



INSTYTUT RADIOELEKTRONIKI I TECHNIK MULTIMEDIALNYCH

Grafika Komputerowa (GRK)

Laboratorium

Ćwiczenie 4

Modelowanie w grafice 3D



Politechnika Warszawska

Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny



Materiały opracowane w ramach zadania 15 "Modyfikacja międzywydziałowych studiów I stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna" projektu "NERW PW. Nauka – Edukacja – Rozwój – Współpraca", współfinansowanego jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

1. Wstęp

Proces tworzenia realistycznego obrazu 3D przeznaczonego do wyświetlenia na płaskiej powierzchni ekranu komputera składa się z dwóch podstawowych etapów:

- **modelowania**, realizowanego w formule opisu sceny, która definiuje kształty i położenia obiektów przeznaczonych do wizualizacji oraz sposoby ich oświetlenia i obserwacji;
- **renderingu**, mającego na celu wygenerowanie dwuwymiarowego obrazu sceny.

W ramach niniejszego ćwiczenia przedstawione zostaną podstawowe techniki modelowania 3D, podczas gdy renderingu dotyczyć będą następne zajęcia. Temat laboratorium jest ściśle związany z zagadnieniami omawianymi w trakcie wykładu nr 5 z GRK, stąd też zalecane jest zapoznanie się z jego treścią przed przystąpieniem do zajęć.

Część praktyczna zajęć laboratoryjnych polegać będzie na samodzielnym wykonaniu wybranych kroków modelowania sceny 3D. W tym celu wykorzystany zostanie Blender (<u>https://www.blender.org</u>), darmowy program służący do tworzenia obrazów oraz animacji trójwymiarowych. W trakcie zajęć zaprezentowane zostaną podstawy obsługi Blendera, jednak należy mieć na uwadze, że jest on niezwykle rozbudowanym narzędziem, a w pełni świadome korzystanie z jego możliwości wymaga sporej praktyki. Dlatego też przed laboratorium warto obejrzeć jeden z wielu dostępnych w sieci kursów wideo poświęconych obsłudze tej aplikacji (np. <u>https://www.youtube.com/watch?v=TPrnSACiTJ4</u>).

2. Modelowanie sceny 3D

Scena w grafice 3D jest opisem wirtualnego świata oraz sposobu rozmieszczenia w nim obiektów. Jej elementami są również **źródła światła** i **obserwator (kamera)**. Ze sceną związany jest **globalny układ współrzędnych**, w którym lokalizację każdego obiektu definiuje się przez podanie trzech współrzędnych: *x*, *y* oraz *z*. Pierwsza z nich (*x*) określa odległość od płaszczyzny *yz*. Druga (*y*) i trzecia (*z*) analogicznie określają odległości odpowiednio od płaszczyzn *xz* i *xy*. Inaczej niż w klasycznej grafice 2D, ulokowanie sceny w przestrzeni trójwymiarowej pozwala na uzyskanie dowolnego jej widoku przez zmianę położenia obserwatora i proste transformacje geometryczne.

Tworzenie modelu sceny obejmuje przynajmniej trzy główne kroki:

- zdefiniowanie obiektów określenie ich cech, wyglądu oraz wzajemnej lokalizacji w ramach sceny;
- zdefiniowanie źródeł światła określenie ich rodzaju i położenia;
- zdefiniowanie obserwatora (kamery) określenie położenia i parametrów obserwacji.

2.1. Modelowanie obiektów

Modelowanie (definiowanie kształtów) obiektów trójwymiarowych występujących w obrębie sceny jest jednym z najbardziej wymagających etapów jej tworzenia. Istnieje wiele sposobów reprezentowania powierzchni zewnętrznych obiektów, jednak najpopularniejszą i zarazem najbardziej podstawową formą jest użycie **siatki wielokątów** (ang. *polygon mesh*), czyli zbioru czworokątów wypukłych lub trójkątów o wspólnych krawędziach (rysunek 1). Reprezentacja ta, pomimo swej prostoty, może posłużyć do przybliżania nawet bardzo złożonych kształtów, a błąd ich aproksymacji będzie malał wraz ze wzrostem gęstości siatki i liczby użytych wielokątów. Podczas modelowania obiektów o gładkich powierzchniach dodatkowo stosuje się **cieniowanie**, które pozwala płynnie zmieniać kolory w ramach pojedynczego wielokąta w taki sposób, aby symulować interakcję światła z powierzchnią, której jest on elementem.



