo po pomieszczeniu testowym przez około 30 sekund i powracał w w ustaloną pozycję startową w rzeczywistości,
- w przypadku wystąpienia przesunięcia danych w celu obliczenia przesunięcia aktor w studiu przemieszczał się od punktu startowego w taki sposób aby postać w przestrzeni 3D znajdowała się w swoim punkcie startowym,
- ostatnim krokiem było zmierzenie przesunięcia, które zaistniało w rzeczywistości, pomiar sprawdzany był w centymetrach z zaokrągleniem do pełnych wartości uwzględniając przesunięcie pozycji Prawo Lewo (X) oraz Przód Tył (Y) względem pozycji 0,
- czynność powtórzyliśmy 10 razy dla obu strojów.

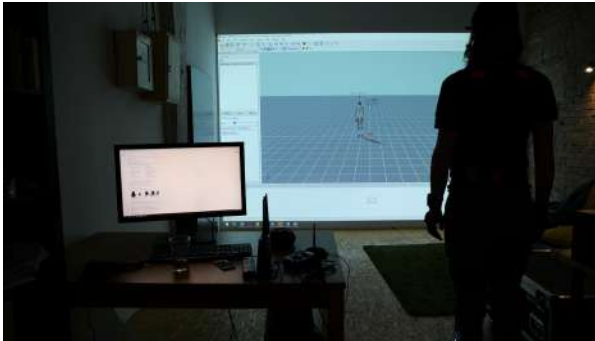
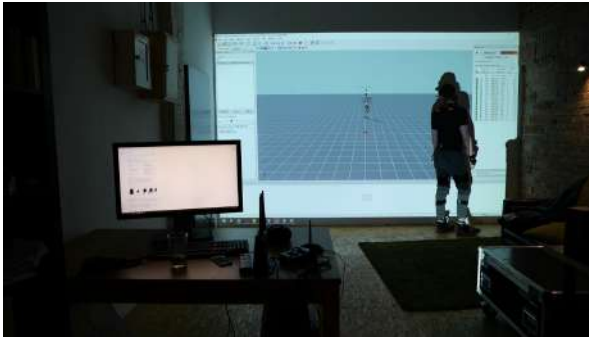
Wyniki badania podane zostały w tabeli poniżej:

	Awinda	Link
1	X:12 Y: 8	X:-7 Y: 6
2	X:-6 Y: 11	X:-5 Y:4
3	X:-14 Y:-5	X:-3 Y:-2
4	X:17 Y:-20	X:8 Y: 3
5	X:-10 Y:6	X:-10 Y: 4
6	X:21 Y:-11	X:5 Y:3
7	X:13 Y:-7	X:7 Y:-2
8	X:10 Y:12	X:6 Y:-6
9	X:-5 Y:7	X:7 Y:-4

Po przeanalizowaniu wyników z tabeli doszliśmy do wniosków, że *drift* powstający w czasie, nie mieści się w zadowalającym nas zakresie. *Drift* powstawał praktycznie od razu po zainicjalizowaniu próby, a jego kierunek przesunięcia pozostawał praktycznie zupełnie losowy. Aktor powracający do pozycji startowej przy każdorazowej próbie przesunięty był w losowym i nieprzewidywalnym kierunku przez co wyklucza się kompensację *driftu* w czasie. Z wykonanej przez nas próby wynika, że Xsens Link lepiej radzi sobie z problemem od stroju Xsens Awinda.

Duży i losowo narastający *drift* spowodował, że biorąc pod uwagę dłuższy okres czasu niż 3 minuty doprowadza do poważnego odchylenia w pomiarach czujników co skutkuje dużą rozbieżnością pozycji między strojem w rzeczywistości a jego pozycji w przestrzeni wirtualnej. Odchylenia takiej skali oraz brak możliwości korekcy danych dyskwalifikują użycie rozwiązania w obecnej formie w naszym ostatecznym prototypie.





Na powyższych obrazkach widać jakie odchylenie od środka następuje w czasie 30 sekund z użyciem stroju Xsens Awinda. Przesunięcie jest mocno widoczne w stronę lewą i do tyłu.

