

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki
Instytut Informatyki

Praca dyplomowa inżynierska

**PROJEKT I IMPLEMENTACJA GRY KOMPUTEROWEJ
Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII MICROSOFT DIRECTX 11**

Krzysztof Marciniak, 106574
Piotr Przybysz, 106602
Mikołaj Szychowiak, 106580
Ryszard Wojtkowiak, 106609

Promotor
dr inż. Witold Andrzejewski

Poznań, 2015 r.

Tutaj przychodzi karta pracy dyplomowej;
oryginał wstawiamy do wersji dla archiwum PP, w pozostałych kopiach wstawiamy ksero.

Spis treści

1	Wstęp	1
1.1	Cel i zakres pracy	1
2	Przegląd zagadnień teoretycznych	2
2.1	Zarys działania Microsoft DirectX API	2
2.1.1	Struktura i podstawowe pojęcia	2
2.1.2	Proces renderingu	3
2.2	Deferred Shading	4
2.3	Podpowierzchniowe Rozproszenie Światła/Rozpraszanie Podpowierzchniowe (Sub-Surface Scattering)	4
2.4	Głębia Ostrości (Depth of Field)	5
3	Przegląd narzędzi	6
3.1	Własny silnik graficzny w języku C++	6
3.2	Unreal Engine 4	6
3.3	Unity	7
3.4	OGRE	8
3.5	CryEngine 3 SDK	8
3.6	Unreal Engine 3	9
3.7	Unreal Development Kit (UDK)	9
3.8	Autodesk Maya	10
3.9	Autodesk 3D Studio Max	10
3.10	Blender	10
3.11	Gimp	11
3.12	Adobe Flash - Scaleform	11
3.13	Git	11
3.14	Perforce	12
3.15	Jira	12
4	Praca własna	13
4.1	Projektowanie	13
4.1.1	Projekt silnika graficznego	14
4.1.2	Modele 3D i animacje	14
4.1.3	Projekt poziomego	15
4.2	Implementacja	16
4.2.1	Wykorzystanie technologii DirectX 11 w UDK	16
4.2.2	Skryptowanie	17
4.2.3	Zarządzanie projektem	18
5	Podsumowanie	21
6	Literatura	22
7	Dodatki	23
A	Game Design Document	24

Rozdział 1

Wstęp

1.1 Cel i zakres pracy

Celem pracy jest zaprojektowanie oraz zaimplementowanie gry komputerowej dla systemu Microsoft Windows, przy wykorzystaniu technologii Microsoft DirectX 11. W ramach niniejszej pracy należy przygotować środowisko, głównie silnik graficzny, wykorzystujący wspomnianą wcześniej technologię. Przedmiotem pracy nie jest implementacja silnika graficznego, możliwe jest więc wykorzystanie istniejących. Narzędzia te mają różne charakterystyki i nie każde dostępne na rynku będzie przydatne. Dlatego ważny jest wybór odpowiedniego narzędzia.

Wszelkie informacje na temat powstawania i założeń projektu powinny być zapisane w dokumentacji. Stworzenie gry komputerowej wymaga również stworzenia modeli i animacji. Aby umożliwić rozgrywkę konieczne jest również stworzenie skryptów opisujących mechanikę gry.

Podczas prac ważna jest praca zespołowa. Tworzenie złożonego projektu od podstaw jest bardzo ważne dla inżyniera, stąd ważne jest wykorzystanie procesów projektowania i wytwarzania oprogramowania w ramach niniejszej pracy. Procesy te są czasochłonne. Istotne jest więc wykorzystanie metod zarządzania projektami w celu minimalizacji ryzyka stworzenia wadliwego oprogramowania i odpowiedniego zarządzania czasem, które pozwoli uniknąć zbędnych opóźnień.

W ramach niniejszej pracy Krzysztof Marciniak wykonał projekt silnika graficznego, modele 3D i animacje. Piotr Przybysz zaprojektował poziom do gry i wykonał interfejs użytkownika. Mikołaj Szychowiak był odpowiedzialny za zarządzanie projektem oraz rozpoznanie możliwości i sposobów wykonania wymagań funkcjonalnych. Ryszard Wojtkowiak zaprojektował broń i stworzył skrypty mechaniki gry. Wszyscy członkowie zespołu byli tak samo zaangażowani w projektowanie oraz testowanie gry.

Rozdział 2

Przegląd zagadnień teoretycznych

2.1 Zarys działania Microsoft DirectX API

2.1.1 Struktura i podstawowe pojęcia

Microsoft DirectX to interfejs programistyczny (API, ang. *application programming interface*) do tworzenia aplikacji multimedialnych. Składają się na nie przede wszystkim:

- DirectDraw, Direct2D/Direct3D (komponenty odpowiedzialne za rysowanie grafiki),
- DirectSound, DirectMusic (obsługa dźwięków),
- DirectInput (obsługa wejścia - myszy, klawiatury, kontrolerów itp.).

DirectX pozwala na tworzenie aplikacji w trzech językach - C#, Visual Basic oraz C++, przy czym w praktyce spotyka się głównie aplikacje stworzone w C# oraz C++. Jak widać na rysunku 2.1, struktura DirectX jest wielopoziomowa i, poza odwołaniami do API oraz komponentami jak na przykład Direct3D 11 (D3D11), obejmuje także DXGI (Infrastruktura Graficzna DirectX, ang. *Microsoft DirectX Graphics Infrastructure*), które – jako najniższa warstwa – komunikuje się bezpośrednio ze sterownikiem znajdującym się w przestrzeni jądra systemu operacyjnego. Wykorzystanie komponentów COM (ang. *Component Object Model*) pozwala na łatwą rozbudowę oraz jasny podział funkcjonalności.

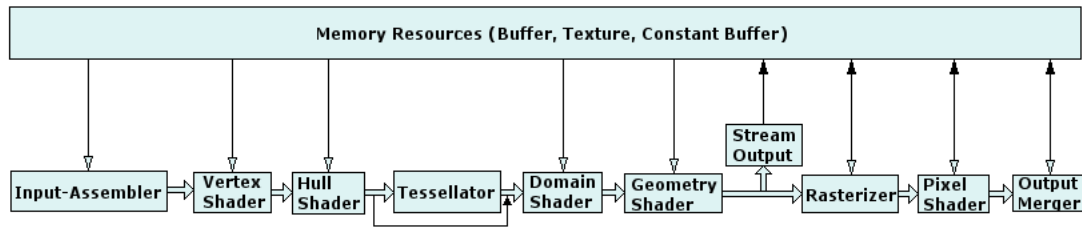
Podstawowymi i koniecznymi do zrozumienia działania DirectX są koncepcje urządzenia (ang. *device*) oraz jego kontekstu (ang. *device context*).

Urządzenie, reprezentowane w wersji 11. przez interfejs ID3D11Device, reprezentuje kartę graficzną i może służyć do tworzenia zasobów oraz pobierania informacji o jej możliwościach (ang. *capabilities*), tj. oferowanych przez nią funkcjonalnościach takich jak np. obsługa podwójnej precyzji w programach cieniujących.

Kontekst urządzenia z kolei, jak wskazuje nazwa, określa kontekst użycia urządzenia, co jednoznacznie pokazuje, iż do prawidłowej pracy z urządzeniem powiązany powinien być co najmniej jeden kontekst. Pozwala on głównie na ustawienie stanu w procesie renderingu oraz prawidłowych komend wykorzystujących zasoby karty graficznej do wygenerowania obrazu (bezpośrednio



RYSUNEK 2.1: Architektura DirectX



RYSUNEK 2.2: Proces generowania obrazu w DirectX

na ekran lub do pośredniczącej tekstury, która może zostać wykorzystana później). Wyróżniamy dwa rodzaje kontekstów: bezpośredni/zwykły (*forward*) oraz opóźniony (*deferred*). Bezpośredni wykonuje komendy od razu gdy zostają wywołane, podczas gdy opóźniony pozwala na zapisanie ich na odpowiedniej liście, dzięki czemu mogą zostać wykonane później (jest to przydatne zwłaszcza w przypadku aplikacji wielowątkowych).

Programy cieniujące (ang. *shader*) to aplikacje działające na karcie graficznej, współcześnie pisane w językach wysokiego poziomu jak HLSL (dla DirectX) czy GLSL (dla OpenGL). Dwa najważniejsze to Vertex Shader (odpowiada on za obliczenie oświetlenia dla pojedynczych wierzchołków modelu) oraz Pixel Shader (w OpenGL nazywany Fragment Shader, interpoluje wartości wyjściowe z etapu pośredniego [Geometry Shader] i oblicza ostateczny kolor piksela).

2.1.2 Proces renderingu

Przebieg wygenerowania grafiki (renderingu) opisywany przez tzw. *pipeline* jest złożony z wielu etapów (ang. *stage*), z których część może być konfigurowana jedynie przez wywołanie odpowiednich komend API poprzedzonych prefiksem będącym skrótem nazwy danego etapu (np. *IA* dla etapu *Input-Assembler*), a część opisywana jest przez programy cieniujące (ang. *shader*).

W pipeline DirectX 11 wyróżnia się następujące etapy:

- Input-Assembler - odpowiada za wczytanie wierzchołków w sposób opisany przez prymityw (trójkąt, czworokąt itp.),
- Vertex Shader - cieniowanie wierzchołków, ustalanie dla nich wartości początkowych zmiennych jak np. kolor, wektor normalny itp. ,
- Hull Shader - pierwszy etap teselacji (zagęszczania siatki), przygotowuje siatkę do zagęszczenia przez ustalenie punktów kontrolnych,
- Tessellator - zagęszcza siatkę wprowadzając dodatkowe prymitywy zastępujące podstawowy i zwraca nowe współrzędne teksturowania,
- Domain Shader - generuje nowe pozycje wierzchołków na podstawie dwóch poprzednich etapów,
- Geometry Shader - pozwala zastąpić prymityw wejściowy innym prymitywem,
- Rasterizer - odpowiada za konwersję wektorowej postaci model na postać rastrową, czyli zbiór pikseli na ekranie,
- Pixel Shader - pozwala zmieniać kolor piksela w wynikowym obrazie,
- Output Merger - generuje końcowy obraz łącząc w odpowiedni sposób (opisany przez komendy takie jak np. *OMSetRenderTargets*) informacje z poprzedniego etapu.

