



# WNIOSEK O PORTFOLIO: System projekcji stereoskopowej.

*Autorzy: Michał Turek*

**Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 [www.isi.agh.edu.pl](http://www.isi.agh.edu.pl) [isi@agh.edu.pl](mailto:isi@agh.edu.pl)



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Kraków 30 maja 2014

## **SPIN - raport z prac przeprowadzonych w celu wytworzenia polaryzacyjnego systemu projekcji stereoskopowej.**

Michał Turek

### **1. Wstęp**

Projekt ma na celu opracowanie technologii projekcji stereoskopowej stosowanej w lokalnych (kompaktowych) systemach prezentacji multimedialnych. Celem jest umożliwienie uruchomienia takiego systemu jako narzędzia promującego dowolny obiekt fizyczny w niemalże każdej organizacji (firma, urząd, instytucja kulturalna etc). Dotychczasowe systemy projekcji stereoskopowej są jedynie domeną kin trójwymiarowych lub atrybutem wyszukanych i zamkniętych dla modyfikacji produktów multimedialnych sprzedawanych seryjnie (filmy 3D, gry 3D). Realizacja projektu sprawi, iż systemy takie staną się ogólnodostępne. Planowane jest opracowanie oraz upowszechnienie gotowego zestawu rozwiązań technicznych umożliwiających stworzenie systemu prezentacji stereoskopowej opartego o projekторы multimedialne, specjalnie stworzone oprogramowanie renderujące, system filtrowania polaryzacyjnego, urządzenia HID i ekran ścienny (tzw. anty-depolaryzacyjny). Cały system będzie konfigurowany tak, aby możliwa była stereoskopowa projekcja własnoręcznie przygotowanej prezentacji trójwymiarowej. System ten ma być ponadto łatwy w budowie i aplikowalny w jak największym przedziale zastosowań, głównie promocyjnych i demonstracyjnych (na przykład jako prezentacja projektu architektonicznego, wizualizacja siedziby firmy, zabytku, wnętrza urzędu, eksponatu muzealnego itp.). Jednocześnie ma być dostępny dla większej liczby korzystających z niego odbiorców (dopuszcza jednocześnie dużą liczbę obserwatorów wspomnianej projekcji stereoskopowej).

Całość prac przeprowadzonych w ramach projektu podzielono na kilka etapów:

- Stworzenie fizycznej instalacji umożliwiającej projekcję - opartej o ekran anty-depolaryzacyjny i parę projektorów multimedialnych.
- Opracowanie technik renderowania sygnału stereoskopowego, czyli podstawowych założeń umożliwiających różnicowanie klatek animacji dla prawego i lewego oka odbiorcy, opracowanie rachunku umożliwiającego generowanie takiego sygnału wizyjnego.
- Stworzenie oprogramowania, które wykorzystując możliwości współczesnych akcelerowanych sprzętowo kart graficznych wygeneruje wysokowydajną animację trójwymiarową bazującą na dwóch niezależnych i jednocześnie prezentowanych oknach graficznych (dla prawego i lewego oka).

- Opracowanie ergonomicznego interfejsu dla użytkownika instalacji, umożliwiającego sterowanie projekcją stereoskopową.
- Zaprojektowanie narzędzia umożliwiającego rejestrowanie modeli 3D, wraz z prowadzeniem procesu ich optymalizacji.
- Rozważania na temat technik szybkiego pozyskiwania modeli 3D do prezentacji stereoskopowej na bazie pierwotnych rzeczywiście.

Część prac była zrealizowana wcześniej (co umożliwiło wstępne rozpoznanie możliwości skonstruowania przedmiotowej instalacji) i znacznie ułatwiło opracowanie ścieżki rozwiązania.

## **2. Opracowanie fizycznej instalacji opartej o ekran anty-depolaryzacyjny i parę projektorów multimedialnych**

Konieczna do wyświetlania infrastruktura oparta jest o specjalnie przygotowany ekran (tzw. anty-depolaryzacyjny) oraz parę projektorów. Określenie "anty-depolaryzacyjny" oznacza, iż ekran posiada właściwość polegającą na utrzymywaniu polaryzacji światła od niego odbitego. Zwykły materiał typowo wykorzystywany jako ekran (biała powierzchnia) powoduje, że spolaryzowane światło odbijające się od takiego ekranu traci polaryzację. Wspomnianą właściwość utrzymują tzw. ekrany srebrne, do których wytworzenia stosuje się lakier metalizowany. Jednak nie każdy tego typu lakier spełnia wymagania. W czasie wstępnych eksperymentów okazało się, że istotna jest na przykład granulacja proszku aluminiowego, stosowanego jako podstawowy składnik lakieru metalizowanego.