Rys. 1. Modele prostych obiektów (tzw. prymitywów) reprezentowanych w postaci siatki wielokątów

Innym podejściem do modelowania jest zastosowanie **opisu matematycznego**, czyli zestawu równań definiujących powierzchnie obiektów. Złożone obiekty reprezentuje się za pomocą **płatów powierzchni krzywoliniowych** (np. typu NURBS, czyli *Non-Uniform Rational B-Spline*), będących trójwymiarowym uogólnieniem krzywych parametrycznych używanych w dwuwymiarowej grafice wektorowej. W dużym uproszczeniu można powiedzieć, że są one powierzchniami, których fragmenty opisywane są funkcjami wielomianowymi o współczynnikach zależnych od położeń zbioru punktów kontrolnych. Tym samym ich kształt można w łatwy sposób modyfikować przez zmianę położeń tych punktów (rysunek 2).





Rys. 2. Modelowanie powierzchni zewnętrznych obiektów przy użyciu płatów krzywoliniowych typu NURBS

Oprócz bezpośredniego korzystania z dwóch wymienionych powyżej typów reprezentacji możliwe jest modelowanie przy użyciu szeregu dodatkowych technik pomocniczych. Jedną z przykładowych metod jest tworzenie brył przez **przesuwanie lub obracanie dwuwymiarowych figur** (np. prostokątów, okręgów, krzywych parametrycznych). Przykładowo, jeśli wyobrazimy sobie prostokąt umieszczony w płaszczyźnie *xy*, to przesuwając go po **ścieżce** równoległej do osi *z* otrzymamy prostopadłościan, zaś w wyniku obrotu wokół osi *y* powstanie walec. Tego typu podejście może posłużyć nie tylko do tworzenia prostych brył, ale także do modelowania złożonych obiektów (rysunek 3).



Rys. 3. Przykłady modelowania przez obracanie lub przesuwanie dwuwymiarowych figur wzdłuż zadanej ścieżki

Istnieje również możliwość użycia wcześniej zdefiniowanych brył 3D do konstrukcji bardziej złożonych obiektów. Przy realizacji takiej formy modelowania stosuje się technikę **konstruktywnej geometrii brył** (ang. *Constructive Solid Geometry*), w której obiekt opisywany jest jako drzewo operacji logicznych (suma, iloczyn, różnica) realizowanych na bryłach (rysunek 4).



Rys. 4. Tworzenie złożonych obiektów z brył za pomocą operacji logicznych: sumy (∪), iloczynu (∩) i różnicy (-)

Opisane powyżej przykładowe techniki z pewnością nie wyczerpują w pełni tematu tworzenia modeli obiektów 3D, a stanowią jedynie wprowadzenie niezbędne dla potrzeb realizacji niniejszego ćwiczenia.

2.2. Źródła światła

Do pełnego zdefiniowania sceny wymagane jest określenie sposobu jej oświetlenia. W obrębie sceny można rozmieścić praktycznie dowolną liczbę źródeł światła o zadanych parametrach (w tym rodzaju, kolorze, intensywności), lokalizacji oraz skierowaniu.

Można wymienić kilka różnych typów źródeł światła. Pierwsze z nich to **światło punktowe** (ang. *point light*), które charakteryzuje się dookólnym, jednakowym rozchodzeniem się promieni we wszystkich kierunkach (rysunek 5). Charakterystyczną cechą światła punktowego jest jego naturalne osłabianie wraz z odległością, o którym decyduje wartość tzw. współczynnika osłabiania (ang. *decay rate*). Stąd też wpływ światła punktowego na obiekty sceny jest ściśle uzależniony od lokalizacji jego źródła.





Rys. 5. Punktowe źródło światła

Innym typem oświetlenia jest **światło stożkowe** (ang. *spot light*). Podobnie jak źródło punktowe posiada ono określoną pozycję w obrębie sceny i ulega osłabieniu wraz z odległością, jednak wytwarza światło w formie stożka o skończonym kącie rozwarcie (rysunek 6). Dodatkowym parametrem opisującym takie źródło jest współczynnik zanikania (ang. *falloff rate*), od którego zależy jak szybko światło ulega rozmyciu w miarę oddalania się po promieniu od środka podstawy stożka.