Wszystkie te etapy przedstawione zostały na Rys. 2.2. Strzałki określają czy dany etap korzysta jedynie z odczytu danych z karty, czy też pozwala na ich zapis (lub oba równocześnie).

Ostatnim zasługującym na uwagę jest fakt, iż w większości aplikacji wraz z DirectX wykorzystywana jest technologia WinAPI pozwalająca na tworzenie aplikacji graficznych pod platformę

Windows. Głównym jej mechanizmem jest pętla komunikatów, których odebranie warunkuje sposób przetwarzania informacji w aplikacji (np. wciśnięcie klawisza powoduje przesunięcie modelu). Komunikaty mogą zostać odczytane w sposób blokujący (przez funkcję *GetMessage*) lub nieblokujący (*PeekMessage*). Z oczywistych względów (tj. narzutu czasowego), w aplikacjach generujących obraz w czasie rzeczywistym wykorzystywana jest wyłącznie funkcja nieblokująca.

2.2 Deferred Shading

Nawiązując do [Owe13], podstawowym sposobem obliczania oświetlenia, uwzględniając opisany wcześniej proces generacji obrazu, jest wyliczenie oświetlenia bezpośrednio dla każdego obiektu. Wartości takie jak wektory normalne, współrzędne teksturowania i inne używane we wspomnianym procesie są wczytywane w shaderze wierzchołków, a następnie interpolowane w pixel shaderze. W przypadku wielu źródeł oświetlenia (na przykład 2000 lub więcej), dla każdego obiektu (niezależnie od tego, czy jest widoczny) należy sprawdzić wszystkie źródła światła, co oznacza złożoność

$$O(\text{liczba_pikseli_per_obiekt} * \text{liczba_zrodel_swiatla}) \quad (2.1)$$

co z kolei w wielu przypadkach jest nie do zaakceptowania (z 2.1 wynika, iż zwiększanie liczby obiektów zmniejsza liczbę źródeł światła, których można użyć na scenie).

Jeśli jednak proces obliczania oświetlenia przesuniemy do oddzielnego etapu następującego po wyliczeniu tego, które obiekty są aktualnie widoczne, otrzymamy złożoność

$$O(\text{liczba_pikseli} * \text{liczba_zrodel_swiatla}) \quad (2.2)$$

Jak z kolei widać z 2.2, podejście to nie wprowadza już zależności między liczbą obiektów a liczbą źródeł światła. Pozwala to uzyskać o wiele lepszą wydajność w przypadku scen z wieloma złożonymi obiektami oraz złożonym oświetleniem. Możliwe jest również wprowadzenie wielu uprawnień, jak na przykład podział obrazu na wiele "kafelków" (ang. *tile*), z których każda może zostać obliczona przez wątki na karcie graficznej - technika ta nosi nazwę *tiled deferred rendering* i jest powszechnie stosowana w popularnych silnikach graficznych.

Uzyskanie tego efektu wymaga utworzenia kilku tekstur pośredniczących, które łącznie noszą nazwę *G-Buffera*. Jest on wykorzystywany do przetrzymywania efektów pośrednich procesu renderingu oraz wyliczenia obrazu końcowego. Format G-Buffera zmienia się w zależności od zastosowania oraz algorytmu obliczania oświetlenia i osoby odpowiadającej za jego implementację, jednak najczęściej wykorzystywane są tekstury:

- wektorów normalnych,
- koloru/albedo,
- głębokości.

Pomimo wielu zalet, deferred shading ma jednak swoje wady. Obliczanie oświetlenia z gotowego obrazu uniemożliwia łatwe obliczenie kolorów w przypadku przezroczystych obiektów, zaś wyświetlanie obrazu końcowego w postaci tekstury wymaga wykorzystania bardziej skomplikowanych algorytmów obliczania antyaliasingu, co z kolei obciąża kartę graficzną. Mimo to deferred shading, w zmodyfikowanych odmianach, jest powszechnie wykorzystywany w wielu popularnych grach komputerowych oraz innych aplikacjach renderujących obraz w czasie rzeczywistym.

2.3 Podpowierzchniowe Rozproszenie Światła/Rozpraszanie Podpowierzchniowe (SubSurface Scattering)

Kolory obserwowane na co dzień są efektem odbicia fotonów od powierzchni obserwowanego obiektu (oraz innych obiektów, co skutkuje efektem tak zwanego "krwawienia kolorów" (ang. *color bleeding*, czyli zabarwienia obiektu kolorem światła odbitego). Jeśli jednak światło zamiast odbić się bezpośrednio dostanie się pod powierzchnię obiektu, odbije kilka razy wewnątrz i wyjdzie w innym punkcie, to zobaczymy, iż obiekt ten jest półprzezroczysty - światło dociera jedynie na pewną głębokość określaną mianem promienia rozproszenia światła (ang. *scattering radius*), gdzie zostaje zabarwione na nowy kolor. Przykładem materiałów zachowujących się w ten sposób mogą być wosk, mleko, marmur czy skóra.

Efekt ten jest trudny do obliczenia w czasie rzeczywistym, w związku z czym w większości przypadków stosuje się jedynie pewne przybliżenia. Przykładem algorytmu dającego przybliżone lecz skuteczne rozwiązanie jest wykorzystanie map głębokości. Opiera się on na zasadzie podobnej do obliczania map cieni (ang. *shadow maps*), jednak w tym wypadku z punktu widzenia źródła światła zapisuje się bardziej skomplikowaną informację - drogę, jaką musi pokonać światło przechodząc przez obiekt, a więc odległość pomiędzy dwoma punktami leżącymi na jego powierzchni z obu stron obiektu. Podczas kolejnego przejścia procesu renderingu można wykorzystać tę informację do oszacowania koloru wynikowego.

2.4 Głębia Ostrości (*Depth of Field*)

Ostatnim teoretycznym zagadnieniem objaśnianym w tym rozdziale jest zjawisko głębi ostrości, znane powszechnie między innymi z fotografii. Jak opisano w [Dem07], polega ono na skupieniu ostrości na pewnym obiekcie lub grupie obiektów w zależności od ogniskowej soczewki, przesłony oraz tak zwanego "krążka rozmycia" (ang. *circle of confusion*; jest to parametr wpływający na ogólną ostrość/rozmycie obrazu).

Ponieważ istnieje wiele algorytmów obliczania głębi ostrości, a sam proces wyznaczania potrzebnych wartości jest skomplikowany, nie będzie on opisywany w niniejszej pracy.

Rozdział 3

Przegląd narzędzi

Jedną z najważniejszych kwestii podczas tworzenia gry komputerowej jest prawidłowy dobór narzędzi, ponieważ decyduje to nie tylko o komforcie pracy, ale także o jakości końcowego produktu. Podczas tego procesu szczególny nacisk powinien zostać położony na doborze silnika graficznego, między innymi ze względu na dużą dywersyfikację narzędzi należących do tej kategorii oraz mnogość funkcjonalności przez nie oferowanych.

Ze względu na specyfikę tego rozdziału, w kolejnych punktach opisane zostaną przetestowane rozwiązania wraz z krótkim podsumowaniem w formie listy jego zalet i wad. Warto w tym miejscu również wspomnieć, iż wszystkie analizowane narzędzia oferują możliwość wykorzystania DirectX 11 API, choć niekoniecznie bezpośrednio.

3.1 Własny silnik graficzny w języku C++

Proces doboru narzędzi rozpoczęto od zaprojektowania i stworzenia własnego silnika graficznego w języku C++ w wersji 11 z wykorzystaniem środowiska Microsoft Visual Studio 2012 na platformę Windows. Pozwoliło to nie tylko na praktyczne wykorzystanie umiejętności nabytych podczas uczestnictwa w zajęciach z Inżynierii Oprogramowania, ale także poznać w praktyce wykorzystanie Microsoft DirectX API w wersji 11 na najniższym dostępnym poziomie. Tworzenie tego rodzaju oprogramowania wymaga jednak nie tylko odpowiedniej ilości czasu, ale także dobrego zaprojektowania interakcji między klasami oraz zrozumienia wielu zagadnień z zakresu grafiki komputerowej, w większości takich, które wykraczają poza program przedmiotu Grafika Komputerowa i Wizualizacja. Pomimo iż stworzenie własnego silnika oferuje największą swobodę w tworzeniu gry, to podejście okazało się zbyt pracochłonne, aby można je było wykorzystać do realizacji zadanego tematu pracy inżynierskiej w dostępnym czasie. Na czasochłonność miała wpływ m.in. złożoność tworzonego oprogramowania oraz konieczność wdrażania się członków zespołu w stworzony przez siebie nawzajem kod.

Zalety:

- większe możliwości w zakresie wykorzystania DirectX API,
- lepsza znajomość możliwości oferowanych przez oprogramowanie,
- brak kosztów.

Wady:

- czasochłonność,
- wysoki próg wejścia (znajomość m.in. C++ oraz DirectX API),
- konieczność wytworzenia edytora poziomów i dodatnia odpowiednich funkcjonalności.

3.2 Unreal Engine 4

Unreal Engine 4 (UE4) jest jednym z najpopularniejszych silników graficznych dostępnych na rynku, co jest złożeniem wielu czynników. Pierwszym z nich jest z pewnością niska cena płatnej licencji (subskrypcja miesięczna to koszt 19\$) oraz darmowy dostęp dla studentów zarówno

w ramach licencji edukacyjnej (należy w tym wypadku zgłosić chęć wydania licencji w ramach przedmiotu prowadzonego na uczelni) jak i w ramach GitHub Developers Pack (należy jedynie potwierdzić studencki adres e-mail oraz wykorzystać [ang. *redeem*] licencję dostępną na odpowiedniej podstronie serwisu GitHub w formie kodu [ang. *serial code*]). Drugim jest jakość generowanych (renderowanych) obrazów – wykorzystanie algorytmu Light Propagation Volumes (algorytm rozwiązywania zagadnienia globalnego oświetlenia w czasie rzeczywistym) pozwala uzyskać niemal fotorealistyczną grafikę, jednak kosztem wysokich wymagań sprzętowych. Unreal Engine, zarówno w wersji 3 jak i 4, oferuje dostęp do kodu źródłowego w języku C++, co – po poznaniu API udostępnianego przez twórców – pozwala szybko i wygodnie rozwijać logikę gry. Umiejętność programowania nie jest jednak wymagana do tego ze względu na obecność mechanizmu blueprintów, który pozwala tworzyć kod z wykorzystaniem bloków oferowanych bezpośrednio w silniku graficznym. Ze względu na wysokie wymagania sprzętowe (brak możliwości uruchomienia na komputerach laboratoryjnych oraz komputerach 75% zespołu) ostatecznie odrzucono to rozwiązanie.