Wcześniejsze prace (przygotowawcze) dotyczyły ustalenia:

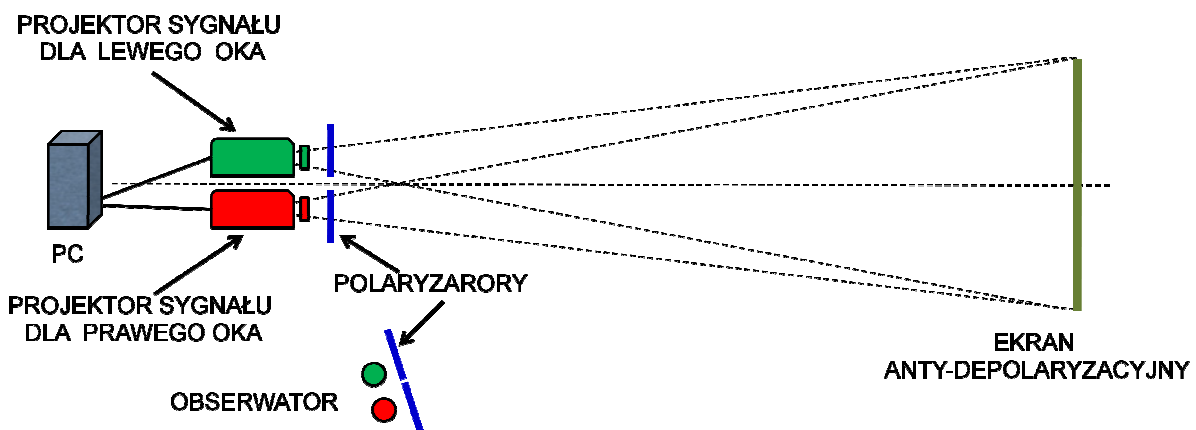
- optymalnego składu pigmentu minimalizującego negatywne skutki depolaryzacji światła odbitego (granulacji proszku aluminiowego w lakierze bezbarwnym poliuretanowym),
- właściwego podkładu - nie wpływającego na barwę światła odbitego,
- domieszek utrzymujących właściwą (zgodną z oryginałem) temperaturę światła białego odbitego od ekranu,
- domieszek umożliwiających ocieplenie barwy odbitego światła - konieczne do zrekompensowania ubytku siły składowych ciepłych po odbiciu od ekranu srebrnego.

Odpowiednią granulację proszku aluminiowego dobrano na podstawie testów serii kilkunastu różnych próbek takich lakierów, gdzie oświetlano polakierowaną powierzchnię światłem spolaryzowanym (pochodzącym z projektora), tłumiono światło odbite za pomocą polaryzatora umieszczonego poprzecznie do polaryzatora wcześniejszego i finalnie mierzono siłę światła światłomierzem fotograficznym. Do testów stosowano światło białe (zawierające wszystkie postrzegane przez człowieka

składowe). Najlepsze wyniki (największe tłumienie polaryzatorów) osiągnięto dla granulacji aluminium 40 um. Lakier z takiej próbki wykorzystano do budowy ekranu w instalacji doświadczalnej. Zastosowanie granulacji z jeszcze większym ziarnem nie pogarszało wyniku związanego z tłumieniem, jednak wpływało niekorzystnie na utrzymanie wierności odwzorowania barw (światło odbite rozpraszało się w przypadkowych kierunkach ulegając rozszczepieniu).

Po dobraniu granulacji konieczne okazało się także użycie właściwego podkładu pod warstwę lakieru metalizowanego. Lakier taki oświetlany silną wiązką światła (materiałem kryjącym jest jedynie proszek aluminiowy) nie izolował od tego światła powierzchni podkładu. Wykorzystano ten fakt - stosując jako podkład lakier w kolorze żółtym. Spowodowało to ocieplenie barwy odbitego światła, znacznie poprawiając temperaturę bieli zniekształconą wcześniej przez aluminium (kolor srebrny). Do lakieru metalizowanego także dodano niewielką ilość pigmentu w kolorze żółtym.

