



Computational Geometry and Virtual Reality - RunnAR

Christian Schaf, Jannis Lindenberg, Vural Yilmaz

25. Januar 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Grundlagen	4
2.1 A* Algorithmus	4
2.1.1 Funktionsweise	4
2.2 Unity	6
2.3 Vuforia	7
2.3.1 ImageTargets	7
2.3.2 Object Recognition	8
3 Recherche	9
3.1 A* Algorithmus	9
3.2 ImageTargets	10
3.3 Objekterkennung	11
3.3.1 Tensorflow	11
3.3.2 OpenCV	11
3.3.3 Vuforia Object Recognition	11
4 Konzept	13
4.1 Definition von Funktionsanforderungen	13
4.2 Spielkonzept	13
5 Umsetzung	15
5.1 Implementierung des A* Algorithmus	15
5.2 ImageTargets	17
5.3 Erkennung von Objekten	18
5.4 UI	19
6 Zusammenfassung und Fazit	20
7 Anhang	21
7.1 A* Beispiel	21

Abbildungsverzeichnis

2.1	Beispiel Node	4
2.2	A* Ausführungsschritte 1-3	5
2.3	A* Ausführungsschritte 4-6	5
2.4	A* Ausführungsschritte 7-9	5
2.5	A* Ausführungsschritte 10-12	6
2.6	A* Schritt 13	6
3.1	Beispiel ImageTarget	10
4.1	Projektskizze	14
5.1	A* Implementation in Unity	15
5.2	StarGrid Settings	15
5.3	Binary-Min-Heap Beispiel	16
5.4	PathRequestManager Settings	16
5.5	Entwicklung der ImageTargets	17
5.6	Vuforia Ranking	17
5.7	Vuforia Datenbank	18
5.8	Eingescanntes Objekt mit Nullpunkt	18
5.9	User Interface Elemente	19

Kapitel 1

Einleitung

Im Rahmen des Moduls “Computational Geometry and Virtual Reality” wird eine Augmented Reality App entwickelt. Das Ziel dieses Projekts ist es, Objekte in einer durch AR erweiterten Realität zu erkennen und in die Spielumgebung zu integrieren. Der Algorithmus-gesteuerte Spieler soll durch den A* Algorithmus möglichst effizient den kürzesten Weg zwischen Start und Ziel nutzen, dabei variabel auf die sich ständig ändernde Spielumgebung reagieren - wird ein neues Hindernis erkannt, muss der Weg des Computergesteuerten Spielers zum Ziel neu berechnet werden. Die Motivation hinter dieser Projektidee ist unter anderem im Rahmen dieses Projekts einen kleinen Einblick in die Entwicklung von Augmented Reality zu erhalten. Zusätzlich soll in Erfahrung gebracht werden, wie weit Augmented Reality Anwendungen mit der echten Umgebung interagieren können.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 A* Algorithmus

Der A*-Algorithmus ist ein Wegfindungs-Algorithmus, der von Peter Hart, Nils Nilsson und Bertram Raphael entwickelt wurde. Sein Ziel ist es den schnellsten Weg in einem Grafen vom Startknoten zum Zielknoten zu finden.

2.1.1 Funktionsweise

Der Ausgangspunkt bildet ein zwei-dimensionales Array in dem es Felder gibt, die entweder Pfad und Hindernis darstellen. Es wird ein Start- sowie Zielfeld festgelegt. Beide sind dem Algorithmus während der Ausführung bekannt. Sobald das Spielfeld erstellt sowie ein Start- und Zielfeld gewählt wurde, sind die Mindestvoraussetzungen erfüllt. Ein Feld wird auch als Node bezeichnet und hat drei wichtige Attribute (siehe Abbildung 2.1). Eines der Attribute sind die G-Kosten, welche die Distanz zum Start-Node darstellen bzw. die Kosten für das Beschreiten des bisherigen Wegs. Weiterhin gibt es die H-Kosten, welche die Distanz zum Ziel darstellen. Das dritte Attribut sind die F-Kosten. Diese werden berechnet indem man die G-Kosten mit den H-Kosten addiert: $F_{cost} = G_{cost} + H_{cost}$. [1]

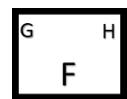


Abbildung 2.1:
Beispiel Node

Für die H-Kosten wird eine Heuristik verwendet. Hierbei wurde sich aus Simplizität für die *Manhattan-Methode* entschieden. Bei dieser Methode ignoriert man den Node-Typ (Pfad oder Hindernis) und berechnet einfach die Kosten als würde man direkt, ohne Diagonalen, zum Ziel gehen. Für die Kostenberechnung allgemein muss man sich auf einen numerischen Wert für das horizontale bzw. vertikale und diagonale Bewegung zum nächsten Node festlegen. Als Wert für die horizontale bzw. vertikale Bewegung wird 10 ($1 * 10$) festgelegt. Für die diagonale Bewegung wird 14 ($\sqrt{2} * 10$) verwendet. Mit diesen Werten lassen sich nun die Gesamtkosten eines Nodes berechnen.

Der Algorithmus arbeitet mit zwei Listen, der *Open List* und der *Closed List* also die offene und geschlossene Liste. In der *Open List* befinden sich die Felder, die für einen möglichen Pfad in Frage kommen. In der *Closed List* sind die Nodes, welche schon beschriftet wurden. [2]

In Schritt 1 von Abbildung 2.2 sind die hellblauen Felder als Start und Zielfeld markiert. Das Startfeld wird nun im zweiten Schritt (Abbildung 2.2b) in die offene Liste aufgenommen. Von ihm werden jetzt die Nachbarn ermittelt und diese der offenen Liste hinzugefügt. Das Startfeld wird dann der geschlossenen Liste hinzugefügt, weil es jetzt als Beschritten gilt. Aus der offenen Liste wird nun das Feld mit den geringsten F-Kosten beschritten (Abbildung 2.2c). Der Node rechts vom Start hat die geringsten Kosten, wird nun beschritten (in Lila gekennzeichnet). Dieser Node merkt sich seinen Parent, um später seinen Weg zurück verfolgen zu können. Die Parent Nodes erkennt man anhand der Pfeile, die auf sie gerichtet sind. Die Nachbarn des eben beschrittenen Nodes sind bereits in der offenen Liste, weshalb sich an dieser Liste nichts ändert.

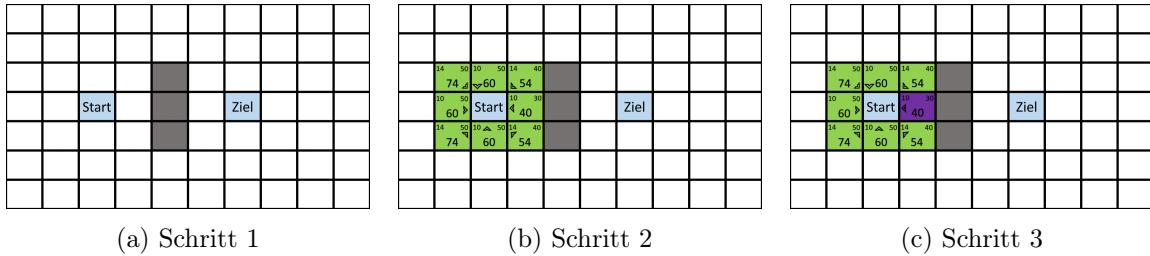


Abbildung 2.2: A* Ausführungsschritte 1-3

Nun wird wieder der Node mit den geringsten Kosten gewählt. Er wird in die geschlossene Liste aufgenommen und seine Nachbar werden zur offenen Liste hinzugefügt Schritt 1 von Abbildung 2.3. Dieser Vorgang wiederholt sich nun neun Mal (siehe Abbildung 2.4, 2.5 und 2.6).

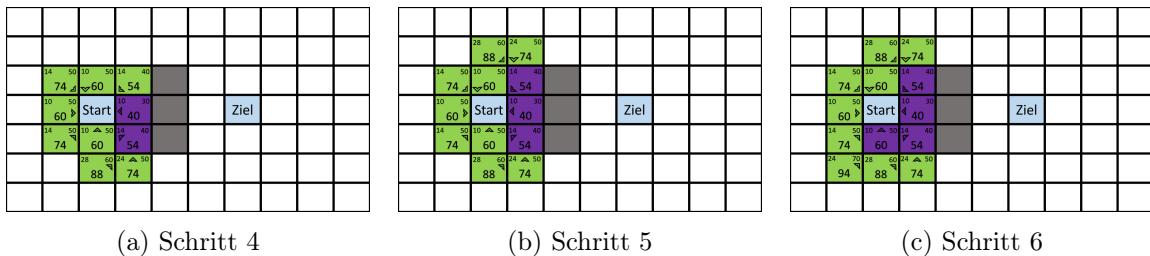


Abbildung 2.3: A* Ausführungsschritte 4-6

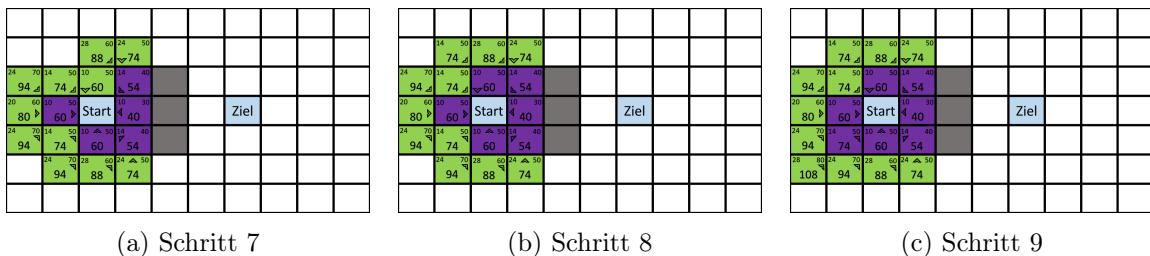


Abbildung 2.4: A* Ausführungsschritte 7-9

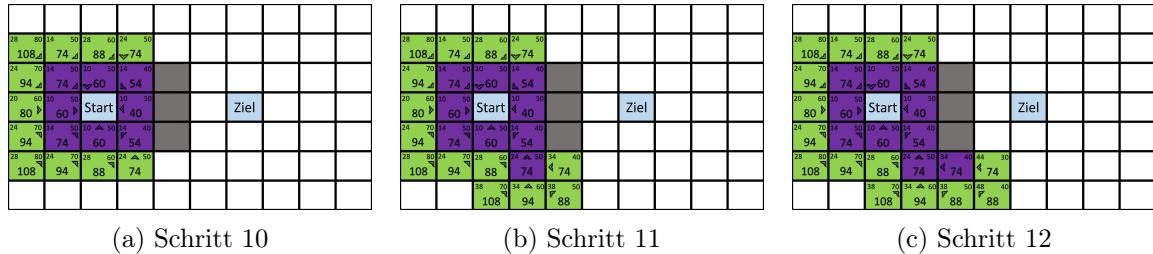


Abbildung 2.5: A* Ausführungsschritte 10-12

Befindet sich das Ziel in der offenen Liste so ist das Ziel gefunden bzw. erreicht worden. Sollte sich kein Node mehr in der *Open List* befinden, gibt es keinen Pfad vom Start bis zum Ziel. Hierbei handelt es sich auch zugleich um den *Worst Case*, bei dem alle Nodes besucht wurden. Der kürzeste Pfad aus den beschrittenen Nodes kann nun mit der Zurückverfolgung anhand der Parents herausgefunden werden. Im Detail heißt das, dass man vom Ziel zu dessen Parent dann zum nächsten Parent usw. geht, bis man wieder auf das Startfeld trifft. Damit hat man den kürzesten Weg vom Start bis zum Ziel bestimmt. (Im [Anhang](#) ist eine Animation eingebettet, welche mit dem Adobe Reader abgespielt werden kann.)

28	80	14	50	28	60	24	50		
108 ↳		74 ↳		88 ↳	▽ 74				
24	70	14	50	10	50	14	40		
94 ↳		74 ↳	▽ 60		54				
20	60	10	50	Start	◀ 40				
80 ▷		60 ▷				72	10	Ziel	72
24	70	14	50	10 ▲ 50	14 ▷ 40	54	20		68
94 ↳		74 ↳		60	54	▽ 74	68	◀ 88	20
28	80	24	70 ↳	28	60 ↳	24 ▲ 50	34	40 ↳	72
108 ↳		94 ↳		88 ↳	74 ↳	◀ 74	74	◀ 74	30
		38	70 ↳	34 ▲ 60	38	50 ↳	48	40 ↳	102
				108 ↳	94	88	88	88	

Abbildung 2.6: A* Schritt 13

2.2 Unity

Unity ist eine Laufzeit- und Entwicklungsumgebung von *Unity Technologies*. Sie eignet sich besonders gut zur Entwicklung von Spielen für unterschiedliche Endgeräte. Mit Unity kann unter anderem für folgende Plattformen entwickelt werden: Desktop Anwendungen, mobile Endgeräte

und Webbrowser. So kann die GameEngine unter anderem verwendet werden, um Spiele sowohl für Apples Betriebssystem iOS wie auch für Android Geräte zu bauen. Unity bietet die Möglichkeit Anwendungen sowohl in 2D als auch in 3D zu entwickeln. Die Entwicklungsumgebung ist für Windows, Linux und MacOS verfügbar.

Die Entwicklungsumgebung erinnert an gängige 3D-Entwicklungsplattformen. Dessen Oberfläche besteht aus einem Hauptfenster in dem die Spielscene zu finden ist. In dieser Scene können 2D und 3D Objekte ausgewählt, skaliert und verschoben werden. Ein Element der Scene wird GameObject genannt und in einer hierarchisch organisierten Sidebar aufgelistet. Einem GameObject können weitere Komponenten wie Sounds, Materials oder Skripte zugeordnet werden. Ein einem GameObject zugeordnetes Skript kann das Verhalten eines GameObjects bestimmen. Ein Skript bestimmt die Spiellogik und wird in C# geschrieben. Der Standard Editor von Unity ist Visual Studio. Zum Entwickeln kann aber auch jeder andere Editor verwendet werden. Skripte, Assets wie zum Beispiel auch 3D Modelle können als sogenannte *Prefabs* zusammengefasst werden. Einem Prefab kann bestimmtes Verhalten zugeordnet werden. Dies ist von Vorteil, wenn das gleiche Objekt mehrmals in einer Scene verwendet werden soll. [3]

2.3 Vuforia

Bei Vuforia handelt es sich um ein Augmented Reality SDK für mobile Endgeräte. Mit diesem SDK lassen sich Augmented Reality Anwendungen für iOS und Android entwickeln. Mit Vuforia lassen sich Bilder (ImageTargets) und einfache 3D Objekte (3D Scans) in Echtzeit erkennen und verfolgen. Vuforia bietet dem Entwickler mehrere APIs. Darunter APIs in C++, Java, Objective C++ und als Erweiterung für Unity auch in C#. Vuforia kann in Unity als Erweiterung die Möglichkeit der Scene eine AR-Camera hinzuzufügen und ermöglicht so eine Augmented Reality Umgebung in der Anwendung. Vuforia erweitert die Auswahl von GameObjects in Unity. Der Scene können durch Vuforia, GameObjects wie ImageTargets, ModelTargets, 3D Scans oder VuMarks hinzugefügt werden. [4]

2.3.1 ImageTargets

Ein ImageTarget ist ein reales Objekt, welches von der Vuforia AR-Camera erkannt werden kann. Wird ein ImageTarget in der realen Welt vor der Kamera des mobilen Endgeräts platziert, erkennt das Vuforia SDK durch die Bilderkennung das ImageTarget. Auf dem erkannten ImageTarget können so virtuelle Objekte wie zum Beispiel 3D-Modelle platziert werden. Die Position und Orientierung des 3D-Modells richten sich hierbei nach dem erkannten ImageTarget. Ein Bild benötigt hierbei keine speziellen schwarz-weiß Regionen wie zum Beispiel ein QR-Code. Das Bild wird mit einem, in einer Vuforia Datenbank hinterlegten Bildes, abgeglichen und so anhand seiner natürlichen Merkmale erkannt. Befindet sich das Bild im Blickwinkel der Kamera des Endgerätes, wird dieses erkannt und so lange getrackt, bis es den Blickwinkel der Kamera verlässt.

Bilder können im JPG oder PNG Format in RGB oder Graustufen in die Vuforia Datenbank geladen werden. Ein Bild darf hierbei nicht größer als 2MB sein. Beim Upload in die Datenbank muss die Breite des Bilds in Meter angegeben werden. Die Datenbank mit den Referenzbildern kann für unterschiedliche Plattformen heruntergeladen werden. Darunter unter anderem Android Studio, xCode, Visual Studio oder Unity. Das heruntergeladene Package kann dann in der

jeweiligen Plattform importiert werden. [5] [6]

2.3.2 Object Recognition

Die Vuforia Object Recognition funktioniert ähnlich wie die Erkennung von ImageTargets. Ein reales Objekt wie zum Beispiel eine Streichholzschachtel kann anhand von bestimmten Merkmalen und eines Referenzobjektes in einer Vuforia Datenbank zur Laufzeit erkannt und verfolgt werden. Damit die Objekterkennung durch Vuforia gut funktioniert, sollte das Objekt undurchsichtig sein und über keine beweglichen Teile verfügen. Die Oberfläche des Objekts sollte viele kontrastbasierte, eindeutige Merkmale aufweisen, die als Referenzpunkte bei der Erkennung dienen können.

Referenzobjekte, die in die Vuforia Datenbank geladen werden können, müssen mit dem Vuforia Object Scanner [7] erstellt werden. Der Scanner ist eine Applikation für Android Geräte, die als APK von Vuforia zur Verfügung gestellt wird. Das zu scannende Objekt wird hierbei auf einer definierten Unterlage platziert und eingescannt. Ergebnis des Scavorgangs ist eine Object Data Datei (*.od*), die in die Vuforia Datenbank geladen werden kann. Wie bei den ImageTargets beschrieben, kann auch diese Datenbank heruntergeladen und in die Entwicklungsumgebung importiert werden.

Kapitel 3

Recherche

3.1 A* Algorithmus

Das Thema Wegfindung spielt in diesem Projekt eine wichtige Rolle. Der Computergegner soll einen Wegfindungs-Algorithmus benutzen, um den kürzesten Weg zum Ziel finden. Dabei soll die Wegfindung schnell und zuverlässig sein, auch wenn dynamisch ein oder mehrere Hindernisse auftauchen. In Kapitel 2.1 wird die Funktionsweise des Algorithmus erläutert. An dieser Stelle soll deutlich werden warum sich in diesem Projekt für den A* Algorithmus entschieden wurde.

Zu den bekanntesten Algorithmen der Wegfindung gehören Dijkstra und A*. In Tabelle 3.1 werden die Vor- und Nachteile dieser Algorithmen gegenüber gestellt. Die Entscheidung für den A* Algorithmus ist aufgrund der Optimierung für die Suche mit nur einem Ziel. Das erhöht die Performanz, was bei einem Spiel zu einem besseren Spielfluss führen kann. [8]

Algorithmus	Vorteile	Nachteile
Dijkstra	<ul style="list-style-type: none"> Das Ziel muss nicht bekannt sein. Gut geeignet bei mehreren Zielen 	<ul style="list-style-type: none"> Es wird der kürzeste Weg gefunden, bis dahin werden aber auch unnötige Pfade gegangen. Liefert fehlerhafte Ergebnisse bei negativen Kanten
A*	<ul style="list-style-type: none"> Verwendung einer Heuristik, um zielgerichtet zu suchen. Höhere Performanz durch zielgerichtete Suche. Er ist komplett, da er immer einen Weg findet, solange einer existiert Kann in einen anderen Path-Finding Algorithmus umgewandelt werden, indem man die Heuristik wechselt 	<ul style="list-style-type: none"> Nicht hilfreich wenn es mehrere Ziele gibt, da man nicht sagen kann welches das naheliegendste Ziel ist.

Tabelle 3.1: Vergleich A* und Dijkstra

3.2 ImageTargets

ImageTargets sollen im Projekt RunnAR als Hindernisse wie auch als mögliches dynamisches Ziel für den Spieler dienen. Aus diesem Grund wurden vier unterschiedliche ImageTargets in die Vuforia Datenbank eingefügt, die dem Spieler als Hindernis dienen sollen. Wie im Kapitel [2.3.1 ImageTargets](#) müssen die ImageTargets über möglichst viele eindeutige Merkmale verfügen. Die Vuforia Datenbank verfügt über eine Funktion zur Berechnung eines Rankings, anhand derer sich die ImageTarget Erkennungsqualität ablesen lässt. Nach erfolgreicher Recherche stellt sich heraus, dass Bilder mit einem weißen Hintergrund und einem eindeutigen Bild mit unterschiedlichen Merkmalen das höchstmögliche Maß an Wiedererkennungswert besitzt (siehe Abbildung: [3.1](#)).



Abbildung 3.1: Beispiel ImageTarget

3.3 Objekterkennung

Da die Objekterkennung einen großen Anteil des RunnAR Projekts ausmacht, wurde zu diesem Thema viel Recherche betrieben. Da die Objekte vom Benutzer in Echtzeit platziert und manipuliert werden können, wurde ein besonderes Augenmerk auf die Performanz der Implementierungsmöglichkeiten gerichtet.

3.3.1 Tensorflow

Tensorflow ist ein von Google entwickeltes Framework. Es wird oftmals in Programmen für maschinelles Lernen genutzt. Implementiert ist es in Python und C++. Da Unity von Haus aus mit C# Skripten arbeitet und keine alternative Sprache genutzt werden kann, muss für Unity das TensorFlowSharp Plugin genutzt werden. Dies stellt Wrapper zur Verfügung die den nativen C++ Code in C# Code umwandeln. Auf Github finden sich einige Beispielprojekte, die den Fokus auf Objekterkennung setzen. Dies ermöglicht einen schnellen Einblick in die Funktionalitäten von Tensorflow in Kombination mit Unity. Tensorflow ermöglicht es zwar durch trainierte Agenten eine große Variation an Objekten zu erkennen und zu klassifizieren, jedoch braucht dies Zeit. Die Kamera muss sich recht nah am Objekt befinden und Tensorflow verliert immer wieder den Fokus auf das Objekt. Zusätzlich ist die Bounding Box, die um das Objekt dargestellt wird, recht grob. Bei diesem Ansatz fehlte für das Projekt also die Performanz und die Genauigkeit. Zusätzlich passte die Nähe die die Kamera zu dem Objekt haben musste nicht zu unserem Spielkonzept. [9]

3.3.2 OpenCV

OpenCV ist eine freie Programmbibliothek zur Bildverarbeitung. Der Ansatz mit OpenCV wäre, dass Umrisse, von auf dem Tisch platzierten Gegenständen, erkannt werden sollen. Dies müsste jedoch auf einem hellen Untergrund geschehen, von dem sich die Objekte deutlich abheben. Der Vorteil gegenüber Tensorflow wäre hierbei, dass man keine trainierte Agenten bräuchte, die die Objekte zusätzlich klassifizieren würden. OpenCV hat jedoch den Nachteil, dass der Einsatz mit Unity kostenpflichtig ist. Die Kombination mit Unity ohne Kosten gestaltet sich schwierig. Da Unity nur mit C# Skripten arbeiten kann, müssten Wrapper implementiert werden, die die Kommunikation zu Unity ermöglichen. Fragwürdig ist jedoch wie performant die Erkennung der Objekte mit OpenCV ist. Viel Zeit und Aufwand hätten in die Entwicklung eines C++ Projekts mit OpenCV fließen müssen, bei der am Ende immer noch die Frage im Raum gewesen wäre, ob dies überhaupt flüssig in Unity laufen würde. Diesen Ansatz haben wir nach mehreren Tagen erfolgloser Recherche und Implementierungsversuchen für ineffizient eingestuft.

3.3.3 Vuforia Object Recognition

Vuforia verfügt nativ über Object Recognition [10]. Hierbei müssen die Objekte, welche erkannt werden sollen, vorher durch eine kostenlose App für Android Geräte eingescannt werden. Hierfür kann man sich auf der Webseite von Vuforia eine Schablone ausdrucken, auf der man die zu scannenden Objekte platziert. Danach nutzt man die App und scannt die Objekte mit der Kamera auf dem mobilen Endgerät ein. Es wird virtuell ein Gitter um das platzierte Objekt dargestellt und die Bereiche die fertig gescannt wurden, werden grün markiert. Dies wiederholt

man solange bis das Gitter komplett grün gefärbt ist. Beim einscannen sollte man keine Objekte nehmen die zu klein sind, da diese recht lange brauchen um eingescannt zu werden. Zusätzlich ist die Erkennung kleiner Objekte nicht sehr effektiv, da Vuforia bei kleinen Objekten nicht ausreichend Vergleichspunkte hat um die Gegenstände zu erkennen. Die Performanz der eingescannten Objekte ist sehr gut, sodass die Einschränkung, dass nur eingescannte Objekte erkannt werden können, in Kauf genommen wurde. Auch die Erkennung über weite Entfernnungen ist gegeben. Nach dem Einstellen, können diese in eine Datenbank importiert und problemlos in Unity eingebunden werden. Mehr zu diesem Thema im Kapitel [5.3 Erkennung von Objekten](#).

Kapitel 4

Konzept

In diesem Kapitel werden zum Einen die Funktionsanforderungen, die das Projekt am Tag der Abgabe erfüllen soll, aufgeführt. Nicht alle Vorhaben lassen sich in dem vorgegebenen Zeitraum umsetzen, sodass eine Liste aus Funktionsanforderungen gefertigt wird. Zum Anderen wird das Konzept für das Spiel RunnAR im Detail beschrieben.

4.1 Definition von Funktionsanforderungen

Bei der Abgabe des Projektes sollen folgende Anforderungen Teil des Funktionsumfang sein:

- Es soll einen festen Start- und Zielpunkt für die Berechnung des kürzesten Wegs vorhanden sein.
- Eine algorithmus-gesteuerte Spielfigur soll den kürzesten Weg vom Start zum Ziel berechnen und ablaufen.
- Es sollen auf dem Spielfeld platzierte Objekte als Hindernis anerkannt werden.
- Die platzierten Hindernisse sollen von der Spielfigur umgangen werden und der kürzeste Weg soll neu berechnet werden.
- Die Anwendung soll auf iOS und Android Geräten laufen.
- Ein Timer soll die Zeit anzeigen, die der algorithmus-gesteuerte Spiel hat um zum Ziel zu gelangen.
- Der Spieler soll ein visuelles Feedback erhalten ob er gewonnen oder verloren hat.

4.2 Spielkonzept

Im Projekt RunnAR soll eine Spielfigur ein Hindernisfeld in einer vorgegebenen Zeit überwinden. Das Spielfeld befindet sich auf einer flachen Ebene und wird per Augmented Reality in die reale Welt projiziert. Die Hindernisse auf dem Spielfeld sind variabel und auch zur Spielzeit veränderbar. Der Spieler wird von einem Algorithmus gesteuert. Der Algorithmus steuert die Spielfigur

in Richtung Ziel. Der Mensch als Gegenspieler versucht die Spielfigur, durch das Setzen von Hindernissen auf dem Spielfeld, daran zu hindern, das Ziel zu erreichen.

Die Spielidee basiert auf der Geschichte, dass ein Student den Studienalltag überleben muss. Hierbei werden die Hindernisse, den der Student ausweichen muss, durch bestimmte Gegenstände dargestellt. Bei den Gegenständen handelt es sich um Dinge, die einem Studenten den Studentenalltag erschweren. Ein solches Hindernis kann beispielsweise eine Straßenbahn sein, die stellvertretend für lange Fahrtzeiten zur Uni steht.

In Abbildung 4.1 sind drei Beispielschritte eines Musterspielfelds abgebildet. Die Spielfigur (grüner Pullover), welche sich zu Beginn des Spiels am unteren Rand des Spielfelds befindet, muss den Hindernissen ausweichen. Hindernisse sind reale Objekte, die im Spieldurchfluss erkannt werden und so ein 3-dimensionales Hindernis für den Spieler darstellen. Der Start und das Ziel sind ebenfalls durch Muster gekennzeichnet.

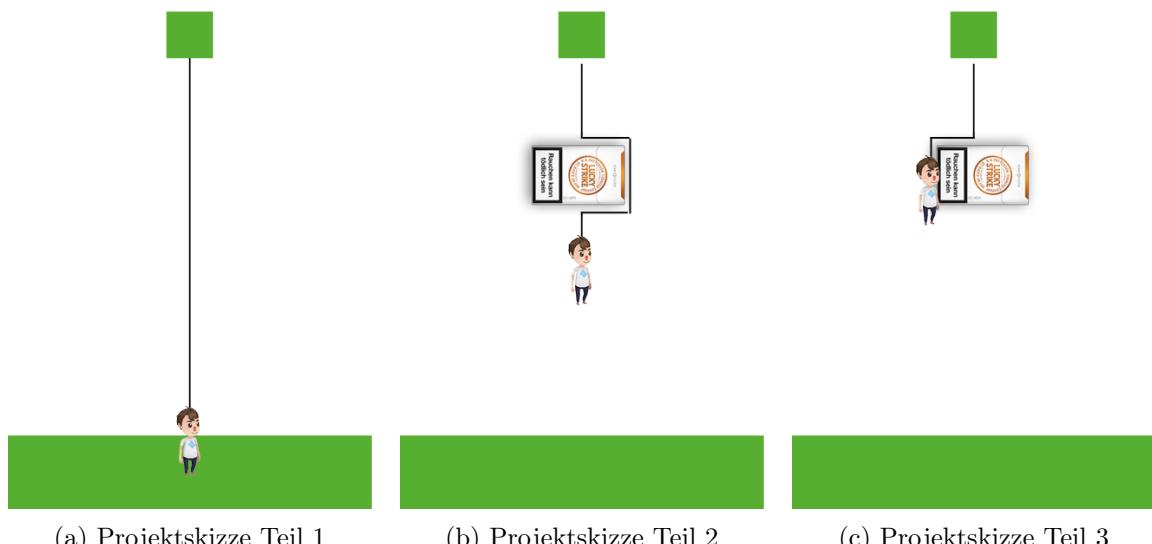


Abbildung 4.1: Projektskizze

Kapitel 5

Umsetzung

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schritte der Implementierung des Spielkonzepts beschrieben. Hierbei wird auf die unterschiedlichen Komponenten des Spiels eingegangen sowie auf die Schwierigkeiten, die bei der Implementierung aufgetreten sind.

5.1 Implementierung des A* Algorithmus

Allgemein

Die Implementierung des A* Algorithmus erfolgt in einem separaten Projekt, um mögliche Abhängigkeiten zu minimieren. Dieses Projekt ist in Abbildung 5.1 zu sehen. In der Grafik ist das Spielfeld, also das Grid mit seinen Nodes zu sehen, dort als graue oder rote Kacheln unter den Objekten dargestellt. Ein Node ist dementsprechend entweder als Pfad (grau) oder ein Hindernis (rot) gekennzeichnet.

Für das Bestimmen der Hindernisse auf dem Spielfeld wird die Funktionalität der Layers von Unity verwendet. Mit ihr lassen sich Spielobjekte logisch voneinander treffen. So sind die roten Quader auf dem selbst definierten Layer *unwalkable*.

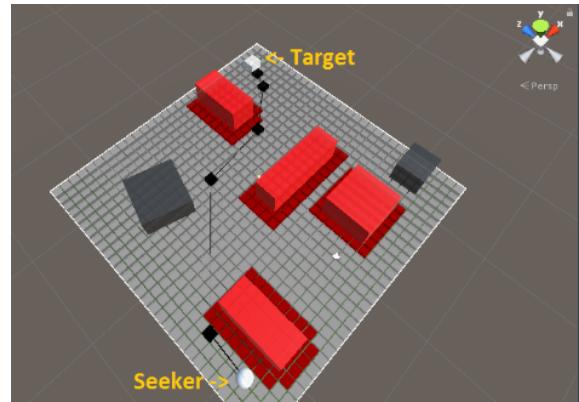


Abbildung 5.1: A* Implementation in Unity

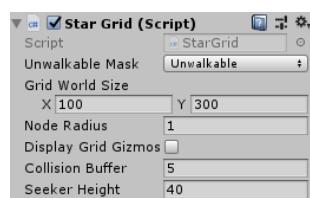


Abbildung 5.2: StarGrid
Settings

Wird das Spielfeld durch die *StarGrid* Klasse generiert, kann gezielt nach den Hindernissen mit diesem Layer gesucht werden. Dann bekommen die Nodes, die entsprechende Eigenschaft ob sie begehbar oder nicht begehbar sind.

Damit dieses Skript im Kontext von Unity eingebunden werden kann, wird ein leerer *GameObject* erstellt, was alle zum Algorithmus gehörenden Skripte zugewiesen bekommt. Dort lassen sich dann zum Beispiel

Parameter wie die Größe des Grids, den Radius einen einzelnen Nodes oder ein Wert für einen Puffer setzen (siehe Abbildung 5.2). Der Puffer ist dann auf die Größe der Hindernisse drauf gerechnet, damit die Spielfigur einen größeren Abstand bei Verbeilaufen hat.

Sobald der A* den kürzesten Pfad berechnet hat bekommt er eine Liste mit Node-Position, welche dann verwendet werden, um die Spielfigur von Node zu Node laufen zu lassen aber auch den Pfad zu visualisieren.

Binary-Min-Heap

Im Grundlagenkapitel [A* Algorithmus](#) (2.1) wird erläutert, dass der A* Algorithmus eine *Open List* verwendet, die benötigt wird, um alle Nodes zu speichern, die als möglicher Wegpunkt in Frage kommen. Da dessen Nodes häufig sortiert und aktualisiert werden muss, wird dafür ein Binary-Min-Heap als Priority Queue verwendet. Diese Datenstruktur kann effizient mit einem linearem Zeitaufwand von $O(n)$ erzeugt werden. Das Hinzufügen oder Entfernen von Elementen hat im schlimmsten Fall eine Laufzeit von $O(\log n)$. Der Vorteil bei dieser Datenstruktur gegenüber einem herkömmlichen Arrays ist das *in-place* Sortieren und wenn intern mit einem Array gearbeitet wird, ist der Speicherverbrauch gering und die Zugriffe sind schnell. Die Gesamtkomplexität für das Sortieren wäre im *Worst-Case* $O(n * \log n)$.

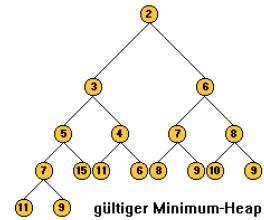


Abbildung 5.3: Binary-Min-Heap Beispiel

PathRequestManager

Der *PathRequestManger* ist eine Klasse, die implementiert wurde, um mehrere Wegberechnung nacheinander asynchronen abarbeiten zu lassen. Dabei verwaltet er alle Pfadanfragen und lässt alle nacheinander berechnen. Das sorgt dafür, dass der Spielfluss nicht durch das Blockieren des Hauptthreads unterbrochen wird.

Turret



Abbildung 5.4: PathRequest-Manager Settings

welche angepasst werden können. Zum Einen sind das die Schussgeschwindigkeit, der Austrittsbereich, aus dem das Projektil geschossen wird und das eigentliche Projektil. Zum Anderen ist dort das Feld *Seeker*, welche eine Referenz zur Spielfigur ist, also das Objekt auf das geschossen werden soll. Diese Komponente hat es noch nicht in das aktuelle Spiel geschafft, was aber mit dieser Klasse einfach nachzuholen ist.

Für das im Kapitel [Zusammenfassung und Fazit](#) (6) erwähnte Feature einer schießenden Einheit ist das *Turret* Skript geschrieben worden. Dieses Skript wird einem *GameObject* zugewiesen, welches dann auch im Spiel Projektilen verschießen soll. Als Projektil kann ein beliebiges *GameObject* verwendet werden. Sollte keines ausgewählt sein, wird ein Standard Projektil aus den Prefabs geladen. Wie in Abbildung [5.4](#) zu sehen, gibt es vier Parameter,

5.2 ImageTargets

Wie im Kapitel [ImageTargets 3.2](#) beschrieben, wurden vier unterschiedliche ImageTargets entworfen und in die Vuforia Datenbank geladen. Hierbei handelt es sich um Bilder von Gegenständen, die einem Studenten den Uni Alltag immer wieder erschweren. Bei den Gegenständen handelt es sich um die Mensa, Pizza, Bier und die Straßenbahn. Die Mensa steht für die komplizierte Platzsuche in einer überfüllten Mensa. Die Pizza repräsentiert das Ausweichessen, was es jeden Tag zu Hause gibt, wenn der Kühlschrank mal wieder leer ist. Das Bier steht für die Verlockung an einem sonnigen Abend den Stift fallen zu lassen und Bier zu trinken. Die Straßenbahn steht stellvertretend für die langen Anfahrtswege zur Uni.

Die ImageTargets haben sich im Laufe des Projekts den Anforderungen entsprechend verändert. Durch das Ranking in der Vuforia Datenbank stellte sich heraus, dass die ersten Entwürfe (siehe Abbildung [5.5](#)) der ImageTargets einen schlechten Wiedererkennungswert aufwiesen. Aus diesem Grund mussten die Referenzbilder für die ImageTarget Detection überarbeitet werden. Durch die Anpassung der Bilder hat sich das Ranking durch die Vuforia Datenbank deutlich verbessert (siehe Abbildung [5.6](#)). Diese Verbesserung hat dazu beigetragen, dass die Bilder in der Anwendung auf größere Entfernung besser erkannt und verfolgt werden konnten.

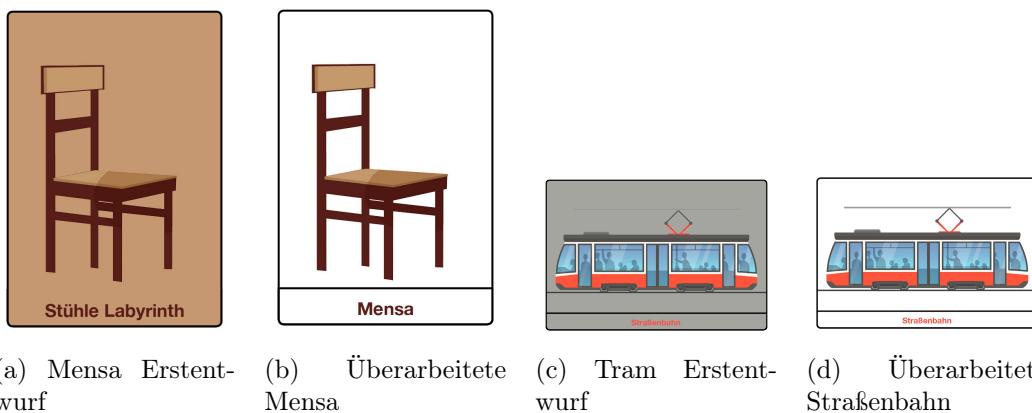


Abbildung 5.5: Entwicklung der ImageTargets

<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating
<input type="checkbox"/>  Mensa	Single Image	★★★★★
<input type="checkbox"/>  pizza	Single Image	★★★★★
<input type="checkbox"/>  beer	Single Image	★★★★★
<input type="checkbox"/>  tram	Single Image	★★★★★

Abbildung 5.6: Vuforia Ranking

5.3 Erkennung von Objekten

Wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben müssen die eingescannten Objekte in eine Vuforia Datenbank importiert werden (siehe Abb. 5.7). Diese Datenbank wird im Vuforia Developer Portal zur Verfügung gestellt und ist mit wenigen Klicks eingerichtet. Diese Datenbank lässt sich für unterschiedliche Entwicklungsplattformen herunterladen. Unter anderem auch für die Unity IDE als package. Um die Objekte nun in der Unity Scene verwenden zu können, muss das Package per Import Package Funktion in Unity geladen werden.

<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating	Status	Date Modified
<input type="checkbox"/> cigarettes	Object	n/a	Active	Jan 10, 2019 09:49
<input type="checkbox"/> matches	Object	n/a	Active	Jan 09, 2019 19:51

Abbildung 5.7: Vuforia Datenbank

Vuforia bietet die Möglichkeit in Unity 3D Scan Objekte als Gameobjekt anzulegen. Bei dem angelegten Objekt kann nun die importierte Datenbank und das wiederzuerkennende Objekt ausgewählt werden.

In der Szene erscheint nun eine Bounding Box. Laut der Vuforia Dokumentation [10] sollte die Bounding Box den Maßen des eingescannten Objektes entsprechen. Dies ist bei der Durchführung jedoch nicht der Fall gewesen. Die Objekte haben einen Nullpunkt. (siehe Abb. 5.8) Der Nullpunkt wird von der Schablone welche zum Einscannen genutzt wird, übernommen. Die Bounding Box bietet sich gut an, um Objekte auf dem eingescannten Objekt zu platzieren. Jedoch ist die Länge vom Nullpunkt bis zum Ende des Objektes nicht bekannt. Auch rechteckige Objekte werden durch eine quadratische Bounding Box dargestellt. Durch diesen Umstand kann keine präzise Bounding Box generiert werden, die das reale Objekt in der Scene widerspiegelt.

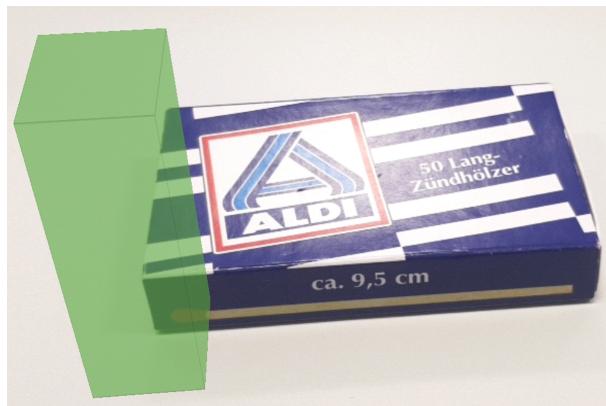


Abbildung 5.8: Eingescanntes Objekt mit Nullpunkt

Dem in der Scene befindlichen 3D Scan Game Object kann nun der *unwalkable Layer* zugewiesen werden siehe 5.1 Implementierung des A* Algorithmus. Im Test reagierte der A* Algorithmus nicht auf die realen Objekte, da diese sich nicht auf der selben Ebene befinden wie das Spielfeld. Durch diesen Umstand haben wir den *DefaultTrackableEventHandler* von Vuforia erweitert. Hierfür wurde ein eigenes Script implementiert, welches die eingescannten Objekte bei jedem Update

auf die Position 0 der y-Achse transformiert. So wird sichergestellt, dass sich das reale Objekt und das Spielfeld auf der selben Ebene befinden. Das reale Objekt wurde daraufhin von den Nodes des A* Grids als unwalkable erkannt.

Um die Objekte in die Scene des Spielers zu integrieren muss sich die Kamera exakt über dem Spielfeld befinden. Eine Third Person Ansicht ist nicht möglich, da die erkannten Objekte von der Position der Kamera ausgehen. Steht die Kamera Beispielsweise auf xyz(0,-20, -20), erhält das gescannte Objekt ebenfalls diese Koordinaten. Wird das Objekt in der realen Welt bewegt, verändern sich die Koordinaten, allerdings ausgehend von der Kamera Position. Durch diesen Umstand muss die Kamera exakt in der Mitte des Spielfelds befinden, damit die realen Objekte ausgehend von diesem Punkt platziert werden können.

5.4 UI

Wie in Abbildung 5.9 zu sehen ist, besteht das User Interface für die RunnAR Anwendung aus zwei unterschiedlichen Ansichten. Zum Einen ist in Abbildung 5.9a das Startmenü zu sehen. Hierbei hat der Nutzer die Möglichkeit die Anwendung zu verlassen indem der Exit Button geklickt wird, oder das Spiel kann durch den Start Button gestartet werden. Zum Anderen besteht die Anwendung aus der Spielansicht (siehe Abbildung 5.9b). Die Spielansicht beinhaltet einen Replay Button, einen Timer sowie den Spieler und alle Interaktionselemente für den Spieler. Durch den Replay Button lässt sich der derzeitige Spielstand zurücksetzen und von Neuem beginnen. Der Timer läuft runter von 90 Sekunden. Ist die Zeit abgelaufen ist die Spielrunde beendet. Das UI der Anwendung befindet sich in einem prototypischen Zustand, der eine einfache Bedienung ermöglicht.

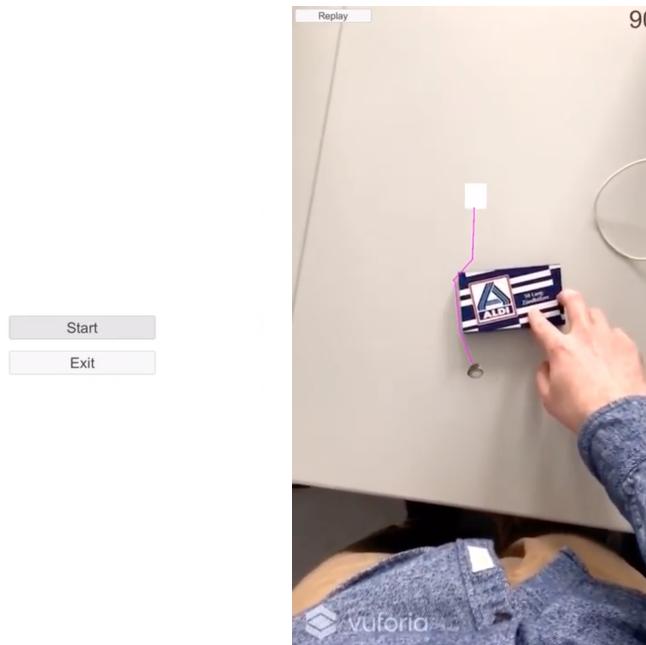


Abbildung 5.9: User Interface Elemente

Kapitel 6

Zusammenfassung und Fazit

Die Interaktion von AR-Objekten und echten Objekten gestaltet sich schwierig. Die Performanz der Vuforia Objekt Recognition ist gut, jedoch ist das Vuforia SDK unausgereift. Das Fehlen einer präzisen Bounding Box erschwert die Berechnung der Wegfindung, da die Größe des Objekts im Spielfeld nicht klar ersichtlich ist. Zusätzlich ist Unity sehr konfigurationslastig, was auch bei kleinen Änderungen in der Konfiguration große Auswirkungen auf die Spielszene haben kann. Mehrere Leute können nicht gleichzeitig in einer Szene arbeiten, da eine Szene aus einer Datei besteht, die sich schwierig mergen lässt. Dies erschwerte die Teamarbeit per Versionsverwaltung. Der Objekterkennungsansatz in unserem Projekt ist sehr experimentell. Es war uns nicht möglich einen ähnlichen Ansatz für die Nutzung der Objekterkennung in einer AR Anwendung zu finden. Dies streut den Verdacht, dass AR zwar gut dafür ist AR-Objekte in die reale Welt zu platzieren, jedoch der Use-Case den wir für unser Projekt gewählt haben momentan nicht möglich ist. Dieses Projekt hatte ein großes Forschungsdelta, da wir uns gut in Unity einarbeiten konnten und viel Zeit in die Recherche zu den verschiedenen Ansätzen der Objekterkennung investiert haben.

Als Ausblick könnte man in RunnAR dynamische Ziele einbauen, die durch ImageTargets repräsentiert werden. Zusätzlich könnte das vorbereite Skript für die schießende Elemente eingebaut werden, dessen Projektilen der Algorithmus zusätzlich ausweichen müsste. Dies könnte auch den Spielfluss verbessern. Der Kamerawinkel könnte angepasst werden, um die Vogelperspektive in eine isometrische Ansicht zu ändern. So hätte man eine bessere Ansicht auf die Spielumgebung. Dazu müsste man jedoch den Versuch unternehmen, die Spielfigur auf der gleichen Ebene wie die gesetzten Objekte zu platzieren. Als Ansatz würde sich hier eine Ground Detection anbieten, die erweitert werden müsste um nicht nur Objekte zu platzieren, sondern auch die Spielfigur auf dem Tisch weitgehend realistisch in Bewegung darstellen.

Kapitel 7

Anhang

7.1 A* Beispiel

Literaturverzeichnis

- [1] A. Patel, “Introduction to A*,” 2019. [Online]. Available: <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html>
- [2] K. Ping and L. Shuai, “A brief introduction of an improved a star search algorithm,” in *2013 10th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, Dec 2013, pp. 146–148.
- [3] Unity, “Unity Game Engine,” 2019. [Online]. Available: <https://unity3d.com/de/what-is-a-game-engine>
- [4] Vuforia, “Target Engine,” 2019. [Online]. Available: <https://www.vuforia.com/engine.html>
- [5] ——, “ImageTargets,” 2019. [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/articles/Training/Image-Target-Guide>
- [6] ——, “Target Manager,” 2019. [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com/targetmanager/project/checkDeviceProjectsCreated>
- [7] ——, “Target Object Scanner,” 2019. [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide>
- [8] Z. Zhao and R. Liu, “An optimized method for a star algorithm based on directional guidance,” in *2015 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, Sep. 2015, pp. 986–989.
- [9] R. Phadnis, J. Mishra, and S. Bendale, “Objects talk - object detection and pattern tracking using tensorflow,” in *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, April 2018, pp. 1216–1219.
- [10] Vuforia, “How to use Object Recognition in Unity,” 2019. [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/articles/Solution/How-To-Use-Object-Recognition-in-Unity.html>
- [11] F. Ertam and G. Aydin, “Data classification with deep learning using tensorflow,” in *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Oct 2017, pp. 755–758.
- [12] F. Peng and J. Zhai, “A mobile augmented reality system for exhibition hall based on vuforia,” in *2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIWC)*, June 2017, pp. 1049–1052.
- [13] M. Barbehenn, “A note on the complexity of dijkstra’s algorithm for graphs with weighted vertices,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. 47, no. 2, pp. 263–, Feb 1998.