Zalety:

- tania (darmowa) licencja,
- wygodny edytor i dostęp do API w języku C++,
- niemal fotorealistyczna grafika.

Wady:

- konieczność poznania API,
- wysokie wymagania sprzętowe.

3.3 Unity

Unity Engine to obecnie najpopularniejszy silnik graficzny wśród twórców gier niezależnych. Poza płatną licencją oferuje także licencję darmową z okrojoną listą funkcjonalności, które jednak nadal pozwalają na tworzenie dość zaawansowanych gier (wycięte funkcjonalności związane są głównie z jakością grafiki). Ma on także niski próg wejścia ze względu na zastosowanie w skryptach języka C# lub JavaScript oraz oferuje 30-dniową wersję próbną. Odrzucono go głównie ze względu na wysoką cenę wersji Pro oraz brak pewnych istotnych funkcjonalności (brak miękkich cieni, brak cieni dla źródeł światła innych niż punktowe itp.)

Zalety:

- darmowa (choć okrojona) wersja,
- niski próg wejścia,
- 30-dniowa wersja próbna.

Wady:

- gorsza wydajność w stosunku do innych silników (języki C# i JavaScript oraz wykorzystanie dynamicznych komponentów w trakcie działania powodują powstanie dodatkowego narzutu czasowego),
- wysoka cena licencji Pro (1500\$),
- brak pewnych istotnych dla jakości funkcjonalności.

3.4 OGRE

Object-Oriented Graphics Rendering Engine to elastyczny silnik graficzny o otwartym kodzie źródłowym napisany w języku C++. Pozwala na korzystanie z dwóch API: OpenGL oraz Microsoft DirectX, w tym DirectX 11, przez co został wybrany jako alternatywa dla DirectX 11. Niestety nie jest on rozwijany na bieżąco, przez co wsparcie dla DirectX 11 jest jedynie częściowe i w większości wypadków iluzoryczne, ponieważ próba stworzenia urządzenia kończy się rzuceniem wyjątku wewnątrz biblioteki. Nie posiada on także edytora, co znacząco utrudnia tworzenie gier i ogranicza jego zastosowania do tworzenia dem technologicznych i testowania nowych technik usprawniających rendering. Ze względu na wspomniane problemy z obsługą DirectX 11 został on odrzucony po licznych próbach uruchomienia własnej aplikacji.

Zalety:

- bezpośredni dostęp do DirectX API (otwarty kod źródłowy silnika),
- (teoretyczne) wsparcie dla DirectX 11.

Wady:

- brak edytora,
- problemy ze wsparciem dla DirectX 11,
- kolejne wersje dystrybuowane są wyjątkowo rzadko (ostatnia wersja sprzed dwóch lat).

3.5 CryEngine 3 SDK

CryEngine 3 Software Development Kit to środowisko stworzone przez firmę Crytek na potrzeby gry *Crysis 3*, a następnie udostępnione na darmowej licencji. Składa się ono z edytora oraz kodu źródłowego w języku C++ wraz z projektem środowiska Microsoft Visual Studio. Dostęp do kodu źródłowego pozwala na lepszą kontrolę nad tworzoną aplikacją, jednak ogranicza się to głównie do mechaniki rozgrywki, ponieważ system renderujący został udostępniony jako biblioteka dołączana do projektu. Kolejnym mankamentem tego rozwiązania jest brak dokumentacji dla wielu funkcji, metod oraz opcji edytora, w tym dla rozproszenia podpowierzchniowego, które jest jedyną oferowaną funkcjonalnością DirectX 11. Edytor nie pozwala też na tworzenie programów cieniujących, co mogłoby pozwolić na stworzenie własnych rozwiązań problemów (na przykład wspomniane przybliżone rozwiązanie z mapą głębokości). Ze względu na wymienione trudności z rozwojem projektu w tym środowisku ostatecznie zostało ono odrzucone.

Zalety:

- dostęp do kodu źródłowego silnika,
- wsparcie dla DirectX 11,
- łatwy w obsłudze edytor.

Wady:

- ograniczone możliwości,
- brak możliwości tworzenia własnych programów cieniujących,
- niekompletna dokumentacja.

3.6 Unreal Engine 3

Unreal Engine 3 to silnik graficzny, który był wykorzystany w takich produkcjach jak Bioshock Infinite, Bulletstorm czy Gears of War (wszystkie wymienione tytuły to wysokobudżetowe i popularne gry komputerowe). Oferuje bardzo dobrą jakość przy stosunkowo niskich wymaganiach sprzętowych, a rozszerzenie platform docelowych do między innymi urządzeń mobilnych uczyniło to narzędzie wyjątkowo popularnym wśród twórców gier AAA. Niestety licencja jest droga (jej cena nie jest stała i zależy od ustaleń z firmą Epic Games, która jest producentem tego oprogramowania), a dostęp do kodu źródłowego i plików binarnych możliwy jest jedynie przez repozytorium Perforce. W związku z zaporową ceną licencji narzędzie to zostało odrzucone.

Zalety:

- dostęp do kodu źródłowego silnika,
- wsparcie dla DirectX 11,
- wiele platform docelowych.

Wady:

- wysoka cena licencji,
- tylko dla produktów komercyjnych (stąd wysoka cena),
- dostęp do kodu tylko przez repozytorium Perforce firmy Epic Games.

3.7 Unreal Development Kit (UDK)

Unreal Development Kit to darmowa wersja Unreal Engine 3, która – ze względu na mnogość funkcjonalności i wspomnianą darmową licencję – stała się wyjątkowo popularna wśród aspirujących oraz niezależnych twórców gier. Jako że jest to nadal Unreal Engine 3, oferuje te same funkcjonalności pod warunkiem, iż stworzona gra komputerowa nie jest produktem komercyjnym. Narzędzie to udostępniane jest w postaci instalatora, który tworzy jeden projekt dla tego środowiska – jest to jedno z nielicznych ograniczeń. Wraz z utworzonym projektem przechowywane są pliki edytora w tym narzędzie UnrealFrontend, które pozwala zarówno uruchomić wspomniany edytor jak i zbudować plik wykonywalny z grą.

UDK obsługuje również DirectX 11 oferując szereg funkcjonalności z tym związanych, co jednak zostało opisane w sekcji "Implementacja" rozdziału 4. "Praca własna". Istnieje także możliwość powiązania edytora z repozytorium systemu Perforce, dzięki czemu opcje takie jak otwarcie pliku do edycji czy przesłanie zmian na serwer dostępne są bezpośrednio w menedżerze zawartości, a nie – jak jest to domyślnie – dedykowanemu oprogramowaniu klienckim P4 wspomnianego systemu kontroli wersji. Ostatnią opisywaną tutaj zaletą jest mnogość źródeł wiedzy, począwszy od obszernej dokumentacji po fora dyskusyjne użytkowników tego oprogramowania.

Kolejną z wad jest brak możliwości ingerencji w kod źródłowy silnika, ponieważ jest on udostępniany w postaci edytora i odpowiednich bibliotek. W związku z tym konieczne jest poznanie dedykowanego do tworzenia skryptów mechaniki gry języka UnrealScript. Ze względu na dokumentację, darmową licencję, wygodne środowisko oraz obsługę DX11 narzędzie to zostało ostatecznie wybrane do realizacji niniejszej pracy.

Zalety:

- wsparcie dla DirectX 11,
- darmowa licencja,
- wygodne środowisko,
- wiele źródeł wiedzy.

Wady:

- brak dostępu do kodu silnika,
- tylko jeden projekt w ramach edytora.

3.8 Autodesk Maya

Maya to jedno z licznych narzędzi firmy Autodesk służących do tworzenia modeli 3D. Pozwala ono na wykonywanie rozbudowanych modeli 3D oraz tak zwany "rig", czyli połączenie siatki modelu z kośćmi i ich animację. Niestety ze względu na brak doświadczenia w zakresie modelowania w tym oprogramowaniu konieczne było odrzucenie tego rozwiązania w ramach pracy.

Zalety:

- oprogramowanie dedykowane do tworzenia modeli i animacji,
- darmowa licencja edukacyjna,
- wiele samouczków i innych źródeł wiedzy.

Wady:

- mało intuicyjny interfejs.

3.9 Autodesk 3D Studio Max

3DS MAX to drugie narzędzie oferowane przez firmę Autodesk, jednak zdecydowanie bardziej nastawione na tworzenie modeli 3D niż na animację. Posiada intuicyjny interfejs oraz wiele opcji dotyczących zarówno samego modelowania (przesuwanie pojedynczych wierzchołków, modelowanie metodą rozszerzania wielokątów, ang. *polymodelling* itd.) jak i animacji szkieletowej (na przykład CAT - Character Animation Toolkit, zestaw narzędzi do łatwego tworzenia animacji z predefiniowanych zestawów). 3D Studio MAX ze względu na swoje zalety został wykorzystany do stworzenia wszystkich modeli 3D w ostatecznej wersji gry jak i animacji modelu gracza.

Zalety:

- oprogramowanie dedykowane do tworzenia modeli,
- darmowa licencja edukacyjna,
- wiele samouczków i innych źródeł wiedzy,
- intuicyjny interfejs.

Wady:

- problematyczne tworzenie animacji bez CAT,
- losowo pojawiające się problemy z aktualizacją szkieletu modelu,
- skomplikowane ustawianie pojedynczych wag dla wierzchołków siatki w ramach animacji szkieletowej (bez CAT).

3.10 Blender

Blender jest wolnym i otwartym oprogramowaniem do modelowania, renderowania obrazów i tworzenia animacji 3D. Został stworzony przez Not a Number i Neo Geo jako aplikacja używana wewnątrz przedsiębiorstwa. Obecnie jest rozwijany przez Blender Foundation. W pracy oprogramowanie to wykorzystane było głównie do prototypowania.