Po przetestowaniu badań na strojach od firmy Xsens Link oraz Awinda zdecydowaliśmy się na zmianę podejścia systemu śledzenia z opartego tylko na systemach bezprzewodowych na systemy hybrydowe oparte zarówno na transmisji bezprzewodowej jak i korekcji pozycji na podstawie optycznych kamer.

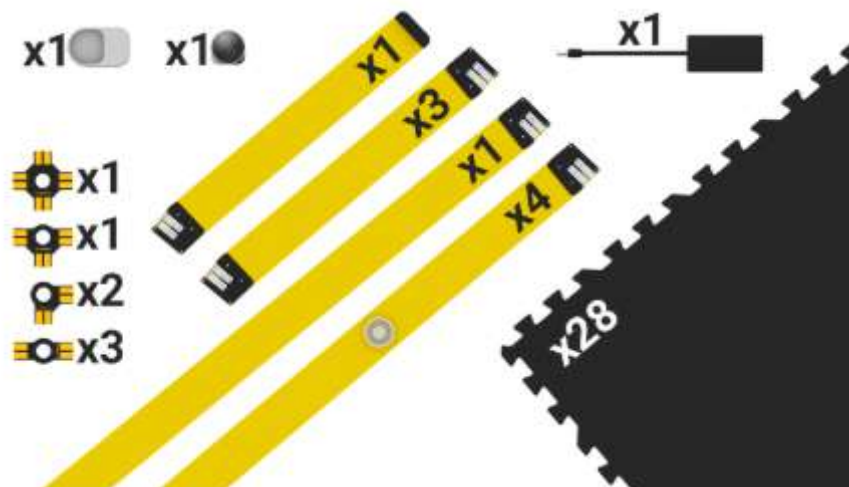
Według wiedzy uzyskanej na bieżącym etapie badań, rozwiązanie takie, daje znacznie większą niezawodność w kwestii akwizycji ruchu i eliminuje wiele problemów związanych z przeprowadzaniem każdorazowo odpowiedniej kalibracji. Systemy takie kalibruje się jednorazowo po zamontowaniu wszystkich odbiorników podczerwieni. Hybrydowość rozwiązania pozwala również na możliwość braku ciągłości w komunikacji optycznej pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Oznacza to iż chwilowy brak widoczności nadajnika z odbiornikiem nie wpływa na dane przekazywane do komputera. Dzieje się tak dzięki wbudowanym systemom IMU, które zajmują się aproksymacją położenia, które następnie jest korygowane jak tylko w zasięgu kamery optycznej czujnika pojawi się ponownie przynajmniej jeden z odbiorników zamontowanych w przestrzeni. *Drift* powstający na podstawie zastosowania samego IMU jest korygowany przez optyczny pomiar.

Trackery od firmy Antilatency jest to dedykowana technologia do obsługi dużych powierzchni korzystających z VR oraz wielu punktów *trackowania* jednocześnie. Każdy z trackerów działa niezależnie i oblicza swoją pozycję wewnętrznie na podstawie estymacji swojej pozycji przy pomocy wbudowanego modułu IMU oraz przy pomocy systemu optycznego z wykorzystaniem kamery oraz nadajników montowanych w podłodze lub suficie. Technologia jest dosyć nowa i dopiero od niedawna jest możliwy zakup zestawów deweloperskich, dlatego wszystkie możliwe informacje zebrane zostały za pomocą głównej strony informacyjnej, filmów reklamujących urządzenie, wywiadów oraz zapytań do samego producenta.

Na minimalny zestaw do użytkowania rozwiązania Antilatency składa się zestaw poszczególnych elementów:

- 1 Antilatency Tracker,
- 1 przewodowe gniazdo USB,
- zestaw do budowy podłogi do trackowania powierzchni o maksymalnym rozmiarze 10m2 w którego skład wchodzi:
 - a. 4 referencyjne listwy z markerami,

- b. 4 listwy połączeniowe,
- c. 1 listwa odprowadzająca zasilanie wraz zasilaczem,
- d. 7 konektorów do listew (krzyżowy, 1 t-kształtny, 2 narożne i 3 podłużne),
- e. 28 elementów maty podłogowej.



