

HOGESCHOOL ROTTERDAM

**Hoe realiseren we een ontwikkel
omgeving waarin niet-programmeurs,
zoals 3D artiesten en level designers,
efficint unieke virtual reality ervaring
kunnen creeren in Unreal Engine 4**

door

Mark Arts

Een scriptie geschreven voor het halen van de
bachelor of science Mediatechnologie

voor
Mediatechnologie
Instituut voor Communicatie Media en Informatietechnologie

28 april 2016

“I choose a lazy person to do a hard job. Because a lazy person will find an easy way to do it.”

Bill Gates

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Abstract

Mediatechnologie

Instituut voor Communicatie Media en Informatietechnologie

Bachelor of Science

door **Mark Arts**

The Thesis Abstract is written here (and usually kept to just this page). The page is kept centered vertically so can expand into the blank space above the title too...

Inhoudsopgave

Abstract

ii

1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doelstelling	2
1.3 Onderzoeksvoag	2
1.3.1 Hoofdvraag	2
1.3.2 Deelvragen	2
1.3.3 Onderzoeksmethoden	3
1.3.3.1 Hoe kan er een koppeling met Virtual Scripting gemaakt worden die intutief is voor niet programmeurs?	3
1.3.3.2 Welke componenten zullen gemaakt moeten worden?	3
1.3.3.3 Is het mogelijk de componenten cross-platform te maken?	3
2 Visual Scripting	5
2.1 Use Case's	6
2.2 Gameplay Logica	6
2.2.1 Het afvuren van een projectiel	6
2.2.1.1 Tekstuele Implementatie	6
2.2.1.2 Visuele Implementatie	8
3 Unreal Engine 4	10
3.1 Waarom de Unreal Engine 4	10
3.1.1 Unity	11
3.1.1.1 Licentie	11
3.1.1.2 Oculus en GearVR ondersteuning	11
3.1.1.3 Virtual Scripting	11
3.1.1.4 Gebruiksgemak	11
3.1.2 CRYENGINE	12
3.1.2.1 Licentie	12
3.1.2.2 Oculus en GearVR ondersteuning	12
3.1.2.3 Visual Scripting	12
3.1.2.4 Gebruiksgemak	12
3.1.3 Unreal Engine 4	12
3.1.3.1 Licentie	12
3.1.3.2 Oculus en GearVR ondersteuning	13
3.1.3.3 Visual Scripting	13

3.1.3.4	Gebruiks gemak	13
3.1.3.5	Conclusie	13
3.2	Blueprints	14
4	Blueprints en C++	15
4.1	Gameplay	15
4.1.1	Wanneer	15
4.1.1.1	C++	16
4.1.1.2	Blueprints	17
4.1.2	Wat	18
4.1.2.1	Conditionele Logica	18
4.1.3	Hoe	20
4.1.4	Onderhoud en Performance	21
4.1.4.1	Onderhoud	21
4.1.4.2	Performance	21
4.1.5	Conclusie	22
4.2	Workflow	22
4.3	Versie Controle	24
5	VRInteractions	25
5.1	De plugin	25
5.2	Gamemodes	26
5.2.1	VRInteractionsGameMode	26
5.2.2	VRInteractionsFlyTroughGameMode	27
5.3	Characters	27
5.3.1	VRInteractionBaseCharacter	27
5.3.2	VRInteractionCharacter	27
5.3.3	VRInteractionsFlyCharacter	28
5.4	VRInteractionsPlayerController	28
5.5	VRInteractionsCameraManager	28
5.6	VRInteractionsHud	28
5.7	LookEventsComponent	29
5.7.1	Implementatie	29
5.7.2	Events	30
5.7.3	Instelling	31
5.7.3.1	Seen en UnSeen trigger	31
5.7.4	Debugging	32
5.8	CircleMenu	33
5.9	VRMovableMesh	33
A	Workshop 1	34
A.1	Doele	34
A.2	Best practises	34
A.2.1	Ontwikkeling voor mobiel	35
A.3	Workshop	36
A.4	Reflectie	36

B Workshop 2	38
B.1 Doel	38
B.2 Opdrachten	38
B.2.1 Opdracht 1	38
B.2.2 Opdracht 2	39
B.2.3 Opdacht 3	39
B.2.4 Opdracht 4	39
B.3 Resultaten	40
B.4 Reflectie	41
C Workshop 3	43
C.1 Doel	43
C.2 Opdrachten	43
C.2.1 Opdracht 1	44
C.2.2 Opdracht 2	44
C.2.3 Opdracht 3	45
C.2.4 Opdracht 4	46
C.3 Reflectie	47
D Implementatie voorbeeld speler Unreal Engine 4	48
E Conditional logic van Tick functie van LookEvents in c++	54
F Conditional logic van Tick functie van LookEvents in Blueprints	56
G Orintatie Interview	57
G.1 Doel	57
G.2 Interview	58
G.3 Enquote	59
Bibliografie	64

Acronyms

HUD Head-up Display. 28

UE4 Unreal Engine 4. 1, 2, 6, 10–14, 21, 24–27, 30–32, 37

VR Virtual Reality. 1, 2, 5, 6, 10, 13, 25–27

VS Visual Scripting. 1–3, 5, 11–13, 16

Hoofdstuk 1

Inleiding

In een periode van 18 weken zal ik proberen een reeks van basis componenten voor de Unreal Engine 4 (UE4) te ontwikkelen waarmee niet-programmeurs efficiënt interactie aan Virtual Reality (VR) demos kunnen toevoegen.

De UE4 zal gebruikt worden omdat deze een uitgebreid Visual Scripting (VS) systeem heeft die het makkelijk maakt om simpele logica, zoals wanneer en waar iets moet plaats vinden, makkelijk uit te drukken. Het VS systeem maakt het mogelijk voor niet-programmeurs om simpele logica zelf toe te voegen zonder dat hier een programmeur voor nodig is. Naast een efficiëntere workflow maakt dit het ook makkelijk om als designer, 3D artist te experimenteren.

1.1 Probleemstelling

Momenteel is het toevoegen van interactieve elementen in VR een intensieve programmeer taak omdat het vaak ontwikkeld wordt voor een specifieke use case. Het is daardoor vaak lastig om de geprogrammeerde logica te hergebruiken in een ander project.

Hierdoor is er altijd een programmeur nodig om de gewenste functionaliteit toe te voegen of aan te passen. Vooral in gameontwikkeling zijn er veel sprongen gemaakt in het oplossen van dit probleem. Een van deze oplossingen is het gebruik van VS om interactie in een spel te programmeren. Er zijn hier al veel sprongen in gemaakt maar het implementeren van VR gerelateerde componenten is nog niet standaard aanwezig.

1.2 Doelstelling

Het creeren van een reeks basis componenten voor UE4 waarmee niet programmeurs interactieve VR demos kunnen maken die toegevoegde waarde hebben aan de workflow van DPI.

Aan het eind van dit traject zal het mogelijk zijn om met de gemaakte componenten een bestaande omgeving zonder programmeren geschikt te maken voor VR en om een nieuwe omgeving op te zetten zonder behulp van een programmeur.

1.3 Onderzoeksvraag

1.3.1 Hoofdvraag

Hoe realiseren we een ontwikkel omgeving waarin niet-programmeurs, zoals 3D artists en level designers, efficiënt unieke VR ervaring kunnen creeren in UE4.

1.3.2 Deelvragen

- Hoe kan er een koppeling met VS gemaakt worden die intutief is voor niet programmeurs.
 - Wat is de huidige kennis van computer logica onder de werknemers van DPI
 - Is er extra training nodig om met de ontwikkel omgeving aan de slag te gaan
- Welke componenten zullen gemaakt moeten worden?
 - Wat zijn de huidige taken van een programmeer in het maken van een Virtuele omgeving
 - Welke tools bestaan er all
 - Wat zijn de juiste abstracties van de componenten
- Is het mogelijk de componenten cross-platform te maken
 - Welke platformen zijn relevant?
 - Wat zijn de verschillende mogelijkheden van deze platformen

1.3.3 Onderzoeksmethoden

1.3.3.1 Hoe kan er een koppeling met Virtual Scripting gemaakt worden die intutief is voor niet programmeurs?

De hoeveelheid abstractie van de componenten zijn afhankelijk van de bestaande intutie voor programmeren. Als een gebruiker namelijk snapt hoe de als dit dan dat constructie werkt kan er meer vrijheid in de componenten gecreerd worden.

Als eerst zal er onderzocht moeten worden wat de huidige kennis is van de niet-programmeurs. Dit kan door middel van interviews en een aantal vragen.

Vervolgens zal er onderzocht moeten worden wat een haalbaar moeilijkheidsgraad is en of er baat is van een extra training voor de niet-programmeurs.

Als er sprake is van toegevoegde waarde van een extra training dan zal deze parallel aan het project gegeven worden en iteratief ontwikkeld.

1.3.3.2 Welke componenten zullen gemaakt moeten worden?

Dit zal beginnen met een onderzoek naar de huidige taken van een programmeur tijdens het maken van een virtuele reality omgeving. Aan de hand hiervan zal er gekeken worden welke taken geautomatiseerd kunnen worden of versimpeld naar VS.

Als er een duidelijk beeld is van de benodigde componenten zal er een onderzoek gedaan worden naar bestaande tools die ingezet kunnen worden om de workflow te verbeteren.

Als het duidelijk is welke componenten zelf geschreven moeten worden en hoeverre de niet-programmeurs met VS om kunnen gaan kan er bepaald worden welke abstractie de componenten zo breed inzetbaar mogelijk houd terwijl het intutief blijft voor de niet-programmeurs

1.3.3.3 Is het mogelijk de componenten cross-platform te maken?

Er zal hier onderzocht moeten worden welke platformen relevant zijn en wat de mogelijkheden voor elk platform is.

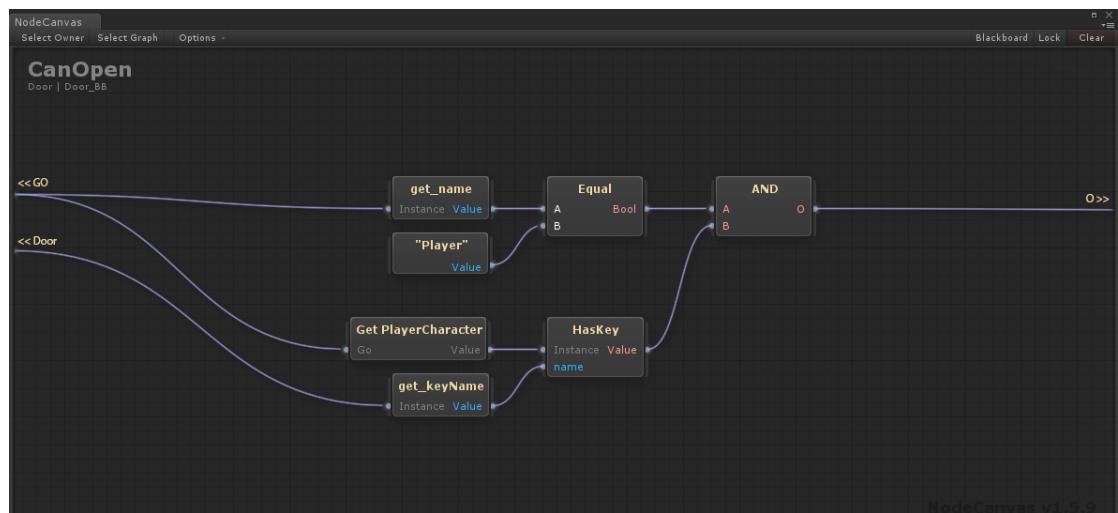
Er zal daarna een beslissing gemaakt moeten worden voor elk component of het een alternatieve versie moet hebben of dat cross-platform in het component zelf meegenomen kan worden.

Hoofdstuk 2

Visual Scripting

In dit hoofdstuk word een introductie gegeven van een visuele programmeer taal. Daarna word er als voorbeeld een vergelijking gemaakt tussen C++ en een visuele taal.

VR maakt het mogelijk om logica op een visuele manier in plaats van tekstueel te schrijven. Er is minder kennis van de onderliggende werking van computer systemen nodig dan voor tekstueel programmeren [?]. Hierdoor kan er zonder kennis van computers en hun werking al snel mee gewerkt worden door niet programmeurs.



FIGUUR 2.1: Voorbeeld van een visuele script taal.

Daarnaast word de mogelijkheden van de visuele programmeer taal ook vaak gelimiteerd om het de gebruiker makkelijker te maken en het programma te beschermen van de gebruiker. Meestal als de limitaties van VS een probleem worden had de logica beter in een tekstuele taal geschreven kunnen worden.

2.1 Use Case's

Door de jaren heen zijn er voor verschillende doeleinden visuele programmeer talen gemaakt. Een aantal voorbeelden zijn

- Data flow in applicaties
- State flow voor onder andere animaties
- Geluids effecten programmeren
- Gameplay Logica
- Programmeren leren aan beginners

In deze scriptie word er gefocust op het gebruik van VR voor gameplay logica.

2.2 Gameplay Logica

Het programmeren van gameplay in een spel bestaat voor een groot gedeelte uit de vragen Wanneer moet iets gebeuren, Wat moet er gebeuren en Hoe moet dit gebeuren. De vragen Waarom moet iets gebeuren en Waar moet dit gebeuren komen het meeste voor in de gameplay logica van een spel, vaak hebben deze vragen ook een makkelijk antwoord. Helaas zijn deze vragen lastig om te beantwoorden in tekstuele code.

2.2.1 Het afvuren van een projectiel

Een voorbeeld van deze drie vragen in code is als volgt, voor het voorbeeld laten wij de logica zien van het schieten van een projectiel in c++ gebaseerd op het standaard voorbeeld van een speler uit de UE4.

2.2.1.1 Tekstuele Implementatie

In een c++ header bestand registreren wij de volgende functie in onze speler classe.

```
1 void OnFire();
```

LISTING 2.1: Registratie van de OnFire functie

Dan tijdens het opzetten van de input voor ons karakter laten we weten wanneer we een projectiel willen schieten.

```
1 if( EnableTouchscreenMovement( InputComponent ) == false )
{
3   InputComponent->BindAction(
4     "Fire",
5     IE_Pressed,
6     this,
7     &Adpi_unreal_colosseumCharacter::OnFire
8   );
9 }
```

LISTING 2.2: Koppelen van de Fire actie aan de OnFire functie

Maar omdat de fire actie niet werkt op een touch interface moeten we de onfire zelf afvuren als iemand het scherm aanraakt (De logica achter het registeren van touch events word niet getoond maar is wel aanwezig in de speler klasse).

```
1 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::EndTouch( const ETouchIndex::Type
2   FingerIndex, const FVector Location )
3 {
4   if( TouchItem.bIsPressed == false )
5   {
6     return;
7   }
8   if( ( FingerIndex == TouchItem.FingerIndex ) && ( TouchItem.bMoved ==
9     false ) )
10  {
11    OnFire();
12  }
13  TouchItem.bIsPressed = false;
14 }
```

LISTING 2.3: Aanroepen van de OnFire functie tijdens het EndTouch event

Vervolgens definieren we OnFire als volgt

```

1 void Adpi_unreal_colosseumCharacter :: OnFire()
2 {
3     // try and fire a projectile
4     if (ProjectileClass != NULL)
5     {
6         const FRotator SpawnRotation = GetControlRotation();
7         // MuzzleOffset is in camera space, so transform it to world space
8         before offsetting from the character location to find the final muzzle
9         position
10        const FVector SpawnLocation = GetActorLocation() + SpawnRotation.
11        RotateVector(GunOffset);
12
13        UWorld* const World = GetWorld();
14        if (World != NULL)
15        {
16            // spawn the projectile at the muzzle
17            World->SpawnActor<Adpi_unreal_colosseumProjectile>(ProjectileClass,
18            SpawnLocation, SpawnRotation);
19        }
20    }
21
22    // try and play the sound and fire animation if specified
23    ...
24}

```

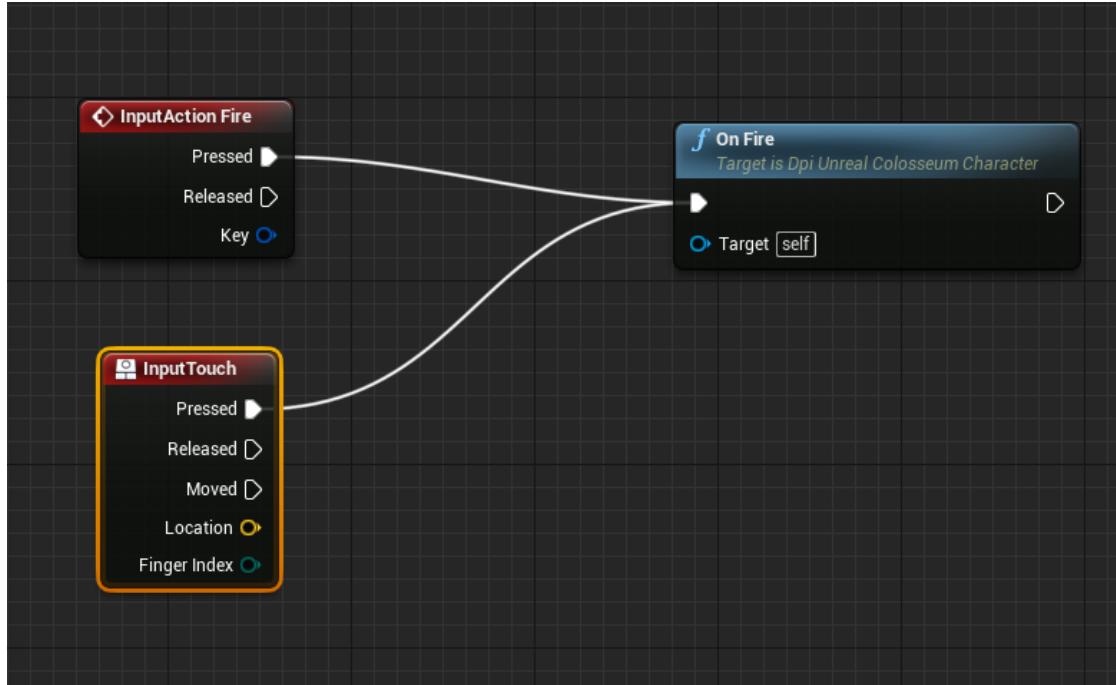
LISTING 2.4: Implementatie van de OnFire functie

Om de logica te implementeren voor het vuren vuren van de kogel hebben wij nu op vier verschillende plekken de logica moeten verspreiden, hiervan zit de implementatie verspreid in een bestand van 218 regels D.

2.2.1.2 Visuele Implementatie

De Hoe moet dit gebeuren is een complexe vraag die prima beantwoord word in code. Vooral omdat er verschillende logica achter elkaar plaatsvind, geluid afspelen / animatie starten, en een aantal wiskundige berekeningen.

Maar de Wanneer vraag is makkelijk te beantwoorden. Namelijk als de fire actie uitgevoerd word of als er op het scherm gedrukt word. De logica in blueprints ziet er als volgt uit (in de event graph van een playerCharacter).



FIGUUR 2.2: Afvuren van een projectiel in Blueprints.

In tegenstelling tot de c++ code is de logica van de Wanneer vraag dit maal niet verspreid en is het in een oog opslag duidelijk wat er voor zorgt dat er een projectiel geschoten word.

Hoofdstuk 3

Unreal Engine 4

In dit hoofdstuk word de keuze voor UE4 uitgelegd en een vergelijking gemaakt met andere engine's. Ook word een korte introductie gemaakt voor Blueprints.

3.1 Waarom de Unreal Engine 4

Tijdens het kiezen van een Engine waren er drie rand voorwaarden namelijk

1. gratis voor educatie, of goedkoop genoeg voor DPI om aan te schaffen
2. Oculus en GearVR ondersteuning
3. Een VR systeem

De volgende Engines zijn naar gekeken

- Unity
- CRYENGINE
- Unreal Engine 4

3.1.1 Unity

3.1.1.1 Licentie

Unity heeft een educatie licentie waaronder het grootste gedeelte van de engine gratis gebruikt kan worden maar rekening houdend met de interesses van DPI, en eventuele vervolg projecten die zei willen ondernemen, zal de licentie minimaal 75 per maand worden met daar de koste van Android builds bij.

3.1.1.2 Oculus en GearVR ondersteuning

Van de drie engines heeft Unity de meest uitgebreide platform support. Daarnaast is Unity vaak een van de eerste keuzes om nieuwe technieken mee te implementeren. De reden achter deze keuze is het gemak waarop plugins gemaakt kunnen worden en de voordelige / gratis pricing van Unity wat het een populaire keuze maakt voor experimenteren.

3.1.1.3 Virtual Scripting

Unity heeft zelf niet een ingebouwd VS systeem maar via een aantal plugins kan dit wel worden toegevoegd. Deze plugins zitten wel vast aan de limitaties van een Unity plugin. Daarnaast word dit niet officieel gesupported door Unity zelf.

3.1.1.4 Gebruiksgemak

Op gebruiksgemak, in serieuze projecten, fidelity en performance loopt Unity ver achter op de UE4 en CryEngine. Onderhoudbaar en uitbreidbaarheid van Unity is meestal rampzalig door de manier waarop code voor Unity geschreven word. Vaak is Unity daarom ook niet de keuze voor grote games van hoge kwaliteit.

Het programmeren word namelijk in een component style in c-sharp gedaan. Het programmeren in c-sharp is voor veel mensen fijn omdat dit vaak een bekende taal is. Maar het component systeem en de manier waarop Unity relaties afhandelt zorgt dat er extreem snel spaghetti code ontstaat.

3.1.2 CRYENGINE

3.1.2.1 Licentie

De CRYENGINE licentie bestaat uit een Pay what you want model. Daarnaast bied Crytek een CRYENGINE Insider Membership aan voor 50 of 150.

3.1.2.2 Oculus en GearVR ondersteuning

Op het moment van schrijven ondersteund de CRYENGINE wel de Oculus maar niet de GearVR. Android ondersteuning is mogelijk maar niet officieel ondersteund door Crytek. Dit zal het lastig maken om GearVR te ondersteunen.

3.1.2.3 Visual Scripting

De CRYENGINE heeft een ingebouwd VS systeem genaamd Flow. Dit systeem heeft helaas geen ondersteuning voor overerving en de koppeling met c++ bestaat alleen uit het maken van nieuwe nodes en het aanspreken van graphs in c++.

3.1.2.4 Gebruiksgemak

De CryEngine staat bekend als een moeilijke Engine om in te beginnen maar heeft ondertussen bewezen een goede keuze te zijn voor game ontwikkelaars en grotere teams.

Door het gebrek aan persoonlijke ervaring kan ik hier minder over zeggen. Maar door het gebrek aan GearVR ondersteuning is er hier niet meer in verdiept.

3.1.3 Unreal Engine 4

3.1.3.1 Licentie

Het gebruik van de UE4 is compleet gratis voor educatie en niet-game applicaties zoals architectuur, visualisatie, films etc. Dit betekend dat zowel tijdens het afstuderen als mogelijke vervolg projecten van DPI er geen licentie kosten betaald hoeven te worden.

3.1.3.2 Oculus en GearVR ondersteuning

UE4 ondersteund zowel de Oculus als Gear VR. Daarnaast ondersteund het ook de meeste randapparatuur voor VR zoals Leap Motion en Kinect. Updates hiervoor komen vaak wel later dan voor Unity.

3.1.3.3 Visual Scripting

Unreal heeft een uitgebreid VS systeem wat nauw samenwerkt met c++. Alle functies die in c++ beschikbaar zijn zijn beschikbaar via Blueprints. Van elke Blueprint kan ook direct de source code ingesprongen worden, zelfs voor de functies uit de UE4 libraries.

Het koppelen van c++ aan Blueprints is vrij simpel en ondersteund ook het creren van events in c++ en functionaliteit hieraan via Blueprints te koppelen.

3.1.3.4 Gebruiks gemak

De leer curve van UE4 is redelijk stijl maar binnen een paar weken is het mogelijk de belangrijkste te leren. Een punt om rekening mee te houden is dat het zomaar iets maken in de UE4 vaak verkeerd uitpakt. Daarom is het belangrijk de documentatie, van het onderdeel waar je mee bezig bent, goed te lezen.

Als de basis principes eenmaal onder de knie zijn kan er extreem snel ontwikkeld, en geprototyped, worden met de UE4 door de implementatie van VS en een strakke en goed uitgedachte UI.

3.1.3.5 Conclusie

De CRYENGINE valt af vanwege zijn gebrek aan GearVR support. Dan blijft de keuze over tussen Unity en UE4. Untiy heeft een minder style learning curve maar geavanceerde 3D technieken zullen uiteindelijk toch geleerd moeten worden om een hoge kwaliteit te behalen.

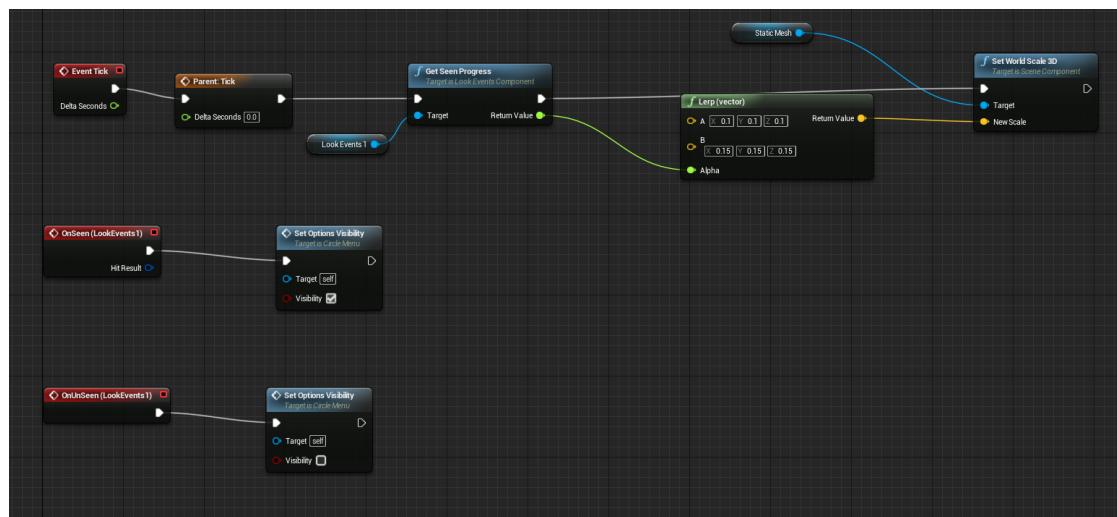
Het visuele scripting systeem van Unity is beperkt en mist de kracht en flexibiliteit die nodig is om deze scriptie succesvol af te ronden. Daar in tegen beid het visuele scripting systeem van UE4 wel deze mogelijkheden.

3.2 Blueprints

Blueprints is het visuele scripting systeem van UE4 en wat deze scriptie mogelijk maakt. De beschrijving van Unreal zelf is als volgt:

Blueprints are special assets that provide an intuitive, node-based interface that can be used to create new types of Actors and script level events; giving designers and gameplay programmers the tools to quickly create and iterate gameplay from within Unreal Editor without ever needing to write a line of code.

Blueprints ziet er als volgt uit:



FIGUUR 3.1: Voorbeeld van een Blueprint.

Een hele kort samenvatting zou zijn dat de rode nodes Events zijn en dus aangeven wanneer iets gebeurd, de witte lijnen bepalen de volgorde waarin de nodes worden uitgevoerd, de blauwe nodes zijn functies en de rest zijn variabelen of pure transformatie van data.

Hoofdstuk 4

Blueprints en C++

In dit hoofdstuk word gameplay logica in drie aspecten verdeeld en word voor elk aspect naar de voor en nadelen van C++ en Blueprints gekeken.

Aan de hand van deze vergelijkingen word een workflow gekozen voor het programmeren van deze logica waarin wij het beste uit C++ en Blueprints proberen te combineren.

4.1 Gameplay

Om de scheiding tussen c++ en Blueprints concreet te maken verdelen wij gameplay logica in de volgende vragen:

- Wanneer moet iets gebeuren
- Wat moet er gebeuren
- Hoe moet dit gebeuren

Door deze scheiding wordt het makkelijker om de keuze tussen een C++ en een Blueprint implementatie te maken en kunnen er een aantal richtlijnen opgezet worden.

4.1.1 Wanneer

De wanneer vragen zijn vaak makkelijk te beantwoorden, bijvoorbeeld als de speler geraakt word door een projectiel wil ik dat geluid x afgespeeld word, maar moeilijk te

coderen door hun asynchrone natuur. Een van de krachtigste voordelen van VS is dat de flow van een programma uitgedrukt kan worden door middel van de lijnen tussen nodes.

Om het verschil tussen asynchrone logica in C++ en blueprints duidelijk te maken implementeren wij hieronder het afspeLEN van een geluid nadat een speler dood gaat.

4.1.1.1 C++

We registeren eerst een functie die aangesproken kan worden door de timeout en het geluid wat afgespeeld word in de header van de character.

```

1  /** Plays a sound x seconds after the death of the player*/
2  void AfterDeathSoundTimeOut();
3
4  /** Sound to play each time we fire */
5 UPROPERTY(EditAnywhere, BlueprintReadWrite, Category=Gameplay)
6 class USoundBase* DeathSound;

```

LISTING 4.1: Registratie van de timeout functie en het geluid

Vervolgens word deze functie gIMPLEMENTEERD in de character.cpp

```

void Adpi_unreal_colosseumCharacter :: AfterDeathSoundTimeOut()
{
    UGameplayStatics :: PlaySoundAtLocation( this , FireSound , GetActorLocation()
);
}

```

LISTING 4.2: Registratie van de timeout functie en het geluid

En word de timeout voor het geluid gezet tijdens het doodgaan van de speler.

```

void Adpi_unreal_colosseumCharacter :: OnDeath( const FDeathReason Reason )
{
    // death logic
    ...
}

FTimerHandle UnusedHandler= FTimerHandle();
GetWorld ()->GetTimerManager () . SetTimer(
    UnusedHandler ,
    this ,
    &Adpi_unreal_colosseumCharacter :: AfterDeathSoundTimeOut ,

```

```

12     );
}

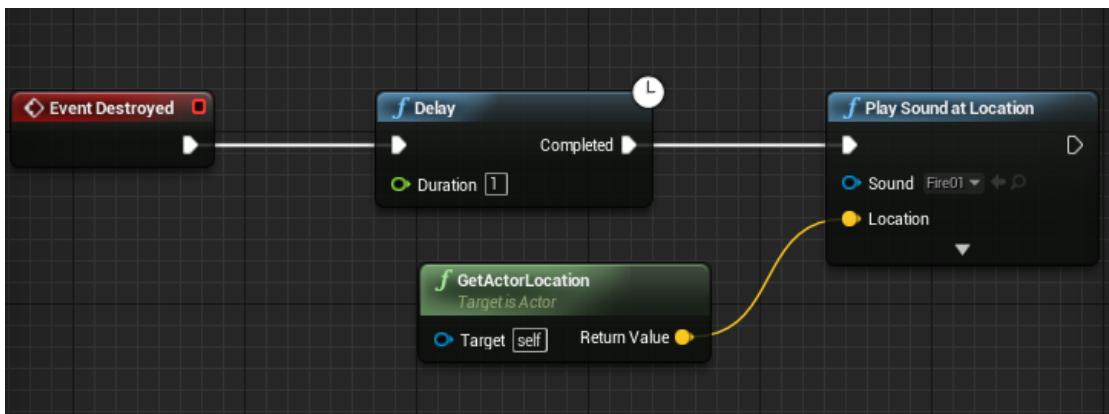
```

LISTING 4.3: Implementatie van de OnDeath functie

We zien hier dat de gerelateerde code op drie verschillende plekken komt te staan, tussen niet relevante code in. Pas na het lezen van de code op deze drie plekken wordt het duidelijk wat de complete functionaliteit is. Er zijn hier natuurlijk hulpmiddel voor zoals opmerkingen boven code te plaatsen maar bij elke extra taak die, asynchroon, uitgevoerd moet worden word de code complexer en moeilijker te begrijpen. De lezer moet namelijk alle gerelateerde functionaliteit in zijn geheugen hebben.

4.1.1.2 Blueprints

In Blueprints zou deze logica er als volgt uit zien:



FIGUUR 4.1: Afspelen van een geluid na het doodgaan van de speler in Blueprints.

In de blueprint implementatie is het in een oog opslag duidelijk dat er een geluid afgespeeld word op de locatie van de speler een seconde nadat deze deze dood gaat. De logica bevindt zich op de dezelfde plek en de witte lijnen geven de flow van de logica aan.

Een ander groot verschil dat we hier zien is dat er voor iets simpels als een vertraging in tekstuele code naast de standaard kennis van de C++ syntax ook kennis nodig is van de volgende concepten:

- Pointers

- Pass by reference
- Function references
- Namespaces
- Out parameters (de UnusedHandler)
- Floats
- Types
- Macros.

Terwijl in Blueprints all deze concepten verborgen zijn in de nodes. Het verbergen van de onderliggende werking van functionaliteit is een thema wat vaker terugkomt in programmeren en wordt aangemoedigd. Het verbergen van deze logica heeft als gevolg dat er zonder programmeer kennis de wanneer logica gplementeerd kan worden.

4.1.2 Wat

Het plaatsen van de wat logica in Blueprints of c++ is lastiger om te bepalen. Voor logica die de niet-programmeurs schrijven is c++ geen optie en moet dit wel in Blueprints maar voor programmeurs moet er een afweging gemaakt worden.

Het probleem ontstaat voornamelijk bij complexe conditionele logica.

4.1.2.1 Conditionele Logica

Als we de conditionele logica van het afvuren van de events van een LookEventsComponent[zie hoofdstuk ?] in c++ en blueprints met elkaar vergelijken.

- Bijlage 1: Tick functie van de LookEventsComponent [E](#)
- Bijlage 2: Conditional logic van Tick functie van LookEvents in Blueprints [F](#)

Zijn beide varianten moeilijk te lezen. Voor iemand die niet codeert ziet de Blueprints variant er waarschijnlijk begrijpbaarder uit maar de complexiteit komt voornamelijk door

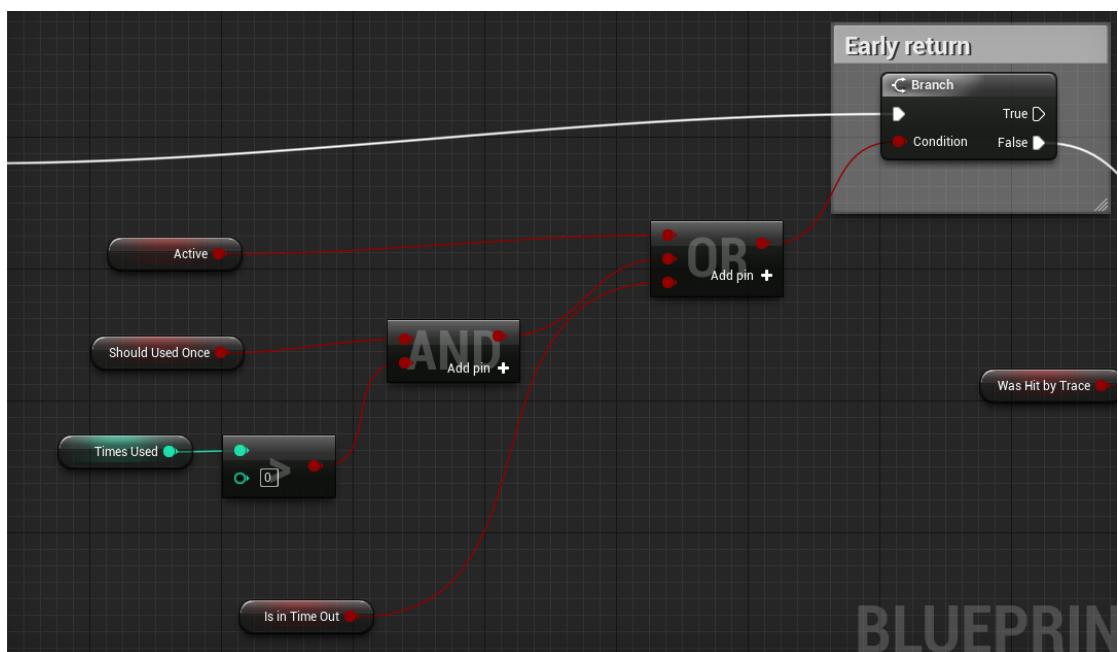
de logica zelf en in tekstuele code zijn er een aantal manieren om dit soort constructies kleiner te maken zoals:

```

1 if (bActive != true || (bShouldUsedOnce && TimesUsed > 0) || bIsInTimeOut
2     == true)
3 {
4     return;
5 }
```

LISTING 4.4: Early return in een complexere if statement in c++

In vergelijking met



FIGUUR 4.2: Early return in een complexere if statement in Blueprints.

Een ander voorbeeld is de volgende functie die bepaald of de trigger van een LookEventsComponent onderdeel was van een trace.

```

FHitResult ULookEventsComponent :: WasHitByTrace( const TArray<FHitResult>
    HitResults )
2 {
3     UObject* Trigger = (bIsBeingWatched) ? UnSeenTrigger : SeenTrigger ;
4
5     for (auto& HitResult : HitResults )
6     {
7         UObject* HitObject = (Trigger->IsA(AActor::StaticClass()) ) ? Cast<
8             UObject>(HitResult.GetActor() ) : Cast<UObject>(HitResult.GetComponent()
9             ) ;
```

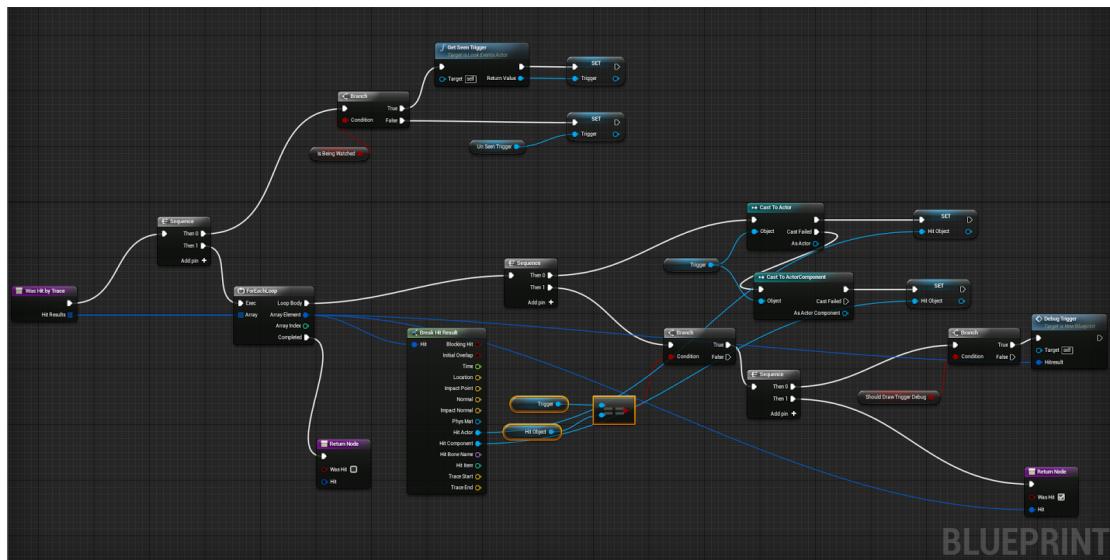
```

8
if (HitObject == Trigger)
{
10
    if (bShouldDrawTriggerDebug) {
        DebugTrigger(HitObject, 0.1f);
    }
14
    return HitResult;
}
16
}
18
return FHitResult();
}

```

LISTING 4.5: Een functie die kijkt of de huidige component geraakt is door een trace

In vergelijking met:



FIGUUR 4.3: Een Blueprint die kijkt of de huidige component geraakt is door een trace.

Voor complexe conditionele logica is C++ sneller te begrijpen en geeft meer mogelijkheden om dit te versimpelen.

4.1.3 Hoe

Met de hoe vraag word de interne werking van een functionaliteit bedoelt waaronder ook de integratie met de rest van het programma, denk aan integratie met de rest van de engine, lifecycles, overerving en performance.

Complexe algoritmes zijn altijd makkelijker in C++ voor zowel leesbaarheid als onderhoudbaarheid. Daarnaast is de scheiding van algoritmes met de rest van de code belangrijk voor het scheiden van complexiteit.

4.1.4 Onderhoud en Performance

Naast het schrijven van de logica zijn performance en onderhoud twee onderwerpen die door elk aspect van een spel verwikkeld zijn en daarom ook onderdeel moeten zijn voor onze keuze van workflow.

4.1.4.1 Onderhoud

Naast een kleine verbetering in leesbaarheid heeft het schrijven van logica in c++ een ander belangrijke voordelen. Namelijk de voordelen van een code editor. Dit geeft uitgebreide debug, zoek en meta informatie.

De errors die de UE4 voor je genereert zijn niet altijd even duidelijk, voornamelijk errors die pas tijdens het pakken van een project ontstaan, en het vinden van een foutieve Blueprint kan extreem lastig zijn. Bijna elk element in de UE4 kan Blueprints code bevatten. En elk element op zich kan die Blueprints weer in kleinere elementen verdelen. Deze elementen bevinden zich tussen alle andere soorten assets zoals Meshes, Animaties, Decission Trees, Materials, Textures etc en het zoeken van een onbekende fout hierin is extreem lastig.

Als de foutieve code in c++ had gestaan kan er altijd door middel van een stack trace gekeken worden in welke functie het fout gaat en kan er gezien worden welke functie die functie aansprak en verder omhoog.

Het automatisch vullen van functie namen en informatie tonen over functies door middel van de JavaDoc opmerking notatie versimpelt het schrijven van complexe code die gebruikt maakt van de UE4.

4.1.4.2 Performance

Een ander belangrijk onderdeel van de hoe logica is performance. De performance van Blueprints is namelijk lager dan dat van c++. In de hoe en wat vraag is dit verschil

compleet onmerkbaar maar in code wat vaak, bijvoorbeeld in de loop van een game, wordt uitgevoerd kan het verschil merkbaar worden. In C++ is er ook veel meer controle over de manier waarop de computer logica interpreteert, in Blueprints is dit een stuk minder duidelijk. Dit zorgt ervoor dat op een lager niveau optimalisaties mogelijk zijn.

Daarnaast is het makkelijker om complexe optimalisaties te schrijven op een onderhoudbaar manier. Als er bijvoorbeeld een performance probleem ontstaat in het aantal raytraces wat de LookEventsComponents nodig hebben is het mogelijk om een cache te schrijven voor de ray traces waar de LookEventsComponent een trace uit vraagt als deze trace dan al eerder door een andere LookEventsComponent berekend is krijg hij de resultaten van die trace in plaats van een nieuwe trace te maken.

4.1.5 Conclusie

Voor de wanneer vraag is Blueprints voor zowel de programmeur als de niet-programmeur altijd de beste optie. Niet alleen is het leesbaarder maar ook flexibeler doordat de logica op een logische manier achter elkaar staat.

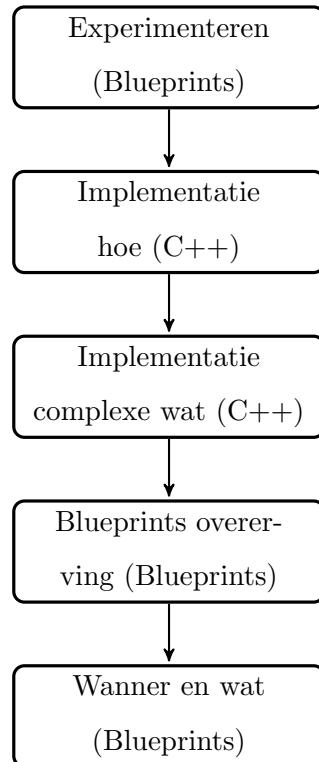
Voor de hoe vraag is C++ altijd de beste optie. Onderhoudbaarheid en performance spelen hier een belangrijke rol.

Voor de wat vraag heeft de niet-programmeur geen optie maar de programmeur wel. Voor triviale code kan er gekozen worden voor Blueprints maar voor complexe conditionele logica heeft C++ de voorkeur.

4.2 Workflow

Voor onze workflow willen wij de complexiteit voor de niet-programmeurs zo laag mogelijk houden met zo veel mogelijk vrijheid. Daarnaast is flexibiliteit belangrijk voor het makkelijk en veilig experimenteren en itereren.

Gebaseerd op het verdelen van de gameplay logica in de drie vragen hoe, wat en wanneer word er voor de volgende workflow gekozen.



FIGUUR 4.4: Workflow voor het programmeren voor de Unreal Engine 4.

Elk component zal beginnen als een imperfecte Blueprint logica. In dit stadium is de performance en onderhoud niet belangrijk, en hoeft het niet eens compleet functioneel te zijn. Er kan direct ge-experimenteert en getest worden. Dit kan niet alleen waardevolle informatie opleveren voor het design aspect van een project maar plaats de logica ook in de context van het project. Vaak komt hier gewenste functionaliteit uit die tijdens het bedenken over het hoofd gekeken is.

Nadat het duidelijk is dat het component gebruikt gaat worden in het project en de gewenste functionaliteiten duidelijk zijn kan er een fatsoenlijke en efficiënte C++ implementatie geschreven worden.

De C++ implementatie word vervolgens overerft door een Blueprint die de aanvullende logica toevoegt.

Ook in gevallen waarin de Blueprint niet iets toe te voegen heeft is het belangrijk om toch een Blueprint te maken van de C++ code. Er kan hierdoor namelijk makkelijk mee gexperimenteerd worden en niet-programmeurs hebben hierdoor ook de mogelijkheid om iets toe te voegen of een standaard waarde te veranderen.

4.3 Versie Controle

Versie controle is een belangrijk onderdeel van elk ICT project en al valt dit buiten de scope van deze scriptie word er hier een korte vermelding van gemaakt.

Versie controle is een belangrijk onderdeel in samen werken aan code en speelt een belangrijke rol in het onderhoud van code. Er zijn tools in UE4 om versie controle tools zoals git en svn op Blueprints, en assets, toe te passen. Voor deze scriptie is de plugin ontwikkeld met behulp van git maar is er niet gekeken naar een manier waarop niet-programmeurs hier ook mee kunnen werken.

Tijdens de interviews[?] werd het duidelijk dat er geen bestaande kennis van versie controle aanwezig was in de visuele teams van DPI. Het kiezen, opzetten en leren van versie controle en de integratie hiervan met de UE4 valt buiten de scope van deze scriptie.

Hoofdstuk 5

VRInteractions

In dit hoofdstuk worden de keuzes voor en de werking van de VRInteractions UE4 plugin besproken. Voor elk component in de plugin word de werking en mogelijkheden getoond. Daarnaast word voor elk component, waar relevant, besproken hoe de workshops de design keuzes beïnvloed heeft.

5.1 De plugin

De VRInteractions plugin is een combinatie van c++ code, Blueprints en overschrijfbare game modes. De plugin heeft als doel om de VR specifieke logica te verbergen voor gameplay logica zodat niet-programmeurs interactieve VR omgevingen kunnen maken.

De plugin word ontwikkeld volgens de workflow die beschreven word in Hoofdstuk [4](#) op pagina [15](#).

De plugin bevat op moment van schrijven de volgende componenten:

- Gamemodes
 - VRInteractionsFlyTroughGameMode
 - VRInteractionsGameMode
- Characters
 - VRInteractionBaseCharacter

- VRInteractionCharacter
- VRInteractionsFlyCharacter
- VRInteractionsPlayerController
- VRInteractionsCameraManager
- VRInteractionsHud
- LookEventsComponent
- CircleMenu
- VRMovableMesh

5.2 Gamemodes

De plugin bevat de game modes VRInteractionsFlyTroughGameMode en VRInteractionsGameMode. Deze modes zijn beide een uitbreiding van de voorbeeld UE4 characters. Beide gamemodes zijn geschikt voor zowel de Oculus als de GearVR.

De game modes zijn bedoelt om de basis instellingen voor VR in te stellen en zijn voor de meeste applicaties voldoende. In het geval dat er iets in de gamemode aangepast moet worden is het mogelijk de instelling te overschrijven of de gehele gamemode over te erven.

Omdat er gebruik word gemaakt van een aantal input events is het aan te raden om een project altijd te beginnen als First Person Template.

5.2.1 VRInteractionsGameMode

De VRInteractionsGameMode maakt gebruik van de VRInteractionCharacter, VRInteractionsHud, VRInteractionsPlayerController en de VRInteractionsCameraManager.

De game mode is bedoeld voor spellen waarin de speler kan rondlopen en zorgt ervoor dat de headset juist word genstalleerd en de juiste controllers ingesteld staan.

5.2.2 VRInteractionsFlyTroughGameMode

De VRInteractionsFlyTroughGameMode is een gestripte versie van de VRInteractionsGameMode en maakt gebruik van de VRInteractionsFlyCharacter, VRInteractionsHud, VRInteractionsPlayerController en VRInteractionsCameraManager.

Deze gamemode is bedoelt voor VR projecten waarin de speler door behulp van Matinee rondvliegt.

5.3 Characters

De VRInteractionsCharacters bevatten alle beweging en camera instellingen zoals oog hoogte. De instelling zijn gebaseerd op de VR guidelines van Epic <https://docs.unrealengine.com/latest/>

Fix link
styling

5.3.1 VRInteractionBaseCharacter

De VRInteractionBaseCharacter is de basis voor de VRInteractionCharacter en de VRInteractionsFlyCharacter. Deze character bevat de instellingen voor de camera hoogte en wat VR gerelateerde logica zoals het roteren van de speler op basis van zijn kijk richting.

Ook word hierin de GearVR touch pad input afgehandeld.

Het is niet de bedoeling deze classe direct te implementeren. In plaats daarvan kan er gekozen worden voor de VRInteractionCharacter of de VRInteractionsFlyCharacter. Als er een nieuwe soort character gemaakt moet worden kan die natuurlijk overerven van de VRInteractionBaseCharacter.

5.3.2 VRInteractionCharacter

De VRInteractionCharacter is bedoelt voor spellen waarin de speler rond kan lopen. De instellingen en functies zijn op basis van de UE4 VR guidelines en de testen van de VR demo gemaakt.

5.3.3 VRInteractionsFlyCharacter

De VRInteractionCharacter is bedoelt voor spellen waarin de speler op een rails loopt. Het is mogelijk deze character makkelijk in Matinee te gebruiken. Verschil met de VRInteractionCharacter, naast het niet registeren van controle gerelateerde input, is dat de camera niet op oog hoogte maar in het midden van de character geplaatst word. Dit maakt het maken van de Matinee sequences logischer.

5.4 VRInteractionsPlayerController

5.5 VRInteractionsCameraManager

5.6 VRInteractionsHud

De VRInteractionsHud is de basis Head-up Display (HUD) die een cirkel tekent in het midden van het scherm om aan te geven dat er naar een actor met een LookEvent gekeken word.

Add
VRInteractionsPlayerController
description

Add
VRInteractionsCameraManager
description



FIGUUR 5.1: De cirkel die getekend word op het moment dat er naar een Actor met een LookEventsComponent gekeken word.

De HUD is afhankelijk van de VRInteractionsDataSingleton. Om te zorgen dat deze altijd correct word ingeladen kan de singleton als Game Singleton Class ingesteld worden. De singleton word namelijk gebruikt om informatie van de LookEventsComponents te verzamelen.

5.7 LookEventsComponent

De LookEventsComponent vuurt events af op het moment dat er naar de opgegeven trigger gekeken word. Het is mogelijk om meerdere LookEventsComponents aan dezelfde actor toe te voegen waardoor onder andere menu's op basis van kijken gemaakt kunnen worden.

De LookEventsComponent is de basis van de plugin en bijna alle nadere componenten zijn hierop gebaseerd. Interfaces op basis van kijken zijn makkelijk te gebruiken[?] en zijn compatibel met elke VR bril.

5.7.1 Implementatie

Voor een aantal weken zijn de LookEvents als zowel een Actor als een Component gecomplementeerd. Het voordeel van een Actor implementatie is dat er vanuit world

Should
i source
this?

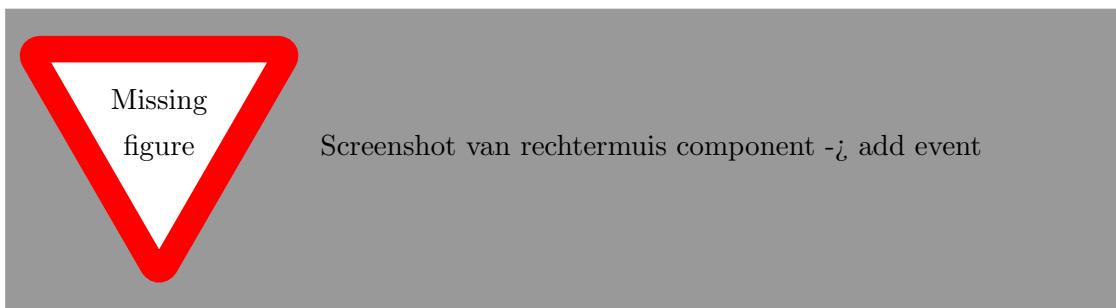
editor in het rechter muisknop menu event's gekoppeld kunnen worden.



Dit had als nadeel dat het event direct in het level Blueprint gekoppeld word wat aanmoedigt om hier de logica te plaatsen terwijl dit vaak in een Blueprint Actor zou moeten gebeuren.

Ook is het lastig de Actor implementatie binnen een Blueprint Actor te gebruiken, dit kan via een ActorComponent. Het ActorComponent maakt het niet mogelijk om instellingen via de editor te doen en verplicht daardoor om alle settings via Blueprints te zetten, wat omslachtig en fout gevoelig is.

Daarom is er voor de Component implementatie gekozen. Dit maakt het makkelijk om via de Blueprint editor events toe te voegen en kan in combinatie met meerdere LookEvents gebruikt worden.



5.7.2 Events

Om de events zo makkelijk mogelijk te gebruiken is er voor gekozen een

Write about how and why the events for LookEvents where

5.7.3 Instelling

De volgende instellingen zijn mogelijk voor de LookEventsComponent:

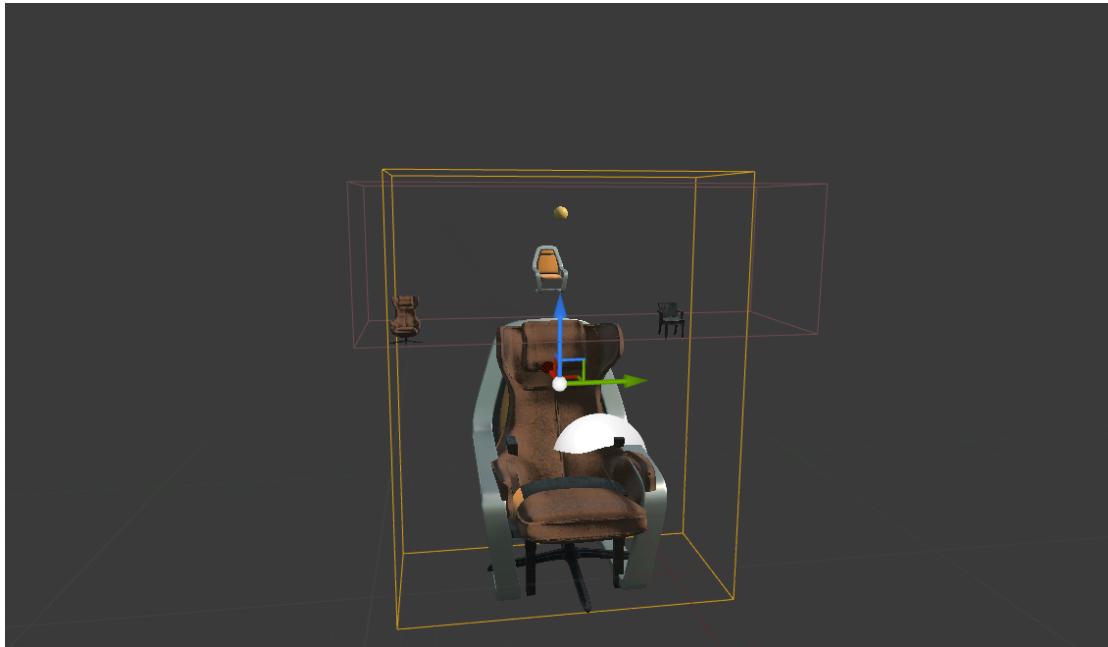
- bShouldUsedOnce
- TimesUsed
- TriggerTimeOut
- SeenDelay
- UnSeenDelay
- bShouldDrawDebugLines
- bShouldDrawTriggerDebug
- ActorTriggerColor
- ComponentTriggerColor
- TriggerDistance
- TriggerRadius
- bActive
- SeenTrigger
- UnSeenTrigger

5.7.3.1 Seen en UnSeen trigger

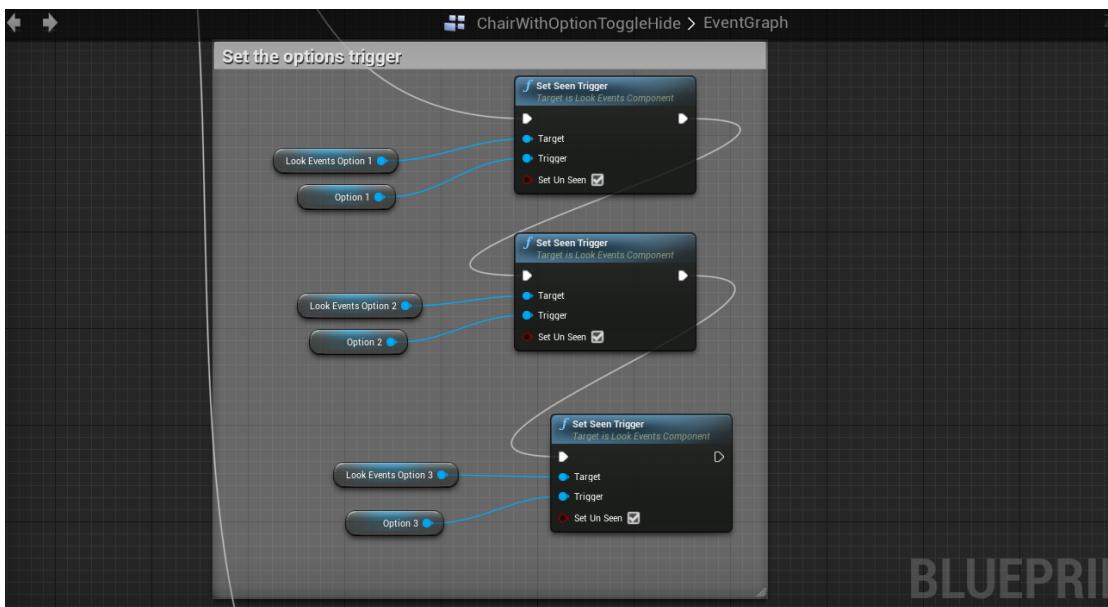
De trigger is het object waar naar gekeken kan worden. Er kan voor zowel het triggeren van het Seen event als voor het triggeren van het UnSeen event een ander object gekozen worden.

Er is hier voor gekozen nadat het duidelijk werd dat er vaak een animatie plaatsvindt of er extra objecten, bijvoorbeeld een menu, te voor schijn komen die niet in de originele trigger passen.

Als er niet specifiek een trigger opgegeven wordt word de Actor die het component bevat als Seen en Unseen trigger gezien. De triggers kunnen via blueprint gezet worden.



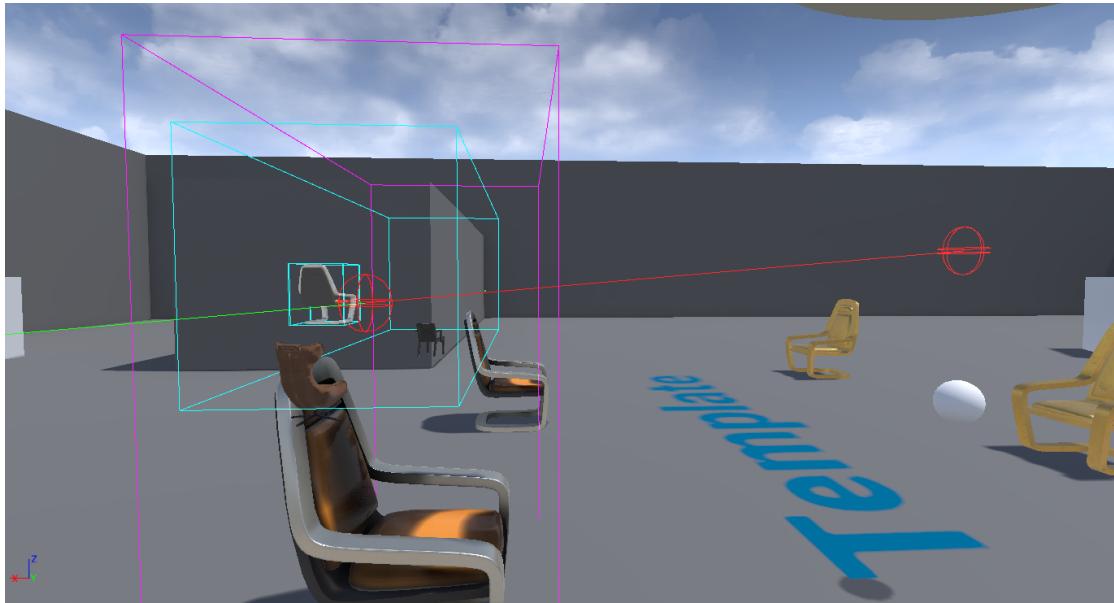
FIGUUR 5.2: Een voorbeeld waarin de geselecteerde trigger box het menu toont en het menu getoond blijft zolang er naar de tweede trigger box gekeken word



FIGUUR 5.3: Een voorbeeld van het instellen van de triggers voor drie verschillende LookEventComponents

5.7.4 Debugging

Tijdens de workshops werd er aangegeven dat het lastig was om de LookEvents te debuggen omdat de triggers niet te zien zijn. Er is voor gekozen om dezelfde debugging voor raytraces te implementeren voor de LookEvents.



FIGUUR 5.4: Voorbeeld van debug informatie die een LookEvent kan tekenen.

Er wordt een lijn getekend vanaf de speler ter lengte van de TriggerDistance. Vervolgens wordt er een vierkant getekend rond de active triggers, er kan een kleur voor Actors en voor Components opgegeven worden. Als er een blocking hit is, door een niet doorzichtig object, wordt er een cirkel getekend met als diameter de TriggerRadius op de plek waar de blocking hit plaats vond.

5.8 CircleMenu

...

5.9 VRMovableMesh

...

Bijlage A

Workshop 1

Deelnemers: Huib, Danny

In de eerste workshop werd een introductie gegeven van Blueprints en UE4. Daarnaast werden de ‘best practises’ besproken en een aantal valkuilen tijdens het modelleren voor een game engine.

A.1 Doel

- Het doornemen van best practises voor UE4 gefocused op verschillen tussen 3D moddeling en 3D games.
- Een begin maken en kennis laten maken met Blueprints.

A.2 Best practises

De volgende problemen waren Danny en Huib tegenkomen en werden kort uitgelicht. Er werd ook verteld dat in tegenstelling tot het maken van statische 3D scene het maken van een 3D wereld veel fout gevoeliger is en dat er bewuster met de verschillende elementen van de engine omgegaan moet worden.

De volgende best practises werden toegelicht.

- Probeer altijd de documentatie te lezen van een onderdeel voordat je het in productie wilt gebruiken.
- Geen scenes in Max maken maar objecten los exporteren en de scene bouwen in UE4.
- Textures altijd in dimensies in de Power of Two maken (4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 etc.).
- Texture grote en vertices count zijn belangrijk voor performance in tegenstelling tot 3D moddeling.
- Maximale texture grote 4096 * 4096 (2048*2048 voor mobiel).
- 65,000 vertices max.
- Gebruik altijd het tweede UV channel.

Ook werd er gevraagd om de volgende link goed door te lezen als voorbeeld van de UE4 documentatie <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Content/FBX/BestPractices/index.html>

A.2.1 Ontwikkeling voor mobiel

De volgende best practises met betrekking tot mobile ontwikkeling werden toegelicht:

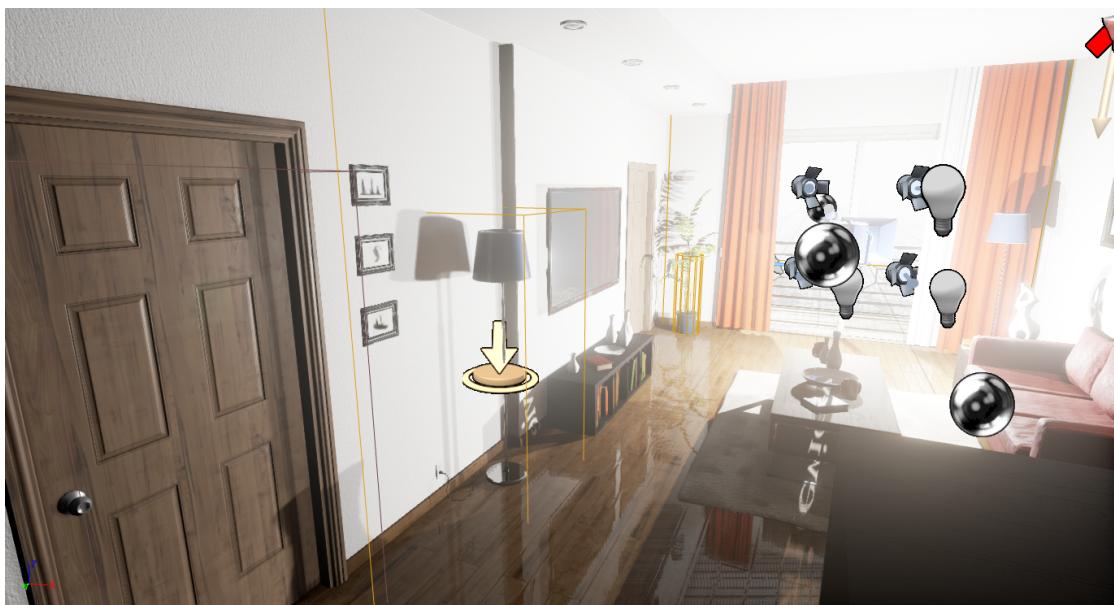
- Tijdens het opzetten van een project de target hardware setting op mobiel en de quality setting op scalable.
- Het is makkelijk om de kwaliteit te upscalen dan te downscalen.
- Voor het mobile platform komen alle assets in de package terecht. Daarom is het belangrijk om niet gebruikte assets te verwijderen.
- Maximale texture van 2048*2048 en maximaal 65,000 per object.
- De belichting is minder geavanceerd op mobiel. Daardoor moet er handmatig meer tijd gestopt worden in het zelf belichten van scenes.

Ook werd er gevraagd om de volgende link goed door te lezen als voorbeeld van de UE4 documentatie <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Content/FBX/BestPractices/index.html>

A.3 Workshop

Na het bespreken van de best practises voor UE4 werd er voor gedaan hoe een lamp aan en uit gezet kan worden als de speler in de buurt komt door middel van een Blueprint.

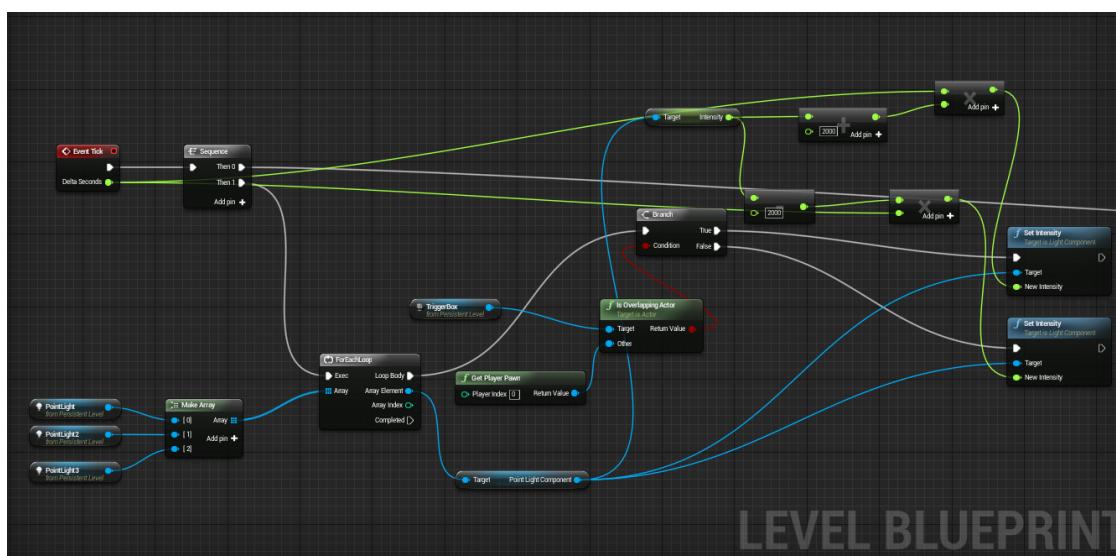
Er werd gevraagd of de lamp ook geleidelijk in sterke kon toenemen en dit werd ook gedemonstreerd.



FIGUUR A.1: De lamp die aan en uit gezet werd.

A.4 Reflectie

Na de workshop is er met de deelnemers besproken welke van de behandelde onderwerpen onduidelijk waren of interessant om dieper op in te gaan. Op basis hiervan is besloten om dieper op Blueprints, en algemene programmeer logica, in te gaan. Ook is er besloten om in de volgende workshop zelfstandig een opdracht te maken omdat vooral de onderwerpen die het best geleerd kunnen worden door middel van ervaring onduidelijk waren.



FIGUUR A.2: De Blueprint van het langzaam laten toenemen van de licht sterke van de lamp.

Bijlage B

Workshop 2

Deelnemers: Danny, Huib

De workshop begon met een uitleg van de concepten die behandeld gaan worden waarna Danny en Huib zelfstandig de opdrachten gingen maken.

Er is voor elke deelnemer een test omgevingen aangemaakt waar de VRInteractions plugin genstalleerd is en een aantal voorbeelden bevat die als hulp gebruikt kunnen worden.

B.1 Doel

- Kennis laten maken met de VRInteractions plugin en een tv aan en uit zetten door er naar te kijken.
- Door de deelnemers zelf te laten programmeren het doel van de komende workshops te bepalen.

B.2 Opdrachten

B.2.1 Opdracht 1

Zet de TV aan door er naar te kijken en pauzeer hem als er niet meer naar gekeken word.

In het oefenproject staat een TV met een promo video van DPI. Voeg de LookEvents component aan de TV blueprint toe. Koppel vervolgens de play en pause van de media texture, het filmpje, aan de Lookevents door middel van de LookEvents component.

B.2.2 Opdracht 2

Zorg dat de LookEvents makkelijker getriggerd worden door een Collisie box te laten bepalen wanneer er naar de TV gekeken word.

Voeg een collision box toe aan de tv blueprint en zet zijn collisie profile op custom en zet alle collisie op ignore behalve de visibility. De visibility moet namelijk op overlap.

Creer een begin play event en sleep de LookEvents Component in de blueprint. Als je op van de exit node een lijn sleept en los laat kan je in het pop up window zoeken naar Set Seen Trigger. Hiermee geef je aan dat je de events wil laten afvuren als naar een specifiek component van de blueprint gekeken word. Zet vervolgens de gemaakt Box Collision als de trigger parameter.

B.2.3 Opdracht 3

Stel de LookEvents in zodat de TV op een kortere (of langere) afstand getriggerd word

Als je de look events component in het components venster (links boven) selecteert verschijnt er aan de rechter kant in het details venster de instelling hiervan. Verander de waardes onder de kopjes User Interaction en Trigger todat jij tevreden bent met het resultaat.

B.2.4 Opdracht 4

Maak een loader die het kijken naar het object duidelijk maakt.

Voeg een statische mesh component toe en zet de statische mesh op de standaard materialshpere. In de tick functie van de blueprint vraag je de Seen Progress van de lookevents door de functie Get Seen Progress Op de lookevents component aan te spreken. Creer nu een Lerp(Vector) door met een rechte muisknop in de blueprints het zoek venster te opennen en hierin te zoeken naar de functie. Zet als waarde A de begin locatie van de

Loader en als waarde B zijn eind waarde (waar hij naartoe gaat bewegen) Vervolgens pak zet je relative locatie van de loader op de return value van de lerp.

B.3 Resultaten

Uiteindelijk zijn de deelnemers samen de opdracht gaan maken en hebben het volgende ingeleverd:

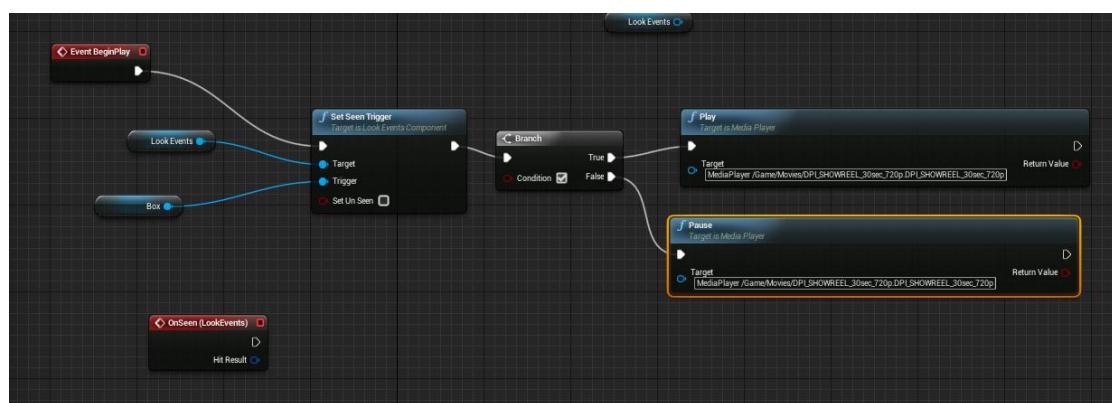
Yo Mark,

We hebben dit even gezamenlijk gedaan.

Hier wat onduidelijk heden.

Opdracht 1: we konden in eerste instantie de play node niet vinden. Het was wat onduidelijk dat we de movie texture moesten verslepen naar media player target.

Opdracht 2 en 3: Event begin play was niet duidelijk. Deze triggerde het filmpje vanaf het begin. zoals in de afbeelding te zien.



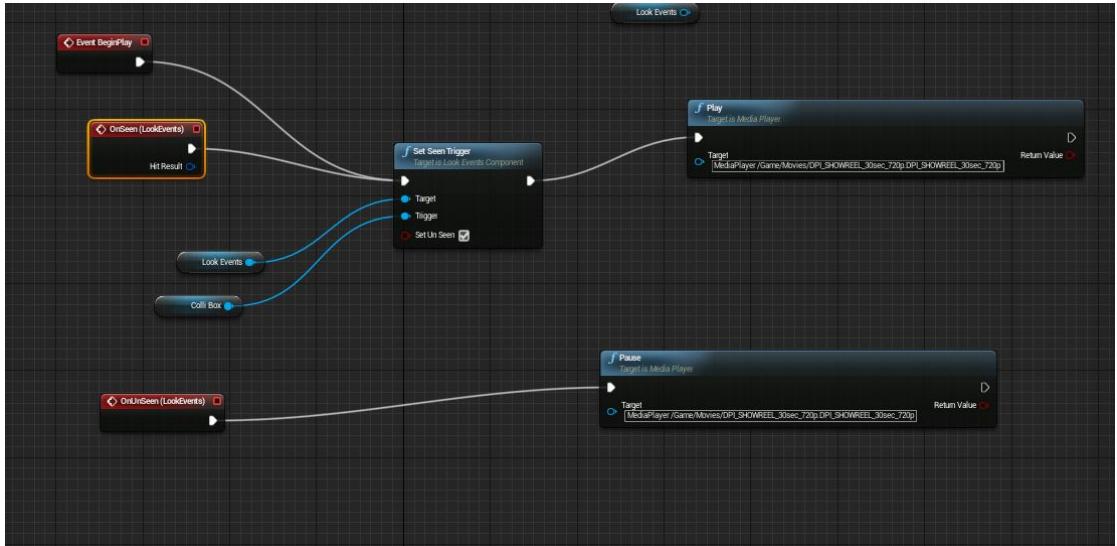
FIGUUR B.1: Niet werkende Blueprint van opdracht twee en drie.

We probeerde ook wat uit met Branch, maar helaas.

Daarna hebben we weer alles vastgekoppeld aan de OnSeen look event en aan de Event beginPlay. Dit bleek wel te werken.

Opdracht4: Uitleg was beter, plaatje werkte ook mee, maar opzich allemaal logisch

Met Vriendelijke Groet, Danny Hendriks



FIGUUR B.2: Functionele Blueprint van opdracht twee en drie.



FIGUUR B.3: Eind resultaat van de opdrachten.

B.4 Reflectie

Het probleem van de play node vinden was inderdaad lastig omdat dit een uitzondering is op hoe de rest van UE4 werkt. De enige manier om dit soort problemen op te lossen is door ervaring krijgen met hoe de ue4 werkt.

De uitwerking van opdracht twee en drie was werkend maar het zetten van de LookEvents optie werd in het Tick event gedaan wat voor onverwachte functionaliteit kan zorgen. Dit had eigenlijk tijdens de Begin Play moeten gebeuren.

Na het bespreken van de opdrachten is er gezamenlijk gekozen om de volgende workshops op dezelfde manier aan te pakken, uitleg en dan zelfstandige opdrachten. Ook is er besloten om langzaam dieper in Blueprint scripting te duiken.

Bijlage C

Workshop 3

Deelnemers: Danny, Huib

De workshop begon met een uitleg over de implementatie van de LookEvents uit de VRInteractions plugin en de verschillende configuratie mogelijkheden. Daarnaast is gezamenlijk een vergelijkbare functionaliteit gemaakt zodat het probleem van een node naam niet weten, uit Workshop 2, niet meer voor zou komen.

C.1 Doel

Een ingewikkelder versie van de LookEvents implementeren met hierin:

- Meerdere look events in een Actor
- Veranderden van een material tijdens runtime
- Het gebruik en maken van een functie
- Het gebruik en maken van variabel

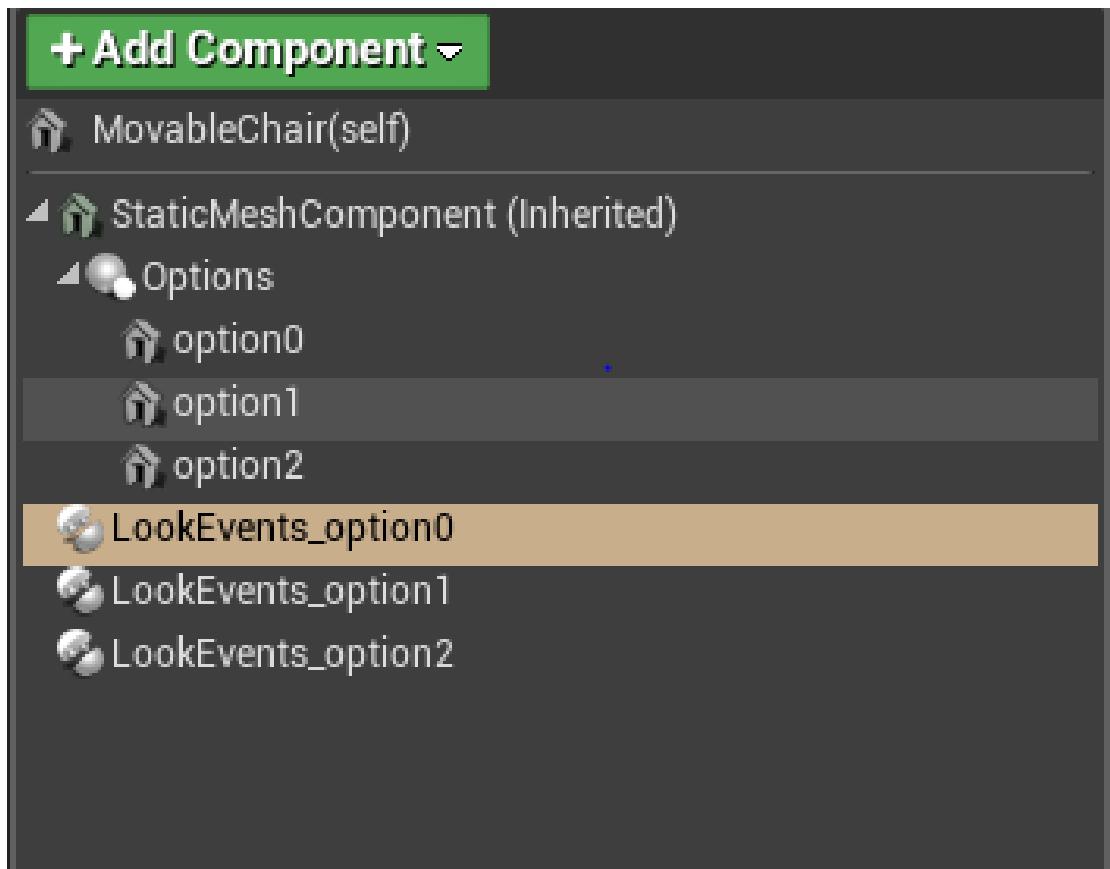
C.2 Opdrachten

We gaan een bank maken waar een menu boven zweeft waarmee wij het materiaal van de bank kunnen kiezen. Het menu word zichtbaar op het moment dat er naar de bank gekeken word.

C.2.1 Opdracht 1

Maak van de bank een Blueprint en voeg hier een scene (dit is een component) aan toe genaamd options met daarin drie static meshes genaamd option0 t/m option2.

Voeg voor elk element een Lookevent component toe en noem die LookEventOption0 t/m LookEventOption2.



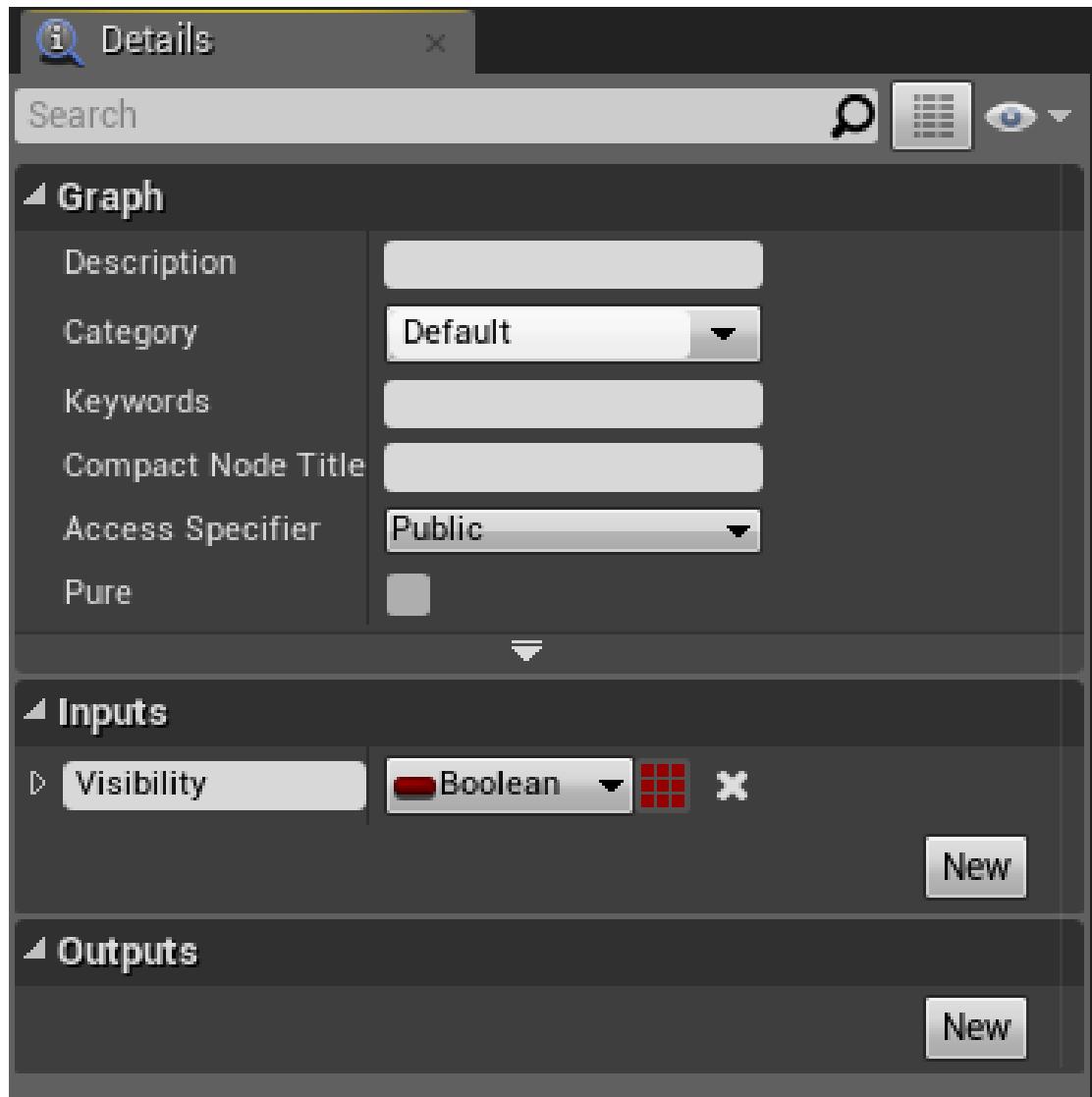
FIGUUR C.1: Voorbeeld van het toevoegen van de LookEvents componenten aan een Actor.

Koppel de look events aan de juiste options, kijk hiervoor naar de vorige opdracht, en zet de optie Draw debug trigger aan zodat je makkelijk kan zien of alles werkt.

C.2.2 Opdracht 2

Om te zorgen dat de options alleen zichtbaar worden als er naar de bank gekeken wordt voegen we nog een LookEvents component toe genaamd LookEventsMain.

Om de code schoner te houden maken we een functie genaamd SetOptionsVisibility met boolean als input genaamd Visibility. In deze functie haal je alle kinderen van de Options scene component op en zet je de visibility hiervan op de input.



FIGUUR C.2: Voorbeeld van een functie in Blueprints.

Koppel nu de OnSeen en de OnUnseen events van de LookEventsMain aan de SetOptionsVisibility functie.

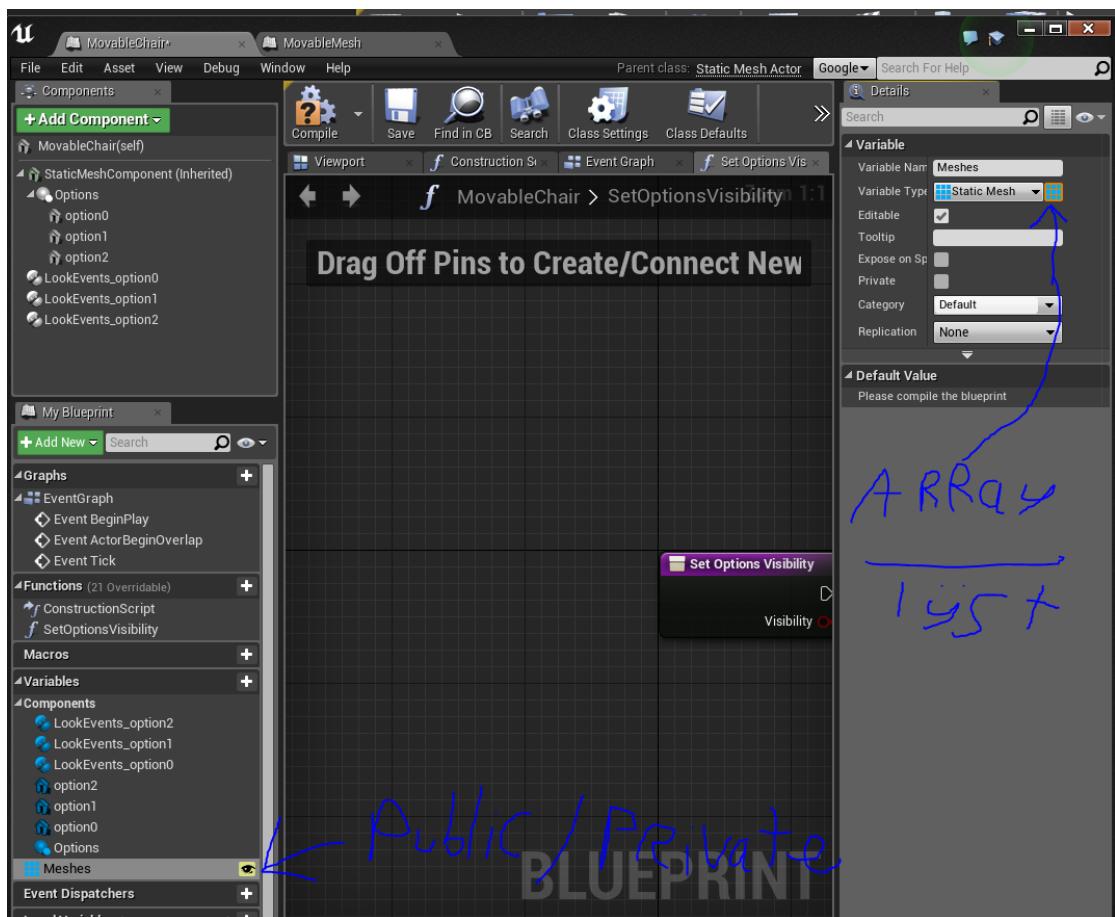
C.2.3 Opdracht 3

We gebruiken de materials van de options static meshes om de material van de bank te bepalen. Op het moment dat er naar een option gekeken word (dus het OnSeen event)

halen we de material uit de bijhorende option en zetten we material van de hoofd static mesh hierop

C.2.4 Opdracht 4

Probeer niet de material maar de mesh van de bank te veranderen. Je kan dit doen via de static meshes van de options (zelfde manier als wij de kleuren maken) maar als je een uitdaging wilt probeer het via een array variable.



FIGUUR C.3: Voorbeeld van een variable in Blueprints.

Als je voor een variabel gaat vergeet niet dat dit een lijst van Static Mesh References moet zijn.

C.3 Reflectie

Na het bespreken van de opdracht werd er aangegeven dat er minder tijd kwijt aan het zoeken naar functie namen omdat een gelijke opdracht van te voren samen gemaakt was.

Het viel op dat concepten waar in de vorige workshop problemen mee waren dit keer wel goed gingen, bijvoorbeeld het correct zetten van de LookEvents trigger, zonder hier specifieke instructies voor te geven.

Bijlage D

Implementatie voorbeeld speler

Unreal Engine 4

```
1 #pragma once
2 #include "GameFramework/Character.h"
3 #include "dipi_unreal_colosseumCharacter.generated.h"
4
5 class UInputComponent;
6
7 UCLASS(config=Game)
8 class Adpi_unreal_colosseumCharacter : public ACharacter
9 {
10     GENERATED_BODY()
11
12     /** Pawn mesh: 1st person view (arms; seen only by self) */
13     UPROPERTY(VisibleDefaultsOnly, Category=Mesh)
14     class USkeletalMeshComponent* Mesh1P;
15
16     /** Gun mesh: 1st person view (seen only by self) */
17     UPROPERTY(VisibleDefaultsOnly, Category = Mesh)
18     class USkeletalMeshComponent* FP_Gun;
19
20     /** First person camera */
21     UPROPERTY(VisibleAnywhere, BlueprintReadOnly, Category = Camera, meta = (AllowPrivateAccess
22         = "true"))
23     class UCameraComponent* FirstPersonCameraComponent;
24
25     Adpi_unreal_colosseumCharacter();
26
27     /** Base turn rate, in deg/sec. Other scaling may affect final turn rate. */
28     UPROPERTY(VisibleAnywhere, BlueprintReadOnly, Category=Camera)
29     float BaseTurnRate;
30
31     /** Base look up/down rate, in deg/sec. Other scaling may affect final rate. */
32     UPROPERTY(VisibleAnywhere, BlueprintReadOnly, Category=Camera)
33     float BaseLookUpRate;
34
35     /** Gun muzzle's offset from the characters location */
36     UPROPERTY(EditAnywhere, BlueprintReadWrite, Category=Gameplay)
37     FVector GunOffset;
38
39     /** Projectile class to spawn */
40 }
```

```

1 UPROPERTY(EditDefaultsOnly, Category=Projectile)
2 TSubclassOf<class Adpi_unreal_colosseumProjectile> ProjectileClass;
3
42 /** Sound to play each time we fire */
5 UPROPERTY(EditAnywhere, BlueprintReadWrite, Category=Gameplay)
6 class USoundBase* FireSound;
7
46 /** AnimMontage to play each time we fire */
8 UPROPERTY(EditAnywhere, BlueprintReadWrite, Category = Gameplay)
9 class UAnimMontage* FireAnimation;
10
11 protected:
12
13 /** Fires a projectile. */
14 void OnFire();
15
16 /** Handles moving forward/backward */
17 void MoveForward(float Val);
18
19 /** Handles stafing movement, left and right */
20 void MoveRight(float Val);
21
22 /**
23 * Called via input to turn at a given rate.
24 * @param Rate This is a normalized rate, i.e. 1.0 means 100% of desired turn rate
25 */
26 void TurnAtRate(float Rate);
27
28 /**
29 * Called via input to turn look up/down at a given rate.
30 * @param Rate This is a normalized rate, i.e. 1.0 means 100% of desired turn rate
31 */
32 void LookUpAtRate(float Rate);
33
34 struct TouchData
35 {
36     TouchData() { bIsPressed = false; Location=FVector::ZeroVector; }
37     bool bIsPressed;
38     ETouchIndex::Type FingerIndex;
39     FVector Location;
40     bool bMoved;
41 };
42 void BeginTouch(const ETouchIndex::Type FingerIndex, const FVector Location);
43 void EndTouch(const ETouchIndex::Type FingerIndex, const FVector Location);
44 void TouchUpdate(const ETouchIndex::Type FingerIndex, const FVector Location);
45 TouchData TouchItem;
46
47 protected:
48     // APawn interface
49     virtual void SetupPlayerInputComponent(UInputComponent* InputComponent) override;
50     // End of APawn interface
51
52 /**
53 * Configures input for touchscreen devices if there is a valid touch interface for doing so
54 *
55 * @param InputComponent The input component pointer to bind controls to
56 * @returns true if touch controls were enabled.
57 */
58 bool EnableTouchscreenMovement(UInputComponent* InputComponent);
59
60 public:
61     /** Returns Mesh1P subobject ***/
62     FORCEINLINE class USkeletalMeshComponent* GetMesh1P() const { return Mesh1P; }
63     /** Returns FirstPersonCameraComponent subobject ***/
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102

```

```

104     FORCEINLINE class UCameraComponent* GetFirstPersonCameraComponent() const { return
105         FirstPersonCameraComponent; }
106     };

```

LISTING D.1: dpi unreal colosseumCharacter header

```

1 #include "dpi_unreal_colosseum.h"
2 #include "dpi_unreal_colosseumCharacter.h"
3 #include "dpi_unreal_colosseumProjectile.h"
4 #include "Animation/AnimInstance.h"
5 #include "GameFramework/InputSettings.h"
6
7 DEFINE_LOG_CATEGORY_STATIC(LogFPChar, Warning, All);
8
9 //////////////////////////////////////////////////////////////////
10 // Adpi_unreal_colosseumCharacter
11
12 Adpi_unreal_colosseumCharacter::Adpi_unreal_colosseumCharacter()
13 {
14     // Set size for collision capsule
15     GetCapsuleComponent()->InitCapsuleSize(42.f, 96.0f);
16
17     // set our turn rates for input
18     BaseTurnRate = 45.f;
19     BaseLookUpRate = 45.f;
20
21     // Create a CameraComponent
22     FirstPersonCameraComponent = CreateDefaultSubobject<UCameraComponent>(TEXT("FirstPersonCamera"));
23     FirstPersonCameraComponent->AttachParent = GetCapsuleComponent();
24     FirstPersonCameraComponent->RelativeLocation = FVector(0, 0, 64.f); // Position the camera
25     FirstPersonCameraComponent->bUsePawnControlRotation = true;
26
27     // Create a mesh component that will be used when being viewed from a '1st person' view (
28     // when controlling this pawn)
29     Mesh1P = CreateDefaultSubobject<USkeletalMeshComponent>(TEXT("CharacterMesh1P"));
30     Mesh1P->SetOnlyOwnerSee(true);
31     Mesh1P->AttachParent = FirstPersonCameraComponent;
32     Mesh1P->bCastDynamicShadow = false;
33     Mesh1P->CastShadow = false;
34
35     // Create a gun mesh component
36     FP_Gun = CreateDefaultSubobject<USkeletalMeshComponent>(TEXT("FP_Gun"));
37     FP_Gun->SetOnlyOwnerSee(true); // only the owning player will see this mesh
38     FP_Gun->bCastDynamicShadow = false;
39     FP_Gun->CastShadow = false;
40     FP_Gun->AttachTo(Mesh1P, TEXT("GripPoint"), EAttachLocation::SnapToTargetIncludingScale,
41                       true);
42
43     // Default offset from the character location for projectiles to spawn
44     GunOffset = FVector(100.0f, 30.0f, 10.0f);
45
46     // Note: The ProjectileClass and the skeletal mesh/anim blueprints for Mesh1P are set in the
47     // derived blueprint asset named MyCharacter (to avoid direct content references in C++)
48 }
49
50 // Input
51
52 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::SetupPlayerInputComponent(class UInputComponent*
53     InputComponent)
54 {

```

```

54 // set up gameplay key bindings
55 check(InputComponent);
56
57 InputComponent->BindAction("Jump", IE_Pressed, this, &ACharacter::Jump);
58 InputComponent->BindAction("Jump", IE_Released, this, &ACharacter::StopJumping);
59
60 //InputComponent->BindTouch(EInputEvent::IE_Pressed, this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::
61 // TouchStarted);
62 if( EnableTouchscreenMovement(InputComponent) == false )
63 {
64     InputComponent->BindAction("Fire", IE_Pressed, this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::
65     OnFire);
66 }
67
68 InputComponent->BindAxis("MoveForward", this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::MoveForward);
69 InputComponent->BindAxis("MoveRight", this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::MoveRight);
70
71 // We have 2 versions of the rotation bindings to handle different kinds of devices
72 // differently
73 // "turn" handles devices that provide an absolute delta, such as a mouse.
74 // "turnrate" is for devices that we choose to treat as a rate of change, such as an analog
75 // joystick
76 InputComponent->BindAxis("Turn", this, &APawn::AddControllerYawInput);
77 InputComponent->BindAxis("TurnRate", this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::TurnAtRate);
78 InputComponent->BindAxis("LookUp", this, &APawn::AddControllerPitchInput);
79 InputComponent->BindAxis("LookUpRate", this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::LookUpAtRate);
80
81
82 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::OnFire()
83 {
84     // try and fire a projectile
85     if (ProjectileClass != NULL)
86     {
87         const FRotator SpawnRotation = GetControlRotation();
88         // MuzzleOffset is in camera space, so transform it to world space before offsetting from
89         // the character location to find the final muzzle position
90         const FVector SpawnLocation = GetActorLocation() + SpawnRotation.RotateVector(GunOffset);
91
92         UWorld* const World = GetWorld();
93         if (World != NULL)
94         {
95             // spawn the projectile at the muzzle
96             World->SpawnActor<Adpi_unreal_colosseumProjectile>(ProjectileClass, SpawnLocation,
97             SpawnRotation);
98         }
99     }
100
101     // try and play the sound if specified
102     if (FireSound != NULL)
103     {
104         UGameplayStatics::PlaySoundAtLocation(this, FireSound, GetActorLocation());
105     }
106
107     // try and play a firing animation if specified
108     if(FireAnimation != NULL)
109     {
110         // Get the animation object for the arms mesh
111         UAnimInstance* AnimInstance = Mesh1P->GetAnimInstance();
112         if(AnimInstance != NULL)
113         {
114             AnimInstance->Montage_Play(FireAnimation, 1.f);
115         }
116     }
117 }
118 }
```

```

114 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::BeginTouch(const ETouchIndex::Type FingerIndex, const
115 FVector Location)
116 {
117     if( TouchItem.bIsPressed == true )
118     {
119         return;
120     }
121     TouchItem.bIsPressed = true;
122     TouchItem.FingerIndex = FingerIndex;
123     TouchItem.Location = Location;
124     TouchItem.bMoved = false;
125 }
126
127 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::EndTouch(const ETouchIndex::Type FingerIndex, const
128 FVector Location)
129 {
130     if (TouchItem.bIsPressed == false)
131     {
132         return;
133     }
134     if( (FingerIndex == TouchItem.FingerIndex) && (TouchItem.bMoved == false) )
135     {
136         OnFire();
137     }
138     TouchItem.bIsPressed = false;
139 }
140
141 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::TouchUpdate(const ETouchIndex::Type FingerIndex, const
142 FVector Location)
143 {
144     if ((TouchItem.bIsPressed == true) && (TouchItem.FingerIndex==FingerIndex))
145     {
146         if (TouchItem.bIsPressed)
147         {
148             if (GetWorld() != nullptr)
149             {
150                 FVector MoveDelta = Location - TouchItem.Location;
151                 FVector2D ScreenSize;
152                 ViewportClient->GetViewportSize(ScreenSize);
153                 FVector2D ScaledDelta = FVector2D( MoveDelta.X, MoveDelta.Y ) / ScreenSize;
154                 if (ScaledDelta.X != 0.0f)
155                 {
156                     TouchItem.bMoved = true;
157                     float Value = ScaledDelta.X * BaseTurnRate;
158                     AddControllerYawInput(Value);
159                 }
160                 if (ScaledDelta.Y != 0.0f)
161                 {
162                     TouchItem.bMoved = true;
163                     float Value = ScaledDelta.Y* BaseTurnRate;
164                     AddControllerPitchInput(Value);
165                 }
166                 TouchItem.Location = Location;
167             }
168             TouchItem.Location = Location;
169         }
170     }
171 }
172
173 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::MoveForward(float Value)

```

```

176 {
177     if (Value != 0.0f)
178     {
179         // add movement in that direction
180         AddMovementInput(GetActorForwardVector(), Value);
181     }
182 }
183
184 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::MoveRight(float Value)
185 {
186     if (Value != 0.0f)
187     {
188         // add movement in that direction
189         AddMovementInput(GetActorRightVector(), Value);
190     }
191 }
192
193 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::TurnAtRate(float Rate)
194 {
195     // calculate delta for this frame from the rate information
196     AddControllerYawInput(Rate * BaseTurnRate * GetWorld()>GetDeltaSeconds());
197 }
198
199 void Adpi_unreal_colosseumCharacter::LookUpAtRate(float Rate)
200 {
201     // calculate delta for this frame from the rate information
202     AddControllerPitchInput(Rate * BaseLookUpRate * GetWorld()>GetDeltaSeconds());
203 }
204
205 bool Adpi_unreal_colosseumCharacter::EnableTouchscreenMovement(class UInputComponent*
206 InputComponent)
207 {
208     bool bResult = false;
209     if (FPlatformMisc::GetUseVirtualJoysticks() || GetDefault<UInputSettings>()>
210         bUseMouseForTouch )
211     {
212         bResult = true;
213         InputComponent->BindTouch(EInputEvent::IE_Pressed, this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::BeginTouch);
214         InputComponent->BindTouch(EInputEvent::IE_Released, this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::EndTouch);
215         InputComponent->BindTouch(EInputEvent::IE_Repeat, this, &Adpi_unreal_colosseumCharacter::TouchUpdate);
216     }
217     return bResult;
218 }
```

LISTING D.2: dpi unreal colosseumCharacter.cpp

Bijlage E

Conditional logic van Tick functie van LookEvents in c++

```
void ULookEventsComponent::TickComponent( float DeltaTime , enum ELevelTick TickType ,
FActorComponentTickFunction *ThisTickFunction )
{
    if ( bActive != true || ( bShouldUsedOnce && TimesUsed > 0 ) || bIsInTimeOut == true )
    {
        return ;
    }

    FHitResult HitResult = WasHitByTrace( Trace() );
    // TODO: This should be a proppert check if the HitResult was a hit
    if ( HitResult.Actor.IsValid() )
    {

        if ( bIsInUnSeenDelay )
        {
            // If we are in a un seen delay we should clear the handler and pretend it never happend
        }

        if ( !bIsInSeenDelay )
        {
            if ( SeenDelay > 0 && !bIsSeenDelayFinished )
            {
            } else if ( !bIsBeingWatched )
            {
            }
        }
    }

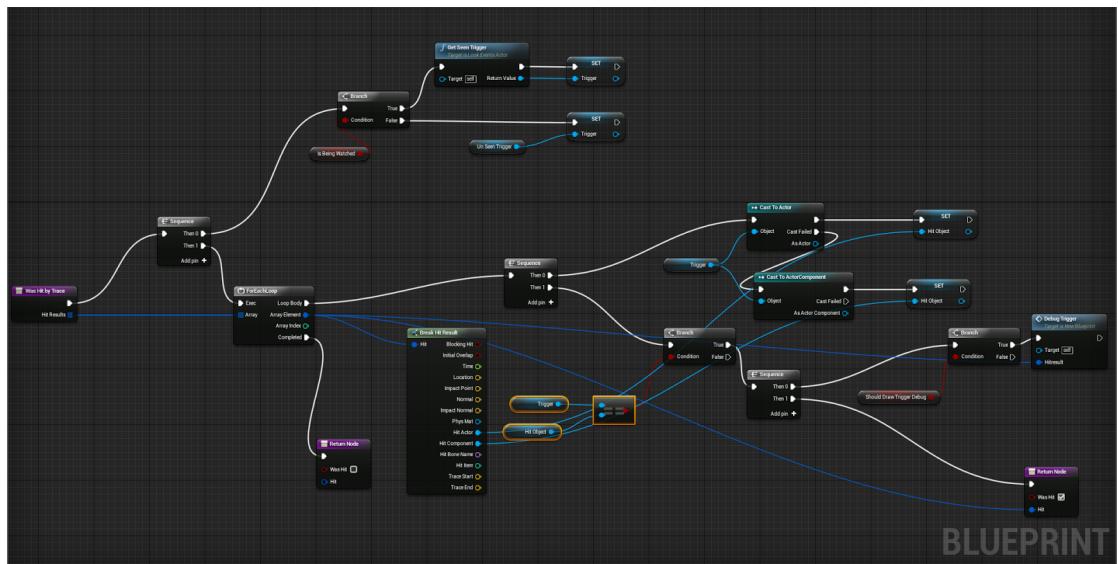
    else if ( bIsInSeenDelay )
    {
    }

    else if ( bIsBeingWatched )
    {
        if ( UnSeenDelay > 0 )
        {
            if ( bIsUnSeenDelayFinished )
            {
            }
        }
    }
}
```

```
40     else if (! bIsInUnseenDelay)
41     {
42   }
43 } else
44 {
45 }
46 }
```

Bijlage F

Conditional logic van Tick functie van LookEvents in Blueprints



FIGUUR F.1: De conditionele logica van de Tick functie van de LookEvents in Blueprints.

Bijlage G

Orintatie Interview

Interviewer: Mark Arts. Deelnemers: Huib, Danny

G.1 Doel

Het doel van dit interview is om de huidige kennis over gameplay programmering, visuele programmeer talen en logica constructies vast te leggen bij de werknemers van DPI.

Daarnaast word er ook een eerst introductie gemaakt naar blueprints, de visuele programmeer taal die in de Unreal Engine 4 gebruikt word.

Er word geprobeerd antwoord te krijgen op de volgende vragen

- Welke ervaring met programmeren hebben de deelnemers
- Welke ervaring met UE4 hebben de deelnemers
- Welke ervaring met visuele programmeer hebben de deelnemers
- Tot hoe verre begrijpen de deelnemers programmeer terminologie (enquête)

G.2 Interview

Wat voor 3D projecten hebben jullie tot nu toe gemaakt en wat was jullie taak hierin

Danny

Voornamelijk het modellen / maken van 3D visualisaties in Max / Maya voor architectuur. Daarnaast een aantal 3D omgevingen in de Unreal Engine 4.

Huib

Voornamelijk het modellen / maken van 3D visualisaties in Max / Maya voor architectuur. Binnen DPI nog niet aan een UE4 project gewerkt.

Wat is jullie ervaring met Unreal Engine 4

Danny

Een aantal hobby projecten en binnen DPI het opzetten van een aantal kleine omgevingen in UE4. Lastig om modellen die voor maya / max gebruikt werden te importeren en rekening te houden met performance. De interface van de Engine is wel duidelijk en door ervaring met maya / max was het makkelijk om te beginnen met het bouwen van een omgeving.

Huib

Heeft alleen nog aan hobby projecten gewerkt binnen Unreal maar kon door ervaring met Maya en Max makkelijk aan de slag. Hij had wel moeite met het gebruik van Blueprints in demos en vond het vaak overweldigend.

Wat weten jullie over programmeren

Danny

Geen ervaring met programmeren en weet er weinig over. Huib Heeft CMD gestudeerd en heeft tijdens zijn studie ervaring opgedaan met websites programmeren. Hij snapt hoe code werkt en wat je er mee kan doen maar zou niet c++ voor een game kunnen programmeren.

Wat voor ervaring hebben jullie met visuele programmeer talen

Danny Geen ervaring. Huib Heeft Blueprints geprobeerd maar daarnaast geen ervaring.

G.3 Tot hoe verre begrijpen de deelnemers programmeer terminologie (enquête)

Er is door zowel Huib en Danny een vragenlijst ingevuld met de volgende introductie:

Omschrijf in eigen woorden wat jij denkt dat de volgende begrippen bekennen. Als het begrip onbekend is omschrijf wat jij denkt dat het zou zijn.

Danny

Branch (conditional statement)

Gok: ik denk een vertakking in verschillende nodes?

For loop

Gok: ik denk een loop in een script, bijvoorbeeld een walkcycle

Switch statement

Gok: True of false switch?

Integer

geen idee

Float

Gok: gravity? geen idee.

Boolean

objecten die met elkaar worden gecombineerd en kan worden bepaald of er gesubstract wordt.

Vectors

De punten van een object (uiteindes)

Transform

Geometry aanpassen in onderandere scalen

Struct (structur)

Gok: hoe een object is opgebouwd? quad en tris?

Array

Op deze manier wordt er iets geduplicate

Class

verschillende blueprints, zoals firstpersonmode of playercontroller.

Object Type

wat voor object, static mesh of een BSP

Propertie

instellingen van bepaalde actors.

Reference (pointer)

Je kan volgens mij objecten converteren naar triggerboxen.

Cast

Gok: ik heb het weleens langs zien komen, maar volgens mij zijn het nodes in het script van blueprints

Actor

eigenlijk alles wat in de scene wordt gezet.

Component

Gok: heeft iets met de actors te maken, ik denk bepaalde instellingen daarin.

Huib**Branch (conditional statement)**

Keus uit meerdere mogelijkheden / inputs

For loop

Iets doen wanneer iets een bepaalde waarde heeft...

Switch statement

Schakelaar met meer dan 2 mogelijkheden.

Integer

Heel getal

Float

Getal met decimalen

Boolean

True / False

Vectors

Punt in 3D space (x,y,z cordinaat)

Transform

Wat dit in de context van Unreal is weet ik niet, ik ken het als iets dat te maken heeft met de positie, rotatie en schaal van objecten.

Struct (structur)

Constructie van een element.

Array

Een reeks

Class

Een groep objecten met dezelfde eigenschappen.

Object Type

Een soort object, mesh, light, etc.

Propertie

Eigenschap van een object.

Reference (pointer)

Gok: Verwijzing naar iets

Cast

Gok: Iets versturen

Actor

Een object dat ergens op kan reageren.

Component

Een bouwblok

Bibliografie

- [1] C. J. Hawthorn, K. P. Weber, and R. E. Scholten. Littrow configuration tunable external cavity diode laser with fixed direction output beam. *Review of Scientific Instruments*, 72(12):4477–4479, December 2001. URL <http://link.aip.org/link/?RSI/72/4477/1>.
- [2] A. S. Arnold, J. S. Wilson, and M. G. Boshier. A simple extended-cavity diode laser. *Review of Scientific Instruments*, 69(3):1236–1239, March 1998. URL <http://link.aip.org/link/?RSI/69/1236/1>.
- [3] Carl E. Wieman and Leo Hollberg. Using diode lasers for atomic physics. *Review of Scientific Instruments*, 62(1):1–20, January 1991. URL <http://link.aip.org/link/?RSI/62/1/1>.