Zalety:

- darmowa licencja,
- przenośność pomiędzy różnymi systemami operacyjnymi,
- niskie wymagania sprzętowe.

Wady:

- rozbudowany i mało intuicyjny interfejs.

3.11 Gimp

Gimp to darmowa aplikacja do obróbki obrazu, która jest wyjątkowo popularna przede wszystkim wśród użytkowników systemu operacyjnego Linux. Ze względu na stosunkowo małą objętość oraz łatwą dostępność, wykorzystany został w ramach pracy do tworzenia tekstur, menu i projektu poziomu oraz edycji obrazów załączanych w pracy.

Zalety:

- darmowa licencja,
- przenośność pomiędzy różnymi systemami operacyjnymi,
- mała objętość.

Wady:

- mało intuicyjny interfejs w stosunku do konkurencyjnych, choć płatnych, rozwiązań (np. Adobe Photoshop).

3.12 Adobe Flash - Scaleform

Każda gra powinna mieć menu główne. W celu jego stworzenia wykorzystano wtyczkę do Adobe Flash Professional o nazwie Scaleform. Wtyczka ta służy do tworzenia interfejsów graficznych występujących na przykład w grach. Wykorzystano to, że darmowa jej wersja jest zawarta w UDK. Do jej zainstalowania potrzeba było pobrać Adobe Flash Professional a także Adobe Extension Manager. Problemem było rozszerzenie wtyczki. Było ono kompatybilne tylko ze starymi wersjami Adobe Flash Professional, a te niestety nie działały na Windowsie 8.1. W związku z tym konieczne stało się dodatkowe pobranie Adobe Extension Manager CS6 i przekonwertowanie wtyczki ze Scaleformem z rozszerzenia mxp na xzp. Po przekonwertowaniu nowa wersja działała z Adobe Flash Professional CC, który wykorzystano w projekcie. Sam Scaleform jest prosty w obsłudze i intuicyjny, wykorzystuje flasha, a dodatkowo jest kompatybilny z UDK i łatwo można za jego pomocą połączyć menu z grą.

Zalety:

- łatwość obsługi,
- cena (darmowa wtyczka, zawarta w UDK),
- kompatybilność z UDK.

Wady:

- konieczność przekonwertowania wtyczki,
- problemy z instalacją,
- konieczność instalacji dodatkowego oprogramowania.

3.13 Git

W projektach nad którymi pracuje kilka osób niemożliwa jest praca bez systemu kontroli wersji. Początkowo, ze względu na pracę z kodem źródłowym, skorzystano z systemu Git ze względu na łatwość użycia oraz możliwość utworzenia prywatnego repozytorium na koncie studenckim w serwisie GitHub. Niestety ze względu na przejście na Unreal Development Kit konieczne było skorzystanie z narzędzia Perforce.

Zalety:

- łatwość obsługi,
- dobra obsługa plików tekstowych,
- prywatne repozytorium w serwisie GitHub dla studentów.

Wady:

- problemy z obsługą dużych plików binarnych,
- brak integracji z Unreal Development Kit.

3.14 Perforce

Ostatnim opisywanym narzędziem jest system kontroli wersji Perforce, który dobrze obsługuje duże pliki binarne, dzięki czemu jest popularny w firmach zajmujących się wytwarzaniem oprogramowania (w tym gier). Pozwala on również – w przeciwieństwie do gita – na integrację z edytorem Unreal Development Kit, co znacząco przyspiesza i ułatwia pracę. Niestety ma on również swoje wady, które ujawniają się dopiero z upływem czasu, na przykład problemy z obsługą usuniętych plików (nadal uwzględniane są w listach zmian) czy nie zapisywanie zmian wprowadzonych w plikach na wspomniane listy.

Zalety:

- dobra obsługa plików binarnych,
- integracja z Unreal Development Kit.

Wady:

- niespodziewane problemy wynikające z niewłaściwej obsługi zmian,
- konieczność zainstalowania dedykowanego oprogramowania serwerowego i utrzymania serwera.

3.15 Jira

Przy pracy w kilkusobowych zespołach przydaje się również oprogramowanie do zarządzania projektem. Skorzystano tu z platformy Jira. Umożliwia ona przydział zadań do poszczególnych członków zespołu. Ułatwia to pracę w wiele osób, ponieważ zabezpiecza przed sytuacją, w której kilka osób będzie wykonywało to samo zadanie. Wbudowany system szacowania czasu realizacji zadania pomaga oszacować czas potrzebny na stworzenie danej funkcjonalności i zakończenie projektu. Jira posiada również możliwość zintegrowania z systemem kontroli wersji, co pozwala śledzić postęp prac, na podstawie komentarzy przy tworzeniu kolejnych rewizji.

Zalety:

- możliwość estymowania czasu wykonywania zadania
- integracja z systemami kontroli wersji
- duża liczba dodatków
- definiowanie priorytetów zadań

Wady:

- tylko płatna licencja
- nie do końca czytelny interfejs

Rozdział 4

Praca własna

Proces twórczy został podzielony na dwa główne etapy: projektowanie i implementację. Ponieważ tworzenie gry wymaga przygotowania oraz doboru odpowiedniego środowiska, etapy te zostały poprzedzone analizą problemu oraz burzą mózgów na której zarysowały się wstępne wymagania funkcjonalne. Zdefiniowane zostały również główne wymagania pozafunkcjonalne, takie jak docelowa platforma obsługująca grę. W celu zapewnienia spójnej wizji gry wśród członków zespołu, postanowiono skonstruować dokument, zawierający opis wszystkich decyzji podjętych podczas tworzenia projektu oraz wyjaśnienia dotyczące wszystkich wymagań funkcjonalnych oraz pozafunkcjonalnych – Game Design Document (GDD), stanowiący jednocześnie Dodatek A do niniejszej pracy. Pomysły zebrane podczas burzy mózgów zostały poddane wnikliwej analizie, co pozwoliło na stworzenie spójnej wersji projektu.

4.1 Projektowanie

Projektowanie jest bardzo ważnym etapem prac nad każdym projektem informatycznym. Pozwala uspoźnić wizję gry w zespole oraz zdefiniować zadania, które będą wykonywane podczas implementacji. Dlatego dobrze, gdy na tym etapie pracy w proces twórczy zaangażowany jest każdy członek zespołu.

Istnieje wiele sposobów na projektowanie gry komputerowej. Podejściem, które ułatwia stworzenie gry, która bawi, jest projektowanie zorientowane na gracza. Zgodnie z charakterystyką przedstawioną w [Ada11], stosując tę metodę, twórcy powinni wyobrazić sobie typowego gracza, a więc osobę, dla której ta gra jest tworzona. Aby użytkownik był zadowolony, należy zapewnić mu rozrywkę – jest to podstawowa funkcja gry. W tym celu należy utożsamić się z graczem. Pozwoli to wybrać funkcje, które uczynią grę atrakcyjną.

Istotnym elementem tworzenia projektu gry jest wnikliwa analiza wymagań funkcjonalnych oraz uszeregowanie ich według wagi. Każdy z członków zespołu posiadał własną wizję gry. Połączenie ich wszystkich zaowocowało spójnym projektem, opisanym w Dodatku A – GDD.

Aby zapewnić, że projekt będzie spójny, konieczne jest stworzenie dokumentów projektowych. Powstrzymuje to programistów przed puszczaniem wodzy fantazji i tworzeniem funkcjonalności niezgodnych z projektem.

Na tym etapie przydatna okazała się nie tylko teoretyczna wiedza na temat tworzenia zaawansowanych projektów informatycznych, ale przede wszystkim doświadczenia innych twórców gier, które zespół poznał przy okazji udziału w konferencjach takich jak Zjazd Twórców Gier (ZTG) czy World of Gamedev Knowledge (WGK). Zdobyto wiedzę potrzebną między innymi do stworzenia poziomów ciekawych dla graczy, wyboru funkcjonalności nie wymagających skomplikowanych i często zawiłych implementacyjnie elementów (co często powoduje błędy i trudności w dalszym rozwoju projektu), jednocześnie będących skomplikowanymi z punktu widzenia gracza.

Dobłą praktyką przy tworzeniu gry jest również częste testowanie graficznego interfejsu użytkownika, jego czytelności i łatwości użycia kluczowych funkcji w ferworze walki. Pozwala to zaprojektować interfejs przyciągający wzrok oraz funkcjonalny. Projektując HUD [ang. *Head-Up Display*], a więc wszystkie istotne w trakcie rozgrywki wskaźniki, mapkę, poziom życia; postanowiono розміścić interesujące dla graczy informacje analogicznie do popularnych gier z gatunku strzelanek. Jest to dla nich atrakcyjne, ponieważ nie muszą zmieniać swoich przyzwyczajeń by sprawdzić poziom życia.

Jednak projektowanie to nie tylko uspołnienie rozgrywki, ale również specyfikacja dotycząca środowiska, w którym gra powstanie. W tym celu należało wybrać odpowiednie narzędzia, co zostało opisane w Rozdziale 3: Przegląd narzędzi.

4.1.1 Projekt silnika graficznego

W ramach pracy jako pierwsze przetestowano podejście z tworzeniem własnego silnika graficznego w języku C++. Jak zostało wspomniane w poprzednim rozdziale, tworzenie tego rodzaju oprogramowania wymaga pewnej określonej wiedzy dotyczącej zarówno architektury silników graficznych i inżynierii oprogramowania, jak i grafiki komputerowej oraz Microsoft DirectX API. Jako że wiedza teoretyczna wraz z podstawowymi pojęciami zostały zarysowane w rozdziale 2., tutaj opisane zostaną kwestie dotyczące architektury silnika oraz usprawnień, które mogłyby zostać wprowadzone w przyszłości.

W silniku graficznym można zasadniczo wydzielić 3 podstawowe składowe:

- renderer - przeprowadza proces renderingu, tj. generowania grafiki,
- menedżer obiektów - zawiera listę obiektów i/lub listę ich grup,
- menedżer zasobów - odpowiada za alokację i zwalnianie zasobów takich jak tekstury, dźwięki itp.

