

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki

Maciej Wygoda
172407

Implementacja sieciowej gry wideo z wykorzystaniem silnika Unreal Engine 4

Implementation of an online video game using Unreal Engine 4

Praca dyplomowa inżynierska
na kierunku Informatyka

Praca wykonana pod kierunkiem
dr. Bartłomieja Kubicy

Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki
Katedra Zastosowań Informatyki

Warszawa 2017

Praca przygotowana zespołowo przez:

1. Maciej Wygoda

172407

który jest autorem:

które rozdziały + strony

2. Marcin Szadkowski

wpisz swój numer albumu

który jest autorem:

które rozdziały + strony

Oświadczenie promotora pracy

Oświadczam, że wskazane przez autora rozdziały pracy dyplomowej przygotowanej zespołowo zostały przygotowane pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełniają one warunki do przedstawienia tej pracy w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Data

Podpis promotora pracy

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej, w tym odpowiedzialności karnej za złożenie fałszywego oświadczenia, oświadczam, że wskazane przeze mnie rozdziały pracy dyplomowej przygotowanej zespołowo zostały napisane przeze mnie samodzielnie i nie zawierają treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami prawa, w szczególności z ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. Nr 90 poz. 631 z późn. zm.)

Oświadczam, że przedstawiona praca nie była wcześniej podstawą żadnej procedury związanej z nadaniem dyplomu lub uzyskaniem tytułu zawodowego.

Oświadczam, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną. Przyjmuję do wiadomości, że praca dyplomowa poddana zostanie procedurze antyplagiato-wej.

Data

Podpis autora pracy

Streszczenie

Implementacja sieciowej gry wideo z wykorzystaniem silnika Unreal Engine 4

Niniejsza praca jest opisem implementacji sieciowej gry wideo pod tytułem „thesis_1” z wykorzystaniem silnika Unreal Engine 4. Zawiera opis silnika, prezentuje architekturę gry oraz zastosowane rozwiązania.

Słowa kluczowe – Unreal Engine 4, tworzenie gier wideo, gamedev, gra wideo

Summary

Implementation of an online video game using Unreal Engine 4

This study is a description of an implementation of an online video game „thesis_1” using Unreal Engine 4. It describes the engine and presents the game’s architecture and applied solutions.

Keywords – Unreal Engine 4, game development, gamedev, video game

Spis treści

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Wstęp | 8 |
| 1.1 | Cel i zakres pracy | 8 |
| 2 | Unreal Engine 4 | 9 |
| 2.1 | Czym jest silnik gry? | 9 |
| 2.2 | Funkcje silnika Unreal Engine 4 | 9 |
| 2.3 | Konwencja i architektura rozgrywki | 11 |
| 3 | Przykładowy przebieg rozgrywki | 14 |
| 4 | Opis implementacji gry „thesis_1“ | 15 |
| 4.1 | Uruchomienie gry i podstawowe funkcje | 15 |
| 4.1.1 | GameInfoInstance | 15 |
| 4.2 | Interfejs | 15 |
| 4.3 | System zapisu stanu gry | 17 |
| 4.4 | Postacie i zdolności | 17 |
| 4.4.1 | Pawn, Character i PlayerController | 17 |
| 4.4.2 | BaseCharacter | 17 |
| 4.4.3 | BasePlayerController | 18 |
| 4.4.4 | Skill | 18 |
| 4.4.5 | Wybór postaci i zdolności | 18 |
| 4.5 | Networking – tworzenie oraz dołączanie do rozgrywki sieciowej | 18 |
| 4.6 | Animacje | 18 |
| 5 | Kolejny rozdział | 19 |
| 6 | Bibliografia | 20 |

1 Wstęp

Gry wideo stanowią rozrywkę dla coraz szerszego grona odbiorców, a sama branża nieustannie rośnie, o czym najlepiej świadczy fakt, iż pod względem wygenerowanych przychodów prześcignęła już branżę filmową oraz muzyczną [7]. Gry coraz częściej postrzegane są jako nowoczesne medium przekazu oraz forma wyrazu artystycznego i poruszają tematy dotychczas zarezerwowane dla literatury i kinematografii.