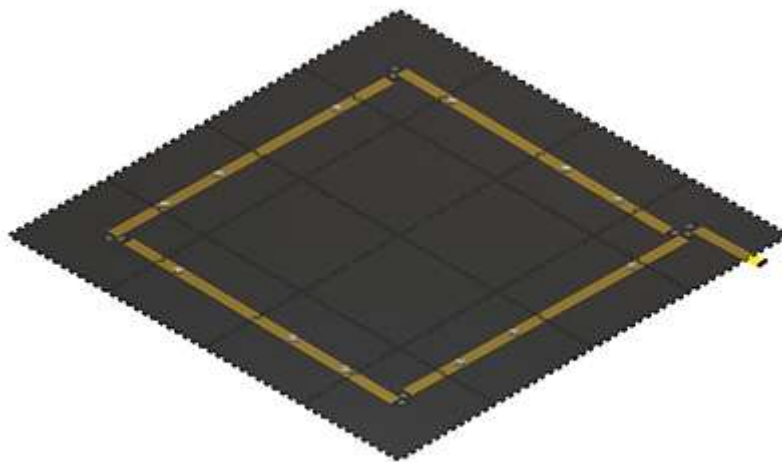
Ilustracja zestawu deweloperskiego Antilatency

Antilatency Tracker zwany Alt, jest to sensor zbudowany na podstawie połączenia dwóch podejść technologicznych. W jego wnętrzu wbudowany mam wewnętrzny system mierzący IMU, który odpowiada za kalkulacje bieżącej pozycji w oparciu o dane pochodzące z drugiego systemu optycznego wyznaczania pozycji. Tracker robi 2000 pomiarów w ciągu sekundy, a jego obliczenia mają opóźnienie rzędu 2 ms, co pozwala na wyliczenie w przybliżeniu przyszłej pozycji czujnika, dzięki czemu możliwy jest interpolowany *tracking* w czasie rzeczywistym przy zastosowaniu techniki kompensacji opóźnienia. Dzięki wykonywaniu wszystkich obliczeń po stronie Trackera Alt, możliwe jest odciążenie głównej jednostki *renderującej* z obliczania pozycji. Zbudowana specjalnie na potrzeby trackera soczewka, która jest w stanie widzieć nawet w 240 stopni kącie widzenia. Każdy z trackerów przechodzi przez specjalny system do kalibracji dzięki czemu dokładność urządzenia może być ustawiona co do mm w przestrzeni rzeczywistej.

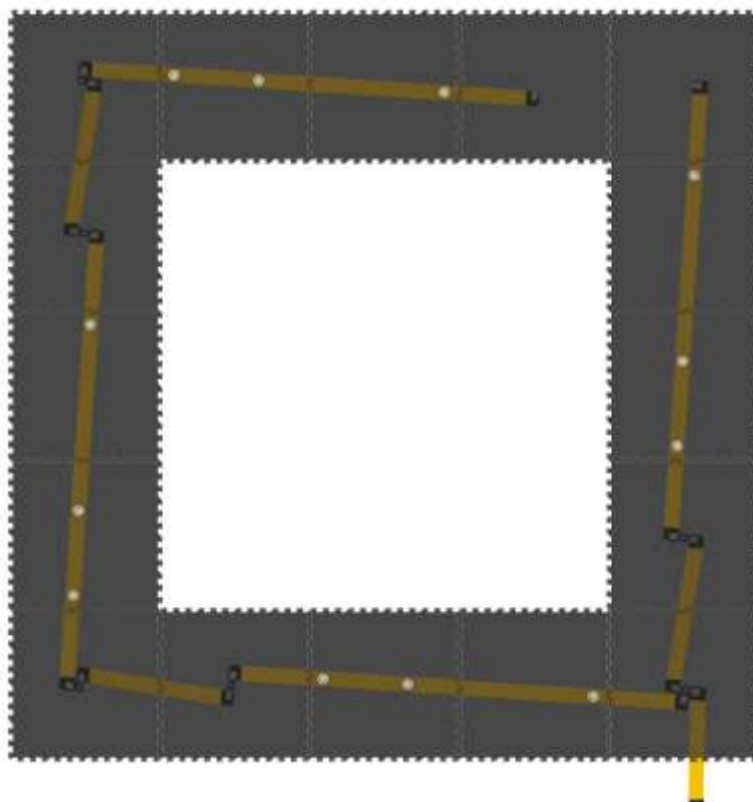


Ilustracja budowy Alt Antilatency Trackera.