W instalacji zastosowano standardowe projektory DLP firmy BenQ (model MP 511) [5]. Konieczne jest tu zastosowanie technologii DLP [9], gdyż projektory tego typu jako jedyne emitują światło nie polaryzowane (w projektorach typu LCD lub reflective-LCD prowadzona jest polaryzacja światła wewnątrz urządzenia).



Rys 1. Schemat stworzonej instalacji doświadczalnej

Rozdzielenie sygnału wymagało wytworzenia i dobrania par polaryzatorów, zlokalizowanych w okularach oraz na drodze pomiędzy źródłem światła a ekranem (Rys. 1) [7]. Polaryzatory występują w wariacie umożliwiającym wymuszenie polaryzacji liniowej lub spiralnej. Przeprowadzono testy tłumienia światła dla obydwu wariantów, a ponieważ wyniki były porównywalne - wybrano polaryzatory liniowe (jako łatwiej dostępne) [10]. Dodatkowo warstwy polaryzujące światło (w polaryzatorach) można nanosić na szkło lub przezroczach polimerowych. Pierwszy wariant jest bardziej trwały, drugi łatwiejszy w obróbce i łatwiej adaptowalny do wszelkiego typu opravek. Tu właśnie trudności z osadzeniem polaryzatorów szklanych z okularach spowodowały, że wybrano polaryzatory foliowe (przezroczce polimerowe o grubości 0,8 mm z naniesioną warstwą polaryzującą światło). Takie same polaryzatory zamontowano przez projektorami. Konieczne było odsunięcie polaryzatorów od



obiektów projektorów (dystans około 10 cm), gdyż z powodu wysokiej temperatury wytwarzanej przez żarówkę - odkształcały się w krótkim czasie. W czasie osadzania polaryzatorów rozważono także możliwość wbudowania ich do wnętrza projektora, lecz ten sam czynnik - wysoka temperatura panująca w urządzeniu - wykluczyło to rozwiązanie.

Ponieważ polaryzatory znajdują się pomiędzy projektorem a ekranem i zależnie od wyboru oka mają na celu polaryzowanie (poziome lub pionowe) światła - konieczne jest podanie na nie światła jeszcze nie spolaryzowanego. Takie światło emitują tylko projektory typu DLP i jedynie takie nadają się do pracy w instalacji. Przeprowadzono także eksperymenty z projektorami typu reflective LCD [8]. W tego typu projektorach układ optyczny rozszczepia światło z żarówki na trzy niezależne kanały i przepuszcza je przez trzy niezależne matryce LCD. Każda z matryc odpowiada za jedną ze składowych (RGB) pikseli obrazu. Każda polaryzuje światło - zależnie od kanału poziomo lub pionowo. Polaryzacja światła z poszczególnych kanałów nie jest jednak zunifikowana (np. dla składowej zielonej jest pionowa, dla pozostałych dwóch - pozioma). Wymuszono to na etapie konstruowania projektora odpowiednim ułożeniem polaryzatorów przed i za matrycą LCD. W ramach eksperymentów dokonano próby unifikowania polaryzacji składowych RGB - starając się wytworzyć dwa projektory posiadające natywnie zunifikowaną polaryzację pionową (w jednym z nich) i poziomą (w drugim). Nie było jednak wykonalne (Toshiba, Hitachi), gdyż niemożliwy okazał się fizyczny demontaż polaryzatorów (odklejenie ich od matryc) w celu ich obrócenia - tą ścieżkę rozwiązania zatem zarzucono.