Tworzenie gier wideo (*ang. game development*) to obszerne zagadnienie łączące w sobie wiele dziedzin. Od strony technicznej są to między innymi grafika komputerowa, inżynieria oprogramowania, programowanie komputerów, bezpieczeństwo komputerowe, matematyka. W związku z tym, że stworzenie gry to proces długi i skomplikowany, istnieje wiele narzędzi wspierających go, a jednym z najpopularniejszych jest silnik *Unreal Engine 4* (zwany dalej "UE4").

1.1 Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy jest rozwój wiedzy o procesie tworzenia gier wideo. Ponadto motywację stanowiły chęć zgłębienia technologii UE4, podjęcia technicznego wyzwania, jakie stawia zaprogramowanie gry wideo oraz pasja do gier. Na całą pracę składa się zaprojektowanie i zaimplementowanie gry z użyciem UE4 oraz podstawowy opis silnika i implementacji gry.

Uwagę skupiono między innymi na poznawaniu działania i efektywnym wykorzystywaniu technologii UE4 oraz oprogramowania do modelowania i animacji Blender oraz zdobyciu doświadczenia w pracy zespołowej.

Praca ta może z powodzeniem służyć za przykład i drogowskaz dla osób chcących napisać własną grę.

2 Unreal Engine 4

2.1 Czym jest silnik gry?

Przez pojęcie „silnik gry” rozumie się zbiór funkcji i narzędzi (*ang. framework*) wspierający tworzenie gier. Musi on oferować przede wszystkim renderowanie grafiki, dźwięku i obsługę sterowania aczkolwiek obecnie najpopularniejsze silniki posiadają znacznie więcej funkcji, a są to między innymi obsługa sieci, symulacja fizyki, edytory shaderów i efektów cząsteczkowych, produkcja przerywników filmowych oraz obsługa wielu platform na przykład komputerów, konsol czy urządzeń mobilnych takich jak smartfony. Każdy popularny silnik dystrybuowany jest wraz z edytorem będącym graficznym interfejsem między programistą, a funkcjami silnika.

Wykorzystanie jednego silnika do stworzenia wielu różnych gier znacząco skraca okres produkcji i stanowi powszechną w branży praktykę.[1][5]

2.2 Funkcje silnika Unreal Engine 4

UE4 swoją popularność zawdzięcza między innymi otwartemu źródłu, co w pewnym stopniu umożliwia producentom gier dostosowanie silnika do własnych potrzeb na przykład poprzez programowanie narzędzi dla mniej technicznych członków zespołu czy modyfikacje w działaniu silnika. Ponadto UE4 jest w stanie renderować grafikę bardzo zbliżoną do fotorealizmu, co w połączeniu z szeroką gamą oferowanych funkcji sprawia, że poza grami korzysta się z niego na przykład do produkcji spotów i aplikacji reklamowych. [8][9]

Oprócz podstawowych funkcji takich jak renderowanie grafiki czy obsługa sterowania do dyspozycji oddane zostały między innymi [2]:

Symulacja fizyki: UE4 korzysta z silnika fizyki *PhysX 3.3* dzięki czemu wiarygodnie symuluje kolizje obiektów i inne oddziaływania fizyczne. Producenci mają również możliwość modyfikowania panujących zasad celem lepszego przedstawienia własnej wizji.

Edytor interfejsu użytkownika: Interfejs stanowi istotny element w komunikacji między grą, a grającym. UE4 zapewnia rozbudowany edytor pozwalający na tworzenie między innymi takich elementów interfejsu jak *HUD (head-up display)* czy menu.

Drzewa behawioralne: Stanowią one podstawę sztucznej inteligencji w UE4 i pozwalają na zaprogramowanie zachowania postaci sterowanych przez komputer w zależności od odbieranych przez nie bodźców i stanu sceny.

Sequencer: Jest to narzędzie służące do produkcji przerywników filmowych. Jego obsługa przypomina pracę z oprogramowaniem do montażu filmów i modelowania 3D. Edytor ten uwzględnia elementy takie jak oś czasu, ujęcia kamery, szkielety i animacje obiektów.