Rys. 6. Stożkowe źródło światła

Światło kierunkowe (ang. *directional light*) charakteryzuje się nieskończenie szerokimi wiązkami równoległych promieni świetlnych o stałym natężeniu (rysunek 7). Przyjmuje się, że takie źródło znajduje się nieskończenie daleko, dlatego opisywane jest jedynie przez kierunek rozchodzenia się światła, a nie dokładną lokalizację. Oczywistym przykładem takiego źródła jest Słońce, którego promienie – ze względu na bardzo dużą odległość – docierając na Ziemię są w przybliżeniu równoległe. Warto zauważyć, że światło punktowe wraz z oddalaniem się od obiektu zaczyna przypominać światło kierunkowe.



Rys. 7. Kierunkowe źródło światła

Dodatkowo w modelu oświetlenia sceny bierze się również pod uwagę **światło otoczenia** (ang. *ambient light*) o niezdefiniowanej kierunkowości, które wpływa na ogólną jasność obiektów sceny (rysunek 8).





Rys. 8. Światło otoczenia

2.3. Kamera

Kolejnym elementem, jaki należy uwzględnić w procesie modelowania sceny jest kamera. Decyduje ona o tym, która część trójwymiarowej sceny i w jaki sposób będzie widoczna w dwuwymiarowym obrazie wyjściowym. Wbrew pozorom to jeden z ważniejszych elementów sceny – od wyboru lokalizacji kamery zależy hierarchia ważności wizualizowanych obiektów oraz ogólna atrakcyjność obrazu. W modelowanej scenie można umieścić dowolną liczbę kamer, zaś dopiero na etapie renderingu zdecydować, która z nich będzie aktywna. Ponadto kamera może zmieniać swoje położenie w czasie, co pozwala tworzyć animacje.

Kamera definiowana jest przez swoją lokalizację, skierowanie, kąt widzenia oraz rodzaj rzutu. Operacja rzutowania polega na poprowadzeniu prostych (promieni rzutujących) przez każdy z punktów sceny i znalezieniu punktów wspólnych tych prostych z płaszczyzną rzutowania (rzutnią). Wśród wielu technik rzutowania największe znaczenie mają dwie: rzut perspektywiczny i równoległy prostokątny. W **rzucie równoległym prostokątnym** promieniami rzutującymi są wzajemnie do siebie równoległe proste, które jednocześnie są prostopadłe do rzutni. W efekcie rzut ten zachowuje równoległość linii, a także długości odcinków leżących na płaszczyźnie równoległej do rzutni oraz miary kątów między nimi. Cechy te są niezgodne z naszą percepcją przestrzeni, ale mają podstawowe znaczenie przy tworzeniu rysunków technicznych. Przydają się również w modelowaniu 3D, głównie do tworzenia rzutów bocznych poszczególnych obiektów lub całej sceny. Jednak podczas ostatecznego renderingu praktycznie zawsze korzysta się z **rzutu perspektywicznego**, w którym promienie rzutujące mają postać pęku prostych wychodzących z jednego punktu, dzięki czemu otrzymany obraz jest zgodny ze sposobem postrzegania relacji przestrzennych przez ludzki narząd wzroku.

3. Zadania do wykonania

W trakcie zajęć należy przygotować w edytorze tekstu (np. Writer z LibreOffice) dokument zawierający sprawozdanie. Potrzebne do sprawozdania widoki sceny należy wygenerować używając domyślnego silnika renderującego **Eevee** (utworzenie renderingu odbywa się przez naciśnięcie klawisza **F12**). Obrazy można zapisywać w Blenderze (opcja **Image** \rightarrow **Save** w oknie renderingu) i importować do sprawozdania (opcja **Wstaw** \rightarrow **Obraz**) lub też pozyskiwać jako zrzuty ekranu (kombinacja **Win+Shift+S**).

Podstawy obsługi programu Blender

Zad. 1. Wykonać wspólnie z prowadzącym zestaw zadań mających na celu zapoznanie się z podstawami obsługi programu Blender.

