

FORSCHUNGSPROJEKT I

**Möglichkeiten und Grenzen beim Einsatz von
Robotern in Museen zur Besucherinformation**

an der

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT BERLIN
FACHBEREICH WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN II

ANGEWANDTE INFORMATIK

(Master)

Betreuer

Prof. Dr. Jürgen Sieck

B. SC. TOM BUHRTZ (TOM.BUHRTZ@GOOGLEMAIL.COM)

B. SC. JULIEN LETELLIER (JULIEN.LETELLIER@HTW-BERLIN.DE)

14. OKTOBER 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung.....	1
1.2	Gliederung	1
2	Grundlagen (JL)	3
2.1	Digitales Museum.....	3
2.2	Einsatzszenarien für Roboter im Museum	4
2.2.1	Existierende Projekte	4
2.2.2	Sat360 Projekt	5
2.2.3	Auswertung.....	6
2.2.4	Fazit	6
3	Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten (TB)	7
3.1	Touch- und Multitouch	8
3.1.1	Funktionsweise.....	8
3.1.2	Möglichkeiten und Lösungsansätze	9
3.1.3	Auswertung.....	11
3.2	Kamera basierte Gestensteuerung	12
3.2.1	Funktionsweise.....	12
3.2.2	Möglichkeiten und Lösungsansätze	13
3.2.3	Auswertung.....	14
3.3	Sprachsteuerung	16
3.3.1	Funktionsweise.....	16
3.3.2	Möglichkeiten und Lösungsansätze	17
3.3.3	Auswertung.....	18
3.4	Headtracking	20
3.4.1	Funktionsweise.....	20
3.4.2	Möglichkeiten und Lösungsansätze	22
3.4.3	Auswertung.....	22
3.5	Auswertung der verschiedenen Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten ..	23
4	Lokalisierungsverfahren (JL)	26
4.1	Satellitenortung.....	27
4.1.1	GNSS im Indoor-Bereich	27
4.2	Inertiale Navigation	29
4.2.1	Freiheitsgrade	29
4.2.2	Funktionsweise	30

4.2.3	Fazit	31
4.3	Lokalisierung durch RFID.....	32
4.3.1	Funktionsweise	32
4.3.2	Aktives RFID	32
4.3.3	Passives RFID	33
4.3.4	Lokalisierung durch passives RFID.....	33
4.4	Auswertung	35
4.4.1	Klassifizierung	35
4.4.2	Fazit	35
5	Autonome Navigation (TB).....	36
5.1	Lokalisierung	37
5.1.1	Lokalisierung (Position Tracking)	38
5.1.2	Globale Lokalisierung.....	38
5.1.3	Kidnapped Robot Problem	38
5.2	Kartenerstellung (Mapping)	38
5.3	Wegfindung (Pathfinding).....	39
5.3.1	D*-Algorithmus.....	39
5.3.2	D*-Pseudocode	40
5.3.3	A*-Algorithmus.....	41
5.3.4	A*-Pseudocode	41
5.3.5	Zusammenfassung	42
6	Proof of Concept (TB, JL).....	43
6.1	Kameragestell (TB)	43
6.2	Energieversorgung (JL).....	44
6.3	Webapplikation (JL)	44
7	Fazit & Ausblick	45
8	Literatur.....	46
9	Bilderquellen	49
	Abbildungsverzeichnis	51
	Tabellenverzeichnis	52
	Abkürzungsverzeichnis	53
	Glossar	54

1 Einleitung

1.1 Einführung

Roboter werden in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt. So zum Beispiel in der Industrie, in der Raumfahrt zur Erkundung fremder Planeten oder auch im ganz normalen Alltag. Dort werden sie immer mehr als Service-Roboter zur Unterstützung bei den alltäglichen häuslichen Aufgaben eingesetzt. Auch zur Unterhaltung von Museumsbesuchern wurden Roboter in den letzten Jahren, in einigen Projekten, eingesetzt.