Networking: UE4 powstał z myślą o rozgrywce sieciowej, wobec tego dużo uwagi poświęcono stworzeniu odpowiedniej abstrakcji ułatwiającej programowanie komunikacji sieciowej. Komunikacja ta wykorzystuje model klient-serwer co oznacza, że istnieje jeden serwer z autorytatywną instancją świata oraz wielu klientów, których światy są aktualizowane na podstawie tego, co dzieje się na serwerze. Aktualizacje te opierają się o aktualizacje właściwości obiektów i zdalne wywołania procedur (*ang. remote procedure calls - RPC*). W obu przypadkach wykorzystywany jest protokół *UDP*, który jest zawodny, ale generuje o wiele mniejszy narzut na sieć niż w przypadku *TCP*. UE4 ma zaimplementowany własny system zapewniający częściową niezawodność komunikacji. [6]

Analiza wydajności: Osiągnięcie iluzji ruchomego obrazu wymaga wygenerowania przynajmniej 15 klatek na sekundę (*ang. frames per second - FPS*), obecnie na konsolach do gier pożądaną wartością jest przynajmniej 30FPS, na komputerach 60FPS, a w tytułach esportowych nawet dwa razy więcej. Miara ta jest odzwierciedleniem płynności obrazu i wydajności gry, a na wydajność składają się stopień skomplikowania scen i obliczeń oraz optymalizacja. UE4 zapewnia narzędzia do profilowania, dzięki którym łatwiejsze staje się zidentyfikowanie obszarów wymagających optymalizacji.

Edytor materiałów: W konwencji UE4 materiał to zbiór informacji o wizualnej stronie obiektu. Do pewnego stopnia można o nim myśleć jak o farbie. Należy jednak uwzględnić, że materiał poza kolorem czy teksturą definiuje również rodzaj powierzchni obiektu (na przykład metal, drewno), przezroczystość i inne cechy, które mogą mieć wpływ na zachowanie światła padającego na dany obiekt. UE4 posiada rozbudowany edytor materiałów opierający się na programowaniu graficznym (*ang. visual scripting*).

Blueprints Visual Scripting: Jest to system graficznego programowania rozgrywki oparty o węzły reprezentujące elementy takie jak funkcje, klasy czy zmienne, które po połączeniu stanowią pewną logikę (rys. 1). Za pomocą blueprintów można (często w krótszym czasie) osiągnąć podobny efekt co za pomocą kodu przy czym dla osób mniej technicznych są one o wiele prostsze w użyciu. Ponadto mogą dziedziczyć klasy napisane kodem, a programiści mają możliwość rozwijania blueprintów poprzez programowanie kolejnych węzłów do użycia przez resztę zespołu. Jest możliwe napisanie kompletnej gry bez nawet jednej linii kodu, a jedynie z użyciem blueprintów. Nie oznacza to jednak, że kod stał się bezużyteczny. W każdym wypadku kod C++ jest wydajniejszy od blueprintów (to znaczy szybciej się wykonuje, co bezpośrednio wpływa na liczbę generowanych klatek na sekundę), w wielu przypadkach jest czytelniejszy (na przykład obliczenia w pętli) i łatwiejszy w utrzymaniu (na przykład kontrola wersji przy pracy zespołowej).[3]



Rysunek 1. Przykład blueprinta

Oba te podejścia są wykorzystywane w profesjonalnym środowisku, a kluczem do sukcesu jest ich umiejętne połączenie, co zaprezentowano w dalszej części tej pracy.

