

Uniwersytet Wrocławski
Wydział Fizyki i Astronomii

Marcin Pietrzak

Galeria modeli komputerowych

Computer models gallery

Praca inżynierska na kierunku
Informatyka Stosowana i Systemy Pomiarowe

Opiekun
dr hab. Maciej Matyka, prof. UWr

Wrocław, 8 maja 2022

Spis treści

1	Wstęp	5
1.1	Wprowadzenie	5
1.2	Cel i zakres pracy	6
2	Warstwa Użytkowa	7
2.1	Wygląd i Obsługa programu	7
2.2	Część Galerii Programu	7
2.3	Część pokazowa modeli programu programu	7
3	Warstwa Programistyczna	7
3.1	Unreal Engine 4	7
3.2	Język C++	8
3.3	Oculus Quest	9
4	Jakie modele się znajdują	10
4.1	Wahadło Podwójne	10
4.1.1	Wahadło podwójne - kod	11
4.1.2	Wahadło podwójne UE4	13
4.1.3	Wygląd w programie	14
4.2	Gra w życie	15
4.2.1	Gra w życie - kod	15
4.3	Motyl	15
4.3.1	Motyl - kod	15
4.4	Model Agentowy	15
4.4.1	Model Agentowy - kod	15
4.5	Boids	15
4.5.1	Boids - kod	15
5	Realizacja projektu	15
6	Wnioski	15

Streszczenie

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur.

1 Wstęp

1.1 Wprowadzenie

W pewnych aspektach życia człowiek zastanawia się nad paroma rzeczami, czy nie jesteśmy sami w kosmosie, kiedy nastąpi koniec, czy VR umarł, czy nie jesteśmy programem komputerowym. Pewnie nie poznamy odpowiedzi na te wszystkie pytania, jeszcze przez jakiś czas, ale dzisiaj jedno jest pewne. VR na pewno jeszcze nie umarł i ma się całkiem dobrze. W ciągu ostatnich kilku lat rynek gogli VR zaczął na nowo się rozwijać, powstało wiele gogli, a do najpopularniejszych z nich należą: PlayStation VR, Valve Index, HTC Vive Pro [1]. Każde z tych gogli ma jednak wady, a do najważniejszych należy to, że nie są to sprzęty typu plug and play. Trzeba się nie tylko męczyć z splątaniem przewodów, ale także gogle jak np. Valve Index wymagają stacji, dzięki którym gogle wiedzą gdzie znajdujesz się w przestrzeni 3D. Kolejnym problemem jest oczywiście cena samego sprzętu który w większości przekracza ponad 3000 PLN za całość. Jedynie co się z tego zestawu różni to PlayStation VR, same są jednak przestarzałe, a Sony zapowiedziało ich następcę którego premiera nastąpi pod koniec 2022 roku [2]. Same gogle Sony nie rozwiązały dla mnie największego problemu, czyli obowiązków podłączenia przewodem, jednakże ten problem na szczęście rozwiązała już inna firma, mowa oczywiście o Oculus znaną obecnie jako Reality Labs, jedna z podfirm Facebooka obecnie znana jako Meta. Firma zaczęła sprzedawać w 2019 gogle Oculus Quest, które były rewolucyjne z jednego ważnego powodu, były autonomiczne, tzn. nie potrzebowały komputera do obsługi gogli, ponieważ wystarczą do tego same gogle z kontrolerami ruchowymi. Same gogle nie potrzebowały też stacji do określania położenia gogli, gdyż same w sobie mają diody podczerwone które do tego służą. Oculus Quest okazał się dość rewolucyjnym sprzętem wartym ok. 2000 pln za wersję podstawową, a rok później Oculus wypuścił następcę za którego zapłaciliśmy jeszcze mniej czyli ok. 1500 pln w wersji podstawowej. Nie odbyło się to bez kompromisów takich jak: Brak płynnej zmiany rozstawu soczewek dla oczu, gorszej jakości pasek na głowę, brak magnetycznego zabezpieczenia pojemnika na baterię. To nie znaczy oczywiście, że gogle były gorsze a do najważniejszych należą: Zwiększona rozdzielczość obrazu dla jednego oka, zmiana procesora na wydajniejszy, wydłużony czas pracy kontrolerów na jednej baterii [3].