W ramach menedżera obiektów zastosowano wzorzec kompozyt ze względu na jego idealne dopasowanie do problemu. Jak widać każda z tych składowych może stanowić pewną jednostkę (ang. *entity*) budującą system - w tym wypadku system graficzny (wyróżnia się również na przykład systemy fizyki). Jednostki można również podzielić na mniejsze komponenty, które można dynamicznie dodawać i usuwać w trakcie działania - podejście takie zgodne jest wzorcem *Entity-Component-System*. Jak zauważono podczas testowania opisywanego oprogramowania, poza wygodą oraz nowymi możliwościami rozwoju wykorzystanie dynamicznych komponentów wprowadza także narzut czasowy ze względu na wykorzystanie metod wirtualnych oraz nieoptymalne wykorzystanie pamięci podręcznej procesora. W tym wypadku możliwym usprawnieniem mogłoby być budowanie aplikacji z komponentów w edytorze, a następnie generowanie "stałych" klas i kompilowanie zmodyfikowanego w ten sposób kodu do pliku wykonywalnego, który mógłby być dystrybuowany jako gotowa aplikacja.

Nieoptymalne wykorzystanie pamięci podręcznej procesora dotyczy nie tylko wykorzystania komponentów, gdyż jest wąskim gardłem większości zarówno amatorskich jak i profesjonalnych silników graficznych. W celu zniwelowania tego problemu można utworzyć pewien stały obszar pamięci (w języku C++ w wersji 11. w tym celu wykorzystać można operator *placement new*) i utworzyć pulę obiektów, w ramach której mogłyby one być używane ponownie bez konieczności zwalniania zajmowanej przez nie pamięci.

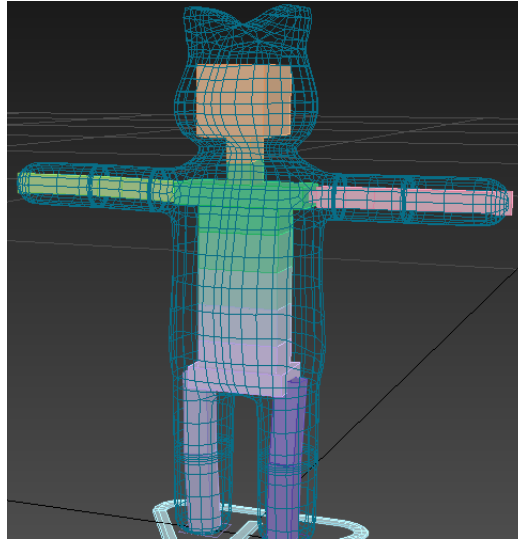
Ostatnim usprawnieniem, które można byłoby wprowadzić celem zwiększenia efektywności procesu renderingu jest wielowątkowość, która jednak wymagałaby wprowadzenia synchronizacji między wątkami aplikacji (np. zamki) oraz użycia metod DirectX obsługujących wielowątkowość (np. operować na opóźnionym kontekście urządzenia). Jej użycie utrudniałoby też skuteczną naprawę błędów ze względu na brak możliwości odpluskwania kodu w środowisku Microsoft Visual Studio, w którym tworzone było to oprogramowanie.

Dla silnika została napisana i wygenerowana z wykorzystaniem aplikacji Doxygen dokumentacja, jednak ze względu na swoją objętość (150 stron) nie została tutaj załączona.

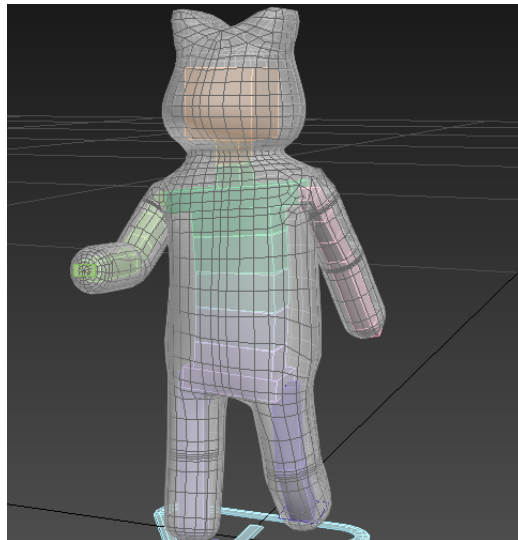
4.1.2 Modele 3D i animacje

Jak wspomniano w rozdziale dotyczącym narzędzi, do stworzenia modeli i animacji wykorzystano narzędzie 3D Studio MAX firmy Autodesk. Ponieważ w wypadku modeli 3D - podobnie jak w przypadku grafik - jest trudny do uporządkowania w ramach podejścia inżynierskiego, postanowiono dokonywać na modelu małych przyrostów, rozpoczynając ten proces od utworzenia pojedynczej powierzchni płaskiej i wyprowadzeniu z niej połowy modelu, a następnie odbiciu jej względem odpowiedniej osi.

Animacje z kolei wykonane zostały z wykorzystaniem Character Animation Toolkit - zestawu narzędzi wbudowanego w 3DS MAX i pozwalającego na o wiele łatwiejszą i uniwersalną animację modeli, w przeciwieństwie do domyślnych funkcji animacji szkieletowej tego programu.



RYSUNEK 4.1: Szkielet modelu gracza



RYSUNEK 4.2: Przykładowa klatka animacji modelu (chód w przód)

Dla modelu utworzono szkielet (Rys. 4.1), a następnie wykorzystano gotowy zestaw animacji, który z kolei został drastycznie zmieniony na potrzeby pracy (jest to jedyna możliwość tworzenia animacji w CAT, która pozwala na pewną swobodę jednocześnie dając pewien niezerowy punkt wyjściowy).

Gotowy model z zaaplikowaną animacją chodu przedstawiony został na Rys. 4.2.

4.1.3 Projekt poziomu

Do stworzenia poziomu wykorzystano środowisko Unreal Development Kit (w skrócie UDK), do którego zaimportowano wcześniej stworzone modele. Niewątpliwą zaletą UDK jest możliwość szybkiego stworzenia poziomu poprzez przenoszenie obiektów z panelu edytora prosto na tworzoną mapę. A także oprogramowanie wydarzeń występujących na niej zgodnie z zasadami programowania wizualnego, za pomocą komponentów, układanych obok siebie i łączonych liniami z wykorzystaniem interfejsu graficznego.

W tworzeniu poziomu istotne jest jego umiejscowienie w realiach rozgrywki. Poziom powinien być powiązany z fabułą i światem przedstawionym. W związku z tym istotne było określenie czasu i miejsca akcji. Ponieważ podczas burzy mózgów ustaliliśmy, że fabuła gry będzie polegać na

potyczkach żelków to istotne stało się dopasowanie miejsca aby zwiększyć immersję a co za tym idzie przyjemność z gry. W związku z tym, że żelki są jedzeniem a jedzenie jest powiązane z kuchnią, oczywisty stał się wybór tego pomieszczenia jako miejsce starcia. Stworzono, więc wstępny projekt poziomu. Stworzono go w programie Gimp. Jego celem był wstępny zarys, zorientowanie się jak co powinno wyglądać a także przekazanie informacji, jakie tekstury wykonać. Wstępny projekt został stworzony szybko i zawiera jedynie kontury obiektów, gdyż służy głównie do zorientowania się w koniecznych do stworzenia modelach oraz skonsultowania z członkami grupy rozmieszczenia elementów w celu zwiększenia przyjemności z gry, gdyż każdy z nich grał wcześniej w tego typu gry i ma doświadczenie z gry na wielu planszach i może pomóc lepiej zaprojektować poziom. Istotną bowiem sprawą w tworzeniu poziomu jest takie jego zaprojektowanie by był sprawiedliwy i dawał graczom dużo możliwości, różnego poprowadzenia rozgrywki. Dlatego obmyślono stworzenie stołu po którym gracz będzie mógł się wspinać i zaskakiwać przeciwników z wysokości a także porozrzucanie po pomieszczeniu (w tym przypadku kuchni), obiektów służących jako osłony, dzięki czemu łatwiej będzie się schować i zaskoczyć oponenta, tym samym zmniejszając wielkość otwartych przestrzeni, które na podstawie doświadczeń grupy w zbyt dużej liczbie obniżają przyjemność płynącą z grania poprzez zmniejszenie możliwych taktyk.

Następnym krokiem było stworzenie poziomu w edytorze. W tym celu wykorzystano gotowe modele i zaprojektowano mieszkanie 3 pokojowe z korytarzem. Zwiększenie liczby pomieszczeń miało na celu zwiększenie możliwych punktów startu a także oddalenie ich od siebie w celu nie natrafienia od razu na przeciwnika. W innym przypadku mogłoby wynikać niezadowolenie z rozgrywki, z powodu różnic komputerów biorących udział w rozgrywce, ładują one poziom w różnym czasie, więc możliwe są drobne różnice czasu. A ponieważ strzelanki to gatunek gier szybkich, nawet niewielka różnica może zadecydować o zwycięstwie w potyczce. Dodatkowo w poziomie uwzględniono możliwość wspinania się (oprócz stołów) na niektóre obiekty, a także wykorzystanie kilku szklanych przeszkód (niezależnie od normalnych przeszkód), przez które widać przeciwnika, a których nie można zniszczyć. Umożliwia to bowiem ukazanie możliwości DirectX 11 a także urozmaica rozgrywkę.

Poziom został stworzony z myślą o grze wieloosobowej w trybie każdy na każdego, w związku z tym nie było potrzeby tworzenia specjalnych sektorów dla każdej drużyny, a co za tym idzie jest więcej punktów startowych i w kolejnych rozgrywkach możliwe jest wylosowanie innego, więc konieczne są modyfikacje taktyki i sposobu gry, wynikające z innego otoczenia startowego.

4.2 Implementacja

4.2.1 Wykorzystanie technologii DirectX 11 w UDK

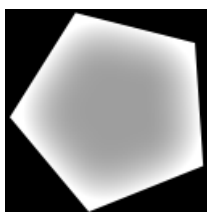
W ramach wsparcia DirectX 11, Unreal Development Kit obsługuje trzy opisane w rozdziale teoretycznym techniki: rozproszenie podpowierzchniowe (subsurface scattering), deferred shading (znany także jako *deferred rendering*) oraz rozszerzenie techniki głębi ostrości o nazwie *bokeh depth of field* (bokeh [od jap. *boke* w romaji - rozmycie] to efekt rozmycia obrazu z pewnym zniekształceniem, którego kształt zależy od kształtu soczewki - Rys. 4.3).

Technikę rozproszenia podpowierzchniowego wykorzystano w celu stworzenia materiału, z którego wykonany jest gracz. Zgodnie z [Gam12c], aby tego dokonać, należy najpierw aktywować opcję "Enable Subsurface Scattering" w zakładce "D3D11", a następnie ustawić wymagane parametry, czyli kolor światła rozproszonego (SubsurfaceInscatteringColor), kolor światła pochłoniętego (SubsurfaceAbsorptionColor) oraz promień rozproszenia (SubsurfaceScatteringRadius). W celu uzyskania realistycznego wyglądu materiału, zmieniono także metodę mieszania na "BLEND_Translucent" (pozwala to uzyskać materiał półprzezroczysty, w przeciwieństwie do domyślnej wartości BLEND_Opaque). Na Rys. 4.4 przedstawiony został widok materiału w edytorze, zaś na Rys. 4.5 - przykłady jego użycia.

Z [Gam12a] wynika, iż użycie techniki Bokeh Depth of Field wymaga jedynie utworzenie odpowiedniej tekstury (w niniejszej pracy użyto tekstury pięciokąta foremego pokazanej na Rys. 4.6) oraz ustawienia wartości "DepthOfFieldType" na "BokehDOF" w efekcie końcowym procesu renderingu (etap ten nie ma swojej nazwy w języku polskim, natomiast oryginalnie nosi nazwę *post-processing*).



RYSUNEK 4.5: Przykłady użycia materiału wykorzystującego rozproszenie podpowierzchniowe



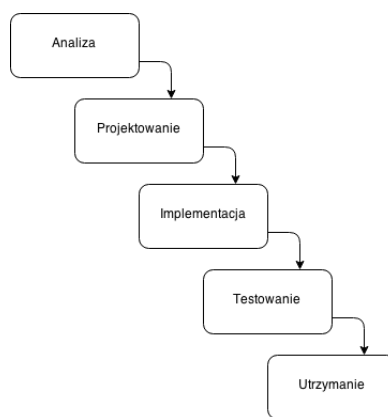
RYSUNEK 4.6: Tekstura bokeh użyta w tworzonej grze

4.2.3 Zarządzanie projektem

W celu sprawnej organizacji pracy w zespole wykorzystano metody zarządzania projektami. Uspójnienie projektu gry podczas fazy projektowania pozwoliło na zdefiniowanie i wyspecyfikowanie zadań, realizowanych podczas implementacji. Znając liczbę zadań, można było podzielić projekt na kolejne przyrosty. Projekt miał być realizowany z wykorzystaniem metod zwinnych. Trudnością w wykorzystaniu typowej zwinnej metody, takiej jak programowanie ekstremalne czy Scrum okazał się charakter projektu, będącego pracą dyplomową. Z tego względu narzucony został ostateczny termin ukończenia produktu. Jest to sprzeczne z manifestem zwinności, dlatego zdecydowano się na inne rozwiązanie.

Początkowo użyto modelu kaskadowego. Jego zaletą jest sekwencyjność, pozwalająca oddzielić procesy analizy problemu, projektowania, implementacji oraz testowania i późniejszego utrzymania projektu, co przedstawiono na Rys. 4.7. Metoda Waterfall, wykorzystująca ten model, nie jest jednak pozbawiona wad. Dotyczą one głównie dużych projektów, a więc nie miały miejsca w przypadku oprogramowania tworzonego w czteroosobowym zespole programistów. Korzystając z tej metody oszczędza się czas na planowaniu. Jak opisano w [Kac14], faza ta zajmuje zaledwie 25% czasu pracy nad projektem. Rezultat końcowy zostaje ustalony jeszcze przed rozpoczęciem implementacji, podobnie jak poszczególne przyrosty implementacji. Każdy przyrost miał trwać 2 tygodnie i zawierał określone zadania. Rezultatem końcowym był produkt posiadający wartość biznesową, w tym przypadku - w pełni działająca gra. Co istotne, wartość biznesową produkt miał zyskać dopiero w przedostatnim przyroście.

Problemem w wykorzystaniu modelu kaskadowego są błędy, wykryte podczas fazy testowania. Ponieważ w momencie rozpoczęcia testów cały produkt jest już zaimplementowany, poprawka może spowodować powstanie kolejnych błędów. Może jednak się zdarzyć, że błąd powstał na etapie projektowania, w takim przypadku należy powtórzyć tę fazę, jak również całą fazę implementacji.



RYSUNEK 4.7: Model kaskadowy

Powoduje to wydłużanie czasu realizacji oraz wzrost kosztów wytworzenia produktu.

W niedługim czasie po zaplanowaniu prac nad projektem okazało się, że metoda ta nie jest wystarczająca, zaczęło się pojawiać opóźnienie w pracach, które mogło spowodować pogorszenie jakości produktu. Zdecydowano się więc skorzystać z metod zwinnych. Metodyki Agile charakteryzują się stałą jakością, a sterowane są zakresem. W omówionej wcześniej metodzie Waterfall zakres był stały, zmieniała się jedynie jakość, a chęć utrzymania wysokiej jakości powodowała opóźnienie względem planu.

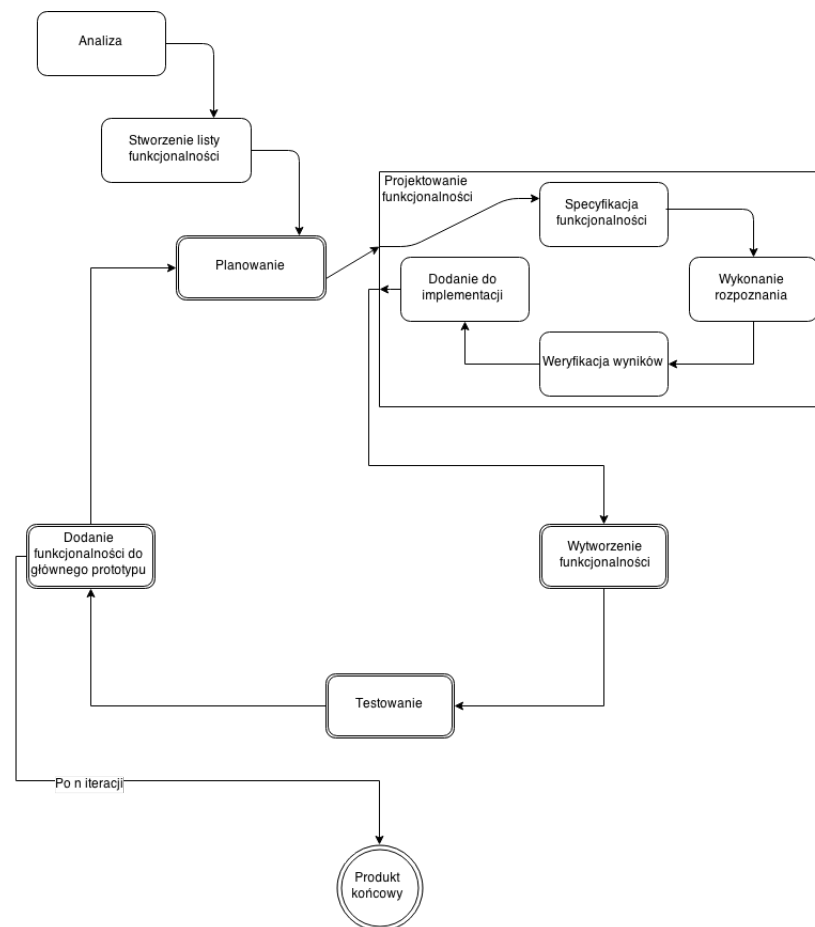
Ostatecznie zastosowano metodykę zwinną zbliżoną do metody Feature-Driven Development, wplatając w nią elementy metodologii Scrum. Zadania podzielono na część dotyczącą rozpoznania danego zagadnienia i część implementacyjną.

W części dotyczącej rozpoznania zastosowano cykl PDCA (*Plan – Do – Check – Act*), stworzony przez Williama Edwarda Deminga. Pierwszy etap cyklu – planowanie – polegało na zapoznaniu się z opisem wybranej funkcjonalności, zawartym w Game Design Document. Następnie, w fazie wykonania, zbierano informacje na temat możliwości implementacji funkcjonalności wykorzystując UDK oraz próbowano stworzyć wybraną funkcję. W trzeciej fazie sprawdzano czy zaimplementowana wersja funkcji odpowiada założeniom projektu. Jeśli wynik był pozytywny, funkcjonalność została wybierana do wykonania w kolejnym przyroście.

Realizowane były tygodniowe sprinty (przyrosty). Każdy sprint rozpoczynał się spotkaniem zespołu, na którym omówiono pozostałe zadania oraz zaplanowano jakie funkcjonalności będą implementowane w kolejnym przyroście. W efekcie udało się zachować jakość wykonania oraz zakończyć prace przed upływem niezmiennego terminu ukończenia, modyfikując nieznacznie zakres dostępnych funkcjonalności. Zespół tworzący grę był wskroś-funkcjonalny, co oznacza, że członkowie zespołu wykonywali zadania dotyczące różnych zagadnień. Począwszy od tworzenia prostych modeli 3D po skryptowanie. Jest to cecha charakterystyczna metody Scrum. Z kolei sposób planowania kolejnych przyrostów, a więc planowanie ze względu na funkcjonalność, zaczerpnięto z metody Feature-Driven Development.

Na koniec każdego przyrostu otrzymywano prototyp posiadający pewną funkcjonalność. Jeśli funkcjonalność działała prawidłowo podczas testów, dołączano ją do głównego prototypu, który z każdym przyrostem stawał się bardziej funkcjonalny, aż w końcu stał się wersją produkcyjną. Ze względu na wcześniejszy nieudany eksperyment z metodą Waterfall wartość biznesową projekt zyskał dopiero po kilku przyrostach. Oznacza to, że pierwsze efekty nie były satysfakcjonujące, jednak prezentowały postęp prac.