In dieser Arbeit soll unter anderem geprüft werden, wie Roboter in Museen eingesetzt werden können. Dabei sollen verschiedene Einsatzszenarien gegenübergestellt werden. Neben der direkten Interaktion mit den Besuchern gibt es beispielsweise auch die Möglichkeit, den Roboter als Telepräsenz-System zu verwenden und so einen virtuellen Museumsbesuch, außerhalb der Öffnungszeiten, durchzuführen. Dazu wird eine hochgenaue Lokalisierung und Navigation benötigt, die in dieser Arbeit gefunden werden soll. Ziel ist es, ein sinnvolles Einsatzszenario zu finden und die Realisierbarkeit mit einem Proof of Concept zu demonstrieren.

1.2 Gliederung

In den Grundlagen werden zunächst digitale Museen im Allgemeinen vorgestellt, anschließend werden die Einsatzszenarien für Roboter in Museen untersucht. Neben einigen existierenden Projekten, wie die Museumsroboter des Fraunhofer-Instituts, wird auch das Sat360-Projekt vorgestellt. Es wird gezeigt, dass sich dieses Projekt grundsätzlich für zwei Einsatzszenarien eignet. In den folgenden Abschnitten werden diese dann immer wieder aufgegriffen.

Anschließend sollen Möglichkeiten gefunden werden, wie der Besucher mit dem Roboter sinnvoll interagieren bzw. ihn steuern kann. Hier bieten neue Technologien, wie die Kinect, immer neue Möglichkeiten. Im Abschnitt Interaktionsmöglichkeiten werden diese und weitere Steuerungsmöglichkeiten untersucht.

Für den Einsatz von mobilen Robotern ist eine hochgenaue Lokalisierung unerlässlich. Ortung und Navigation in Gebäuden ist ein sehr komplexes Gebiet, welches bereits seit einigen Jahren intensiv untersucht wird. Im Abschnitt Lokalisierungsverfahren werden die Vor- und Nachteile einiger Technologien vorgestellt und anschließend auf ihre Eignung hin untersucht.

Der nächste große Abschnitt beschäftigt sich mit der autonomen Navigation des Roboters. Diese ist für einige Szenarien zur Interaktion mit dem Roboter unerlässlich. Es werden unter anderem verschiedene Pathfinding-Algorithmen vorgestellt.

Die erarbeiteten Lösungen resultieren in einem Proof of Concept. Dieses stellt die prototypische Implementierung innerhalb des Sat360-Projekts dar und wird im vorletzten Abschnitt erläutert.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung, einem Fazit und einem Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen ab.

2 Grundlagen (JL)

2.1 Digitales Museum

Mit der Entstehung des World Wide Web und der zunehmenden Verbreitung von Heimcomputern und Internet-Anschlüssen, werden vermehrt Möglichkeiten geschaffen, Kunstwerke online zugänglich zu machen. Schon in den frühen 90er Jahren wurden Websites für virtuelle Kunstausstellungen erstellt. [Bow03] Die Möglichkeiten zur Visualisierung und Interaktion sind seither stark gestiegen. Wurden anfänglich noch einfache HTML-Seiten mit Text und Bildern genutzt, ist der virtuelle Besucher heute in der Lage, einen dreidimensionalen Museumsrundgang durchzuführen.

Eine der erfolgreichsten Bestrebungen ein online zugängliches Archiv von historisch bedeutsamen Werken zu schaffen, gab es im Jahr 2005 durch einige europäische Staaten. Bereits im November 2008 wurde ein erster Prototyp der Plattform Europeana veröffentlicht. [Bru08] Dieser bot den Zugriff auf über 4,5 Millionen digitale Objekte, darunter Kunstwerke wie die Mona Lisa von Leonardo da Vinci, historische Schriften, klassische Musik und vielem mehr.

Die Herausforderungen bestehen darin, verschiedene Inhalte von unterschiedlichen Institutionen in einer großen Datenbank zu vereinen und durchsuchbar zu machen. Dazu sammelt Europeana Kontextinformationen (Metadaten) über die Objekte und ggf. ein Vorschaubild. Das eigentliche digitale Objekt verbleibt bei der Institution und wird lediglich verlinkt.

Neben der digitalen Aufbereitung einzelner Ausstellungsstücke, ist es auch möglich, ein ganzes Museum online zugänglich zu machen. Hier sei das Google Art Project erwähnt, welches im Februar 2011 von Google veröffentlicht wurde. [Ken11] Dabei ist es möglich, über den Browser, virtuelle Rundgänge in verschiedenen Museen durchzuführen. Google nutzt hier dieselbe Technologie wie bei Google Street View. Unter der langen Liste internationaler Partner finden sich unter anderem die Tate Gallery in London und das Metropolitan Museum of Art in New York City.