(a) Oculus Quest 1



(b) Oculus Quest 2

Rysunek 1: Gogle VR od Oculus

Quest 2 wśród gogli VR okazał się dużym sukcesem, w roku 2021 sprzedanych

zostało 11,2 miliona sztuk urządzeń z czego 78% to były Oculus Quest 2 [4]. Rynek aplikacji też się rozwinął w ciągu ostatnich lat. Na samego Oculusa Questa w oficjalnym sklepie jest obecnie dostępnych ponad 300 aplikacji, na Steam jest ich już ponad 2000. Oczywiście wśród nich nie znajdują się same gry, ponieważ gogle mogą być wykorzystane też np. do zaprezentowania ciała człowieka, być platformą do rysowania obrazów, lub sprzętem do relaksu czy oglądania filmów. Ja chciałem spróbować swoich sił w stworzeniu małego projektu, który mógłby być wykorzystany do pokazywania co ciekawego można robić w komputerze, czyli galerii modeli komputerowych.



Rysunek 2: OpenBrush

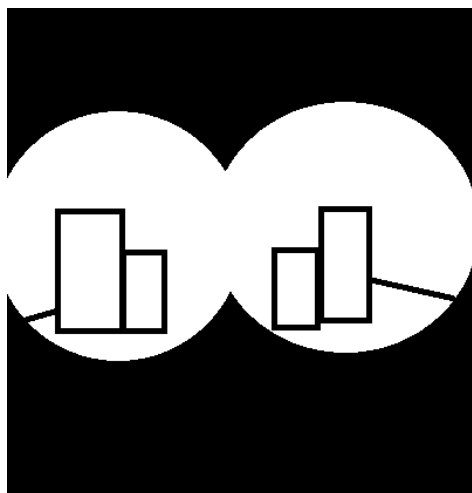
1.2 Cel i zakres pracy

Głównym założeniem jest stworzenie aplikacji VR która przedstawi kilka wybranych przeze mnie modeli komputerowych w przystępny sposób, łącznie z częścią galerii w której znajdować się będzie historia danego modelu i ciekawostki z nim związane. Gogle VR których używałem do testów to Oculus Quest pierwszej generacji, natomiast aplikację napisałem w Unreal Engine 4, ponieważ mogę w tym silniku pisać w języku C++, który to najbardziej z języków programowania znam, oraz w blueprintach czyli Unrealowym wizualnym języku skryptowym, który jest przystępny dla nowych użytkowników. Silnik posiada pełne wsparcie dla gogli VR czy to wersji autonomicznej czy wersji PCVR. Sam aplikację pisałem z myślą o PCVR, ponieważ nie musiałem się aż tak obawiać o ograniczenia które stawia sprzęt w wersji androidowej np. brak wsparcia dla Unrealowych postprocesów obrazu. Projekt ten pokazuje, że w dzisiejszych czasach dzięki dostępnym narzędziom typu UE4 i gogle VR, człowiek jest w stanie stworzyć program w mało wymagający sposób który nie byłby możliwy do zrealizowania jeszcze 10 lat temu.

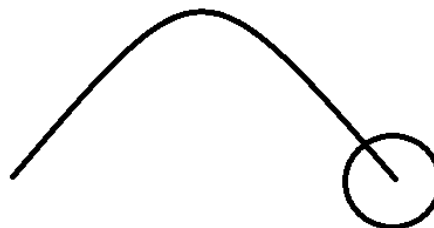
2 Warstwa Użytkowa

2.1 Wygląd i Obsługa programu

Program do uruchomienia wymaga gogli VR np. Oculus Quest i kontrolerów ruchowych. Można poruszać się po planszy na dwa sposoby. Pierwszy polega na użyciu lewego thumbsticka dzięki czemu można poruszać się płynnie po planszy, podczas poruszania się po planszy zmniejsza się obraz aby osoby które mają chorobę symulatorową[5] lepiej znosiły takie poruszanie się po poziomie. Drugi natomiast polega na teleportacji, po naciśnięciu przycisku B na prawy kontrolerze i wybraniu miejsca planszy gdzie chcemy się teleportować, jest to sposób poruszania się bardziej przyjazny dla osób z chorobą symulatorową.