Finalnie stworzono klatkę dla dwóch projektorów DLP, umożliwiającą ich stabilne posadowienie - tak, aby pod wpływem wstrząsu nie przemieszczały się względem siebie. Ustawiono je nad sobą tak, aby emitowały obrazy dokładnie w to samo miejsce ekranu anty-depolaryzacyjnego. Następnie osadzono przez nimi dwa polaryzatory: z polaryzacją poziomą dla prawego oka, oraz z pionową dla lewego. Linie sygnałowe projektorów podłączono do dwóch wyjść karty graficznej komputera PC. Zastosowano identyczne konfiguracje temperatury barw, identyczne okablowanie oraz identyczne rozdzielczości prezentacji - aby maksymalnie zunifikować obrazy dla prawego i lewego oka. Uboczną cechą (i zaletą) rozwiązania jest to, że projektory (identyczne) mogą być sterowane równocześnie przy pomocy jednego pilota, a ich konfiguracja jest ciągle identyczna.

### **3. Opracowanie technik renderowania sygnału stereoskopowego**

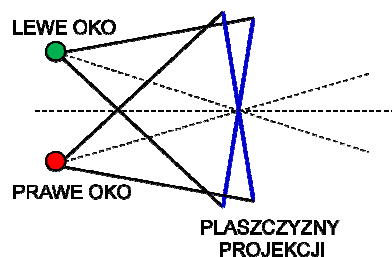
Jak wiadomo, oprogramowanie które przygotowuje sygnał wizyjny dla systemu projekcji stereoskopowej opartego o polaryzację światła musi przygotować dwa okna graficzne (dwa obrazy) jednocześnie - z przeznaczeniem dla prawego i lewego oka. Treść obydwu obrazów będzie różnicowana tak, aby symulować rozłokowanie geometryczne dwojga

oczu (dwóch kamer) z którymi dane obrazy będą powiązane. Przy różnicowaniu treści obrazów dla prawego i lewego oka wykorzystano rachunek tzw. macierzy projekcji (umożliwia on sprawne korygowanie przestrzeni projekcji). Zdefiniowano dzięki temu globalną transformatę, która będzie aplikowana do odpowiedniej sytuacji korygując ułożenie obiektów w przestrzeni projekcji. Macierz projekcji (będąca faktycznie tablicą liczb zmiennoprzecinkowych o wymiarach  $4 \times 4$ ) zawiera zakodowaną transformatę, będącą złożeniem:

- transformaty zapewniającej wybrane rzutowanie projekcji (*perspective*, *ortho*, *frustum* itp.)
- transpozycji w osi X pozycji kamery w prawo bądź w lewo (zależnie od wyboru oka) w lokalnym układzie współrzędnych. Symuluje to rozplanowanie poziome oczu (gdyż oczy - a w konsekwencji kamery je emulujące nie znajdują się w tym samym położeniu)
- kadrowania kamery, które jest skonfigurowane tak, aby kamera spoglądała na punkt odległy od niej zgodnie z osią Z (głębokości) w lokalnym układzie współrzędnych
- korekt mających na celu poziome przesunięcie płaszczyzny projekcji stereoskopowej w przypadku stosowania projekcji typu *frustum*

Wspomniane złożenie transformat jest osiągnięte poprzez zwykłe mnożenie macierzy przez siebie. Należy tu zaznaczyć, że kolejność mnożenia będzie jednocześnie kolejnością wykonywanych operacji transformacji geometrycznych. Dotyczyć ona będzie wszystkich siatek wielokątów będących elementarnymi komponentami obiektów trójwymiarowych prezentowanych w przyszłej przestrzeni projekcji sceny stereoskopowej. Wektor pozycji dowolnego wierzchołka w takiej siatce mnożony przez wspomnianą macierz przybierze nową postać - opisującą nową pozycję wierzchołka po zaaplikowaniu transformaty (wykonaniu transformacji macierzą).

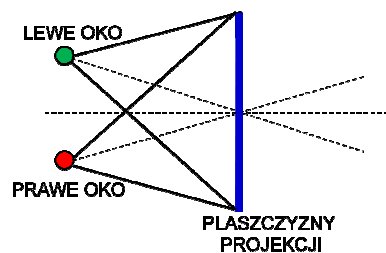
Do celów doświadczalnych stworzono dwa niezależne systemy rzutowania przestrzeni projekcji; perspektywiczny (*perspective projection*) i oparty na ostrosłupie (*frustum projection*). Pierwszy wariant posiada wady geometrii, jednak często wprowadzany jest w grach 3D - wprowadzane przez niego zniekształcenia dają efekty podobne do powodowanych przez niedoskonałości układów optycznych kamer. Pozwala to na osiągnięcie większego stopnia naturalności sceny sugerując, że jej źródłem są kamery (rys. 2).