2.3 Konwencja i architektura rozgrywki

Styl rozgrywki zależy od gry i wizji jej autora, jednak istnieją pewne cechy wspólne widoczne w niemal każdym tytule. Jest to na przykład sterowanie za pomocą urządzeń wejścia czy pewien zbiór zasad gry. Z tego powodu w UE4 przyjęto zaprezentowaną poniżej konwencję dotyczącą rozgrywki (rys. 2).[4]

Actor: Jest to bazowa klasa dla każdego obiektu, który można umieścić w scenie. Obiekty te nie muszą mieć fizycznej reprezentacji. Często zawierają dodatkowe komponenty (*ActorComponents*) określające między innymi w jaki sposób obiekt się porusza czy jak jest renderowany. Oprócz tego *aktor* posiada obsługę replikacji właściwości i wywołań funkcji przez sieć.

Pawn: Jest to *aktor*, który może być kontrolowany przez gracza lub komputer. Stanowi ich fizyczną reprezentację w grach, które tego wymagają.

Character: Jest to humanoidalny *pawn* rozszerzony o następujące komponenty:

SkeletalMeshComponent wykorzystywany przy animacjach szkieletowych,

CapsuleComponent wykorzystywany przy kolizjach z innymi obiektami,

CharacterMovementComponent opisujący ludzkie ruchy takie jak chodzenie, bieganie czy pływanie oraz właściwości związane z ruchem na przykład prędkość chodzenia czy wpływ grawitacji.

Controller: jest to *aktor*, który po przejęciu *pawna* sprawuje nad nim kontrolę. Wyróżniamy dwa rodzaje: *PlayerController*, który stanowi interfejs między grającym, a sterowaną przez niego postacią (reprezentuje wolę gracza) oraz *AIController*, który decyduje o

zachowaniach postaci na podstawie zaprogramowanych wcześniej drzew behawioralnych.

PlayerController danego gracza w przypadku rozgrywki sieciowej występuje w dwóch instancjach: po jednej na serwerze oraz urządzeniu grającego, co należy brać pod uwagę podczas programowania tego elementu.

HUD (*ang. head-up display*): podręczne informacje dla gracza na przykład jego obecny wynik, stan zdrowia sterowanej przez niego postaci czy tak zwana minimapa.

Camera: decyduje o perspektywie, z której grający obserwuje scenę.
Jest elementem *PlayerControllera*.

GameMode: zawiera informacje takie jak zasady gry czy warunki zwycięstwa. Nie powinien zawierać żadnych informacji potrzebnych klientom, ponieważ istnieje jedynie na serwerze. Decyduje również o tym, który *GameState* i *PlayerState* zostanie wykorzystany. Wybór *GameMode-a* zależy od wczytywanego poziomu.

GameState: zawiera informacje o obecnym stanie rozgrywki na przykład czy mecz już się rozpoczął, wykonane misje, wyniki, listę graczy. *GameState* istnieje zarówno na serwerze jak i u klientów oraz jest replikowalny.

PlayerState: zawiera informacje o uczestniku rozgrywki na przykład jego imię, wynik czy zespół, do którego należy. Zarówno serwer jak i wszyscy klienci posiadają kopie *PlayerState-ów* dotyczących każdego grającego (co nie ma miejsca w przypadku *PlayerControllerów* – każdy klient wie jedynie o swoim *PlayerControllerze*).

GameInstance: zawiera informacje o danej instancji gry. Istnieje jeden obiekt tej klasy na każdą uruchomioną grę i pozostaje on do dyspozycji aż do jej wyłączenia. Wczytywanie poziomów nie ma wpływu na *GameInstance*, dzięki czemu klasa ta umożliwia przenoszenie informacji między poziomami.

Stosowanie się do tej konwencji zaprezentowano w rozdziale 4 skupiającym się na implementacji gry „thesis_1”.



Rysunek 2. Diagram architektury rozgrywki

3 Przykładowy przebieg rozgrywki

zeby opisac JAK zaimplementowalismy, trzeba najpierw opisac CO zaimplementowalismy

4 Opis implementacji gry „thesis_1“

4.1 Uruchomienie gry i podstawowe funkcje

Wywołanie pliku wykonywalnego z grą (*thesis_1.exe*) powoduje uruchomienie silnika, utworzenie obiektu klasy *GameInfoInstance* (opisanej w podrozdziale 4.1.1), a następnie wczytanie początkowego poziomu *MainMenu*, który wywołuje funkcję *SaveGameCheck* z *GameInfoInstance* sprawdzającą czy istnieje plik z zapisem gry (system opisany w podrozdziale 4.3) i wyświetlający interfejs użytkownika. Na tym etapie grający otrzymuje kontrolę nad dalszym przebiegiem programu. Sprowadza się ona do wywołań funkcji z *GameInfoInstance* poprzez interfejs.