Des Weiteren sei das Projektstudium im Rahmen der Forschungsgruppe INKA an der HTW Berlin erwähnt. Dieses wurde im Sommersemester 2010 durchgeführt. Es beschäftigte sich mit der Virtualisierung der Ausstellung des Museums für Islamische Kunst. Es wurden Virtual Reality Panoramafotografie und die 3D-Modellierung von einzelnen Exponaten verwendet.

2.2 Einsatzszenarien für Roboter im Museum

Die Entstehung digitaler Museen wurde primär durch die Entwicklung neuer Internet-Technologien ermöglicht. Durch die voranschreitende Entwicklung mobiler Roboter ergeben sich ebenfalls neue Möglichkeiten. So existiert bereits eine Reihe von Projekten, mit dem Ziel, Roboter in Museen einzusetzen.

2.2.1 Existierende Projekte

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) hat bereits im Jahr 2000, im Rahmen des Projekts "Museumsroboter Berlin", drei Roboter entwickelt, die die Besucher des Museums für Kommunikation begrüßen und historische Führungen durchführen. [IPA00]



Abbildung 2.1: Museumsroboter Berlin

Die Roboter bauen auf der Care-O-bot-Plattform auf, die ebenfalls vom IPA entwickelt wird. Sie besitzen zwei motorisierte Räder für den Differentialantrieb, einen Kreiselkompass zur Orientierung und einen zweidimensionalen Laserscanner zur Hinderniserkennung. Diese ermöglichen eine autonome Navigation, die für mobile Roboter besonders wichtig ist.

Das Museum für Kommunikation zeigte im April 2007 außerdem eine Ausstellung zur "Geschichte und Gegenwart der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine". [Gro07] Neben den Robotern des IPA wurde auch gezeigt, wie Roboter in lebensfeindlichen Umgebungen arbeiten, wie z.B. in der Tiefsee, im Weltraum oder unter der Erde. Des Weiteren wurden Service-Roboter vorgestellt, die dem Menschen helfend zur Seite stehen und zum Beispiel im Haushalt eingesetzt werden können. Und schließlich gibt es Roboter die ganz an die Stelle des Menschen treten.

Ein kürzlich vorgestelltes Projekt nutzt iPads, die mittels Teleskop-Stangen auf Rädern montiert sind, um mit der Umwelt in Kontakt zu treten. [Mag12] Dabei handelt es

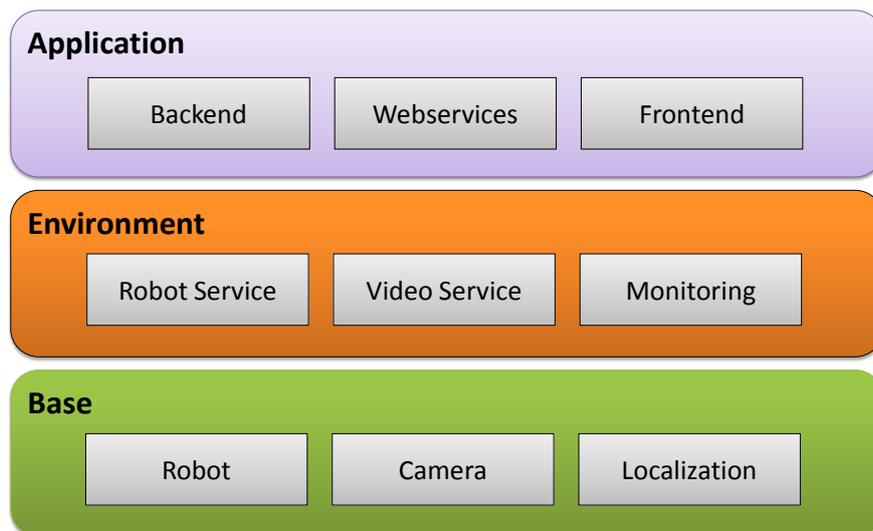
sich eigentlich um ein Telepräsenz-System, welches jedoch für virtuelle Museumsbesuche genutzt werden kann.