(a) Tunnel Vision



(b) Teleport Move

Rysunek 3: Różny rodzaj poruszania się w programie

2.2 Część Galerii Programu

W tej części można poczytać i dowiedzieć się trochę o danym modelu. Swoim wyglądem przypomina to galerię obrazów, gdzie osoba podchodzi do danej ciekawostki i może ją przeczytać.

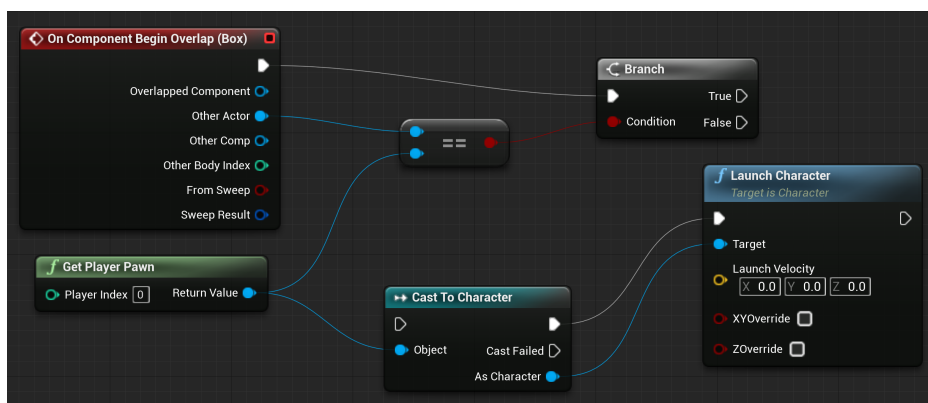
2.3 Część pokazowa modeli programu programu

Ta część galerii ma pokazać użytkownikowi programu w jaki sposób wygląda dany model w działaniu. Modele obsługują się za pomocą kontrolerów ruchowych. W zależności od modelu interakcja wygląda trochę inaczej, szczegółowo każda zostanie omówiona w sekcji dotyczącej danego modelu.

3 Warstwa Programistyczna

3.1 Unreal Engine 4

Program był pisany w silniku Unreal Engine 4, z powodu że korzystam z tego silnika na codzień w swojej pracy. Sam silnik wspiera też bez większym problemom gogle VR, dzięki pluginowi stworzonemu przez twórców silnika. UE4 jest silnikiem wszechstronnym, czyli nie musi być wykorzystywany tylko do tworzenia gier. Sam silnik jest dość popularny wśród ludzi co oznacza, że w i nie tylko można znaleźć ogrom materiałów do pomocy przy projekcie. UE4 posiada wbudowany język skryptowy zwany Blueprint, opiera się głównie na blokach które łączą się między sobą. Głównym celem BP jest chęć zdobycia widowni wśród ludzi którzy na codzień nie programują i wolą patrzeć na coś miłego dla oka. Nody są podobne do tych wykorzystywanych w blenderze. Projekt w UE4 nie musi się opierać tylko na nodach, można też większość rzeczy pisać w C++.