4.1.1 GameInfoInstance

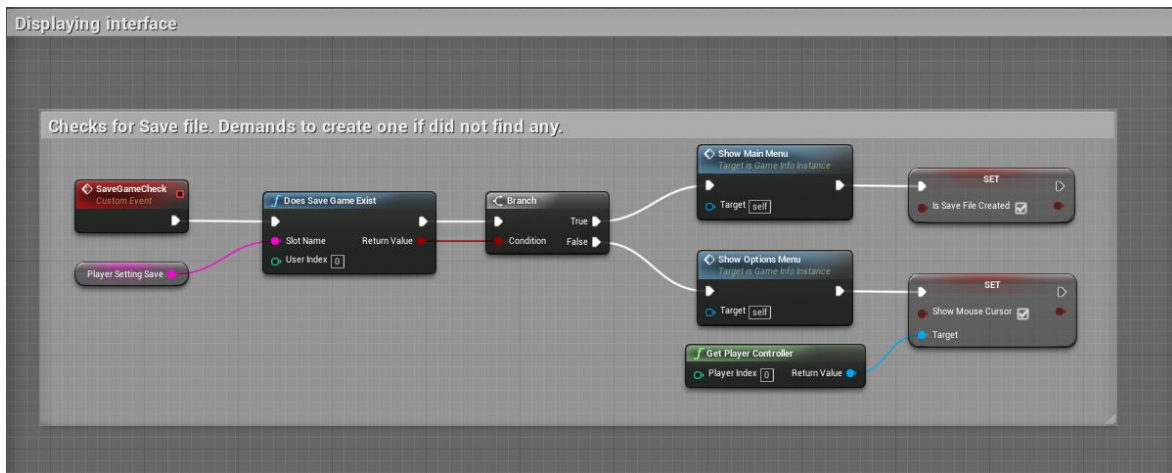
Klasa *GameInfoInstance* dziedziczy po klasie *GameInstance* (opisanej w podrozdziale 2.3), zawiera podstawowe informacje wykorzystywane w innych obszarach gry (na przykład dostępne zdolności i klasy postaci wykorzystywane w systemie opisanym w podrozdziale 4.4.5) oraz odpowiada za wyświetlanie *widgetów* interfejsu (podrozdział 4.2) i tworzenie oraz dołączanie do istniejących rozgrywek sieciowych (podrozdział 4.5).

4.2 Interfejs

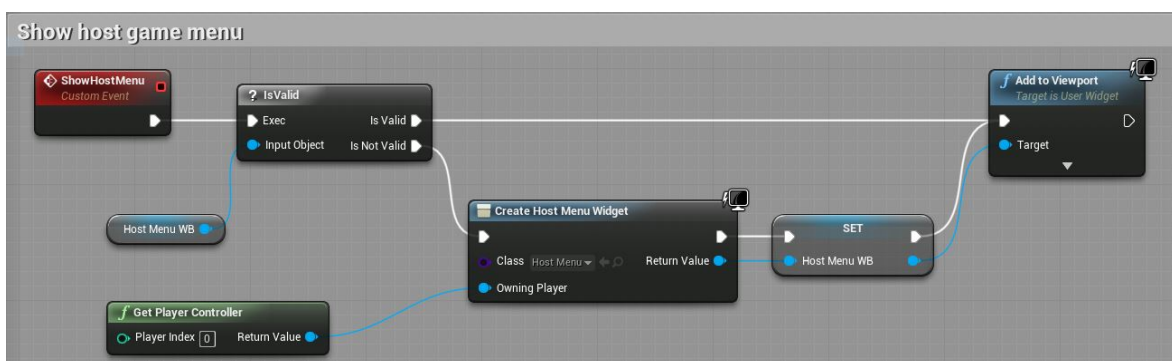
Podstawę interfejsu w UE4 stanowią *widgety* czyli elementy posiadające pewną logikę, które można wyświetlać w oknie użytkownika w warstwie interfejsu. Są to na przykład przyciski, listy, suwaki, pola tekstowe i tym podobne. Za pomocą edytora *widgetów* z podstawowych *widgetów* buduje się bardziej skomplikowane (na przykład menu główne lub tablica wyników), z których konstruuje się docelowy interfejs.