2.2.2 Sat360 Projekt

Das Sat360 Projekt wird aktuell von der Universität Potsdam (UP) in Kooperation mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) entwickelt. Ziel ist es, eine umfassende Service-Architektur zu konzipieren, mit der sich Roboter und Kamera steuern und überwachen lassen. Dabei sollen die Services leicht austauschbar sein, falls zum Beispiel das Roboter-Modell gewechselt wird. Die gesamte Architektur ist dadurch sehr flexibel und kann beispielsweise für einen virtuellen Museumsbesuch genutzt werden.



Abbildung 2.2: Roboter des Sat360-Projekts



Services are arranged in layered Sat360 architecture

Abbildung 2.3: Service-Architektur des Sat360-Projekts

Die Grundlage für das Sat360-Projekt wurde im Rahmen eines Projekts im Sommersemester 2010 an der Universität Potsdam geschaffen. Dabei wurde ein iRobot Create mit zusätzlichen Komponenten ausgestattet. Darunter befindet sich ein Verdex Pro-XM4 von der Firma Gumstix. Aus dem Projekt ist ein Roboter entstanden, der über Wireless LAN direkt angesteuert werden kann.

Die Architektur des Sat360-Projekts unterteilt sich in drei Schichten. In der untersten, "Base"-Schicht, befinden sich die Services "Robot", "Camera" und "Localization". Die darüber liegende "Environment"-Schicht beinhaltet die Services "Satellite Service", "Video Service" und "Monitoring". Die "Application"-Schicht enthält schließlich die Services "Backend", "Web Service" und "Frontend".

2.2.3 Auswertung

Die Beispiele zeigen zwei grundsätzliche Möglichkeiten des Einsatzes von Robotern im Museum. Der Roboter kann einerseits genutzt werden um mit dem Besucher zu interagieren. Dies kann von der reinen Unterhaltung bis zur vollautomatischen Führung durch das Museum reichen. Mit der zweiten Variante wird eine Möglichkeit geboten, ein Museum zu erleben, ohne vor Ort sein zu müssen. Dies ist insbesondere auch während der Schließzeiten möglich. Der Besucher könnte sich auf der Website des Museums einloggen und beispielsweise nachts das Museum erkunden.

Roboter können aber auch zur Erkundung von unwegsamem Gelände genutzt werden, so zum Beispiel in Krisengebieten um Minenfelder zu untersuchen. In Museen gibt es einige Bereiche, die nicht vom Besucher betreten werden dürfen. Diese sind meist aus konservatorischen Gründen abgesperrt, wie zum Beispiel das Aleppo-Zimmer im Pergamonmuseum. Dieses ist durch eine Glaswand vor Besuchern geschützt und könnte durch einen Roboter detailliert erkundet werden. Hier ergibt sich ein mögliches Szenario für die Steuerung von Robotern vor Ort.

Das Sat360-Projekt bietet eine gute Grundlage für weitere Entwicklungen. Es ist durch die Service-Architektur leicht erweiterbar und die Komponenten sind ohne Probleme austauschbar. Durch die Kooperation mit der Universität Potsdam, ist ein enger Austausch möglich. Der prototypische Roboter wurde beispielsweise noch mit keiner Kamera angebunden, was im Rahmen dieses Projekts geschehen soll. Die Universität Potsdam hat dafür bereits Ansätze einer Lokalisierung vorgenommen.

2.2.4 Fazit

Für diese Arbeit ergibt sich folgendes sinnvolles Szenario. Der Roboter des Sat360-Projekts wird mit einer Kamera ausgestattet, dazu muss diese physikalisch mit der vorhandenen Hardware verbunden werden und der Kamera-Service muss erweitert werden. Der fertige Roboter kann dann unter anderem im Pergamonmuseum eingesetzt werden.

3 Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten (TB)

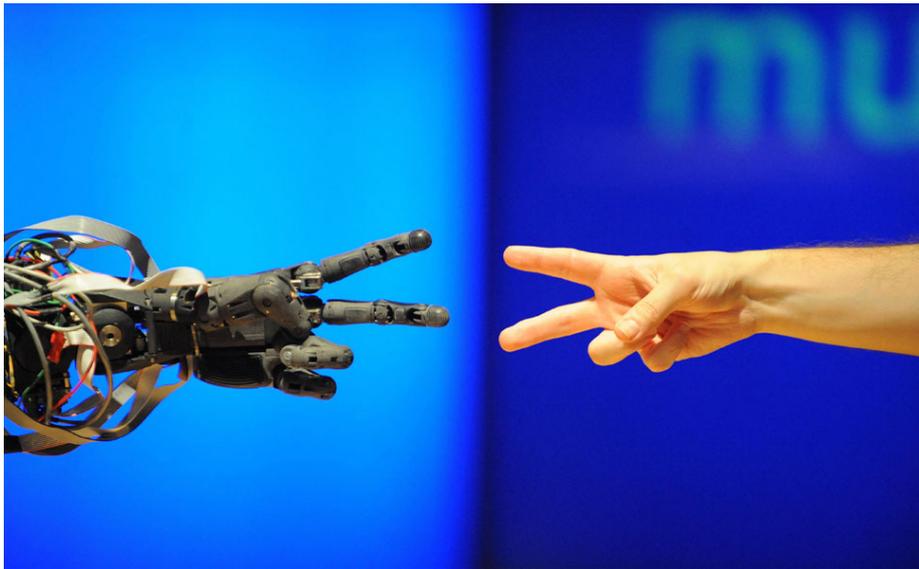


Abbildung 3.1: Human-Robot-Interaction [Schb]

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Roboter. Diese Betrachtungen werden analytisch, systematisch und kritisch vorgenommen. Es werden die Funktionsweise, Möglichkeiten und Lösungsansätze, Vor- und Nachteile, sowie weitere Probleme der verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten im Ganzen analysiert und betrachtet, um eine Kombination aus verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten oder die optimale Interaktionsmöglichkeit zu ermitteln. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse wird zum Ziel gesetzt, die optimale Mensch-Roboter-Schnittstelle für die entsprechende Einsatzmöglichkeit zu evaluieren und zu entwickeln.

3.1 Touch- und Multitouch

Touch- und Multitouchgeräte sind in den verschiedenen Anwendungsbereichen sehr verbreitet. Multitouchsysteme setzen sich immer mehr zu herkömmlichen Touchgeräten durch. Infolgedessen liegt das Hauptaugenmerk in diesem Abschnitt auf Multitouchsysteme. Bei einem Multitouchsystem handelt es sich um ein Bildschirm mit Mehrfingergestenerkennungssystem. Es ist eine besonders berührungsempfindliche Oberfläche mit deren Hilfe die Eingabe von Daten in Form von Gesten erfolgt. Das Multitouchdisplay erkennt mehrere Berührungen gleichzeitig, dadurch können bei diesen Geräten, im Vergleich zu einfachen Touchsystemen, mehrere Bedienmethoden eingesetzt werden.

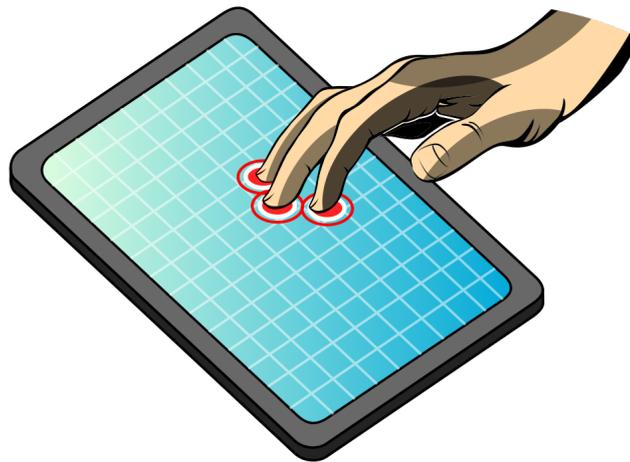


Abbildung 3.2: Multi-Touch-Screen [Wil]