Zestaw deweloperski pozwala na ułożenie nadajników w podłodze na 2 różne sposoby. System śledzenia Antilatency jest oparty o relatywne pozycjonowanie trackerów względem czujników rozlokowanych na podłodze lub też suficie. Specjalne elementy piankowe służą jako stelaż dla systemu listew na podczerwień, dzięki czemu mogą one zostać zamontowane w prosty i precyzyjny sposób na podłodze. Elementy piankowe można zastąpić własną podłogą dociętą na wymiar. Podejście takie pozwala na wybudowanie przestrzeni nawet do 100m x 100m oraz pozwala na jego dowolne dopasowanie w przestrzeni, co oznacza, że podłoga nie musi mieć kształtu tylko prostokąta, ale może być czymś na wzór labiryntu wybudowanego pomiędzy ścianami. Dzięki przeniesieniu mocy obliczeniowej na każdy z trackerów, możliwe jest zastosowanie nieskończonej liczby trackerów Alt, ponieważ każdy z nich może działać niezależnie w różnych systemach. Ogromną zaletą jest deklarowany przez producenta brak potrzeby kalibracji każdego z czujników Alt pod nową podłogę. Podłogę należy zaprogramować w odpowiedni sposób, tak jak jest ułożona i możemy już ponownie używać trackerów Alt, które zostały użyte przednio przy zastosowaniu innego ułożenia podłogi.

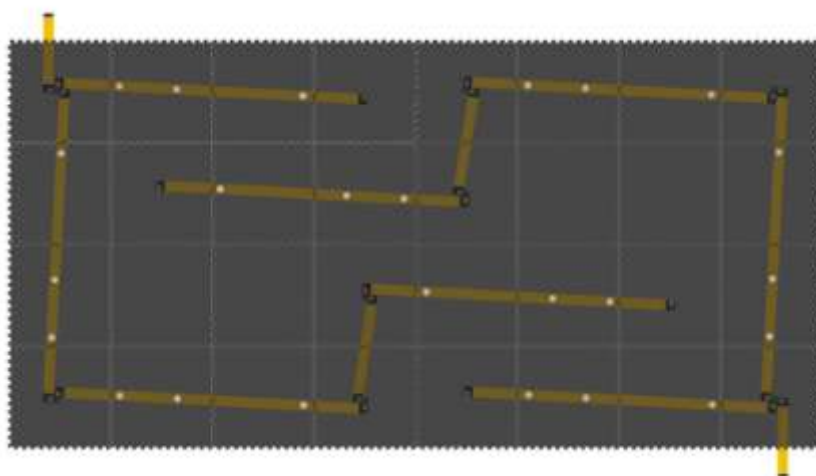


Ilustracja przykładowego montażu zestawu deweloperskiego Antilatency na przestrzeni 2.4m x 2.4m.



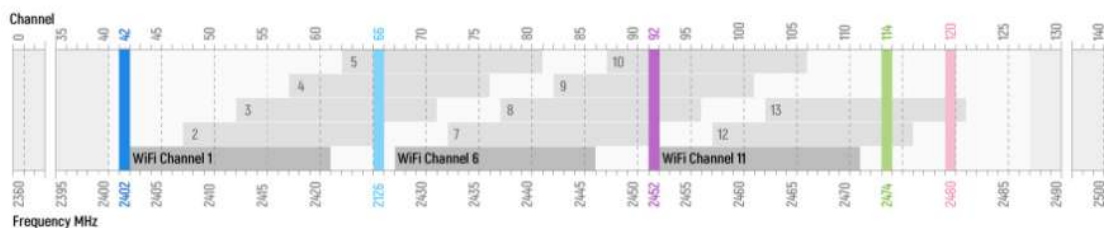
Ilustracja montażu zestawu deweloperskiego na powierzchni 3m x 3m.