Rys 2. Geometria płaszczyzn projekcji przy zastosowaniu *perspective projection*

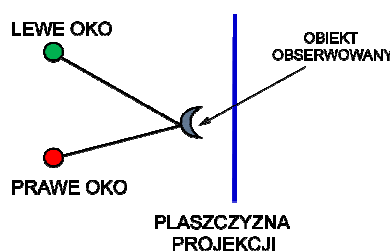
Dostępne w bibliotekach 3D funkcje (metody) umożliwiające generowanie macierzy transformacji dla *perspective projection* pozwalają na określenie "ogniskowej kamery" emulowanej w takiej transformacji. Przeprowadzono eksperymenty z użyciem różnych ogniskowych dobierając najbardziej naturalną i skutkującą wyprodukowaniem najbardziej atrakcyjnej graficznie prezentacji.

W przypadku generowania macierzy transformacji dla trybu *frustum projection* możliwości bibliotek 3D są większe. Przede wszystkim możliwe jest wprowadzenie asymetrycznego odwzorowania przestrzeni 3D dla każdego z oczu. Jest to istotne z uwagi na fakt, iż obserwator sceny postrzegając głębię przestrzeni wytworzoną na skutek stosowania projekcji stereoskopowej faktycznie nadal patrzy na zwykłą płaszczyznę (ekran). Przy budowie macierzy projekcji w wariantcie *frustum* konieczne jest dodatkowe korygowanie symetrii obrazu prawego i lewego - aby użytkownik mógł spoglądać na dwa równoległe obrazy, a nie obrazy przesunięte kątowno tzw. „*Parallel axis asymmetric projection*” [1]. Jest to najbardziej prawidłowa postać odwzorowania i powinna być stosowana w dalszych doświadczeniach (Rys 3) - jako wariant matematycznie idealny lepiej nadaje się do zastosowań stereoskopowych.

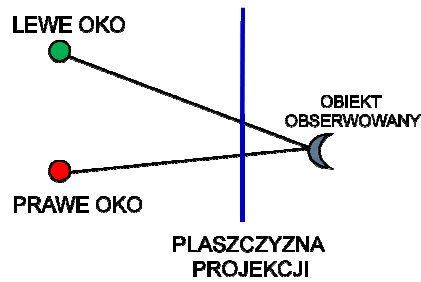


Rys 3. Geometria płaszczyzn projekcji przy zastosowaniu *frustum projection* z przesunięciem (*Parallel axis asymmetric projection*)

Kolejnym problemem związanym z uzyskaniem maksymalnego poziomu poprawności odwzorowania, jest brak bieżącej wiedzy o odległości punktu, na który aktualnie patrzy obserwator sceny. Nie jest zatem możliwe wygenerowanie zawsze właściwej treści macierzy transformacji. Gdy użytkownik patrzy bliżej, niż założono przy konfigurowaniu systemu projekcji stereoskopowej, mamy do czynienia z tzw. dodatnią paralaksą przy postrzeganiu stereoskopowym (Rys. 4). Gdy jest odwrotnie (obserwator patrzy dalej niż założono) - powstaje paralaksa ujemna (Rys. 5).

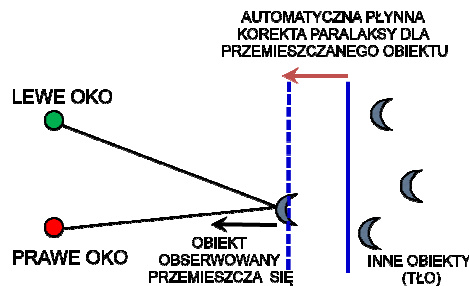


Rys. 4: Dodatnia paralaksa w projekcji stereoskopowej: Użytkownik spogląda na obiekt znajdujący się bliżej niż założona płaszczyzna projekcji.



Rys. 5: Ujemna paralaksa w projekcji stereoskopowej: Użytkownik spogląda na obiekt znajdujący się dalej niż założona płaszczyzna projekcji.