Modelowanie prostych obiektów (1 punkty)

Zad. 2.1. Otworzyć plik *scena2_1*. Wykonać rendering i przyjrzeć się wygenerowanemu obrazowi. Scena zawiera trzy proste obiekty modelowane za pomocą siatki wielokątów: sześcian, kulę oraz czajniczek. Zmienić scenę tak, aby każdy z nich został poddany przynajmniej jednej z trzech operacji: przesunięciu (klawisz **G** po zaznaczeniu obiektu lewym przyciskiem myszy), skalowaniu (**S**) i obrotowi (**R**).

W sprawozdaniu zamieścić efekt renderingu sceny wraz z informacjami o dokonanych modyfikacjach.

Zad. 2.2. Usunąć ze sceny obiekt sześcianu (klawisz **Delete**) i zastąpić go walcem złożonym z wielokątów (kombinacja klawiszy **Shift+A** i wybranie z menu pozycji **Mesh** \rightarrow **Cylinder**). Przeskalować walec do wysokości dwa razy większej od tej, którą wcześniej miał sześcian. Na walcu umieścić model czajniczka, starając się przy tym zachować szacunek dla praw fizyki: obiekt nie powinien ani lewitować w powietrzu, ani zapadać się w głąb walca.

W sprawozdaniu zamieścić efekt renderingu zmodyfikowanej sceny.

Zad. 2.3. Zaznaczyć obiekt walca i przejść do trybu edycji (przełączanie pomiędzy trybami odbywa się za pomocą klawisza **Tab**). W trybie edycji dokonać modyfikacji siatki wielokątów zgodnie z instrukcjami prowadzącego. Wyjść z trybu edycji i dodać do sceny walec opisywany płatami powierzchni typu NURBS (**Shift+A** i wybranie z menu pozycji **Surface** \rightarrow **Nurbs Cylinder**). Zaznaczyć nowy obiekt, wrócić do trybu edycji i zmienić jego kształt zgodnie z instrukcjami prowadzącego. Zwrócić uwagę na różnicę w podejściu do edycji obiektów w zależności od typu reprezentacji powierzchni.

W sprawozdaniu zamieścić efekt renderingu zmodyfikowanej sceny.

Zad. 2.4. Zaznaczyć kulę. Z menu kontekstowego (prawy przycisk myszy) wybrać opcję **Shade Smooth** i zaobserwować efekt jej działania. W trybie edycji sprawdzić, czy widoczne wygładzanie powierzchni wynika ze zmiany gęstości siatki wielokątów opisujących obiekt. Uważnie przyjrzeć się renderingowi kuli po wygładzeniu i zwrócić uwagę na niedoskonałość jej kształtu. Zwiększyć dokładność modelu przez użycie modyfikatora dzielącego wielokąty na mniejsze części (zakładka z ikoną *w* panelu po prawej stronie ekranu, menu **Add Modifier**, pozycja **Subdivision Surface**), wykonać rendering i porównać obraz z tym uzyskanym poprzednio.

UWAGA: aby lepiej zrozumieć działanie modyfikatora warto tymczasowo wyłączyć wygładzanie (wybrać opcję **Shade Flat** z menu kontekstowego), a włączyć je ponownie dopiero do renderingu.

Czy wizualne wygładzenie powierzchni po użyciu opcji Shade Smooth jest efektem zwiększenia gęstości siatek wielokątów modelujących obiekty? Jeżeli nie, to w jaki sposób jest ono osiągane?

Użyć wiedzy zdobytej w czasie realizacji tego zadania do poprawienia wyglądu sceny z punktu 2.1: należy włączyć wygładzanie i poprawić dokładność obiektów, dla których ma to znaczenie. Do sprawozdania dodać obraz zmodyfikowanej sceny.

Oświetlanie sceny (1 punkt)

Zad. 3.1. Otworzyć plik *scena3_1* i wykonać rendering. W obrębie sceny znajduje się punktowe źródło światła (**Point**). Zaznaczyć źródło i przejść do jego właściwości (zakładka oznaczona ikoną w panelu po prawej stronie ekranu). Zmienić rodzaj światła na kierunkowe (**Sun**), powierzchniowe (**Area**) oraz stożkowe (**Spot**) i wykonać renderingi. Zaobserwować wpływ położenia, skierowania i mocy (**Power**) źródła na uzyskane obrazy. Zwrócić również uwagę na dodatkowe parametry źródła, np.: kształt i rozmiar (**Shape** i **Size**) źródła powierzchniowego, czy też kąt i rozmycie (**Size** i **Blend**) źródła stożkowego. Dodatkowo sporządzić rendering sceny po usunięciu źródła światła.