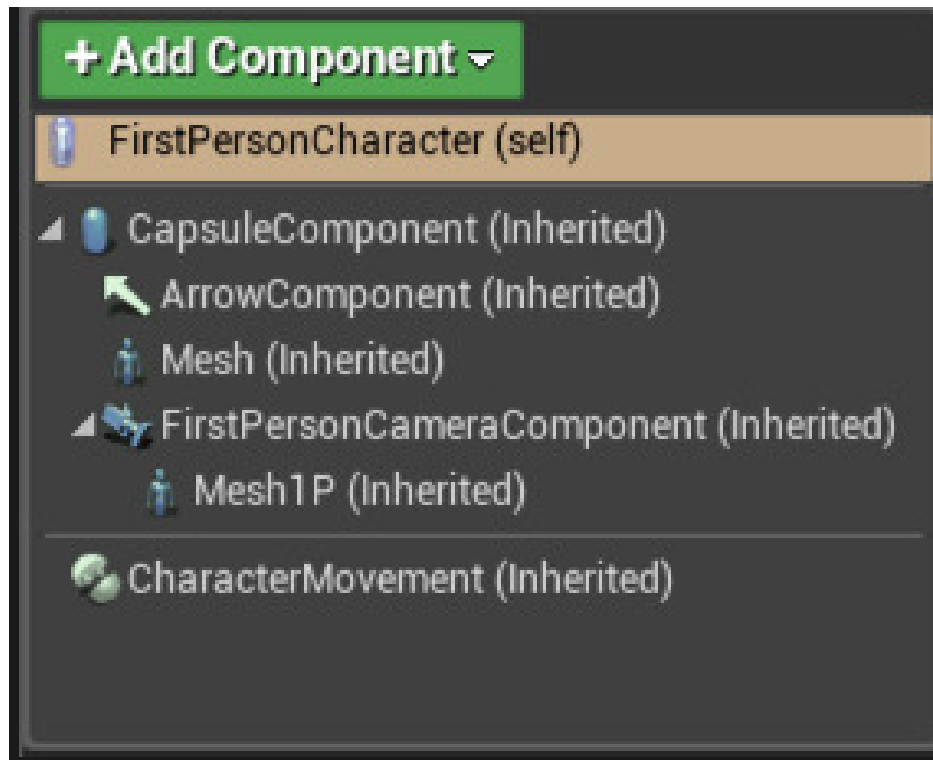
Rysunek 4: Przykładowy Blueprint w UE4

Sam w silnik pozwala też na tworzenie poziomów w prosty i intuicyjny sposób, poprzez przeciąganie interesującego nas obiektu bezpośrednio na ekran a następnie, na jego obracanie czy nachylenie. W edytorze możemy też uruchomić interesujący na poziom i zobaczyć czy wszystko działa tak jak należy. Możemy też edytować materiał dla meshy na poziomie w podobny sposób jak tworzymy klasy aktorów, czyli poprzez nody.

3.2 Język C++

UE4 pozwala też pisać klasy i funkcję w języku C++, a nie tylko w BP. Pisanie rzeczy C++ w UE4 nie różni się wiele od pisania w czystym C++, zaleca się oczywiście pisanie rzeczy odwołujących się do biblioteki unreala, co nie znaczy, że nie można niektóre pisać czysto w C++. Można oczywiście daną zmienną w klasie trzymać tylko w kodzie źródłowym, jeśli chcemy się odwołać do edytora UE4 i tam też coś robić musimy użyć specyfikator UPROPERTY przed zmienną i UFUNCTION przed funkcją. Specyfikatory mają też dostępne opcje dzięki którym możemy np. edytować daną zmienną w edytorze lub podczas działania aplikacji. Najważniejszymi funkcjami które dziedziczymy po klasach z biblioteki UE4 to Begin Play, Tick i EndPlay. BeginPlay uruchamia się kiedy dany aktor zostaje wywołany w czasie gry podczas spawnu. Tick jest wywoływany w każdym ticku życia aktora na poziomie. EndPlay jest wywoływany kiedy aktor kończy swój żywot. Danego aktora możemy zrobić czysto w C++ i tak samo go spawnować na levelu, ale lepiej jest stworzyć klasę dziedziczącą po nim w edytorze, stając się wtedy ona klasą BP którą możemy rozbudować o nową funkcję. Jeśli

w klasie C++ stworzymy odwołanie do actor componenta, specjalna funkcja (rozpisac co to), w klasie bp będzie widoczna jako odziedziczona po klasie C++.



Rysunek 5: W nawiasie informacja, że odziedziczone z po klasie bazowej

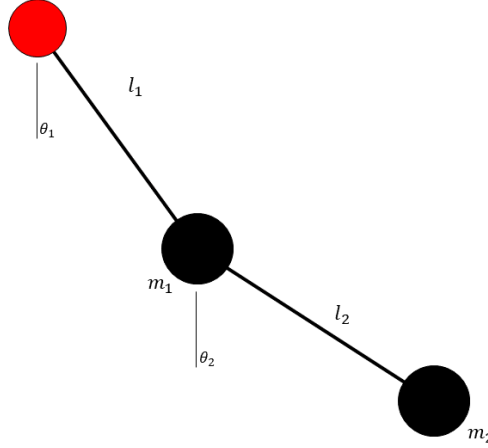
C++ pod względem działania funkcji jest szybszy od funkcji BP, więc z doświadczenia zalecam pisanie głównie w nim i dopiero w mniejszym stopniu tworzyć jakieś małe funkcje pomocnicze w BP.