Nie jest możliwe pozyskanie wiedzy o odległości obiektu będącego w centrum zainteresowania. Teoretycznie - można spowodować przeniesienie uwagi na taki punkt wymuszając ją ruchem obiektów w scenie stereoskopowej lub innym podobnym środkiem. Ciekawym wydaje się rozwiązanie umożliwiające animowane płynnej zmiany wartości macierzy transformacji dla projekcji stereoskopowej - w celu przyciągnięcia uwagi. Obrazuje to rysunek 6.



Rys. 6: Animowane (płynne) przemieszczanie płaszczyzny projekcji stereoskopowej w celu ogniskowania uwagi na konkretnym elemencie przestrzeni projekcji.

Wprowadzenie systemu animowania przemieszczania płaszczyzny projekcji uwzględnia naturalne możliwości człowieka w dziedzinie postrzegania głębi stereoskopowej. Ograniczenia postrzegania związane z tempem przemieszczania uwagi pomiędzy pierwszym planem, a tłem znajdującym się daleko. Obecnie trwają prace nad dalszą optymalizacją tego procesu.

#### 4. Optymalizacja wydajnościowa procesów renderowania dwóch klatek jednocześnie - na potrzeby projekcji stereoskopowej.

Głównym założeniem było stworzenie wysokowydajnego systemu wizualizacji, który w pełni wykorzystywałby dostępne narzędzia sprzętowe (akcelerator 3D). Typowa biblioteka graficzna służąca do renderowania scen trójwymiarowych w czasie rzeczywistym korzysta z pojedynczego potoku wielokątów oraz pojedynczego lub podwójnego bufora rasteryzacji (w opcji zakładającej wykorzystanie podwójnego buforowania). W projektowanym rozwiązaniu wszystkie te struktury muszą być

zaprojektowane tak, aby było możliwe wydajne renderowanie dwóch klatek animacji - eksponowanych jednocześnie.

Dużych problemów przysporzyło prowadzenie dwóch niezależnych i współbieżnych procesów rasteryzacji na bazie banku tekstur załadowanych wcześniej do pamięci akceleratora 3D. Okazało się, że tekstury są odwzorowywane w sposób wymagający wyłączości w zakresie dostępu procesu rasteryzującego do pamięci kadry graficznej. Liczne kolizje w dostępie do tekstur, skutkujące drastycznym spadkiem wydajności oraz "niedorysowaniami" skłoniły do stworzenia dwóch niezależnych banków tekstur - z przeznaczeniem dla prawego i lewego oka. Podobnie (tu już przewencyjnie) postąpiono w przypadku potoków wielokątów - także stworzono dwa niezależne.

Wszelkie siatki wielokątów, przypisane do materiałów powierzchni i zawarte w komponentach graficznych sceny trójwymiarowej (modelach 3D) są optymalizowane pod kątem wydajności renderowania. Optymalizacja polega na grupowaniu ich zgodnie z przydzielonym materiałem powierzchni i tworzeniem jednego zbioru wielokątów dla wszystkich kształtów przypisanych do tego samego materiału (tekstury) - niezależnie od ich pochodzenia (modelu 3D, do którego były przypisane). Macierz transformacji dla projekcji stereoskopowej (omówiona w rozdziale poprzednim) może być przekazana do Vertex shadera - programu, który pracując bezpośrednio na GPU akceleratora graficznego zastosuje ją jako transformatę projekcji stereoskopowej. Vertex shader zaimplementowano dla języka NVidia CG i można go wykorzystywać na sprzęcie od tego producenta oraz urządzeniach kompatybilnych.

## **5. Zaprojektowanie narzędzia umożliwiającego rejestrowanie modeli 3D, wraz z prowadzeniem procesu ich optymalizacji**

Kolejnym problemem w całości rozwiązany w ramach prac było dostarczenie mechanizmu, który w prosty dla jego użytkownika sposób pozwoli na definiowanie treści sceny 3D. Tu przyjęto założenie, iż system będzie służył głównie do prezentowania jednostkowych obiektów trójwymiarowych reprezentowanych przez bryły sztywne lub zbiory takich brył (obiekty z ruchomymi elementami). Dopuszczono także wprowadzenie prostego systemu animowania, bazującego na eksponowaniu samopowtarzalnej sekwencji brył sztywnych składającej się na taką animację. jako nośnik plikowy wybrano format 3ds - bardzo popularny, umożliwiający przeniesienie informacji o kształcie bryły, cechach jej powierzchni (materiałach) a także o teksturach (wraz z koordynatami tekstur przypisanymi do wierzchołków trójkątów w zakodowanych w pliku siatkach 3D). Format ma postać binarną, co skraca czas ładowania prezentacji.