W przypadku gry „thesis_1“ *widgety* wyświetlane są poprzez wywoływanie odpowiednich funkcji z *GameInfoInstance* (rys. 3, 4).

Z menu głównego grający ma możliwość przejścia do menu tworzenia lub dołączania do gry (rozdział 4.5), menu opcji (rozdział 4.4.5) oraz zamknięcia gry.



Rysunek 3. Funkcja wywołująca wyświetlenie *widgetu* interfejsu wybranego na podstawie istnienia pliku zapisu stanu



Rysunek 4. Funkcja wyświetlająca *widget* interfejsu hostowania gry

4.3 System zapisu stanu gry

4.4 Postacie i zdolności

Gra składa się wielu nieodzownych elementów, jednym z istotniejszych jest niewątpliwie postać którą gracz kontroluje. Podstawową reprezentacją gracza w silniku UE4 jest klasa Pawn. Pionek jest fizyczną reprezentacją gracza w świecie gry który może być kontrolowany przez gracza lub komputer za pomocą kontrolerów przedstawionych we wstępie dokumentu. Pionek jest klasą bazową dla klasy Character, której głównym rozszerzeniem jest CharacterMovementComponent pozwalający naszemu awatarowi na poruszanie się przez chodzenie, skakanie, bieganie, spadanie czy pływanie. CharacterMovementComponent posiada w pełni zaimplementowaną obsługę networkingu w skład którego wchodzi system korekcji oraz predykcji ruchów podczas opóźnień wynikających z transmisji danych przez sieć.

4.4.1 Pawn, Character i PlayerController

Podczas tworzenia owej postaci pojawia się wiele pytań i problemów do rozwiązania. Pierwszym z nich jest sposób zbierania danych od gracza w sposób pozwalający na ponowne wykorzystanie kodu w postaciach o podobnych cechach. UE4 pozwala na obsługę danych wejściowych w klasach Pawn lub w PlayerController. Rzeczą wartą rozważenia jest sposób w jaki rozdzielimy które funkcjonalności powinny zostać obsłużone przez którą z tych klas. W prostych przypadkach możliwa jest obsługa zebranych informacji o woli gracza całkowicie w klasie Pawn. Jednak gdy obsługa sterowania jest skomplikowana implementacja PlayerController'a staje się nieunikniona. PlayerController pozwala na przykład na sterowanie wieloma awatarami na jednej maszynie czy dynamiczne przełączanie się pomiędzy postaciami. Kolejną zaletą PlayerController'a jest to, że jedna jego instancja jest przypisana do gracza przez całą rozgrywkę a kontrolowane przez niego pionki mogą się zmieniać. Przykładowo podczas odradzania naszego pionka utworzony zostaje nowy obiekt a kontroler pozostaje ten sam, więc dane których nie chcemy stracić takie jak zdobyte punkty czy złoto powinny być składową PlayerControllera.

W projekcie jako klasy bazowej do wirtualnej reprezentacji gracza użyto klasy Character, a dane wejściowe są całkowicie obsługiwane przez PlayerController

4.4.2 BaseCharacter

Na potrzeby projektu, w celu rozwinięcia podstawowych możliwości klasy udostępnionej przez silnik stworzono klasę BaseCharacter dziedziczącą po Character. Głównym celem było pozwolenie graczom na dowolne dostosowanie zdolności awatara. Problem ten został rozwiązany za pomocą tablicy obiektów USkill które posiadają metody OnPress oraz OnRelease zawierające logikę, która wykonywana jest gdy gracz naciska lub zwalnia odpowiedni przycisk. Dodane zostały również zmienne których silnik używa do odgrywania odpowiednich animacji takich jak animacja uniku czy animacja czarowania oraz funkcje które zmieniają

wartości tych zmiennych na serwerze gdy gracz na maszynie klienckiej wciśnie odpowiednie przyciski.