3.3 Oculus Quest

Gogle VR z których korzystam to Oculus Quest 1. Aby komunikować się z nimi korzystam z oprogramowania stworzonego przez firmę Oculus, dzięki niemu mogę obsługiwać gogle na komputerze przez sieć WiFi, a nie przez podłączenie gogli po kablu do komputera. Gogle te nie potrzebują do pracy komputera, ponieważ są w pełni autonomiczne, cała technologia skrywa się w samych goglach, dzięki czemu nie są potrzebne stacje bazowe. Aby tworzyć programy na goglach nie trzeba się specjalnie męczyć, trzeba oczywiście stworzyć sterowania i komunikację ze światem wirtualnym przystosowanym specjalnie pod sterowanie ruchowe, oraz dostosować grafikę, aby ilość FPS nie spadała poniżej 72 i utrzymywała ją stale na tej wartości, dzięki temu nie ma większych problemów z chorobą symulatorową dla większości osób

4 Jakie modele się znajdują

4.1 Wahadło Podwójne



Rysunek 6: θ_1, θ_2 kąty swobodne, m_1, m_2 masy obiektów, l_1, l_2 długości pręta

Pierwszy model który umieściłem jest model wahadła podwójnego. Wahadło podwójne, jest wahadłem które ma przymocowane drugie wahadło na jego końcu. W wahadle tym punkty masy są na końcu każdego pręta o danej długości. Wahadła obracają się swobodnie w płaszczyźnie pionowej. Energię potencjalną wahadła podwójnego oblicza się jako odniesienie uniesionego wahadła do stanu zerowej energii potencjalnej w położeniu równowagi, Dlatego równanie ma następującą postać:

$$V = m_1 g l_1 (1 - \cos \theta_1) + m_2 g [l_1 (1 - \cos \theta_1) + l_2 (1 - \cos \theta_2)] \quad (1)$$

W celu sformułowania równania energii kinetycznej wykorzystamy wyprowadzenie współrzędnych x i y układu, które przedstawiono poniżej:

$$\begin{aligned} x_2 &= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 \\ y_2 &= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Po wyprowadzeniu i zsumowaniu wyrażeń możemy określić ostateczną postać energii kinetycznej:

$$K = \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \quad (3)$$

Najprostsze równanie Lagrange ma postać:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \theta_i} \right) = 0 \quad (4)$$

Korzystając z równań Lagrange i dokonując odpowiednich podstawień, możemy sformułować sprzężone równanie ruchu dla podanego układu:

$$\begin{aligned}\ddot{\theta}_1 &= -\frac{l_2}{\mu l_1} \ddot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \frac{l_2}{\mu l_1} \dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - \frac{g}{l_1} \sin \theta_1 \\ \ddot{\theta}_2 &= -\frac{l_1}{l_2} \ddot{\theta}_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \frac{l_1}{l_2} \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - \frac{g}{l_2} \sin \theta_2\end{aligned}\quad (5)$$

gdzie:

$$\mu = 1 + (m_1 + m_2) \quad (6)$$

Aby zdekomponować pojęcia przyspieszenia kąowego, podstawiamy je, wstawiając drugie równanie do pierwszego i odwrotnie, otrzymujemy:

$$\begin{aligned}\ddot{\theta}_1 &= \frac{g(\sin \theta_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \mu \sin \theta_1) - (l_2 \dot{\theta}_2^2 + l_1 \dot{\theta}_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_2)) \sin(\theta_1 - \theta_2)}{l_1(\mu - \cos^2(\theta_1 - \theta_2))} \\ \ddot{\theta}_2 &= \frac{g\mu(\sin \theta_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \sin \theta_2) - (\mu l_1 \dot{\theta}_1^2 + l_2 \dot{\theta}_2^2 \cos(\theta_1 - \theta_2)) \sin(\theta_1 - \theta_2)}{l_2(\mu - \cos^2(\theta_1 - \theta_2))}\end{aligned}\quad (7)$$