W systemie projekcji zaimplementowano mechanizmy auto-zoom i auto-transpose dla kamery, automatycznie (w rybie płynnej animacji) pozycjonujące rejestrowany przez użytkownika obiekt w kadrze kamery.

Ponieważ plik zawierający model 3D (także w formacie 3DS) nie określa żadnego przelicznika skali, jaką należy zastosować wobec obiektu (finalny rozmiar obiektu zadany jest jedynie współrzędnymi wierzchołków składających się na siatki 3D opisujące bryłę) - konieczne było stworzenie transformacji unifikującej skalę przestrzeni projekcji wykorzystaną prezentacji.

## **6. Stworzenie interfejsu umożliwiającego interaktywne wprowadzanie wizualnych efektów specjalnych do prezentacji stereoskopowej**

Jak wspomniano, do projektu zaangażowano zaawansowany silnik 3D napisany nad OpenGL i stworzony od podstaw. Jego funkcjonalność pozwala na pełną kontrolę przestrzeni projekcji, także emulowanie licznych efektów specjalnych związanych z oświetleniem sceny, elementami mgły, rozmywania, przezroczystości itp. Wszystkie te efekty wprowadzono w systemie prezentacji stereoskopowej.

Wygenerowane gotowe sceny stereoskopowe są interaktywne. Umożliwiono w nich przemieszczanie kamery, modyfikację kadru, wprowadzono system kontroli położenia kamery z uwzględnieniem konfigurowanych każdorazowo stref dla kamery zabronionych. W obecnej wersji jako urządzenie HID wykorzystano standardową mysz PC, naśladując ergonomię interfejsu stosowaną w większości gier 3D: kamera przemieszcza się po powierzchni wirtualnego terenu, nad którym znajduje się prezentowany obiekt. System re-pozycjonowania kamery umożliwia "rozglądanie się" przemieszczając punkt, na który patrzy kamera po okręgu wokół niej oraz dodatkowo po osi Y (pionowej).

Dodatkowo - wyprowadzono z systemu interfejs umożliwiający modyfikowanie cech prezentowanych w scenie obiektów wyróżnionych - poprzez wykorzystanie różnorodnych zdarzeń generowanych przez urządzenia HID stacji PC. Interfejs ten umożliwia również sterowanie dodatkowymi funkcjami korygującymi globalne parametry prezentacji: nanoszenie mgły, korekty oświetlenia czy parametrów projekcji.

Dodano także kolejny interfejs - pozwalający na wyprowadzanie (wyświetlanie) wartości parametrów projekcji stereoskopowej i interaktywne modyfikowanie ich podczas pracy systemu.

## **7. Badania w kierunku uzyskania optymalnych metod pozyskiwania modeli 3D**

Duży problem stanowi pozyskanie modeli trójwymiarowych będących wizualnymi odpowiednikami rzeczywistych obiektów będących docelowo przedmiotami prezentacji. Wysokowydajne obrazowanie obiektu rzeczywistego bryłą trójwymiarową zdatną do

zintegrowania z projektowanym systemem prezentacji stereoskopowej wymaga dodatkowo odpowiedniego jej formatowania (reprezentowania). Nie ulega wątpliwości, że najbardziej popularnym, elastycznym, wydajnym i precyzyjnym systemem reprezentowania kształtów 3D są siatki wielokątów. Należy zatem rozważyć możliwe drogi pozyskiwania takich siatek. Gdy pierwowzór (obiekt rzeczywisty) posiada stosunkowo prostą geometrię, możliwe jest jego wymodelowanie w ogólnie dostępnych narzędziach do obróbki kształtów 3D. Dostatecznie wierny oryginałowi odpowiednik można następnie umieścić w stworzonym systemie. Jednak w przypadkach mniej dogodnych (a takie z pewnością będą stanowiły większość) koniecznej jest obrazowanie przy użyciu urządzeń skanujących. Obiekty o niewielkich rozmiarach i możliwe do przemieszczania najwygodniej jest skanować przy użyciu skanerów rotacyjnych[4]. Idea takiego skanowania polega na oświetlaniu obiektu wiązką laserową poziomo pod różnymi kątami (obiekt jest obracany wokół swojej osi Y) i konsekwentnym odczytywaniu odległości urządzenia skanującego od powierzchni obiektu. Po wykonaniu pełnego "okręgu" wokół skanowanego obiektu uzyskujemy jego obwiednię złożoną z pozycji wierzchołków na jego powierzchni i na zadanej płaszczyźnie poziomej. Następnie przemieszczamy urządzenie skanujące nieznacznie po osi Y i powtarzamy proces - uzyskując druga obwiednię. Proces powtarzamy wielokrotnie uzyskując siatkę 3D.