Trzy główne fazy procesu wytwarzania gry, występujące w modelu kaskadowym, a więc: projektowanie, implementacja i testowanie, w metodach zwinnych są wykonywane w każdym sprincie, co znacznie zmniejsza ryzyko powstania krytycznych błędów po zaimplementowaniu całego produktu. W przypadku wykorzystania Feature-Driven Development proces naprawy błędów również obciążony jest mniejszym ryzykiem czasowym. Złazszcza, gdy bład powstał na etapie projektowania danej funkcjonalności. W skrajnym przypadku, wadliwa funkcjonalność nie trafi do głównego produktu.



RYСУNEK 4.8: Etapy procesu wytwórczego gry przy wykorzystaniu metody Feature-Driven Development i cyklu PDCA

Rozdział 5

Podsumowanie

Celem pracy inżynierskiej było stworzenie gry komputerowej. Proces ten okazał się długotrwały i skomplikowany. Istotne zatem było podzielenie pracy na kilka części, czego dokonano równomiernie aby móc sprawiedliwie rozdzielić prace. Dzięki temu żaden z członków grupy nie nadpisywał pracy innego i możliwe było działanie równoległe. Tworzenie gry wymagało korzystania z technologii i programów nie będących w programie studiów, jednak dzięki temu poszerzono wiedzę członków zespołu. Zaobserwowano również efekty pracy nad grą w profesjonalnym środowisku, którego używają na co dzień firmy produkujące tytuły na masową skalę. Aby zastosować podobne podejście, utworzono dokument projektowy określający projekt i implementację gry pod nazwą "Game Design Document", który stanowi załącznik do pracy oraz wykorzystano niektóre metodyki programowania zwinnego. Dzięki temu znacznie przyspieszono pracę, choć utrapieniem były problemy z konfiguracją i środowiskiem. Wybór odpowiedniego nie był łatwym zadaniem, co spowodowane było koniecznością przetestowania wielu z nich w praktyce. Niektóre trzeba było odrzucić z powodu zbyt niskich możliwości sprzętowych. To tylko dowodzi, iż trudno tworzyć gry w nowej technologii bez drogiego sprzętu.

Stworzenie własnej gry komputerowej dostarcza wielu cennych porad. Dzięki uczeniu się na własnych błędach i odpowiednim podejściu do pracy można znacznie przyspieszyć ten proces. Przykładem może być fakt, iż nie da się znaleźć odpowiedniego środowiska bez licznych testów, dzięki którym wiadome było co jest istotne i czego potrzeba w grze, a jakie są granice środowiska graficznego. W związku z tym istotny był wybór odpowiedniego – takiego, które daje najwięcej możliwości za jak najniższą cenę.

Rozdział 6

Literatura

- [Ada11] Ernest Adams. *Projektowanie gier. Podstawy. Wydanie II*. Wydawnictwo HELION, ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice, 2011.
- [Dem07] Joe Demers. Depth of field: A survey of techniques. [on-line] http://http.developer.nvidia.com/GPUGems/gpugems_ch23.html, 2007.
- [Gam12a] Epic Games. Bokeh depth of field. [on-line] <https://udn.epicgames.com/Three/BokehDepthOfField.html>, 2012.
- [Gam12b] Epic Games. Deferred shading in directx 11. [on-line] <https://udn.epicgames.com/Three/DeferredShadingDX11.html>, 2012.
- [Gam12c] Epic Games. Screen space subsurface scattering. [on-line] <https://udn.epicgames.com/Three/ScreenSpaceSubsurfaceScattering.html>, 2012.
- [Kac14] Krystian Kaczor. *Scrum i nie tylko. Teoria i praktyka w metodach Agile*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2014.
- [Owe13] Brent Owens. Forward rendering vs. deferred rendering. [on-line] <http://gamedevelopment.tutsplus.com/articles/forward-rendering-vs-deferred-rendering--gamedev-12342>, 2013.

Rozdział 7

Dodatki

Dodatek A

Game Design Document

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki
Instytut Informatyki

UJELLY – GAME DESIGN DOCUMENT (GDD)

Krzysztof Marciniak, 106574
Piotr Przybysz, 106602
Mikołaj Szychowiak, 106580
Ryszard Wojtkowiak, 106609

Poznań, 2015 r.

Spis treści

1	Wprowadzenie	1
1.1	Cel dokumentu	1
1.2	Odbiorcy dokumentu	1
1.3	Przyjęte konwencje	1
2	Informacje ogólne	2
2.1	Ogólny opis gry	2
2.2	Motywacja	2
2.3	Platformy docelowe	2
2.4	Odbiorcy docelowi	2
2.5	Decyzje technologiczne	2
2.6	Wykorzystywane licencje	3
3	Interfejs użytkownika	4
3.1	Obsługa gry	4
3.2	HUD	4
3.3	Praca kamery	4
4	Mechanika podstawowa	5
4.1	Personifikacja gracza	5
4.2	Poruszanie się	5
4.3	Rozgrywka	5
4.4	Śmierć gracza	5
4.5	Punkt startowy	5
4.6	Dostępne bronie	5
4.7	Warunki zakończenia gry	6
5	Informacje dodatkowe	7
5.1	Czynniki atrakcyjne dla graczy	7
5.2	Zagrożenia projektowe	7
5.3	Ogólny plan promocji gry (Imagine Cup)	8
A	Referencje	9

Rozdział 1

Wprowadzenie

1.1 Cel dokumentu

Celem dokumentu jest przedstawienie wizji i pełnego projektu gry pod roboczym tytułem UJelly. Dokument ma za zadanie:

- zebrać wszystkie decyzje projektowe,
- stanowić informacje dla zespołu realizującego grę,
- służyć celom dydaktycznym (dla autorów i innych).

Dokument stanowi również integralną część pracy inżynierskiej tworzonej przez autorów gry.

1.2 Odbiorcy dokumentu

Odbiorcami dokumentu są członkowie zespołu pracującego nad grą - osoby zaangażowane w implementację i testowanie, oraz osoby, które chciałyby poznać techniki projektowania gier.

1.3 Przyjęte konwencje

Tekst napisany kursywą dotyczy nazw własnych występujących w otoczeniu „zwykłego” tekstu oraz nazwy tej gry.

Rozdział 2

Informacje ogólne

2.1 Ogólny opis gry

UJelly jest grą typu shooter z widokiem z perspektywy trzeciej osoby (Third-person shooter - TPS), w której gracz wciela się w postać, będącą żelkiem, wyposażonym w broń, którego celem jest zabicie jak największą liczbę razy innych graczy. Gra nie posiada fabuły, ani konwencji. Ponieważ plansze, na których toczy się gra mogą być tworzone przez graczy, więc sami gracze mogą tworzyć konwencje lub elementy fabularne.

Gracz może atakować innych graczy poprzez frontalny atak, zaczajenie się, ma również możliwość ucieczki.

2.2 Motywacja

Głównym powodem powstania gry jest chęć zdobycia doświadczenia w tworzeniu gier. W celu zwiększenia szansy ukończenia projektu było konieczne podjęcie pewnych decyzji projektowych. Innym celem tworzenia projektu jest poznanie opinii na temat stworzonej gry. Istotnym elementem jest również wyciągnięcie wniosków z procesu tworzenia projektu.

W trakcie tworzenia gry nie wzorowaliśmy się na żadnym konkretnym tytule, ale można dostrzec podobieństwa do takich gier jak: *Quake*, *Counter-Strike*, *Unreal Tournament III* czy też oryginalne podejście do bohaterów gry tak jak w serii gry *Worms*.

2.3 Platformy docelowe

Platformą docelową są komputery osobiste (PC) z systemem operacyjnym Microsoft Windows XP z dodatkiem Service Pack 2 lub nowszy, wyposażone w procesor o częstotliwości taktowania 2.4 GHz, 1 GB pamięci RAM oraz kartę graficzną zgodną z Microsoft DirectX 11.

2.4 Odbiorcy docelowi

Docelową grupą odbiorców są osoby lubiące gry typu shooter, szukające czegoś innego niż najpopularniejsze tego typu np. *Call of Duty* czy *CounterStrike*, należące do grupy graczy okazjonalnych. Odbiorca gry posiada poczucie humoru. Z uwagi na charakter gry, zawartą w niej minimalną przemoc, przeznaczona jest dla osób powyżej 13 roku życia¹.

2.5 Decyzje technologiczne

W trakcie projektowania podjęto następujące decyzje dotyczące środowiska, w którym ma działać gra, oraz rozgrywki:

- Microsoft Windows – popularny system operacyjny na komputery osobiste, jest kompatybilny z wieloma innymi użytymi narzędziami oraz wymagany do zgłoszenia gry do Imagine Cup.

¹Zgodnie z warunkami ocen ESRB

- UScript – język skryptowy przeznaczony do tworzenia skryptów w Unreal Development Kit. Przewiduje się, że język ten, wraz z wykorzystywanym środowiskiem, jest wystarczający do stworzenia opisywanej gry.
- Wieloosobowa gra przez sieć - gra sieciowa przeciwko innemu graczowi jest bardziej emocjonująca, dodatkowo żadna sztuczna inteligencja nie dorówna przeciętnemu graczowi w tworzeniu nowych, niepowtarzalnych stanów gry. Gra z innymi ludźmi jest często nieprzewidywalna, a więc ciekawsza.
- Unreal Development Kit – popularne narzędzie do tworzenia gier, dostępne bez opłat dla celów niekomercyjnych. Jest rozbudowane oraz spełnia wszystkie wymagania stawiane przez twórców silników gry, takie jak: mała awaryjność, łatwość modyfikowania, tworzenia nowych plansz.
- DirectX 11 –
- Kamera TPP – użycie kamery TPP pozwala na lepsze wyeksponowanie efektów graficznych uzyskanych przy pomocy DirectX 11.

Problemy i wymagania, jakie wiążą się z podjętymi decyzjami:

- Sterowanie musi być proste i intuicyjne, wykorzystujące klawiaturę i myszkę, czyli najpopularniejsze urządzenia wejścia komputera
- Należy mieć na uwadze obciążenie serwerów. Ze względu na charakterystykę gry należy monitorować liczbę użytkowników na danej planszy.
- Konieczne jest stworzenie estetycznych, trójwymiarowych modeli postaci oraz realistycznych animacji, aby gra zachęcała odbiorców warstwą wizualną.

2.6 Wykorzystywane licencje

Do realizacji gry nie będzie konieczne nabycie żadnych licencji związanych z podjętymi decyzjami technologicznymi. Unreal Development Kit wykorzystywany jest w celach niekomercyjnych, więc nie wymaga zakupu licencji. Pozostałe oprogramowanie potrzebne do stworzenia gry jest dostępne bez opłat na licencji edukacyjnej.

Rozdział 3

Interfejs użytkownika

3.1 Obsługa gry

UJelly jest grą przeznaczoną na komputery osobiste. Stosujemy już sprawdzone rozwiązania, jak poruszanie się w przód, tył i na boki przy pomocy przycisków „WSAD”, przycisk „spacja” do skoków oraz strzelanie przy pomocy prawego i lewego przycisku myszy. Podsumowanie obecnej rozgrywki można podejrzeć naciskając przycisk F1, w trakcie rozgrywki można również wybrać broń przy pomocy przycisków numerycznych lub poprzez kręcenie rolką myszy. Poprzez naciśnięcie przycisku “ESC” można przejść do menu obsługiwanego poprzez kursor myszy.

3.2 HUD

3.3 Praca kamery

Gracz widzi swoją postać z perspektywy trzeciej osoby (TPP). Cała plansza, po której porusza się postać gracza jest w pełni trójwymiarowa. Kamera podąża za celownikiem umieszczonym centralnie na ekranie. W przypadku, gdy za graczem jest obiekt, to kamera powinna się przesuwać tak, aby widok był z poza obiektu, który zawadza.

Rozdział 4

Mechanika podstawowa

4.1 Personifikacja gracza

Gracz steruje postacią będącą jednym z wielu żelków na planszy. Gracz może zabijać innych graczy poprzez strzelanie do nich. Bohater może zginąć w wyniku ataku innych graczy, upadku z dużej wysokości, wypadnięciu poza planszę lub gdy gracz użyje broni JellyCanon zbyt dużą liczbę razy.

4.2 Poruszanie się

Gra będzie toczyć się na planszy, po której Gracz może przemieszczać się poprzez chodzenie po obiektach, wskakiwanie i wspinanie się na nie. W przyszłości, w kolejnych rozszerzeniach gry, może być możliwe bezpośrednie oddziaływanie gracza na otoczenie takie jak: niszczenie obiektów, budowanie obiektów, mostów, drabin.

4.3 Rozgrywka

Rozgrywka polega na odnajdowaniu i zabijaniu innych graczy. Za każde zabójstwo gracz dostaje punkt, każda śmierć gracza jest również odnotowywana.

4.4 Śmierć gracza

Gracz po śmierci musi odczekać pewną ilość czasu, by móc wrócić do rozgrywki. Po śmierci gracz upuszcza broń, która po podniesieniu pozwala na przywrócenie części punktów zdrowia podnoszącemu. W wyniku takiego podnoszenia, będzie możliwość przekroczenia startowej liczby punktów zdrowia.

4.5 Punkt startowy

Na każdym poziomie znajdują się punkty startowe, służące do rozpoczęcia gry po śmierci Gracza lub na początku rozgrywki. Punkt ten powinien być w miejscu bezpiecznym, aby gracz rozpoczynający rozgrywkę lub wracający do gry po śmierci nie zginął ponownie z powodu upadku, czy też wypadnięcia poza planszę. Dwa punkty startowe nie powinny również znajdować się zbyt blisko siebie.

4.6 Dostępne bronie

Gracz będzie miał do wyboru dwie bronie. Jedną z nich jest JellyCannon, która służy do ataku na odległość, ale jej wadą jest to, że każdy pocisk wymaga poświęcenia punktów zdrowia. Drugą z dostępnych broni będzie JellySpearOrPunch, która nie wymaga poświęcenia punktów zdrowia, ale jej wadą jest to, że należy się zbliżyć na niewielką odległość do obiektu atakowanego.

W przyszłości, w kolejnych rozszerzeniach gry, może być możliwe dodanie innych rodzajów broni.

4.7 Warunki zakończenia gry

Aby zakończyć daną rozgrywkę jeden z graczy musi zebrać określoną liczbę punktów. Na końcu rozgrywki wyświetlany jest ranking, gdzie gracze są uszeregowani wg. liczby zgromadzonych punktów.

Rozdział 5

Informacje dodatkowe

5.1 Czynniki atrakcyjne dla graczy

Gra UJelly w założeniach jest grą pozwalającą autorom rozwinąć się w dziedzinie tworzenia gier oraz poznać technologię z tym związane. Projekt nie jest oryginalny, realizuje prosty i znany schemat rozgrywki jeden przeciwko wszystkim (Deathmatch), znany z takich tytułów jak *Counter-Strike* czy *Quake*. Reguły tego typu rozgrywki są przejrzyste, pozwalają na tworzenie rankingów, porównywanie wyników z innymi graczami.

Projekt gry zawiera wiele elementów, które mogą sprawić, że gra zostanie dobrze przyjęta przez odbiorców. Rankingi graczy zachęcają do tego, by być w każdej rozgrywce jak najlepszym, a żeby osiągnąć sukces i zwyciężyć w rozgrywce należy lepiej poznać planszę i więcej grać z innymi graczami, aby poznawać ich strategie. W grze istnieje możliwość dodawania nowych plansz, oraz broni, które mogą zmieniać strategię stosowaną w poszczególnych rozgrywkach. W aktualnej implementacji gry, gracz powinien przewidywać czy lepiej zabić gracza z dystansu, czy jednak pokonanie odległości dzielącej od przeciwnika i zabicie go bronią krótko dystansową nie będzie skutkowało utratą mniejszej ilości punktów zdrowia, co skutkuje większą szansą na wyższe miejsce w rankingu.

Gra jest planowana jako darmowa, co jest również pozytywnym czynnikiem dla gracza.

5.2 Zagrożenia projektowe

Wielu czynników, które przyczyniają się do zwiększenia ryzyka i zagrożeń nie ma znaczenia, jeżeli produkcja jest darmowa. Warto jednak nie ignorować możliwości zainteresowania graczy tytułem, aby móc lepiej realizować projekty gier w przyszłości.

Kluczowym czynnikiem decydującym o popularności gry, jest projekt plansz oraz broni na nich dostępnych. Plansze muszą być grywalne, muszą znajdować się tam więcej niż jedna możliwa ścieżka dojścia do przeciwnika, muszą być elementy gdzie można się schować lub zacząć się na innych graczy. Sama broń dostępna w danej planszy musi wspierać i eksponować strategie dostępne na planszy, a także dzięki unikalnym właściwościom może tworzyć nowe.

W kolejnych rozszerzeniach gry planowane jest dodanie miejsc specjalnych na planszach, które będą zadawać, lub leczyć obrażenia, przemieszczać gracza, lub dawać mu tymczasową przewagę w grze taką jak niewidzialność czy dodatkowe obrażenia.

Bardzo ważnym czynnikiem, na który twórcy mają tylko pośredni wpływ jest społeczność graczy, bo to od niej zależy jak dużo będzie serwerów, rozgrywek i turniejów. Na początku warto stworzyć forum gry, by dać graczom miejsce do rozmów i komunikacji, oraz dać narzędzia twórcom do wpływu na kształt społeczności, która będzie się tworzyć wokół gry.

Kłopotliwe może się okazać przygotowanie modeli i tekstur, które będą estetyczne i całościowo współgrały ze sobą. Jest to problematyczne ze względu na brak posiadania wyspecjalizowanej osoby, która w momencie rozpoczęcia pracy nad grą posiadałaby już wystarczające umiejętności. Planujemy jednak, by jeden z twórców w trakcie rozwijania gry rozwinął swoje umiejętności wystarczająco, aby stworzyć pierwszą wersję gry.

Mimo braku opłat za grę, może być trudno wypromować grę na tyle, by społeczność wokół tej gry zaistniała i zaczęła się rozwijać bez ingerencji twórców. Na początku promocji gry będziemy się starać dotrzeć do jak największej liczby odbiorców w Polsce i na świecie, przy pomocy serwisów, rekomendacji czy poprzez promowanie gry poprzez konkursy np. Imagine Cup.

5.3 Ogólny plan promocji gry (*Imagine Cup*)

Promocje gry rozpoczyna się od udziału w konkursie *Imagine Cup*, gdzie w szerszym gronie można zaprezentować rozgrywkę. Do tego czasu będzie skończone forum, na którym będzie rozwijać się początkowo społeczność wokół tej gry. Będzie to wymagało na początku wiele wkładu pracy moderatorskiej, ale od pewnego momentu powinni pojawić się moderatorzy ze społeczności, odciążając tym samym twórców. W celach promocji użyta zostaną platformy społecznościowe *Facebook*, *Google+*, by trafić do jak najszerszego grona odbiorców i przekazać im materiały promocyjne, prezentacje rozgrywki, informacje o organizowanych akcjach. Planowane są również recenzje gry w serwisach takich jak <http://polter.pl/>, <http://www.gry-online.pl/>. Jedną z zalet gry są charakterystyczni bohaterowie, istnieje zatem możliwość promocji samej gry przy pomocy np. rozdawania żelkowych misiów.

Dodatek A

Referencje

1. Informacje o serii gier *Worms*, http://pl.wikipedia.org/wiki/Worms_%28seria%29
2. Informacje o grze *Quake*, <http://pl.wikipedia.org/wiki/Quake>
3. Informacje o grze *Counter-Strike*, <http://pl.wikipedia.org/wiki/Counter-Strike>
4. Informacje o grze *Unreal Tournament III*, http://pl.wikipedia.org/wiki/Unreal_Tournament_III
5. Adams Ernest, *Projektowanie Gier. Podstawy. Wydanie II*, HELION, 2011, ISBN: 978-83-246-2781-3



© 2015 Krzysztof Marciniak, Piotr Przybysz, Mikołaj Szychowiak, Ryszard Wojtkowiak

Instytut Informatyki, Wydział Informatyki
Politechnika Poznańska

Skład przy użyciu systemu L^AT_EX.

BibT_EX:

```
@mastersthesis{ key,
  author = "Krzysztof Marciniak \and Piotr Przybysz \and Mikołaj Szychowiak \and
Ryszard Wojtkowiak",
  title = "{Projekt i implementacja gry komputerowej z wykorzystaniem technologii
Microsoft DirectX 11}",
  school = "Poznan University of Technology",
  address = "Pozna{\n}, Poland",
  year = "2015",
}
```