Na stronie developera zawarty jest również schemat jak wygląda połączenie ze sobą dwóch zestawów deweloperskich. Rozszerzanie podłogi według zapewnień producenta jest możliwe w dowolny sposób i na dowolnym obszarze.



Ilustracja połączenia ze sobą dwóch zestawów deweloperskich w jedną podłogę o rozmiarze 2,4m x 4,8m.

Antilatency do połączenia z komputerem używa własnego autorskiego systemu radiowego. System działa w technologii 2,4 Ghz, a dokładnie mieści się między 2360-2500 Mhz i mieści się w obrębie 141 kanałów w celu zapewnienia lepszego działania urządzenia każdy z osobnych odbiorników radiowych HMD Radio, należy ustawić aby pracował na innym kanale. Zalecana odległość między kanałami jest to 5Mhz ze względu na długość fal oraz sposobu ich propagacji.



Trackery Alt mogą być użyte / wpięte w urządzenie HMD Radio Tracker i działać jako przewodowe złącze dla trackerów Alt, bądź też mogą być użyte jednocześnie z wykorzystaniem połączenia bezprzewodowego w celu odebrania sygnału radiowego pochodzącego od tagów bądź też bransoletek na ręce służących do wykrywania ruchu dłoni oraz ewentualnego zaciśnięcia dłoni. Obecnie do jednego urządzenia HMD Radio można bezprzewodowo podłączyć do 2 tagów jednocześnie lub 2 bransoletek na dłonie lub też kombinacja 1 bransoletki i jednego tagu.

Elementem niezbędnym jest dedykowana stacja robocza:

RM 850i 850W (CP-9020083-EU)

Windows 10 Professional PL 64 bit OEM (FQC-08918)

NH-D15

Trident Z, DDR4, 32 GB,3000MHz, CL15
(F4-3000C15D-32GTZ)

GeForce RTX 2080 Ti Dual 11GB GDDR6
(NE6208T020LC-150A)

MEG Z390 ACE

Core i9-9900K, 3.6GHz, 16 MB, BOX (BX80684I99900K)

XPG SX8200 PRO 512GB PCIe x4 NVMe
(ASX8200PNP-512GT-C)

Dodatkowym wyposażeniem prototypu jest system do realizacji zdjęć wideo w czasie rzeczywistym. Na który składa się:

1. Bezlusterkowiec Lumix S1H wypuszcza sygnał video w czasie rzeczywistym
2. Sygnał za pomocą kabla HDMI wędruje poprzez Blackmagic DeckLink 4K Pro PCIe capture and playback card, który zamienia sygnał z aparatu na sieciowy protokół NDI, służący do wysokiej przepustowości sygnału video po przez sieć lokalną. Możliwe jest również przesyłanie obrazu poprzez sieć internetową
3. Zarządzaniem treścią zajmuje się Macbook pro kontrolujący sygnał 4K
4. Stacja robocza otrzymuje dedykowany sygnał przez protokół NDI
5. W dedykowanym oprogramowaniu następuje proces wycinania tła o zadanym kolorze - U nas jest to greenscreen. Oczywiście w czasie rzeczywistym
6. Wycięte tło jest zamieniane na graficzną wersję animacji.
7. Dodatkowo algorytm interakcji przetwarza obraz w siatkę elementów, które poprzez ruch ciała aktor wyzwała dodatkowe działanie w przestrzeni. Wszystko odbywa się w czasie rzeczywistym.

Opisany powyżej system został poddany szeregu testom.

Końcowe testy i osiągnięcia:

Testy końcowe przeprowadzono w przez 7 dni w czerwcu 2021 w Sali teatralnej Teatru Variete
Załączamy dokumentację filmową.

Badanie_01 - kluczowania w czasie rzeczywistym oraz interakcja z obrazem

<https://drive.google.com/file/d/1sLxDTVOIG0VJ6BIIZ2wCsRYBWzBAJQdQ/view?usp=sharing>



Integracja systemu przebiegła pomyślnie. Strumień obrazu 4K wraz z całym procesingiem obrazu wykazał niewielkie opóźnienia ok 10 ms. Obraz zachowuje się płynnie biorąc pod uwagę że został zmapowany 50 oddzielnych elementów.