3.1.1 Funktionsweise

Die Erfassung der Berührungen der Finger werden bei diesen Systemen kapazitiv oder optisch vorgenommen. Daraus ergibt sich das Resultat, dass für die Erkennung von Mehrfingergesten dunkle oder mit künstlichem Licht bestrahlte Räume optimal sind. Grund dafür ist das Infrarotlicht, welches von dem Finger reflektiert wird und von der Kamera aufgenommen wird. Da das Sonnenlicht einen sehr hohen Anteil an Infrarotstrahlung enthält, ist die Verwendung von Touch- und Multitouchgeräten im Freien, basierend auf der optischen Technologie, sehr problematisch. Multitouchgeräte bestehen aus zwei übereinander liegenden Screens, einmal aus dem Bildschirm und zum anderen dem Multitouchscreen. Somit können dem Anwender Elemente visualisiert werden und es kann mit Hilfe der Visualisierung auf verschiedene Art und Weise mit den Elementen interagiert werden. Die bekanntesten Beispiele sind das Vergrößern und Drehen von Bildern, indem der Anwender zwei Finger voneinander wegbewegt bzw. die Finger auf dem Touchscreen rotieren lässt [Vgl. Spa+12, S. 6]. Die Berührungspunkte werden als weiße Flecken auf dem Bild der Kamera dargestellt. In der anschließenden Bildverarbeitung wird nach diesen hellen Punkten gesucht um die vorgenommen Mehrfingergesten des Benutzers für die Weiterverarbeitung zu tracken. Die Qualität der getrackten Daten ist abhängig von der

Qualität der eingesetzten Kamera, da Latenzen und Bildwiederholraten entscheidende Faktoren für das Tracking von Mehrfingergeräten sind [Vgl. Spa+12, S. 7].

3.1.2 Möglichkeiten und Lösungsansätze

Für Multi- und Touchsteuerung können mobile Geräte, z.B. Tablets und Smartphones, sowie stationäre Geräte, z.B. Touchtische, verwendet werden. Vor allem mobile Geräte sind ein weitverbreitetes und beliebtes Mittel für die Interaktion zwischen Mensch und Roboter. Die mobilen Geräte besitzen einige Aspekte, welche sie für die Interaktionen zwischen Mensch und Roboter in der Robotik sehr attraktiv machen. Sie sind im Vergleich zu anderen Computern günstiger, handlicher und besitzen verschiedene Module und Sensoren, welche für die Kommunikation und Interaktion genutzt werden können. Somit hat der Mensch mit Hilfe dieser mobilen Geräte die Möglichkeit, Befehle direkt an den Roboter zu senden, um mit ihm interagieren zu können. Vor allem die Ausstattung der Geräte mit UTMS, WiFi und Bluetooth für die drahtlose Kommunikation ermöglicht sehr viele verschiedene Einsatzszenarien, sowie Touch- und Multitouchfunktionalität, welche für das Versenden von Steuerungsbefehlen an den Roboter verwendet werden können. Zusätzlich sollte erwähnt werden, dass die neuen mobilen Geräte sehr gut in Verbindung mit HTML5 funktionieren, wodurch Webanwendungen zur Verfügung gestellt werden können, welche mit der Touch- und Multitouchsteuerung der mobilen Geräte interagieren können. Auf Grund dieser Besonderheiten der mobilen Geräte, wie zum Beispiel eines Smartphones oder Tablets, ergibt sich eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten. Im Gegensatz zu den mobilen Geräten sind die stationären Geräte, wie zum Beispiel Touch- und Multitouchtische, eingeschränkter in ihrer Bewegung. Beide Gerätekategorien bieten die Möglichkeit, Video- und Audiodaten, welche der Roboter über Kameras und Mikrofone sammelt, visuell und auditiv über verschiedene Kommunikationskanäle auf dem entsprechenden Gerät für den Menschen darzustellen.

Ein sehr gutes Beispiel für diese Interaktionsmöglichkeit ist ein Bombenentschärfungs-Roboter, welcher in Krisengebieten wertvolle Dienste leistet. Mit Hilfe der Multitouchfunktion kann der Roboter seine Position im Raum verändern und gleichzeitig die Ausrichtung der Kamera variieren. Mit Hilfe von Multitouch können beide Aktionen zeitgleich erfolgen, wodurch es dem Anwender ermöglicht wird, sich einen besseren Überblick über bestimmte Situationen zu verschaffen. In dem Fall, dass die Kamera des Roboters nicht mehr nach vorne ausgerichtet ist, muss dem Anwender mitgeteilt werden, in welche Richtung sich der Roboter bei Positionsänderungen bewegt. Zusätzlich können auf dem Display noch weitere Funktionalitäten angeboten werden, wie zum Beispiel das Steuern eines Greifarms für den Abtransport von Gegenständen. Die eben beschriebene Variante eignet sich für stationäre und mobile Geräte. Zusätzlich sollte noch erwähnt werden, dass bei mobilen Geräten die Ausrichtung der Kamera mit Hilfe von Lagesensoren erfolgen kann. Ein stationäres Gerät mit Lagesensoren ist nicht sinnvoll, weshalb diese Möglichkeit im Weiteren nicht betrachtet wird.