Inna popularną dziś techniką skanowania 3D jest analiza różnicowa obrazu 2D pochodzącego z dwóch kamer rozstawionych kątowno (ich ułożenie jest znane) i obserwujących obiekt pod różnymi kątami [6]. Wynik (w tym przypadku) - to jedynie fragment powierzchni bryły wyeksponowany w stronę kamer. Konieczne jest zatem wielokrotne skanowanie obiektu - w celu uzyskania kompletnej siatki 3D obrazującej ten obiekt.

Kolejne rozwiązanie zakłada emisję specjalnie spreparowanej maski graficznej, oświetlając jej treścią skanowany obiekt (przy użyciu projektora multimedialnego). Jednocześnie obiekt jest obserwowany przez kamerę [3] a na podstawie zniekształconego obrazu maski (po odbiciu od skanowanego obiektu) pozyskiwany jest kształt 3D.

Niezależnie od wybranej techniki - wyniki skanowania (dzięki wprowadzonym w systemie procesom automatycznego skalowania i pozycjonowania kamer oraz zastosowaniu popularnego formatu opisu kształtów trójwymiarowych) będą kompatybilne bez jakiegokolwiek obróbki. Ta naturalnie jest możliwa - jednak dotyczyć będzie głównie modyfikowania cech powierzchni obiektu (kolory, tekstura) - w celu zwiększenia atrakcyjności całej prezentacji.

W ramach eksperymentu przeprowadzono pełny proces przygotowania i integracji modelu trójwymiarowego w stworzonym systemie. Wykorzystano tu skaner rotacyjny firmy Roland [4] i kilka przedmiotów pełniących rolę doświadczalnych pierwowzorów fizycznych. Wyniki były zadowalające

Naturalnie - poza angażowaniem różnorodnych technik skanowania trójwymiarowego - możliwe jest użycie wszelkich innych dostępnych metod pozyskiwania modeli trójwymiarowych . Ma to szczególne znaczenie w sytuacji, gdy przedmiotem prezentacji będzie model już istniejący - a wytworzony na drodze interaktywnego wizualnego modelowania 3D (np. projekt architektoniczny nowego budynku, model/wirtualny prototyp produktu itp.). Adaptacja w tym przypadku może się sprowadzać jedynie do automatycznej redukcji liczby wielokątów w przypadku gdy ich ilość mogłaby negatywnie wpłynąć na wydajność renderowania animacji stereoskopowej w czasie rzeczywistym

## **Materiały źródłowe**

[1] Steinicke, "Realistic Perspective Projections for Virtual Objects and Environments", ACM Transactions on Graphics, Vol. 30, No. 5, Article 112, Publication date: October 2011.

[2] Rotary Scanners, <http://www.shapegrabber.com/sol-products-3d-auto-inspection-Ai310.shtml>

[3] 3D WebCam Scanners, <http://www.david-3d.com/>

[4] Roland 3D laser Scanners, <http://www.rolanddga.com/products/scanners/>

[5] BenQ Projectors, <http://benq.com>

[6] Mobile 3D Scanners <http://www.creaform3d.com/en/ndt-solutions/handyscan-3d-laser-scanners>

[7] Polarizers, <http://en.wikipedia.org/wiki/Polarizer>

[8] Reflective LCD projectors, <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,1157687,00.asp>

[9] DLP projection, [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Light\\_Processing](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Light_Processing)

[10] 3DExpert, [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Light\\_Processing](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Light_Processing)