Badanie_02 - szybkości reakcji otoczenia w kierunkach XYZ

https://drive.google.com/file/d/1f_O75rz-O_grR6ar3mPhiDXUJ3whyLsS/view?usp=sharing



Badanie polegało na podpięciu rotacji czujnika bezpośrednio do renderowanej w czasie rzeczywistym siatki. Realizowane badanie pozwoliło nam zbadać jaki wpływ na nasz prototyp ma jego użycie w środowisku docelowym. Użyte przez nas projektory komunikowały się poprzez lokalną sieć LAN. Wyjścia z karty graficznej HDMI były przekonwertowane na sygnał cyfrowy LAN przekazywany do projektorów. całkowite przekazanie sygnału nie spowodowało zwiększenia opóźnienia naszego oprogramowania niż czas potrzebny na wyświetlanie 1 klatki obrazu co oznacza iż opóźnienie w naszym programie który odświeża się w prędkości 60 klatek na sekundę było poniżej 16ms. Jest to jak najbardziej zadowalający nas wynik nie pozwalający na wychwycenie jakiegokolwiek opóźnienia przez widza obserwującego spektakl.

Badanie_03 - punktowe przypięcie schematu animacyjnego

https://drive.google.com/file/d/1pUdRU3RAfJpCQAEQAf6-_Fn0C5ZuliTA/view?usp=sharing



Celem tego badania było zaprezentowanie możliwości podpięcia wielkoformatowego obiektu 3d renderowania w czasie rzeczywistym reagującego na pozycję w przestrzeni oraz zaobserwowanie w jaki sposób obiekt taki będzie obserwowany przez widza z widowni. Animacje 3D należy dobrać w taki sposób aby obserwowalne zaburzenie perspektywy było możliwie jak najniższe. Kształt testowany przez nas poprzez zawarcie w nim wielu nieregularności pozwolił na zadowalające oszukanie wzroku przeciętnego odbiorcy.

Badanie_04 - reakcja na dwie poruszające się sylwetki

https://drive.google.com/file/d/1opT5I2Dofgju82SLVLRy18ZWUS_G6ktn/view?usp=sharing



W badaniu przetestowaliśmy współdziałanie ze sobą dwóch czujników na scenie jednocześnie. Dane odczytywane z czujników nie powodowały powstawania żadnych dodatkowych opóźnień oraz oba czujniki funkcjonowały w synchronizacji ze sobą.

Badanie_05 - współpraca projekcji z urządzeniami świetlnymi. Reakcja na zbliżający się obiekt

https://drive.google.com/file/d/1opT5I2Dofgju82SLVLRy18ZWUS_G6ktn/view?usp=sharing



W badaniu tym sprawdzaliśmy możliwości konceptu interaktywnego oświetlenia scenograficznego. Stworzenie oświetlenia które nie ma opóźnienia względem pozycji aktora oraz którym steruje aktor po przez przemieszczanie się po scenografii pozwala na zwiększenie imersyjności oraz wyeliminowanie czynnika ludzkiego gdyby realizator miał reagować na zmiany pozycji

Badanie_06 - szybkość reakcji urządzeń i dokładności trackowania.

https://drive.google.com/file/d/1opT5I2Dofgju82SLVLRy18ZWUS_G6ktn/view?usp=sharing