nowych zmiennych ω_1 i ω_2 pozwala na sformułowanie czterech równań co ułatwia rozwiązanie numeryczne:

$$\begin{aligned}\dot{\theta}_1 &= \omega_1 \\ \omega_1 &= \frac{g(\sin \theta_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \mu \sin \theta_1) - (l_2 \dot{\theta}_2^2 + l_1 \dot{\theta}_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_2)) \sin(\theta_1 - \theta_2)}{l_1(\mu - \cos^2(\theta_1 - \theta_2))} \\ \dot{\theta}_2 &= \omega_2 \\ \omega_2 &= \frac{g\mu(\sin \theta_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \sin \theta_2) - (\mu l_1 \dot{\theta}_1^2 + l_2 \dot{\theta}_2^2 \cos(\theta_1 - \theta_2)) \sin(\theta_1 - \theta_2)}{l_2(\mu - \cos^2(\theta_1 - \theta_2))}\end{aligned}\quad (8)$$

4.1.1 Wahadło podwójne - kod

W C++ kod wahadła składa się z trzech klas: Pendulum, PendulumSpawn, PendulumControl

W klasie Pendulum, wahadło podwójne jest stworzone z Spline, na podstawie danych pozycji X i Y jest aktualizowany co klatkę. Na początku wahadło podwójne jest tworzone na podstawie otrzymanych wartości w metodzie SetParameters

```
1 void SetParameters(double _theta0, double _length0, double _mass0, double
   _theta1, double _length1, double _mass1);
```

Na podstawie tych równań (8) stworzyłem metodę która obliczą theta wahadeł do obliczenia ich obecnej pozycji w programie:

```
1 void APendulum::computeAnglesEuler(float dt)
2 {
3     double u = 1 + mass0 + mass1;
```

```

4  theta0bis =
5      (g * (sin(theta1) * cos(theta0 - theta1) - u * sin(theta0))
6        - (length1 * pow(theta1prim, 2) + length0 * pow(theta0prim, 2) *
7          cos(theta0 - theta1)) * sin(theta0 - theta1))
8      / (length0 * (u - pow(cos(theta0 - theta1), 2)));
9  theta1bis =
10     (g * u * (sin(theta0) * cos(theta0 - theta1) - sin(theta1)) + (u *
11       length0 * pow(theta0prim, 2)
12       + length1 * pow(theta1prim, 2) * cos(theta0 - theta1)) * sin(theta0
13       - theta1))
14     / (length1 * (u - pow(cos(theta0 - theta1), 2)));
15
16  theta0prim = theta0prim + theta0bis * dt;
17  theta1prim = theta1prim + theta1bis * dt;
18
19  theta0 = theta0 + theta0prim * dt;
20  theta1 = theta1 + theta1prim * dt;
21 }

```

Następnie wyliczone wartości są wykorzystywane do obliczania pozycji wahadła w metodzie computePosition i aktualizowana jest w nim pozycja Spline:

```

1  void APendulum::computePosition()
2  {
3      x0 = px + length0 * FMath::Sin(theta0);
4      y0 = py + length0 * FMath::Cos(theta0);
5
6      x1 = x0 + length1 * FMath::Sin(theta1);
7      y1 = y0 + length1 * FMath::Cos(theta1);
8      auto Frector = GetActorLocation();
9      FVector StarPos1 = { Frector.X, px, py, };
10     FVector EndPos1 = { Frector.X, x0, y0, };
11
12     //FVector StarPos2 = { x0, y0, Frector.Z+150 };
13     FVector EndPos2 = { Frector.X, x1, y1, };
14
15     TArray<FVector> Path;
16     Path.Add(StarPos1);
17     Path.Add(EndPos1);
18     Path.Add(EndPos2);
19
20     FirstColumn->ClearSplinePoints(false);
21     int32 index = 0;
22     for (auto& Point : Path)
23     {
24         FVector LocalPosition = FirstColumn->GetComponentTransform().
25         InverseTransformPosition(Point);
26         FirstColumn->AddPoint(FSplinePoint(index, LocalPosition,
27         ESplinePointType::Constant), false);
28         index++;
29     }
30
31     FirstColumn->UpdateSpline();
32
33     int32 SegmentNum = Path.Num() - 1;
34     for (int32 i = 0; i < SegmentNum; ++i)
35     {