Das erläuterte Szenario mit den Interaktionsmöglichkeiten beim Bombenentschärfungs-Roboter lässt sich sehr gut auf das Museumsprojekt übertragen. Die Steuerung des Roboters und die Ausrichtung der Kamera kann ebenfalls mit Hilfe von Touch- und

Multitouch auf einem mobilen oder stationären Gerät erfolgen. Die Video- und Audioinhalte können ebenfalls über verschiedene Funkmodule übertragen werden. Somit hat der Anwender die Möglichkeit, optisch und akustisch eine fremde Umgebung zum Beispiel in einem Museum oder ähnliches wahrzunehmen. Zusätzlich können weitere Menüpunkte auf diesen Geräten dargestellt werden, welche zusätzliche Funktionalitäten bieten, wie zum Beispiel das automatische Navigieren zu einem Point of Interest, welche den Anwender bzw. Museumsbesucher interessiert. Für die Interaktion und Steuerung können die folgenden Gesten zwischen Multitouchgerät und Roboter zum Einsatz kommen.

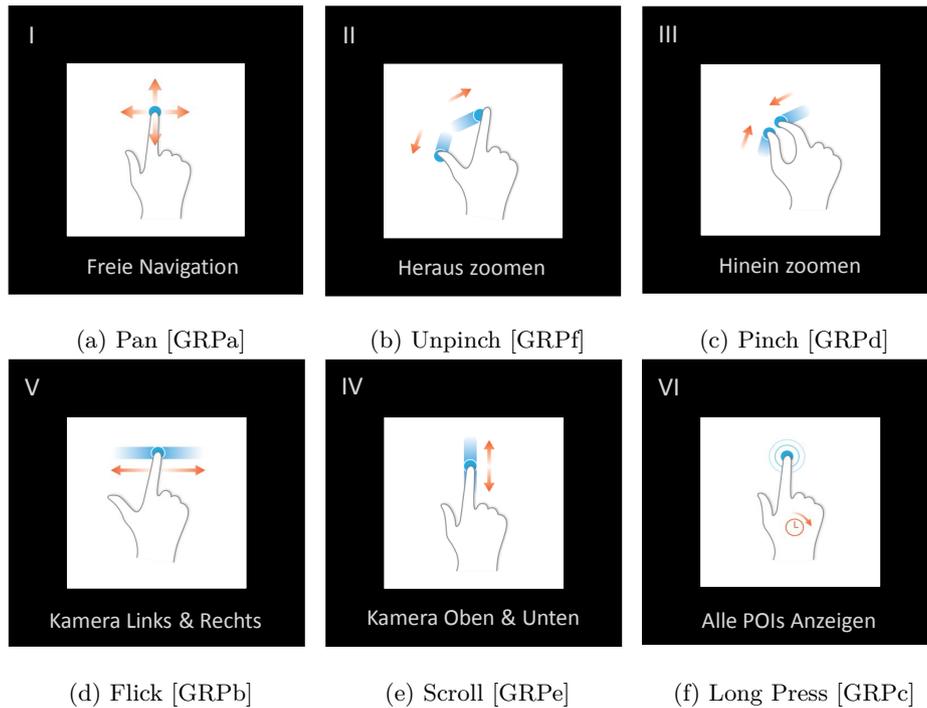


Abbildung 3.3: Mehrfingergesten für die Interaktion und Steuerung

Die Geste in der Abbildung 3.3a wird hier zum Beispiel für die Freinavigation des Roboters benutzt. Weiterhin können die Gesten in den Abbildung 3.3b und Abbildung 3.3c für das Vergrößern und Verkleinern vom Kameraausschnitt verwendet werden. Infolgedessen können die Gesten in Abbildung 3.3d und Abbildung 3.3e für die horizontale und vertikale Verstellung der Kamera genutzt werden. Die Geste in der Abbildung 3.3f könnte hier für die Auswahl von Points of Interest eingesetzt werden, wo der Roboter mit Hilfe der autonomen Navigation den Museumsbesucher hin navigiert.