UWAGA: w zadaniu warto włączyć podgląd renderingu w czasie rzeczywistym (klawisz **Z** i wybranie opcji **Rendered**), dzięki czemu możliwe będzie śledzenie na bieżąco wpływu zmian sposobu oświetlenia sceny.

W sprawozdaniu umieścić 5 renderingów: po jednym dla każdego rodzaju źródła i jeden bez źródeł światła. Położenie i parametry źródeł dobrać tak, aby obrazy dobrze oddawały charakterystykę danego rodzaju oświetlenia (informacje o typie i parametrach dodać do sprawozdania). Na podstawie renderingów krótko omówić podstawowe właściwości źródeł: sposób oświetlania obiektów, wygląd cieni, osłabienie z odległością. Odpowiedzieć na pytanie dlaczego po usunięciu źródła światła obiekty sceny nadal są w pewnym stopniu widoczne? Inaczej mówiąc: jaki rodzaj światła powoduje, że obraz nie staje się całkowicie czarny?

Zad. 3.2. Do sceny z poprzedniego zadania należy dodać drugie źródło światła i wykonać kilka kolejnych renderingów z różnymi kombinacjami typów oświetlenia.

Do sprawozdania wybrać cztery renderingi i opatrzyć je opisem użytych źródeł światła.

Wykorzystać doświadczenie zdobyte w ramach realizacji tego zadania do zmiany sposobu oświetlenia sceny z punktu 2.1: należy w niej umieścić co najmniej dwa źródła światła, tak dobrane, aby poprawić widoczność obiektów lub uzyskać zamierzony efekt wizualny. Do sprawozdania dodać obraz zmodyfikowanej sceny oraz opis sposobu oświetlenia wraz z uzasadnieniem jego wyboru.

Kamera (1 punkt)

Zad. 4.1. Otworzyć plik *scena4_1*. Zmienić położenie i skierowanie kamery w taki sposób, aby rendering obejmował wszystkie obiekty zdefiniowane w obrębie sceny.

UWAGA: 0 na klawiaturze numerycznej przełącza na widok z kamery, co znacznie ułatwia kadrowanie. Kombinacja **Alt+Ctrl+0 numeryczne** ustawia kamerę zgodnie z obecnym sposobem obserwacji sceny.

W sprawozdaniu umieścić efekt renderingu sceny.

Zad. 4.2. Otworzyć plik *scena4_2.* Zaznaczyć kamerę i przejść do jej właściwości (zakładka z ikoną a panelu po prawej stronie ekranu). Wprowadzać różne długości ogniskowej obiektywu (**Focal lenght**) i obserwować zmiany, jakie to powoduje w obrazach. Następnie zmienić typ kamery z **Perspective** na **Orthographic** i wykonać kolejny rendering.

W sprawozdaniu należy uwzględnić widoki sceny dla trzech długości ogniskowej (dla wartości pierwotnej oraz jednej mniejszej i jednej większej). Skomentować wpływ tego parametru kamery na otrzymane obrazy. Jakie rodzaje rzutowania są realizowane przez dwa użyte typy kamery i jak wpływają one na postrzeganie obiektów występujących w obrębie sceny? Odpowiedzi poprzeć odpowiednimi renderingami.

Modelowanie złożonych obiektów (1 punkt)

Zad. 5.1. Celem zadania jest wykonanie od podstaw modelu bardziej złożonego obiektu, którego rodzaj można wybrać samodzielnie po uzgodnieniu z prowadzącym. W przypadku braku własnych pomysłów można skorzystać z prezentacji o modelowaniu klepsydry (plik *Lab4_klepsydra.pdf* dostępny na serwerze w sali laboratoryjnej) lub poleconego przez prowadzącego tutorialu filmowego.

W sprawozdaniu umieścić efekt renderingu obiektu. Zapisać scenę do pliku L4_Imię_Nazwisko.blend i oddać prowadzącemu razem ze sprawozdaniem.



Politechnika Warszawska

Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny



Materiały opracowane w ramach zadania 15 "Modyfikacja międzywydziałowych studiów I stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna" projektu "NERW PW. Nauka – Edukacja – Rozwój – Współpraca", współfinansowanego jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego