

Konzeption und Implementierung eines Sachwarmverhaltens von mobilen Kleinrobotern anhand eines Verfolgungsszenarios

STUDIENARBEIT

für die Prüfung zum
Bachelor of Science
des Studiengangs Informatik
Studienrichtung Angewandte Informatik
an der
Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

15. April 2017

Name	Manuel Bothner	Simon Lang
Matrikelnummer	8359139	6794837
Kurs	TINF14B2	TINF14B2
Ausbildungsfirma	1&1 Internet SE Brauerstr. 48 76135 Karlsruhe	ifm ecomatic GmbH Im Heidach 18 88079 Kressbronn am Bodensee
Betreuer	Prof. Hans-Jörg Haubner	

Erklärung

(gemäß §5(3) der „Studien- und Prüfungsordnung DHBW Technik“ vom 29. 9. 2015)

Ich versichere hiermit, dass ich die Studienarbeit meiner Studienarbeit mit dem Thema: „Konzeption und Implementierung eines Sachwarmverhaltens von mobilen Kleinrobotern anhand eines Verfolgungsszenarios“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Ort, Datum

Unterschrift

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Erwartetes Ergebnis	1
2	Technische Grundlagen	2
2.1	Robotik	2
2.1.1	Mobile Roboter	2
2.1.2	Sensorik	2
2.1.3	Antriebsarten	2
2.2	LEGO MINDSTORMS	2
2.2.1	Das EV3-System	3
2.2.2	Der EV3-Stein (Steuereinheit)	3
2.2.3	Motoren	4
2.2.4	Sensoren	5
2.2.5	Programmierung	7
2.3	Application (App) Entwicklung	9
2.3.1	Native Apps	9
2.3.2	Web Apps	9
2.3.3	Hybride Apps	10
2.3.4	Plattformübergreifende Entwicklung	10
2.3.5	Xamarin	11
2.3.6	Mono	13
2.3.7	.NET Framework	13
3	Theoretische Grundlagen	15
3.1	Schwarmverhalten	15
3.1.1	Allgemein	15
3.1.2	Vorbilder aus dem Tierreich	15
3.1.3	Szenarien	15
3.1.4	Algorithmen	15
3.2	Kommunikation	15
3.2.1	Grundlagen	15
3.2.2	TCP/IP	15
3.2.3	Wifi	15
3.2.4	Serialisierung	15

4	Projektorganisation	16
4.1	Projektablaufplan	16
5	Konzeption	17
5.1	Anforderungsdefinitionen	17
5.2	Softwarearchitektur	18
5.3	Steuerung	20
5.4	Szenarien	20
5.5	Use Cases	22
5.5.1	Connection	22
5.5.2	Synchronization	24
5.5.3	Szenario	26
5.5.4	Exception	28
5.6	Kommunikation	29
6	Implementierung	32
6.1	Kommunikation	32
6.2	App	32
6.3	Backend	32
6.4	Robot	32
7	Evaluation	37
8	Ausblick	38

Abkürzungsverzeichnis

AOT Ahead of Time.

API Application Programming Interface.

App Application.

ARM Acorn RISC Machines.

CLI Common Language Infrastructure.

CLR Common Language Runtime.

CPU Central Processing Unit.

CSS Cascading Style Sheets.

DLL Dynamic Linked Library.

HTML Hypertext Markup Language.

IL Intermediate Language.

JIT Just-in-Time.

JSON JavaScript Object Notation.

MVVM Model View ViewModel.

TCP Transmission Control Protocol.

UI User Interface.

UML UMnified Modeling Language.

XML Extensible Markup Language.

Glossar

Application Programming Interface Programmierschnittstelle, die die Anbindung von Software ermöglicht.

C# Objektorientierte Programmiersprache mit dem Schwerpunkt auf Typsicherheit.

Eclipse Programmierumgebung für diverse Programmiersprachen und Frameworks.

EV3 Kleinroboter der LEGO Mindstorm Serie.

Framework Rahmen zur Programmierung mit verschiedenen Softwarekomponenten.

Java Objektorientierte Programmiersprache für plattformübergreifende Anwendungen.

JavaFX Framework zur Erstellung von Java Anwendungen.

JavaScript Skriptsprache zur Entwicklung dynamischer Internetseiten.

leJos Java System zur Programmierung von LEGO Mindstorm.

Objective-C Auf C basierte objektorientierte Programmiersprache.

SQLite Bibliothek zur Erstellung einer lokalen relationalen Datenbank.

Template Vorlage zur Implementierung.

TypeScript Objektorientierte Programmiersprache für Webentwicklung.

Abbildungsverzeichnis

1	Zentrale Komponenten des EV3-Systems	3
2	App Entwicklung	9
3	Xamarin	11
4	Shared Project	11
5	Portable Class Library	12
6	Unterstützung Portable Class Library	12
7	Mono	13
8	.NET Framework Ausführung	14
9	Common Language Runtime	14
10	Softwarearchitektur	19
11	Steuerung	20
12	Logo	21
13	Mockup Connection	22
14	Use Case Connection	23
15	Mockup Synchronization	24
16	Use Case Synchronization	25
17	Use Case Update	25
18	Mockup Szenario	26
19	Use Case Szenario	27
20	Use Case Spectator	27
21	Use Case Exception	28
22	Aufbau Commands	32
23	Commands	33
24	Identifications	34
25	Devices	35
26	Scenarios	36
27	JSON Converter	36

Tabellenverzeichnis

1	Eigenschaften der EV3-Motortypen	5
2	Eigenschaften der EV3-Motortypen	7
3	JavaScript Object Notation (JSON) Kommando Connection	29
4	JSON Kommando Synchronization	29
5	JSON Kommando Scenario	30
6	JSON Kommando Exception	30
7	JSON Kommando Control	31
8	JSON Kommando Position	31

1 Einleitung

Heutzutage werden viele Arbeitsschritte in der Produktion, als auch Dienstleistungen von Maschinen verrichtet, da diese effizienter Arbeiten und weniger Kosten als Menschen verursachen. Da jede Maschine auf einen spezifischen Arbeitsschritt konfiguriert ist, müssen die verschiedenen Maschinen untereinander wie ein Schwarm agieren. Diese Verhaltensstrukturen kommen ursprünglich aus dem Tierreich, wie Fischeschwärme, Ameisen oder Bienen. Hierbei erledigt jedes Individuum seine zugewiesenen Aufgaben und hält die anderen Parteien auf dem aktuellen Stand.

In diesem Projekt werden diese Verhaltensmuster aus dem Tierreich aufgegriffen und anhand eines Verhaltensszenarios mit Kleinrobotern verwirklicht, die autonom agieren und kommunizieren, um zusammen ihr Ziel zu erreichen. Dabei sollen Konzepte, sowie Algorithmen für Schwarmroboter entstehen, die auch auf andere Szenarien angewendet werden können.

1.1 Ausgangslage

1.2 Zielsetzung

1.3 Erwartetes Ergebnis

2 Technische Grundlagen

2.1 Robotik

Tatsächlich gibt es Die VDI-Richtlinie 2860 von 1990 definiert einen Roboter wie folgt:

»Ein Roboter ist ein frei und wieder programmierbarer, multifunktio- naler Manipula- tor mit mindestens drei unabhängigen Achsen, um Ma- terialien, Teile, Werkzeuge oder spezielle Geräte auf programmierten, variablen Bahnen zu bewegen zur Erfüllung der ver- schiedensten Auf- gaben.«

Auch wenn die Definition einige Eigenschaften eines Roboters ... So beschreibt diese Defi- nition hauptsächlich stationäre Industrieroboter, wie sie in der Automatisierungstechnik verwendet werden, wie beispielsweise Schweiß- oder Lackierroboter in der Automobilferti- gung oder Kommissionierroboter in der Logistik. Die genannten programmierten Bahnen sind dort möglich und sinn- voll, weil der Arbeitsprozess, dessen Teil der Roboter ist, gemeinsam mit dem Roboter und seiner Programmierung gestaltet wird:

2.1.1 Mobile Roboter

Diese Kapitel ... Anders

2.1.2 Sensorik

Diese Kapitel ... Sensoren lassen sich hinsichtliche ihrer Arbeitsweise und ... wie folgt klassifizieren:

- A
-
-
-

2.1.3 Antriebsarten

2.2 LEGO MINDSTORMS

LEGO MINDSTORMS ist eine seit 1988 existierende Produktserie des Spielwarenher- stellers LEGO [vgl. 5, 21]. LEGO MINDSTORMS ermöglicht das Bauen, Programmieren und Steuern verschiedener LEGO Roboter. Dies Roboter bestehen dabei aus gängigen LEGO Teilen die auch in anderen LEGO-Produkten Verwendung finden, sowie speziellen LEGO-Komponenten wie einer zentralen Steuereinheit, Motoren und Sensoren.

2.2.1 Das EV3-System

Der 2013 erschienene EV3 ist das dritte System der LEGO MINDSTORMS Reihe. Die Bezeichnung setzt sich aus EV für Evolution und 3 für die 3 Stufe der LEGO MINDSTORMS-Serie zusammen [vgl. 5, Seite 21].

Im Vergleich zu den Vorgängersystemen verfügt das EV3-System über eine modernere und leistungsfähigere Steuereinheit und auch die anderen elektronischen Komponenten des System wurden an den heutigen Stand der Technik angepasst [vgl. 5, Seite 22].

Die folgende Abbildung X.X zeigt einige der zentralen Komponenten des EV3-Systems, wie die Steuereinheit (EV3-Stein), Motoren und vier Sensoren.

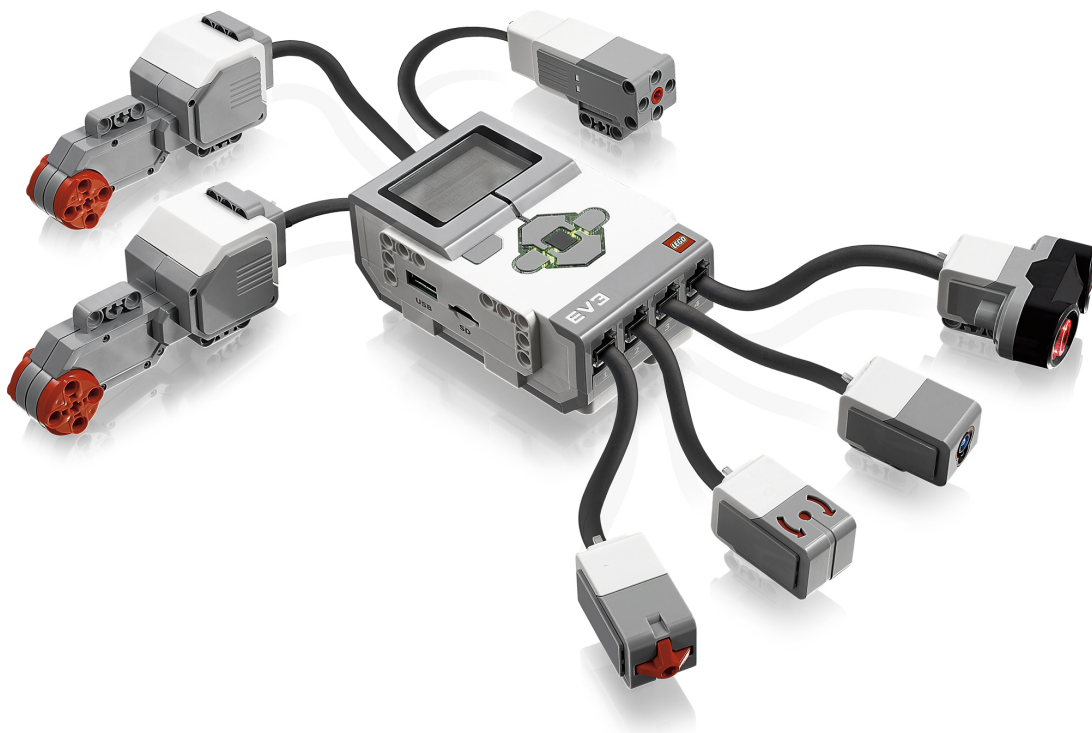


Abbildung 1: Zentrale Komponenten des EV3-Systems

Neben den elektronischen Komponenten gehören auch nicht elektronische Teile wie Verbindungsstücke, Balken und Zahnräder wie sie aus gängigen LEGO Produkten bekannt sind, zum EV3-System. Sie bilden die strukturelle und mechanische Grundlage der Roboter.

Im Folgenden wird auf die elektronischen Komponenten des EV3-Systems näher eingegangen. dieses Projekt eine deutlich größere Relevanz aufweisen.

2.2.2 Der EV3-Stein (Steuereinheit)

Die zentrale Komponenten und das Gehirn des LEGO MINDSTORMS EV3-Systems ist die zentrale Steuereinheit kurz (EV3-)Stein oder auch Brick genannt. Bei ihm handelt es sich um eine Computer welcher selbständig Programme ausführen kann. Dazu verfügt

der EV3-Stein über ein Linux Betriebssystem und eine spezielle Firmware, die wie die auszuführenden Programme auf einem Flash-Speicher liegen [vgl. 5, 21].

Zur Kommunikation mit dem PC verfügt der EV3-Stein über eine USB- sowie Bluetooth-Schnittstelle. Neben der Kommunikation zu einem Computer kann die USB-Schnittstelle auch für den Zusammenschluss mit einem weiteren EV3-Stein (genannt Daisy Chain) genutzt werden [vgl. 5, Seite 21].

Für den Anschluss von Motoren und Sensoren verfügt der EV3-Stein über 8 Ports, an welche die anderen System-Komponenten müber Kabel mit RJ12-Steckern angeschlossen werden. 4 der Ports dienen für den Anschluss von Motoren, die restlichen 4 Ports für die Abfrage von Sensorwerte [vgl. 5, 21].

Der EV3-Stein besitzt an der Vorderseite ein LCD-Display zur Anzeige von Texten und Grafiken sowie 6 Knöpfe für die Bedienung durch den Benutzer. Display und Knöpfe dienen zur Bedienung der Firmware sowie zur Tätigkeit von Einstellungen, können aber ebenso durch Programmen angesprochen und ausgewertet werden Start Mein Kanal Trends Abos BIBLIOTHEK [vgl. 5, 21].

Die folgende Auflistung zeigt einige Leistungsmerkmale des EV3-Steins [vgl. 5, 4, Seite 23 f., Seite 32].

- Prozessor: ARM9 32Bit, 300 MHz, 16 MB Flash 64MB RAM
- Betriebssystem: Linux
- Sensoranschlüsse: 4x, Analog / Digital bis zu 460,8 Kbit/s
- USB-Schnittstellen: 2x, für Kommunikation zum PC, Daisy Chain, WiFi-Stick, USB-Speichermedium
- SD-Karten-Lesegerät: 1x, für MicroSD-Karte bis 32 GB
- User-Interface: 6 Knöpfe inkl. Beleuchtung
- Display: LCD Matrix, monochrom, 178 x 128 Pixel
- Kommunikation: Bluetooth v2.1, USB 2.0 (Kommunikation zum PC), USB 1.1 (Daisy Chain)

2.2.3 Motoren

Das EV3-System verfügt über zwei unterschiedliche Motoren, einen großen Motor und einen mittleren Motor. Bei beiden handelt es sich um Servomotoren mit integriertem Rotationssensor, welche von außen angesteuert und abgefragt werden können [vgl. 4, 92]. Die Motoren lassen sich sehr exakt steuern und ermöglichen so einen synchronen Betrieb mehrerer Motoren [vgl. 5, Seite 29 f.].

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Eigenschaften der beiden Motoren.

Eigenschaft / Motortyp	Großer Motor	Mittlerer Motor
Winkelgenauigkeit	1 °	1 °
Umdrehungen	160 bis 170 U/min	240 bis 250 U/min
Drehmoment Rotation	20 Ncm	8 Ncm
Drehmoment Stillstand	40 Ncm	12 Ncm
Gewicht	76g	36g

Tabelle 1: Eigenschaften der EV3-Motoren

2.2.4 Sensoren

Zum EV3-System gehören eine Reihe von verschiedenen Sensoren die es den Robotern ermöglichen Informationen über ihre Umwelt zu sammeln sowie ihre Eigenbewegungen zu erfassen. Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Sensoren mit ihren Leistungsmerkmalen beschrieben.

Farbsensor Der Farbsensor ist ein digitaler Sensor der dazu dient die Lichtintensität sowie verschiedener Farben zu erkennen. Der Sensor kann sowohl aktiv als auch passiv betrieben werden und verfügt dafür über vier unterschiedliche Betriebsmodi [vgl. 4, 101]:

- Farbmodus (passiv) - In diesem Modus erkennt der Sensor 7 verschiedenen Farben.
- RGB-Modus (aktiv) - In diesem Modus sendet der Sensor nacheinander rotes, grünes und blaues Licht aus, je nachdem zu welchem Anteil ein Gegenstand die einzelnen Farben reflektiert wird die Farbe des Gegenstands ermittelt.
- Rotlicht-Modus (aktiv) - Bei diesem Modus wird Rotlicht ausgesendet und die Intensität des reflektierten Lichts gemessen.
- Umgebungslicht-Modus (passiv) - Bei diesem Modus wird die Intensität des in das Sensorfenster eindringende Umgebungslichts gemessen.

Eigenschaften:

- Erkennung der Farben: keine Farbe, Schwarz, Blau, Grün, Gelb, Rot, Weiß, Braun
- Abtastrate: 1.000 Hz
- Entfernungs: 15 bis 50 mm

Durch diesen Sensor wird es beispielsweise möglich den Roboter einer farbigen Linie auf dem Boden zu folgen.

Ultraschallsensor Diese aktive Sensor verwendet für den Menschen unhörbaren Ultraschall um die Entfernung von Objekten zu ermitteln. Der Sensor emittiert dazu Ultraschall und misst die Laufzeit der Schallwellen, wenn diese von einem Objekt reflektiert werden, aus der Laufzeit kann dann die Entfernung ermittelt werden. Der Sensor verfügt über zwei unterschiedliche Betriebsmodi [vgl. 5, 32 f.]:

- Messen - In diesem Modus sendet der Sensor Ultraschall aus um die Entfernung von Objekten zu ermitteln.
- Scannen - In diesem passiven Modus emittiert der Sensor selbst keinen Ultraschall, sondern er reagiert auf »fremden« Ultraschall und kann so einen anderen aktiven Ultraschallsensor erkennen.

Eigenschaften:

- Genauigkeit: ± 1 cm
- Messbereich: 3 cm bis 250 cm

Berührungssensor Der Berührungssensor ist ein einfacher mechanischer Sensor. Wird der Knopf am Ende des Sensors gedrückt wird dies registriert. Trotz der Einfachheit dieses Sensors ist dieser dennoch sehr nützlich, da er beispielsweise die Kollision des Roboters mit einem Hindernis erkennen kann [vgl. 5, 33].

Kreiselsensor (Gyroskop) Der Kreiselsensor ermöglicht es Drehbewegungen um eine Achse über Rotationsgeschwindigkeit und Drehwinkel zu messen. Dadurch wird es möglich die Eigenbewegung des Roboters oder einer Roboterkomponente zu registrieren [vgl. 5, 33].

Eigenschaften:

- Genauigkeit: $\pm 3^\circ$ (bei einer 90° Drehung)
- Geschwindigkeit: maximal 440 Grad/Sekunde
- Abtastrate: 1.000 Hz

Rotationssensor (Integriert) Wie bereits im Abschnitt X.X dargelegt verfügen die beiden Motortypen über integrierte Rotationssensoren die es ermöglichen, die Umdrehungen der Motoren auszulesen. Durch diese Sensoren ist es möglich durch Odometrie Rückschlüsse über die Bewegung bzw. Position des Roboters zu schließen.

Eigenschaften:

- Genauigkeit: 1°

- Umdrehungen: Motorabhängig

Neben den hier vorgestellten Sensoren existiert noch ein Infrarotsensor, welcher in Verbindung mit einer Infrarotfernsteuerung dazu dient einen EV3-Roboter fernzusteuern.

2.2.5 Programmierung

Für die Programmierung der LEGO MINDSTORMS Produkte gibt es eine Reihe unterschiedlicher Programmiersprachen und -umgebungen. Die hauseigene LEGO-Software zur Programmierung des EV3 richtet sich an Einsteiger. Sie ermöglicht es über eine grafische Oberfläche via vorgefertigter Programmabläufe welche durch grafische Blöcke repräsentiert werden den EV3 zu programmieren.¹

Die Abbildung X.X gibt einen Überblick über verschiedene für den EV3 verfügbare Programmiersprachen sowie ihre Vor- und Nachteile.

leJOS Das LEGO Java Operating System abgekürzt leJOS ist ein Framework, das es ermöglicht den EV3 mit der Programmiersprache Java zu programmieren. Das leJOS-Projekt wurde 1999 gegründet und sämtliche Komponenten (wie auch Java) sind kostenlos verfügbar [vgl. 4, 21 f.].

leJOS bietet eine schlanke Java Virtual Machine (JVM) für den EV3-Stein sowie eine Klassenbibliothek mit welcher die Komponenten des EV3 (Motoren, Sensoren etc.) angesprochen werden können. Installiert wird leJOS auf einer bootbaren microSD-Karte und kann anschließend davon gestartet werden, ohne die auf dem EV3 vorhandene LEGO-Software zu löschen oder zu verändern [vgl. 4, 23 f.].

Durch leJOS ist es möglich den EV3 mit Hilfe der Hochsprache Java zu programmieren womit eine mächtige Programmiersprache zur Verfügung steht und die Vorteile der Objektorientierung für den EV3 genutzt werden können. leJOS bietet eine umfangreiche

Eigenschaft / Programmiersprache	leJOS	EV3-Software	RobotC	NEPO
Installation	+	++	+	+++
Handhabung	+	++	+	++
Kosten	kostenlos	kostenlos	49\$	kostenlos
Einstieg	0	++	+	+++
Funktionsumfang	++	+	++	++

0 = neutral; + = gut; ++ = sehr gut; +++ = hervorragend

Tabelle 2: Eigenschaften der EV3-Motoren

Klassenbibliothek sowie gut dokumentierte API was unter anderem die Integration von weiteren Sensoren etc. erleichtert [vgl. 4, 23 f.]. Im folgenden sind einige Features die leJOS bietet aufgelistet:

¹[vgl. 4, 25 f.]

- Objektorientierte Programmierung mit Java
- Die meisten Klassen der Pakete `java.lang`, `java.util` und `java.io`
- Rekursion
- Synchronisation
- Multithreading
- Exceptions
- Vollständige Bluetooth unterstützung
- Umfangreiche Klassenbibliothek zum Steuern und Auslesen der EV3-Komponenten
- High-Level-Robotik-Tasks (Navigation, Localization etc.)

kann, jedoch wird eine stabile Internetverbindung vorausgesetzt.²

Von dieser Entwicklung finden sich viele Vertreter mit der Unterstützung diverser Frameworks. Das populärste unter ihnen ist aktuell AngularJS von Google, was auf JavaScript basiert. In Kombination mit anderen Webtechnologien, wie HTML und CSS lassen sich performante web Apps entwickeln.

2.3.3 Hybride Apps

Die Entwicklung von hybride Apps vereinigt die beiden Entwicklungen von native und web. Sie besteht dabei aus einem nativen Rahmen, in der eine web App zur Ausführung kommt, diese besitzt entsprechende Zugriffsrechte auf Hardwareschnittstellen, um diese mit Application Programming Interfaces (APIs) anzusprechen.³

Diese Entwicklung ist aktuell noch sehr jung, jedoch stechen hier bereits verschiedene Vertreter hervor. Der populärste unter ihnen ist Ionic von Drifty, welches auf Apache Cordova als Basis zurückgreift. In Kombination mit AngularJS, TypeScript und anderen Webtechnologien lässt sich die web App entwickeln und auf einem beliebigen Gerät unter einem nativen Browser ausführen. Es unterstützt dabei verschiedenste Betriebssystem, wie Android, iOS und Windows. Diese Entwicklungen können dabei meist nicht nur mobil, sondern unter anderem auf weiteren Systemen, wie stationäre bereitgestellt werden.

2.3.4 Plattformübergreifende Entwicklung

Um die Entwicklung von Apps einfach zu halten, verwenden immer mehr Entwickler die Form der plattformübergreifenden Entwicklung. Dadurch lässt sich die App unabhängig des Betriebssystems entwickeln und kann somit eine größere Menge von Nutzern erreichen. Diese Entwicklung greift dabei meist auf plattformübergreifende Konzepte, wie eine native Laufzeitumgebung, oder Browser zurück, um darin die App auszuführen. Der große Vorteil in dieser Entwicklung, liegt in der Wiederverwendbarkeit des Quellcodes und der verbesserten Wartbarkeit, da hier lediglich ein Projekt gewartet werden muss und der Quellcode für viele Betriebssysteme übernommen werden kann. Zur plattformübergreifenden Entwicklung wurden die letzten Jahre viele Ansätze mit verschiedenen Frameworks entwickelt. Beispiele hierfür sind Ionic, Unity, Qt oder Xamarin.

³[vgl. 3, Native App, Web App und Hybrid App im Überblick]

2.3.5 Xamarin

Xamarin ist ein **Framework** zur Entwicklung von nativen plattformübergreifenden Apps, welches auf Mono basiert, siehe (2.3.6). Um nativen Quellcode auf den verschiedenen Systemen auszuführen, setzt Xamarin auf verschiedene Softwarekomponenten, um aus einem mit .NET entwickelten Projekt nativen Quellcode zu erzeugen.

Für iOS Systeme verwendet Xamarin den **Ahead of Time (AOT) Compiler**, um aus einem Xamarin.iOS Projekt **Acorn RISC Machines (ARM) Maschinencode** zur erzeugen, der entsprechend schnell auf dem System ausgeführt werden kann.⁴ Bei Android hingegen wird der Quellcode in **Intermediate Language (IL)** übersetzt, welches **Just-in-Time (JIT)** nutzt um zur Laufzeit Maschinencode für das entsprechende Gerät zu erzeugen.⁴ Dazu nutzt Xamarin Softwarekomponenten, während der Laufzeit, um bestimmte Prozesse, wie Speicherverwaltung und Plattformoperationen. Zur Entwicklung bringt Xamarin eine große Bandbreite von Funktionalitäten für den Entwickler, wie Bibliotheken, eine Test Cloud, sowie Unterstützung von nativen Bibliotheken, wie für **Java** oder **Objective-C**. Xamarin bietet Unterstützung für diverse Betriebssysteme, wie zum Beispiel Android, iOS, Windows und Windows Phone. Um mit Xamarin zu entwickeln, gibt es aktuell verschiedene Möglichkeiten mit Unterstützung auf unterschiedlichen Betriebssystemen. Einerseits kann mit Xamarin Studio auf einem OSX System, oder mit Visual Studio auf Windows und Linux entwickelt werden. Wie viele andere **Frameworks**, bietet auch Xamarin verschiedene nützliche **Templates**, die jeweils andere Nutzen besitzen. Diese bauen dabei auf zwei Hauptkomponenten von Bibliotheken, einerseits **Shared Projects** und **Portable Class Libraries**.



Abbildung 3: Xamarin

Shared Projects ermöglichen dem Entwickler Quellcode für verschiedene Plattformen zu entwickeln, wobei die plattformspezifischen Projekte das entsprechende shared Project referenzieren. Somit besitzt diese Projektart keinen direkten Output, sondern kopiert den Quellcode in das zu entsprechend bauende Projekt, siehe Abbildung (4).⁵ Der Hauptunterschied zu Standardprojekten liegt vor allem dar-

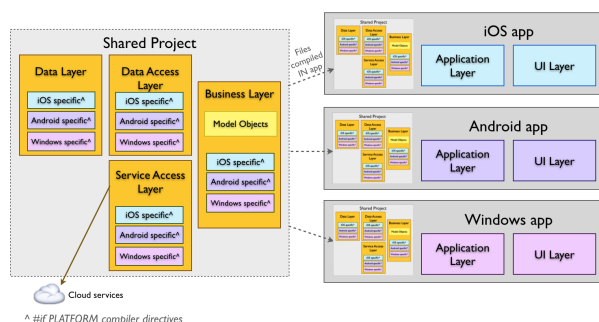


Abbildung 4: Shared Project

⁴[vgl. 6, Introduction to Mobile Development - Xamarin]

⁵[vgl. 8, Shared Projects - Xamarin]

in, dass ein shared Project keine Abhängigkeiten haben darf und daher lediglich als Referenz für andere Projekte dienen kann.

Portable Class Libraries ermöglichen dem Entwickler die Implementierung von plattformübergreifende Bibliotheken, aus denen **Dynamic Linked Libraries (DLLs)** erzeugt werden können. Das Besondere an Portable Class Libraries ist dabei, dass die Plattformen spezifisch ausgewählt werden können, wobei auf die Unterstützung verschiedener Betriebssysteme zu achten ist, siehe Abbildung (6).⁶ Eine Portable Class Library besitzt darüber hinaus verschiedene Vor- bzw. Nachteile, die für oder gegen ihre Nutzung sprechen.

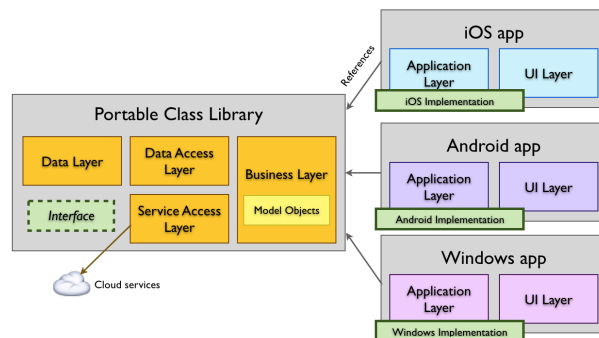


Abbildung 5: Portable Class Library

Vorteile:

- Implementierung von zentralem Quellcode
- Einfaches Refactoring
- Referenzierung von Anwendungen

Feature	.NET Framework	Windows Store Apps	Silverlight	Windows Phone	Xamarin
Core	Y	Y	Y	Y	Y
LINQ	Y	Y	Y	Y	Y
IQueryable	Y	Y	Y	7.5 +	Y
Serialization	Y	Y	Y	Y	Y
Data Annotations	4.0.3 +	Y	Y		Y

Nachteile:

- Keine Referenzierung von Plattform spezifischem Quellcode
- Keine Standardbibliotheken vorhanden

Abbildung 6: Unterstützung Portable Class Library

⁶[vgl. 7, Introduction to Portable Class Libraries - Xamarin]

2.3.6 Mono

Mono ist ein opensource Framework, das auf dem .NET Framework von Microsoft basiert. Die Implementierung von Mono greift dabei auf die Standards von .NET für die Programmiersprache C#, sowie die Common Language Infrastructure (CLI) zurück.⁷ Dies ermöglicht Entwicklern die Erstellung von plattformübergreifenden Anwendungen, welche mittels einer zur Verfügung gestellten Laufzeitumgebung auf verschiedenen Systemen ausgeführt werden können.

Um Anwendungen auf verschiedenen Systemen auszuführen, nutzt Mono verschiedene Komponenten. Dazu gehört an vorderster Stelle ein Compiler, um den erstellten Quellcode in die jeweilige Maschinsprache zu übersetzen. Die Übersetzung findet dabei in Kooperation der Mono Runtime statt, die die entsprechende Infrastruktur zur Ausführung der Anwendung bereitstellt. Für eine effiziente Entwicklung stellt Mono zwei Bibliotheken zur Verfügung, einerseits die .NET Class Library, die die Grundelemente von .NET enthält, sowie die Mono Class Library mit zusätzlichen Funktionen für plattformübergreifende Anwendungen.

Für die Nutzung von Mono stehen verschiedene Vorteile im Vergleich zu anderen Framework. Der Hauptgrund für die Nutzung liegt vor allem in der Popularität von .NET, da dies auf den meisten Computern zur Verfügung steht, oder installiert werden kann. Ein großer Nutzen stellt die High-Level Programmierung dar, die eine Implementierung mit einer Laufzeitumgebung ermöglicht, die Funktionen wie Speicherverwaltung selbst organisiert. Durch Verwendung der Common Language Runtime (CLR) kann der Entwickler seine übliche Programmiersprache verwenden und ist unabhängig vom bestehenden System.



Abbildung 7: Mono

2.3.7 .NET Framework

Das .NET Framework dient zur Entwicklung, sowie Ausführung von Anwendungen, die mit Programmiersprachen implementiert werden, die auf den Standards von .NET basieren. Es besteht aus verschiedenen Komponenten, wobei der Kern des Frameworks in der CLR liegt. Diese ist verantwortlich für die Laufzeitumgebung und entsprechend für die Ausführung der Anwendungen, indem es die bereitgestellten Ressourcen des Systems nutzt.

⁷[vgl. 2, About Mono]

Die CLR führt zur Laufzeit je nach System verschiedene Aktionen aus, um die entsprechende Anwendung auszuführen. Der allgemeine Ablauf ist dabei folgender. Der Quellcode wird in die CLR geladen und nach Sicherheitsanforderungen entsprechend des Systems überprüft. Anschließend wird er durch eine JIT Kompilierung in einen IL Quellcode konvertiert, um diesen nativ auf dem System ausführen zu können. Der IL Quellcode setzt dabei auf die gesetzten Standards der CLI auf, die eine sprach- und plattformunabhängige Entwicklung von Anwendungen ermöglicht.

Das .NET Framework bietet zusätzlich zur unabhängigen Entwicklung verschiedene unterstützende Komponenten. Die wichtigste unter ihnen ist die .NET Class Library. Diese unterstützt den Entwickler mit einer Sammlung bereits implementierten Quellcode, wie Klassen und entsprechenden Zugang zu systemnahen Schnittstellen. Mit dem .NET Framework lässt sich eine große Bandbreite von Anwendungen entwickeln, von Konsolenanwendungen, grafischen Oberflächen, bis hin zu Webanwendungen.

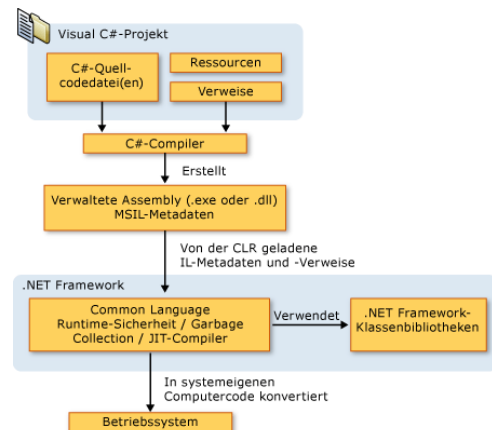


Abbildung 8: .NET Framework Ausführung

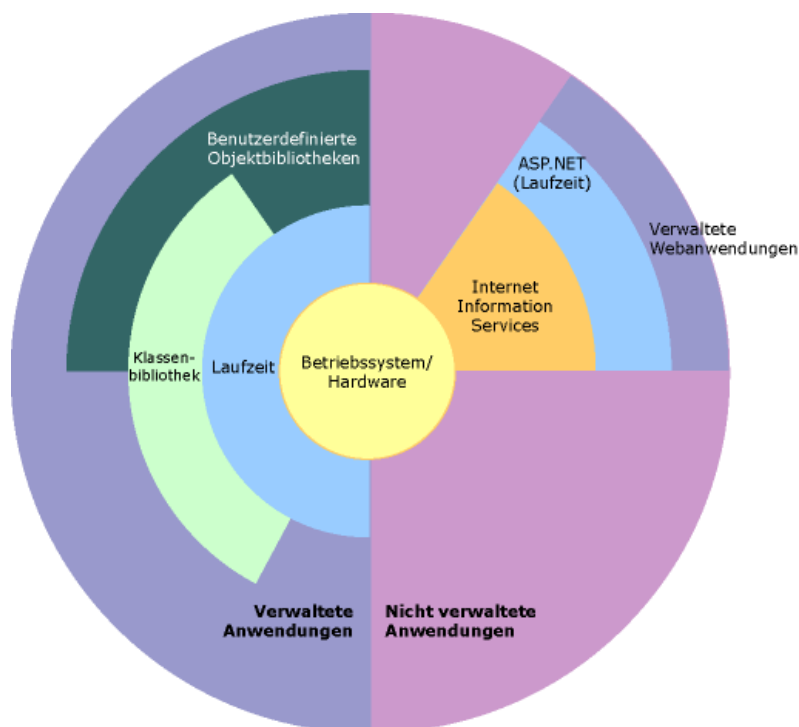


Abbildung 9: Common Language Runtime

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Schwarmverhalten

3.1.1 Allgemein

3.1.2 Vorbilder aus dem Tierreich

3.1.3 Szenarien

3.1.4 Algorithmen

3.2 Kommunikation

3.2.1 Grundlagen

3.2.2 TCP/IP

3.2.3 Wifi

3.2.4 Serialisierung

4 Projektorganisation

4.1 Projektablaufplan

5 Konzeption

In diesem Kapitel werden die Anforderungsdefinitionen des Projektes, mit Spezialisierung auf die verschiedenen Use Cases beschrieben.

5.1 Anforderungsdefinitionen

Ein Schwarmverhalten zur Interaktion von Kleinroboter benötigt verschiedene Anforderungen, um korrekt untereinander agieren zu können. Die Basis hierbei bildet das Kommunikationssystem zwischen den einzelnen Komponenten, um erfasste Daten zuverlässig zu synchronisieren. Um die Daten entsprechend zu interpretieren benötigt jede Komponente den jeweiligen Aufbau der Kommunikation, damit diese verwertet und Aktionen ausgeführt werden können.

Diese Aktionen repräsentieren den Grundbestandteil des Schwarmverhaltens und sind auf die verschiedenen Systeme verteilt. Die Roboter benötigen hierbei implementierte Funktionen, wie das Ansteuern von Motoren, Sensorik, sowie die Aktualisierung, um erfasste Daten an Nutzer weiterzuleiten. Zur Steuerung dient eine App für mobile Smartphones mit einem UI um verschiedene Szenarien zu starten, sowie die Roboter kontrollieren zu können. Die Kontrollschnittstelle stellt dabei eine Desktopanwendung dar, über die der Nutzer mit den Robotern kommuniziert und Daten zur Steuerung abgreifen kann, wobei mehrere Nutzer zur selben Zeit mit verschiedenen Szenarien unterstützt werden sollen.

Damit bestehen folgende Anforderungsdefinitionen an die zu erstellenden Softwarekomponenten:

- Kommunikationssystem
- Interpretation
- UI
- Steuerungsfunktionen

5.2 Softwarearchitektur

Die Architektur des Schwarmverhaltens besteht aus drei Hauptkomponente, den Robotern, einer Desktopanwendung, sowie einer mobilen App, siehe Abbildung 10.

Diese Komponenten kommunizieren über ein drahtloses Netzwerk mittels **Transmission Control Protocol (TCP)** untereinander, indem diese Zeichenketten als **JSON** versenden. Dadurch lassen sich gesammelte Daten als Objekte kapseln und auf den verschiedenen Systemen entsprechend synchronisieren. Dies geschieht über eine Klassenstruktur, die Kommandos abbildet, durch die die kommunizierten Daten serialisiert und als Objekte dargestellt werden können, siehe 5.6.

Die Roboter basieren auf dem Java System **leJos**, da durch die bereitgestellten Bibliotheken für **EV3** Systeme eine unkomplizierte Implementierung von Logik möglich ist, sowie eine direkte Unterstützung von **Eclipse** gegeben ist, um erstellte Software zu debuggen. Die Roboter unterstützen für ein Schwarmverhalten klassische Funktionen, um die Daten der vorhandenen Sensorik auszulesen, sowie Motoren anzusteuern. Diese Funktionen werden einerseits durch Kommandos ausgeführt um den entsprechenden Roboter zu steuern. Andererseits werden regelmäßig Daten durch einen Prozess erfasst, um diese auf dem Backend zu aktualisieren.

Die App beruht auf der plattformübergreifenden Implementierung mittels des Frameworks **Xamarin** um möglichst viele Systeme zu erreichen. Sie baut dabei auf ein einfaches **UI** mit dem Design Pattern **Model View ViewModel (MVVM)** auf, um diese von der eigentlichen Logik zu trennen und einen qualitativ hochwertigen Quellcode zu schaffen, der einfach gewartet werden kann. Die App besitzt Basisfunktionen zur Erstellung von Kommandos, die die Verwaltung von Szenarien veranlassen und steuert somit den Schwarm.

Das Backend dient als Kommunikationsschnittstelle des gesamten Systems und steuert die Kommandos für den Ablauf der Szenarien. Es besitzt ein **UI** mit **JavaFX** Realisierung zur Anzeige von erfassten Daten der einzelnen Komponenten und stellt diese anhand einer auswählbaren Hierarchie dar.



Abbildung 10: Softwarearchitektur

5.3 Steuerung

Die Steuerung des Roboterschwarms greift in sämtlich implementierten Szenarien auf die Sensorik des Smartphones als Basis zurück. Verwendet werden hierbei die Bewegungssensoren um eine Steuerung durch das Hin- und Herschwenken des Smartphones zu ermöglichen. Dies stellt eine intuitive Steuerung dar und ist für jeden neuen Nutzer schnell begreiflich. In Abbildung 11 ist die entsprechende Steuerung zur Bewegung des Roboters dargestellt. Um die Roboter möglichst genau zu steuern, erfasst die Sensorik laufend Daten, welche im UI angezeigt werden. Dadurch lässt sich eine Veränderung der Daten darstellen, die zu einer signifikant verbesserten Steuerung führen.



Abbildung 11: Steuerung

5.4 Szenarien

Zum Ablauf der Software greift der Roboterschwarm auf verschieden definierte Szenarien als Kontext zurück. Diese sind in Control, Synchron, Follow, Flee und Catch untergliedert, wobei ein Single mit einem Nutzer oder einem Mehrnutzersystem als Multi unterschieden wird. Der Multi Mode dient hierbei als Erweiterung zur Software und ist im vorliegenden System nicht implementiert und kann daher nicht genutzt werden. Folgend werden die einzelnen Szenarien beschrieben, die als Kontext für ein Schwarmverhalten genutzt werden können.

Control stellt eine direkte Steuerung eines einzelnen Roboters und fällt somit nicht unter die Kategorie Schwarmverhalten. Dieses Szenario dient zur Entwicklung der grundlegenden Funktionen, auf denen das Schwarmverhalten und damit weitere Szenarien aufbauen.

Synchron stellt eine synchrone Steuerung von mehreren Robotern dar, in dessen Kontext jeder beteiligte Roboter identische Kommandos erhält. Durch eine entsprechende Aufstellung der Roboter lassen sich Schwärme aus dem Tierreich, wie Fische oder Vögel nachahmen.

Follow stellt eine Reihe von Robotern dar, indem der vorderste vom Nutzer gesteuert werden kann. Die restlichen Roboter erhalten ihrer Position in der Schlange entsprechend der Position ihres Vordermannes, zu dem diese vollkommen autonom fahren. Da diese Ablauf laufend wiederholt wird, stellen alle Roboter gesamt eine Schlange dar, wobei die einzelnen die Muskeln und der vorderste Roboter den Kopf repräsentiert.

Flee stellt ein Verfolgungsszenario dar, indem der Nutzer mit seinem Roboter vor anderen flieht. Dabei erhalten die restlichen Roboter laufend eine Position um immer näher an diesen heranzufahren. Sollte der Nutzer durch einen Roboter erwischt werden, ertönt ein Endsignal, wobei anschließend das Szenario beendet wird.

Catch stellt ein Verfolgungsszenario dar, indem der Nutzer die restlichen Roboter fängt. Diese fahren zufällig in verschiedene Richtungen davon. Sollte der Nutzer alle gefangen haben, ertönt ein Signal und beendet damit das Szenario.



Abbildung 12: Logo

5.5 Use Cases

In diesem Abschnitt werden die Use Cases des Schwarmverhaltens beschrieben. Dabei wird insbesondere auf den Ablauf in Form von UMnified Modeling Language (UML) Diagrammen eingegangen.

5.5.1 Connection

Der Use Case Connection stellt den Ablauf eines Verbindungsaufbaus zwischen den Komponenten und der Desktopanwendung dar. Dies soll über die Nutzung eines drahtlosen Netzwerks mittels TCP Schnittstelle des Smartphones realisiert werden. Die IP-Adresse kann dabei durch die Verwendung einer SQLite Datenbank lokal gespeichert werden, um diese später bei einem erneuten Aufruf automatisch eintragen zu lassen. Zur Unterscheidung der verschiedenen Komponenten soll eine individuelle Identifikation erstellt werden, wobei der Typ der Komponente, sowie weitere Merkmale ersichtlich werden sollen.

Der Use Case soll dabei in zwei unterschiedliche Typen untergliedert werden, womit ein Verbindungsaufbau von einem Verbindungsabbau unterschieden werden kann. Der Ablauf eines Verbindungsaufbaus soll dabei für jede Komponente identisch abgewickelt werden, siehe Abbildung 14. Um eine entsprechend stabile Reaktionszeit der teilnehmenden Roboter zu garantieren, sollen zum Start des Verbindungsaufbaus wiederholt Kommandos versendet werden. Dies soll eine erhöhte Central Processing Unit (CPU) Laufzeit erreichen, um eine Zeitverzögerung zur Laufzeit der Szenarios zu verhindern.

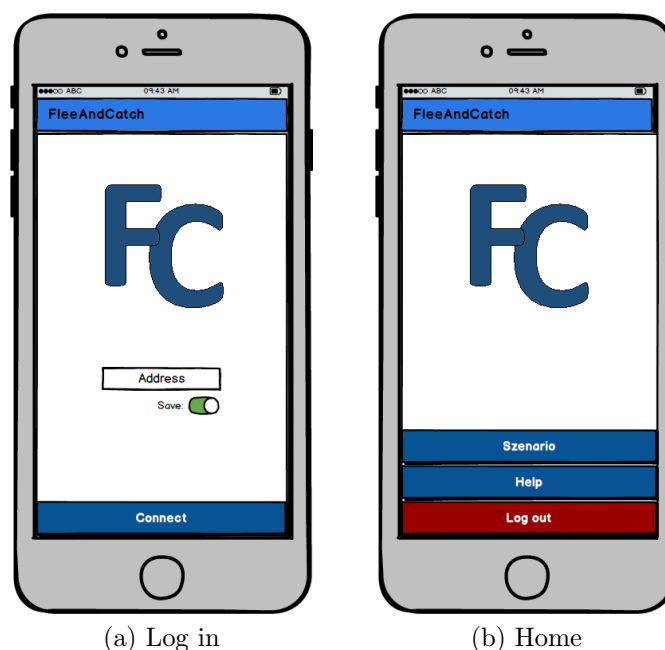


Abbildung 13: Mockup Connection

5.5.2 Synchronization

Der Use Case Synchronization stellt den Datenaustausch der beteiligten Komponenten dar, siehe Abbildung 16 und 17. Hierbei sollen verschiedene Typen unterschieden werden, wobei der komplette Datensatz in Form von allen Szenarien, Robotern, oder eines einzelnen Szenarios, sowie Roboters übertragen werden soll. Dies wird einerseits der Erstellung eines Szenarios dienen, als auch dessen Beobachtung durch den Spectator Modus. Die Übertragung eines einzelnen Roboter dient der Aktualisierung der jeweiligen Daten der Desktopanwendung, sowie der App, um diese laufend aktuell zu halten. Die synchronisierten Daten sollen des Weiteren auf den Komponenten über eine UI dargestellt werden können, um die Veränderung der aktuellen Daten zu verdeutlichen, sowie eine verbesserte Steuerung schaffen.



Abbildung 15: Mockup Synchronization

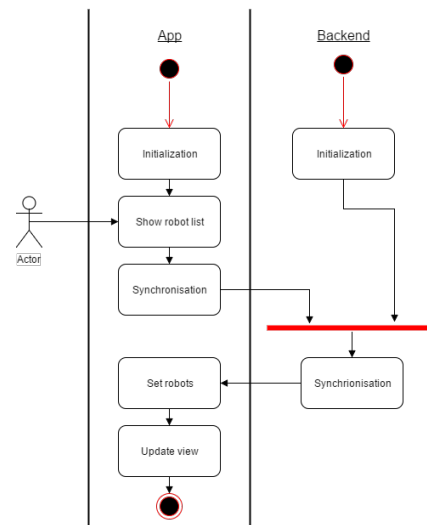


Abbildung 16: Use Case Synchronization

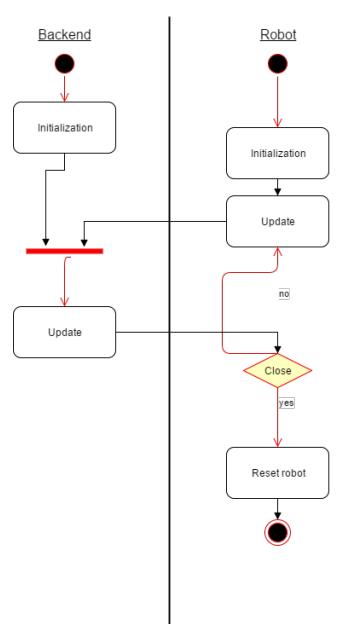


Abbildung 17: Use Case Update

5.5.3 Szenario

Der Use Case Szenario stellt den Ablauf der definierten Szenarien, zur Steuerung der Roboter dar, siehe Abbildung 19. Der Nutzer soll dabei zu Beginn das gewünschte Szenario, sowie die teilnehmenden Roboter festlegen. Anschließend wird das Szenario durch das Senden eines Kommandos gestartet, welches von der Desktopanwendung initialisiert wird. Dieses Kommando soll laufend wiederholt werden, um aktuelle Daten, wie Steuerungsinformationen an die Roboter weiterzuleiten. Zur Steuerung sollen hierbei eine direkte von einer positionorientierten unterschieden werden, wobei die Roboter je nach Kommando die direkten Steuerungsinformationen oder eine anzufahrende Position erhalten.

Diese Implementierung soll den Vorteil einer Auslagerung der Programmlogik schaffen, indem die Ressourcen der Roboter geschont werden und die Logik zentral in der Desktopanwendung ausgeführt werden kann.

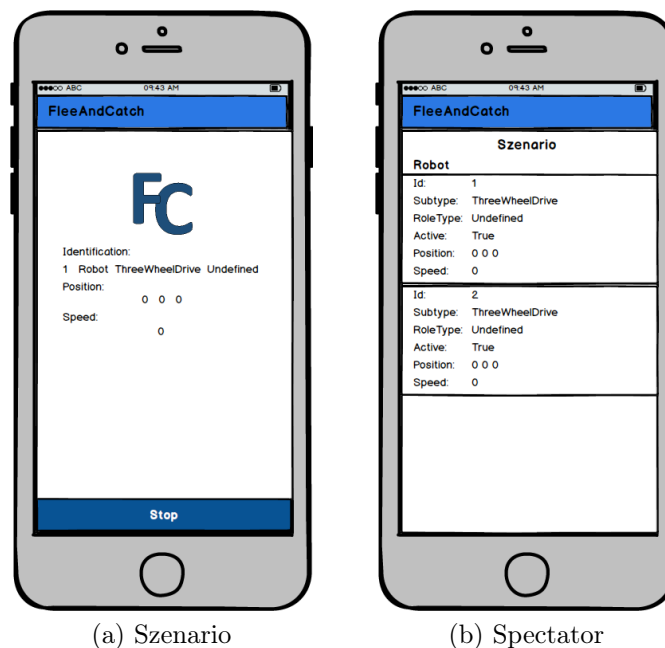


Abbildung 18: Mockup Szenario

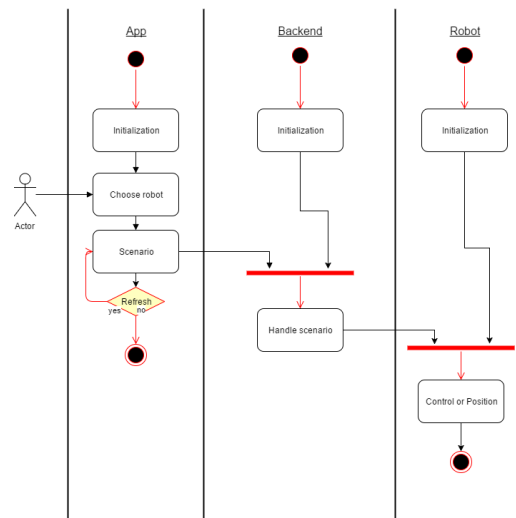


Abbildung 19: Use Case Szenario

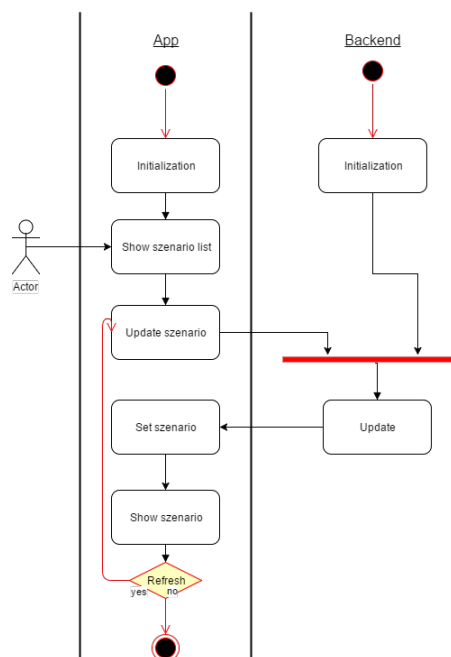


Abbildung 20: Use Case Spectator

5.5.4 Exception

Der Use Case Exception stellt den Ablauf einer auftretenden Exception in einem Roboter zum Kontext eines Verbindungsverlustes dar, siehe Abbildung 21. Dabei soll die auftretende Nachricht, sowie die beteiligte Komponente der Desktopanwendung zugesendet werden. Dies soll ein kontrolliertes Schließen eines Szenarios ermöglichen, welches von einer solchen Exception betroffen ist. Die dabei teilnehmenden Komponenten, wie Nutzer und andere Roboter sollen entsprechend zurückgesetzt werden, damit diese für ein neues Szenario zur Verfügung stehen.

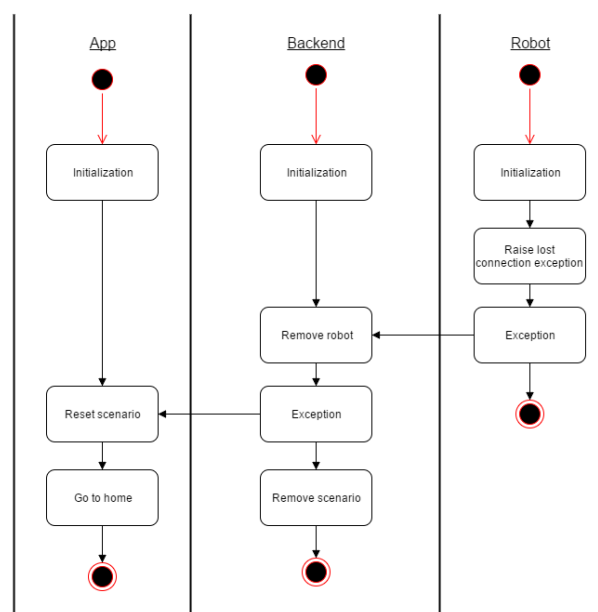


Abbildung 21: Use Case Exception

5.6 Kommunikation

Die Kommunikation des Schwarmverhalten basiert auf dem Standard für Netzwerkkommunikation, indem über eine **TCP** Schnittstelle Zeichenketten binär versendet werden. Dabei sollen die zu übertragenden Daten als Zeichenkette serialisiert und binär versendet werden, wobei die Gegenstelle die Daten über eine vorliegende Kommandostruktur deserialisiert. Um auf die Daten entsprechend zu reagieren werden diese nach Abhängigkeiten interpretiert. Dies soll über einen Typen realisiert werden, der der jeweiligen Struktur des Kommandos entspricht. Damit die Kommandostruktur als solche von den Komponenten von anderen unterschieden werden kann, sollen diese eine zusätzliche Grundstruktur zur Identifizierung der Schnittstelle, als auch den Kommandos erhalten.

Connection stellt das Kommando zur allgemeinen Verbindung dar, wobei eine Verbindung sowohl aufgebaut, als auch abgebaut werden kann. Dazu werden Parameter zur Identifizierung von Komponenten genutzt, die entsprechend auch in weiteren Kommandos ihre Anwendung finden. Die Tabelle 3 stellt den allgemeinen Aufbau eines solchen Kommandos dar.

Connection	Definition
String id	Stellt den Identifikationsstring dar
String type	Stellte den Typen dar
String apiid	Stellt die verwendete API dar
ClientIdentification identification	Stellt das Identifikationsobjekt der Komponente dar

Tabelle 3: **JSON** Kommando Connection

Synchronization stellt das Kommando zur Synchronization der erfassten Daten zwischen den verschiedenen Komponenten dar. Dabei werden die Daten als Listen mit entsprechenden Szenarien, wie Robotern übertragen. Je nach vorliegendem Typ des Kommandos, können verschiedene Daten übertragen werden, wobei Current einem einzelnen Objekten und die entsprechende Mehrzahl kompletten Datensätzen entspricht.

Synchronization	Definition
String id	Stellt den Identifikationsstring dar
String type	Stellte den Typen dar
String apiid	Stellt die verwendete API dar
ClientIdentification identification	Stellt das Identifikationsobjekt der Komponente dar
List scenarios	Stellt die aktuellen Szenarien dar, die übertragen werden
List robots	Stellt die aktuellen Roboter dar, die übertragen werden

Tabelle 4: **JSON** Kommando Synchronization

Scenario stellt das aktuell ablaufende Szenario dar, dass als Schwarmverhalten nachgeahmt wird. Darin enthalten sind die teilnehmenden Komponenten, sowie deren aktuell erfassten Daten. Zudem sind Steuerungsinformationen enthalten, die zur Orientierung des Schwarms entsprechend dem Kommando dienen. Diese verändern sich je nach Typen des Szenarios und können in verschiedenen Kontexten kommuniziert werden, um ein unterschiedliches Ergebnis zu erreichen.

Scenario	Definition
String id	Stellt den Identifikationsstring dar
String type	Stellte den Typen dar
String apiid	Stellt die verwendete API dar
ClientIdentification	Stellt das Identifikationsobjekt der Komponente dar
Scenario scenarios	Stellt das aktuell ablaufende Szenario dar

Tabelle 5: **JSON** Kommando Scenario

Exception stellt das Kommando zur Abhandlung eines Fehlverhaltens einer Komponente dar, die anderen Komponenten mitgeteilt werden kann. Sie enthält Informationen zur verursachenden Komponente, sowie des auftretenden Fehlers, der behandelt wird. Verwendung findet die Fehlerweiterleitung im Verbindungsverlust des Roboters, damit andere Teilnehmer über das Abmelden des entsprechenden Roboters in Kenntnis gesetzt werden und das Szenario beenden.

Exception	Definition
String id	Stellt den Identifikationsstring dar
String type	Stellte den Typen dar
String apiid	Stellt die verwendete API dar
ClientIdentification	Stellt das Identifikationsobjekt der Komponente dar
Exception exception	Stellt die aktuelle Exception dar, die im Roboter auftritt

Tabelle 6: **JSON** Kommando Exception

Control stellt das Kommando zur direkten Steuerung eines Roboters dar. Hierbei werden Steuerungsinformationen, wie Geschwindigkeit und Ausrichtung übertragen, um den Roboter entsprechend seiner aktuellen Position relativ zu steuern. Dies findet Anwendung in einer direkten Steuerung, als auch im Schwarmverhalten zur Steuerung des Nutzer abhängigen Roboters.

Control	Definition
String id	Stellt den Identifikationsstring dar
String type	Stellte den Typen dar
String apiid	Stellt die verwendete API dar
ClientIdentification	Stellt das Identifikationsobjekt der Komponente dar
Robot robot	Stellt den aktuellen Roboter dar
Steering steering	Stellt die aktuellen Steuerungsinformationen dar

Tabelle 7: **JSON** Kommando Control

Position stellt das Kommando zur indirekten Steuerung eines Roboters dar. Hierbei werden Positionsdaten übertragen, die der autonomen Navigation des Roboters dienen. Um eine entsprechende Geschwindigkeit zu erhalten, kann zudem ein Geschwindigkeitswert angefügt werden, der abhängig des Roboters gesetzt wird.

Position	Definition
String id	Stellt den Identifikationsstring dar
String type	Stellte den Typen dar
String apiid	Stellt die verwendete API dar
ClientIdentification	Stellt das Identifikationsobjekt der Komponente dar
Robot robot	Stellt den aktuellen Roboter dar
Position position	Stellt die anzufahrende Position dar
Speed speed	Stellt die einzustellende Geschwindigkeit dar

Tabelle 8: **JSON** Kommando Position

6 Implementierung

In diesem Kapitel wird die Umsetzung des Projektes mit Fokussierung auf die einzelnen Komponenten, sowie die Kommunikation beschrieben.

6.1 Kommunikation

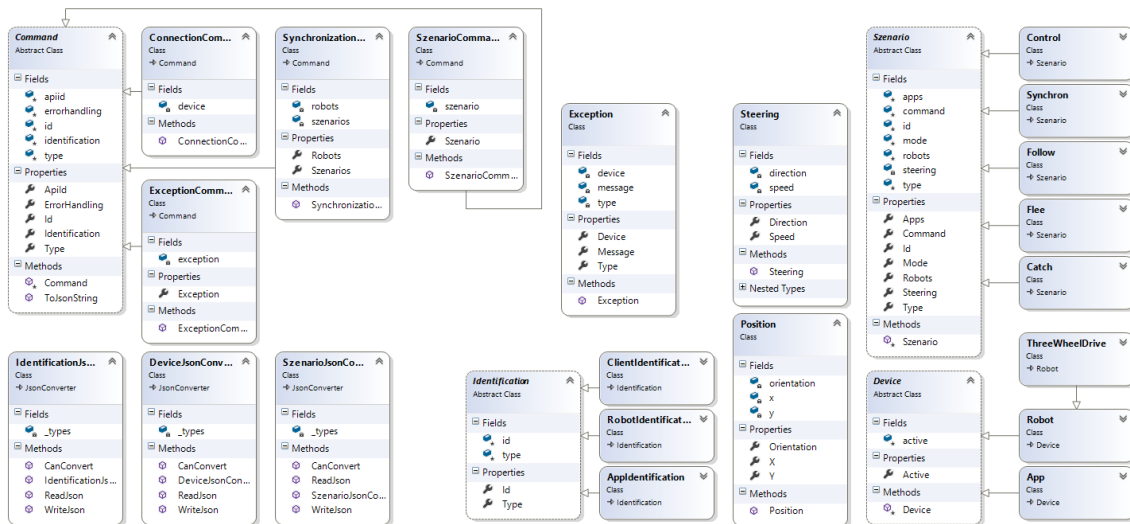


Abbildung 22: Aufbau Commands

6.2 App

6.3 Backend

6.4 Robot

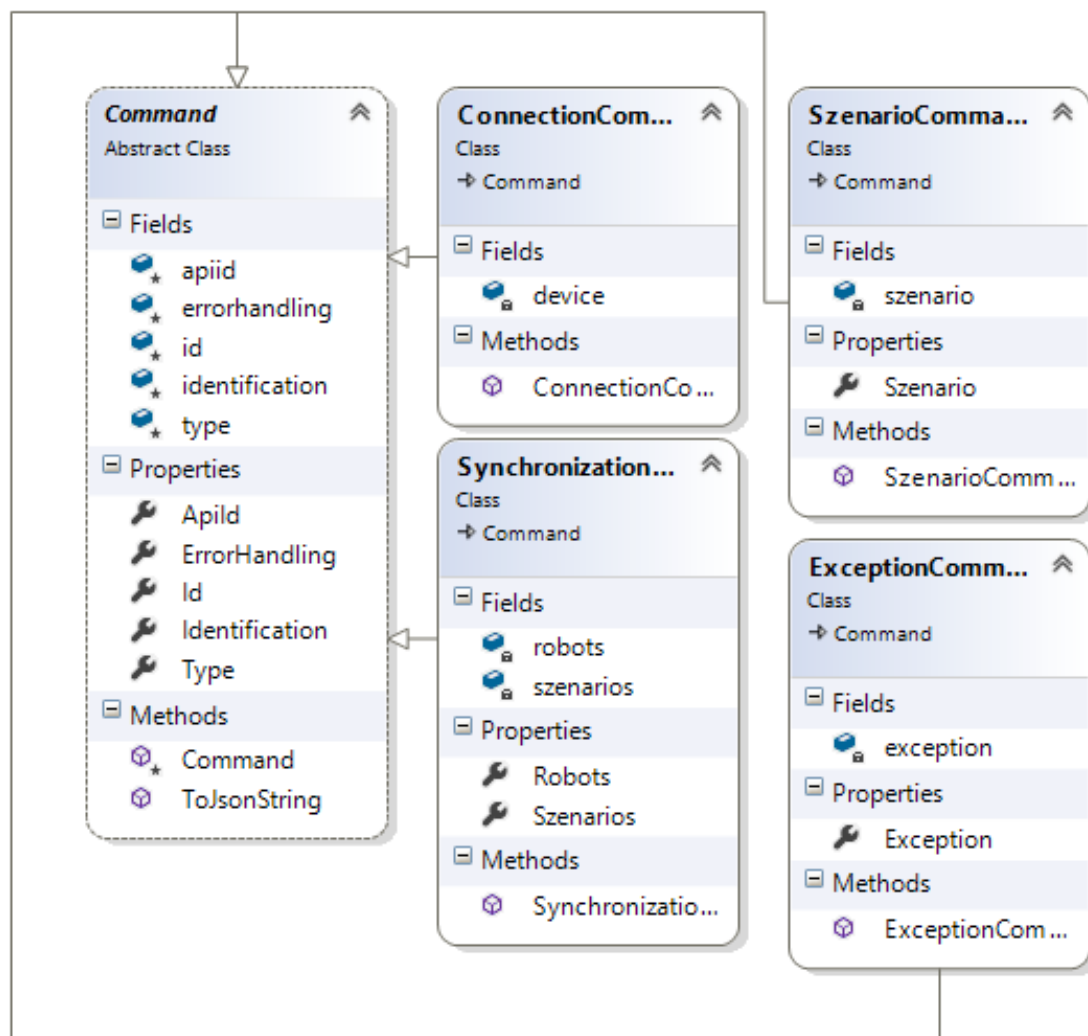


Abbildung 23: Commands

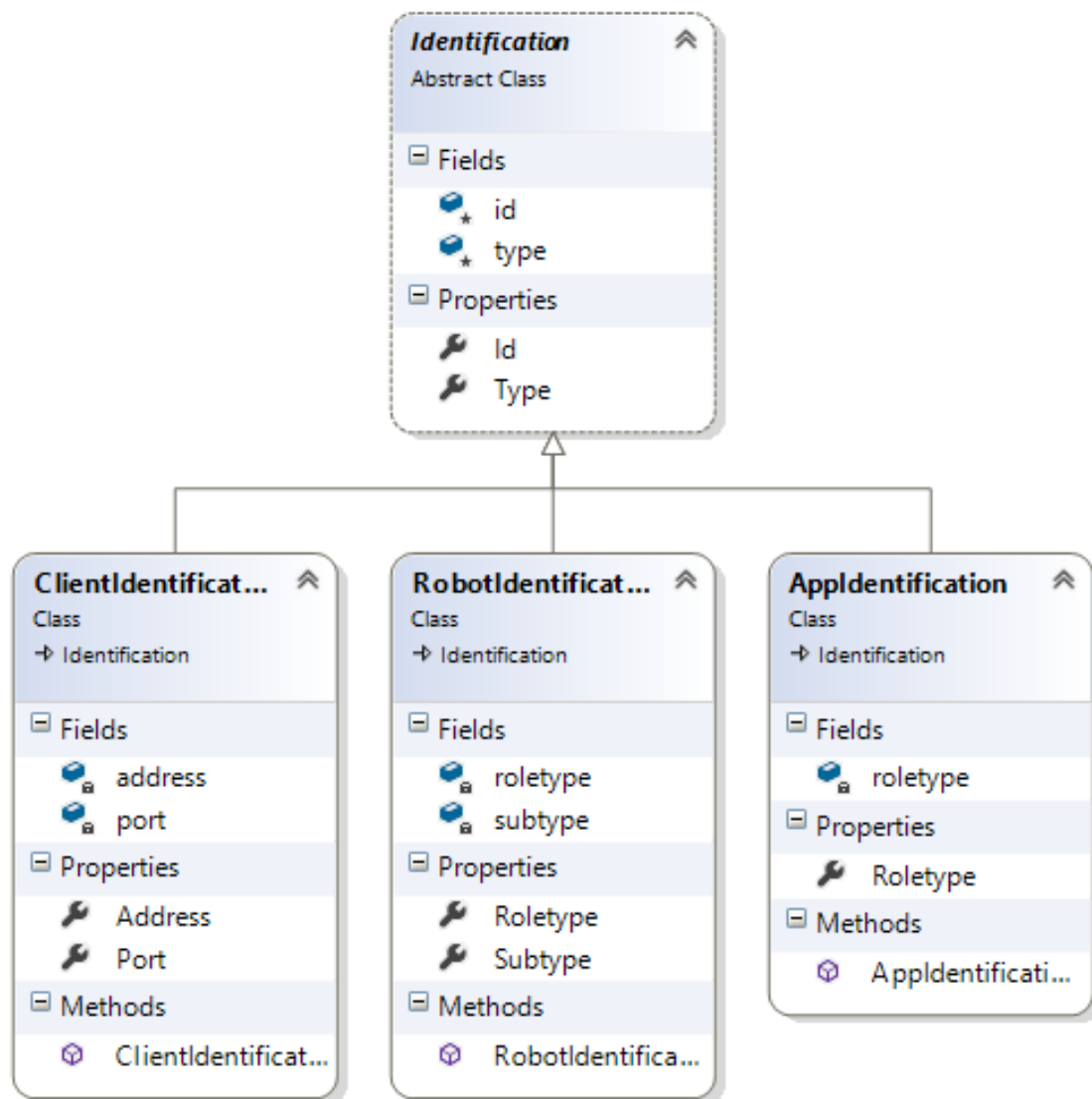


Abbildung 24: Identifications

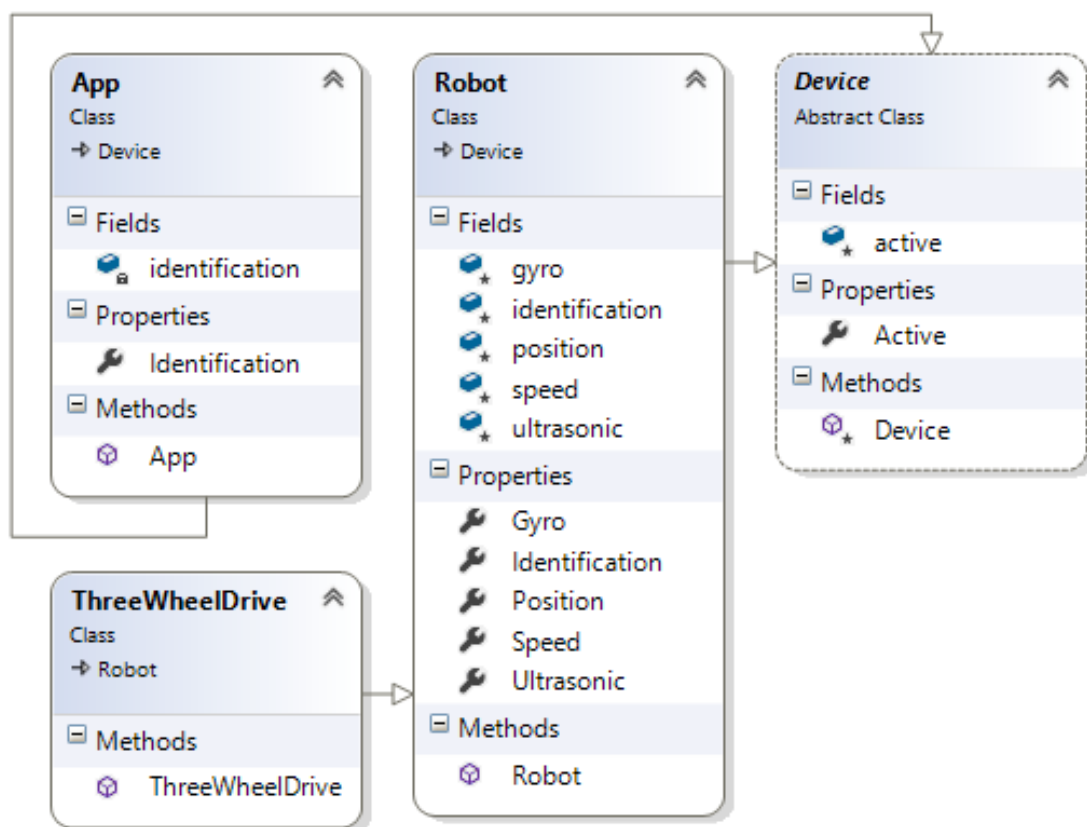


Abbildung 25: Devices

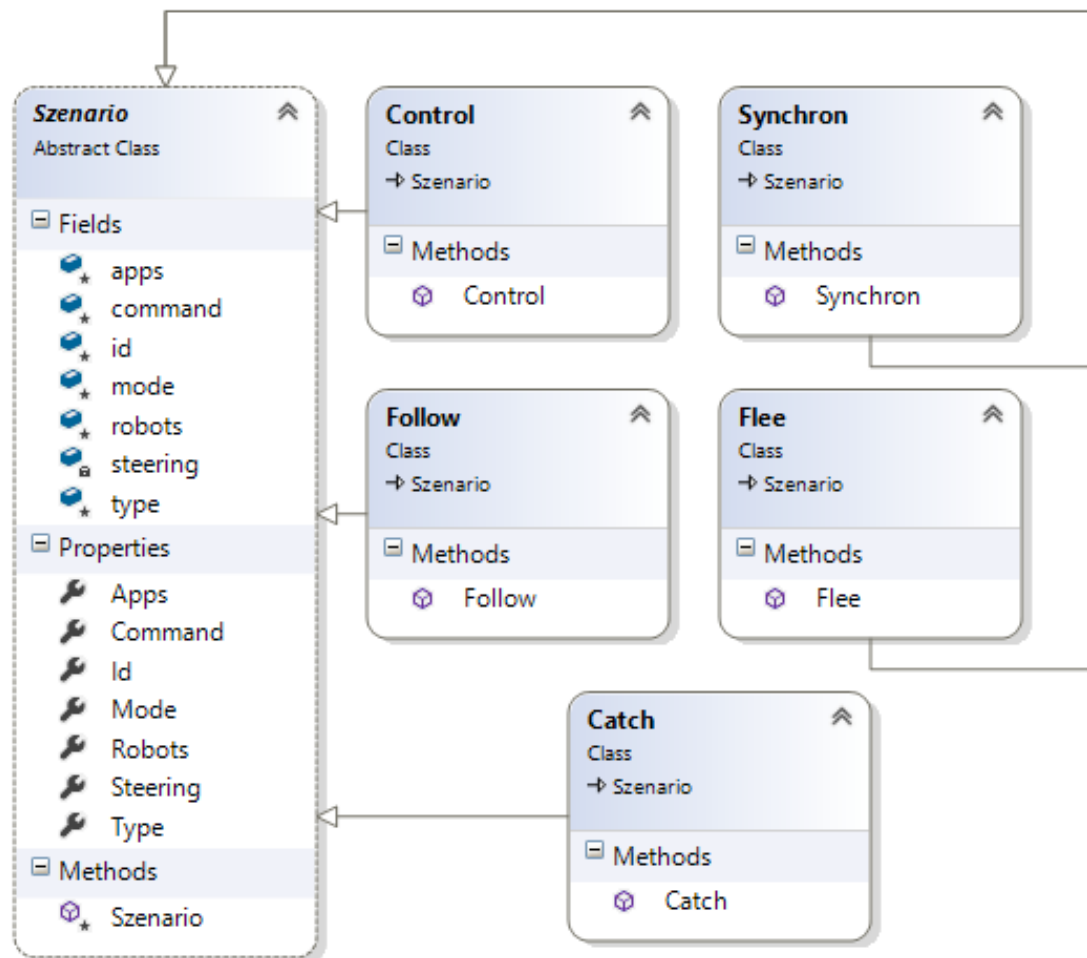


Abbildung 26: Scenarios

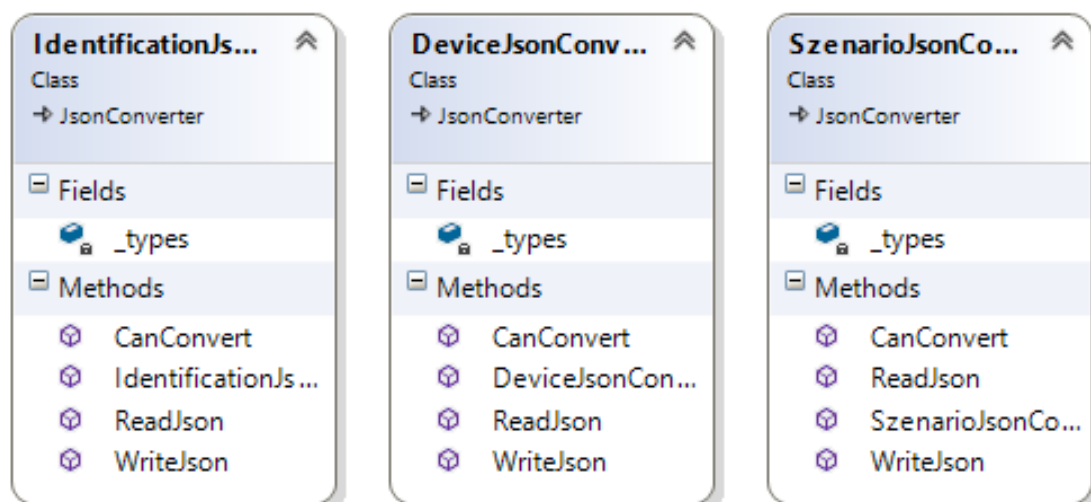


Abbildung 27: JSON Converter

7 Evaluation

8 Ausblick

Literatur

- [1] Daniel Würstl. Unterschiede und vergleich native apps vs. web apps. URL <http://www.app-entwickler-verzeichnis.de/faq-app-entwicklung/11-definitionen/107-unterschiede-und-vergleich-native-apps-vs-web-apps>.
- [2] Mono project. About mono | mono, 17.03.2017. URL <https://www.mono-project.com/docs/about-mono/>.
- [3] Petra Riepe. Native app, web app und hybrid app im überblick: Warum native wenn es auch hybrid geht? URL <http://www.computerwoche.de/a/warum-native-wenn-es-auch-hybrid-geht,3096411>.
- [4] Maximilian Schöbel, Thorsten Leimbach, and Beate Jost. *Roberta - EV3-Programmieren mit Java*. Roberta - Lernen mit Robotern. Fraunhofer-Verl., Stuttgart, 2015. ISBN 9783839608401.
- [5] Matthias Paul Scholz, Beate Jost, and Thorsten Leimbach. *Das EV3 Roboter Universum: Ein umfassender Einstieg in LEGO MINDSTORMS mit 8 spannenden Roboterprojekten*. 1. auflage edition, 2014. ISBN 3-8266-9473-2.
- [6] Xamarin. Introduction to mobile development - xamarin, . URL https://developer.xamarin.com/guides/cross-platform/getting_started/introduction_to_mobile_development/.
- [7] Xamarin. Introduction to portable class libraries - xamarin, . URL https://developer.xamarin.com/guides/cross-platform/application_fundamentals/pcl/introduction_to_portable_class_libraries/.
- [8] Xamarin. Shared projects - xamarin, . URL https://developer.xamarin.com/guides/cross-platform/application_fundamentals/shared_projects/.

Anhang