4.4.3 BasePlayerController

Klasa BasePlayerController jest stworzonym na potrzeby projektu rozszerzeniem klasy PlayerController. Jest ona odpowiedzialna za obsługę danych wejściowych zebranych od gracza. Gracz ma do wyboru dwa sposoby kontrolowania swojej postaci. W zależności od ustawień w odpowiednim oknie interfejsu użytkownika gracz może korzystać z klawiatury oraz myszy lub z kontrolera gier. Przy wyborze klawiatury i myszy postać można poruszać za pomocą klawiszy W, A, S oraz D a postać obrócona jest zawsze w kierunku kursora myszy. Przy wyborze kontrolera gier kierunek, w który postać spogląda oraz porusza się jest wyznaczany na podstawie wychyleń odpowiednio, prawego oraz lewego drążka kontrolera. W obu przypadkach wciśnięcie klawisza odpowiadającego za skok lub unik wywołuje odpowiednie metody które odpowiedzialne są za ruch naszego awatara oraz odegranie animacji. Wciśnięcie klawiszy odpowiadających za wykonanie zdolności działa 2 etapowo. Podczas wciśnięcia klawisza odgrywana jest animacja oraz wykonywany jest kod metody OnPress z klasy USkill, który może wykonać całą logikę zdolności lub przygotować naszą postać do momentu gdy gracz zwolni przycisk. Następnie wykona się metoda OnRelease, która może pozostać pusta, dokończyć wykonanie zdolności lub przywrócić stan gracza do momentu przed kliknięciem przycisku.

4.4.4 Skill

4.4.5 Wybór postaci i zdolności

4.5 Networking – tworzenie oraz dołączanie do rozgrywki sieciowej

4.6 Animacje

5 Kolejny rozdział

6 Bibliografia

- [1] Joanna Lee, *Learning Unreal Engine Game Development*, Packt Publishing, 2016
- [2] *Engine Features*, <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/index.html> (dostęp 30.12.2017)
- [3] *Blueprints Visual Scripting*, <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Blueprints/index.html> (dostęp 30.12.2017)
- [4] *Gameplay Framework Quick Reference*, <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Gameplay/Framework/QuickReference/index.html> (dostęp 31.12.2017)
- [5] „*Game engine*“, *Wikipedia*, https://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine (dostęp 29.12.2017)
- [6] *Everything you ever wanted to know about replication (but were afraid to ask)*, https://wiki.beyondunreal.com/Everything_you_ever_wanted_to_know_about_replication_%28but_were_afraid_to_ask%29#Function_call_replication_-_Sending_messages_between_server_and_client (dostęp 30.12.2017)
- [7] Trevir Nath, *Investing in Video Games: This Industry Pulls In More Revenue Than Movies, Music*, <http://www.nasdaq.com/article/investing-in-video-games-this-industry-pulls-in-more-revenue-than-movies-music-cm634585> (dostęp 29.12.2017)
- [8] *The Human Race – An Inside Look at the Technology Behind the Groundbreaking Real-Time Film from Epic Games, The Mill and Chevrolet*, <https://www.unrealengine.com/en-US/showcase/the-human-race-an-inside-look-at-the-technology-behind-the-groundbreaking-real-time-film-from-epic-games-the-mill-and-chevrolet> (dostęp 30.12.2017)
- [9] *VIRTUAL REALITY - INTO THE MAGIC*, http://www.ikea.com/ms/en_US/this-is-ikea/ikea-highlights/Virtual-reality/index.html (dostęp 30.12.2017)

Wyrażam zgodę na udostępnienie mojej pracy w czytelniach Biblioteki SGGW w tym w Archiwum Prac Dyplomowych SGGW.

.....
(czytelny podpis autora pracy)