Badanie to pozwoliło nam sprawdzić w wielkim formacie jak dokładnie możemy ustawić precyzję śledzenia czujników na scenie. Jako że wykorzystaliśmy projektory w rozdzielczości 1920px x 1080px i scenografię o szerokości 8m, głębokości 4.2m oraz wysokości 4.2m. Precyzja wyświetlanych animacji okazała się większa niż wielkość pojedynczego pixela który w naszym badaniu wynosiła w przybliżeniu 4,2mm x 4,2 mm dzięki czemu precyzja animacji była możliwa do ustawienia idealnie względem pozycji czujnika. Precyzyjne zamontowanie czujnika w odpowiednim miejscu na kostiumie aktora ma największą rolę w precyzji odzwierciedlonej animacji. Obserwowanie przez nas animacji w niewielkim teatrze pozwoliło nam dojść do wniosku iż przesunięcie czujnika w na kostiumie w okolicach nóg jest możliwe z założeniem błędu na poziomie do 5cm. Natomiast testowanie przez nas dotyk powierzchni ściany wymagał większej precyzji i do komfortowej obsługi przez aktora ustaliliśmy błąd na poziomie do 2cm przesunięcia które musi występować zawsze w stronę scenografii aby uniknąć możliwości wprowadzenie czujnika w pozycję za ekranem w naszym programie. Korygowanie błędów przez nas możliwe jest z poziomu panelu zarządzania programem.

Badanie_07 - skalowanie elementów przy współpracy 2 postaci

https://drive.google.com/file/d/1DJyJGyHkDQ5OV5IKT_sNWHcNVNMcS9K-/view?usp=sharing



Badanie polegało na przeprowadzeniu testu poddania obróbce matematycznej pozycji dwóch czujników w przestrzeni. Zabieg taki nie dołożył żadnego opóźnienia w działaniu animacji

Badanie_08 - prezentacja dynamicznych fluidów,

<https://drive.google.com/file/d/1UtQn-moI9MAbP3c4t67jM6u14KkacFCn/view?usp=sharing>



Badanie polegało na sprawdzeniu jak przekonujące jest z obcowanie z symulacjami w czasie rzeczywistym wykorzystującymi silnik NVIDIA FLEX. Rezultat był niezwykle zadowalający. udało się nam osiągnąć pełną immersję oraz pozwoliło na przetestowanie jak wyglądają shade'y wody naniesione na szarą piankę na scenografii oraz na ile silne było odbicie światła projekcji.

Badanie_09 - fluidy część 2

https://drive.google.com/file/d/123tG7_LQt6xD83Ue9SXGGjvrLpgLQScq/view?usp=sharing



Badanie polegało na sprawdzeniu jak przekonujące jest z obcowanie z symulacjami w czasie rzeczywistym wykorzystującymi silnik NVIDIA FLEX. Rezultat był niezwykle zadowalający. udało się nam osiągnąć pełną immersję oraz pozwoliło na przetestowanie jak wygląda animacji z pominięciem shaderów wody. Okazała się przyjemna dla oka i bardziej wyraźna niż zastosowanie shadera wody.

Badanie_010 - 4 punkty interakcji

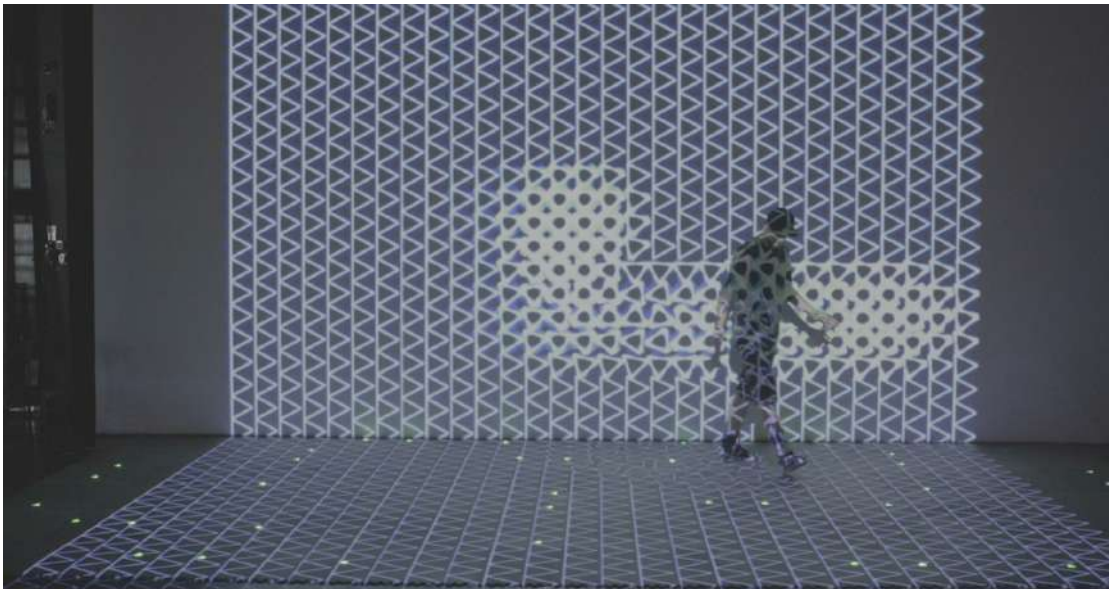
https://drive.google.com/file/d/1q_foldZ3HHxXcjjAewImd0hqCT_igqB/view?usp=sharing