```

```

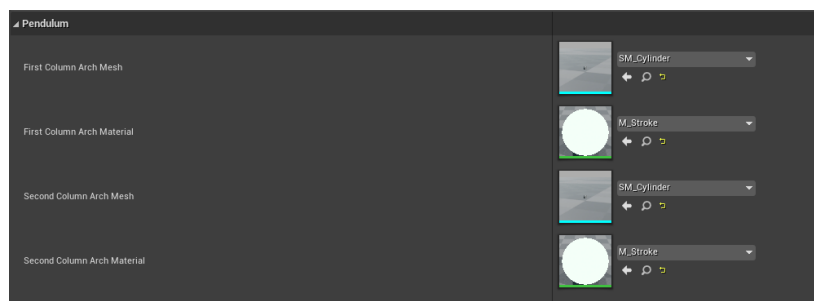
34     if (ColumnsPathMeshPool.Num() <= i)
35     {
36         USplineMeshComponent* SplineMesh = NewObject<USplineMeshComponent> (
37             this);
38         SplineMesh->SetMobility(EComponentMobility::Movable);
39         SplineMesh->AttachToComponent(FirstColumn,
40             FAttachmentTransformRules::KeepRelativeTransform);
41         SplineMesh->SetStaticMesh(FirstColumnArchMesh);
42         SplineMesh->SetMaterial(0, FirstColumnArchMaterial);
43         SplineMesh->RegisterComponent();
44
45         ColumnsPathMeshPool.Add(SplineMesh);
46     }
47
48     USplineMeshComponent* SplineMesh = ColumnsPathMeshPool[i];
49     SplineMesh->SetVisibility(true);
50
51     FVector StarPos, StartTangent, EndPos, EndTangent;
52     FVector Tangent = { 0,0,0 };
53     FirstColumn->GetLocalLocationAndTangentAtSplinePoint(i, StarPos,
54         StartTangent);
55     FirstColumn->GetLocalLocationAndTangentAtSplinePoint(i + 1, EndPos,
56         EndTangent);
57     SplineMesh->SetStartAndEnd(StarPos, Tangent, EndPos, Tangent);
58 }
59 }

```

Klasa PendulumSpawn jest odpowiedzialna za dodawanie i usuwanie wahadeł oraz jest odpowiedzialna za uruchamianie i resetowanie wszystkich aktualnych wahadeł na scenie. Klasa ma też wskaźnik na klasę PendulumControl która ta jest odpowiedzialna za stworzenie UI dzięki któremu użytkownik może obsługiwać wahadła.

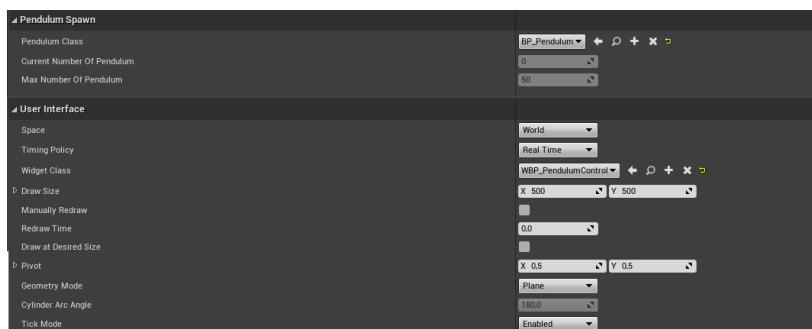
4.1.2 Wahadło podwójne UE4

Na podstawie powyższych klas zostały stworzone klasy Blueprintowe które można potem umieścić w na poziomie w programie. BP-Pendulum ma tylko informację o tym jak Spline ma wyglądać w świecie gry:



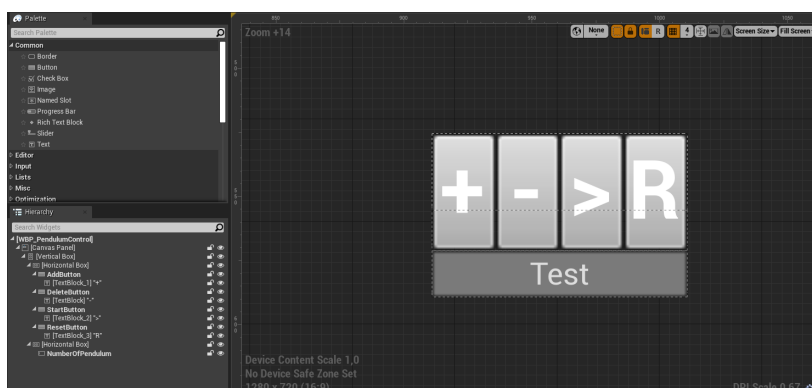
Rysunek 7: Ustawiony mesh i tekstura dla wahadła

BP-PendulumSpawn jest aktorem który zostaje umieszczony na poziomie, trzeba tylko ustawić w nim informację o wahadle które chcemy stworzyć na poziomie oraz



Rysunek 8: Ustawione wahadło do stworzenia i widget

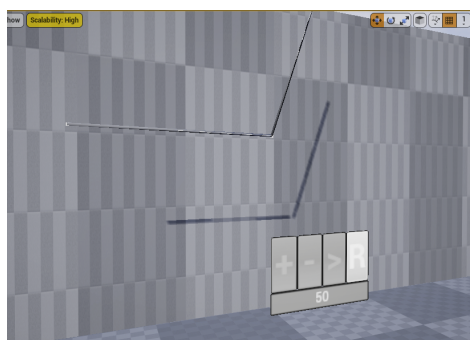
Klasa WBP-PendulumControl jest odpowiedzialna kontakt między użytkownikiem a programem, klasa ta jest widgetem dzięki któremu poprzez najechanie kontrolerem ruchowym na odpowiednie opcje możemy dodać lub usunąć wahadło oraz włączyć lub zresetować wszystkie wahadła podpięte pod dany spawner



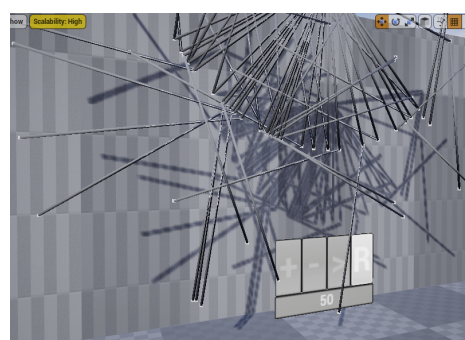
Rysunek 9: Wygląd widgetu w programie

4.1.3 Wygląd w programie

W programie wahadło wygląda następująco:



(a) Wahadła na początku symulacji



(b) Wahadła na końcu symulacji

Rysunek 10: Działanie programu

4.2 Gra w życie

4.2.1 Gra w życie - kod

4.3 Motyl

4.3.1 Motyl - kod

4.4 Model Agentowy

4.4.1 Model Agentowy - kod

4.5 Boids

4.5.1 Boids - kod

5 Realizacja projektu

6 Wnioski

Literatura

- [1] Steam. Ankieta używanego sprzętu na steam.
<https://store.steampowered.com/hwsurvey>. [].
- [2] Sony. Zapowiedź PlayStation VR2.
<https://www.playstation.com/pl-pl/ps-vr2/>. [].
- [3] VRcompare. Compare Oculus Quest and Oculus Quest 2.
<https://vr-compare.com/compare?h1=pDTZ02PkT&h2=GeZ01ojF8>. [].
- [4] IDC. AR/VR Headset Shipments Grew Dramatically in 2021.
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48969722>. [].
- [5] IDC. Choroba Symulatorowa.
<https://vrpolska.eu/skad-sie-bierze-choroba-symulatorowa/>. [].

kolor blue: rozpisać

kolor red: edytować i może dodać

kolor green: wymyślić co dodać