Badanie to miało na celu zaprezentowanie jakie możliwości interakcji ze scenografią dają zastosowane przez nas w prototypie czujniki których ilość minimalną ustaliliśmy na 4. Dzięki temu możliwe jest zrealizowanie wchodzenie w interakcję przy pomocy dłoni oraz nóg co dla osiągnięcia immersji oraz zachowania budżetowego rozwiązania uznaliśmy za wystarczający wybór.

Badania_011- 4 punkty interakcji cz.2

https://drive.google.com/file/d/1qsUUifbEHboh dq2YI_e4lwbhdAGFvILT/view?usp=sharing



Kolejne badanie sprawdzające możliwości wykorzystania 4 czujników przez jednego aktora pozwoliło nam wyeliminować obawy odnośnie problemów oddziaływania na siebie kilku odbiorników oraz nadajników radiowych Antilatency. Próba ta przebiegła zgodnie z założeniami. Dla prawidłowego komunikowania się naszych tagów śledzących pozycję przestrzeni istotne jest umiejscowienie czujników w takich miejscach na stroju aktora aby komunikacja optyczna Antilatency trackerów była możliwie najmniej zakłócona z podłogą, oraz w taki sposób aby anteny Antilatency Tagów było możliwie jak najmniej zakryte przez ciało aktora.

Badania_012 - proceduralny system cząsteczkowy Nvidia Flow

https://drive.google.com/file/d/1n8dgBdSZgnLxtO3xpRLG_klOz35hCe0K/view?usp=sharing



Przeprowadziliśmy kilka testów wykorzystania w prototypie interaktywnej scenografii różnego rodzaju technologii do generowania różnego rodzaju efektów. Dzięki zastosowaniu karty graficznej Nvidia RTX 2080ti mieliśmy możliwość testowania bibliotek Nvidia Flow która

pozwała na generowanie w czasie rzeczywistym symulacji dymu, ognia oraz przepływu fluidów.

Badania_013 - proceduralny system cząsteczkowy- particle

<https://drive.google.com/file/d/1FeTiKZ5pMD4TyDFIWs3v9tZdn947Y6v9/view?usp=sharing>



Środowisku TouchDesigner w którym zbudowaliśmy system zarządzający naszego interaktywnego prototypu scenografii wykorzystaliśmy również rozwiązania pozwalające na przeprowadzenie symulacji partycji cząsteczek opartych o obliczenia po stronie procesora CPU który w naszym wypadku był to Intel i9 9990K którego możliwości pojedynczego rdzenia podkręconego do 5Ghz pozwalały nam na utrzymywanie płynnych 60 klatek na sekundę przy wykorzystywaniu w animacji wyświetlanej na dwóch ekranach Full HD. Symulacja zakłada wykorzystanie ponad 10 000 cząsteczek w czasie rzeczywistym.

Wykorzystane urządzenia multimedialne		
1. Projektor front	1xBarco HDX-W18	
2. Projektor podłoga	2xBarco HDX-W18	
3. Stacja robocza	wg powyższej specyfikacji	
4. Realizacja video	Panasonic S1H	
5. System kontroli	Macbook pro 16	
6. Peryferia	Blackmagic DeckLink 4K	

Wykorzystane oprogramowanie		
1. Touchdesigner	jako serwer dystrybujący	
2. Unity	generator proceduralny 3D	
3. Biblioteki	opracowane elementy 2D + 3D	