3.1.3 Auswertung

In diesem Abschnitt werden die Vorteile und Nachteile der Multitouchsysteme gegenübergestellt, sowie weitere Probleme der Anwendung betrachtet.

Vorteile von Multitouchsystemen

- Großes Potenzial in der Human-Computer-Interaction
- Direkte Manipulation von Inhalten
- Ermöglichen intuitive Benutzerschnittstellen
- Mehrfingergestenerkennung, daraus resultieren mehrere neue Bedienmöglichkeiten
- Ermöglichen die Interaktion mit realen Objekten
- Intuitive Steuerungsgesten, wie Drehen, Verschieben und Vergrößern
- Nur geringe Erfahrungswerte mit diesem System für eine Interaktion erforderlich
- Günstig in der Anschaffung
- Eignet sich vor allem für Systeme mit mehreren Benutzern

Nachteile von Multitouchsystemen

- Es fehlen visuelle und haptische Feedbacks (z.B. Bestätigen einer Taste)
- Blinde Bedienung ohne haptische oder auditive Feedbacks unmöglich
- Fehlende Präzision bei der Bedienung
- Probleme bei der Erfassung von Berührungspunkten bei Mehrbenutzersystemen

Weitere Probleme

Im Gegensatz zur jüngeren Generation dürften viele ältere Menschen mit dieser Art der Steuerung überfordert sein. Der Grund hierfür ist einfach: der Anwender hat hier mehrere Interaktionsmöglichkeiten, welche in bestimmten Abhängigkeiten zueinander stehen. Somit benötigt der Anwender ein gewisses Grundverständnis für die Steuerung des Roboters und der Kamera. Weiterhin kann der Anwender den Roboter frei navigieren, ob dies nun ein Vorteil oder Nachteil ist, ist abhängig vom Verwendungszweck. Bei einem Museumsbesuch ist die freie Navigation von Nachteil, bei einer Bombenentschärfung jedoch von Vorteil. Die Performanz des Informationsaustausch zwischen Roboter und stationären bzw. mobilen Gerät kann zu einem Problem werden auf Grund der zur Verfügung stehenden Kommunikationskomponenten, da der Datenaustausch von Video- und Audioinhalten verzögert auftreten kann, wodurch der Anwender verspätete Informationen angezeigt bekommt, welche nicht mehr der aktuellen Situation entsprechen.

3.2 Kamera basierte Gestensteuerung



Abbildung 3.4: Xbox-360-Kinect [Eva]

Die heutige Gestensteuerung ist im Spielektor weitverbreitet. Der bekannteste Vorläufer war das Spiel EyeToy für die Playstation 2. Für die Realisierung der Gestensteuerung vom Spiel EyeToy wurde lediglich eine Kamera an die Playstation 2 angeschlossen, wodurch die Bewegungen vom Spieler in Echtzeit getrackt wurden. Somit hat der Spieler die Möglichkeit zu boxen, zu putzen und zu tanzen. Die eigenen Bewegungen konnte der Spieler in Echtzeit auf dem Fernseher nachverfolgen, wodurch ein höheres Gefühl der Authentizität entsteht. Im Gegensatz zu damals arbeitet die heutzutage verwendete, professionelle Gestenerkennung mit 3D Kameras. Das beste Beispiel dafür ist die Kinect-Kamera für die Xbox 360 von Microsoft, welche in der Forschung und im privaten Bereich eine sehr große Beliebtheit erlangt hat. Mit Hilfe der 3D Kamera können die Bewegungen von Personen nicht nur zweidimensional erfasst werden sondern dreidimensional, wodurch eine realistische und feinere Steuerung ermöglicht wird [Ehl12, Vgl.].

3.2.1 Funktionsweise

Für die Kamera basierte Gestensteuerung müssen drei Arten von 3D-Kameras in ihrer Funktionsweise unterschieden werden.

Mit Hilfe von Stereokameras wird die Umgebung von beiden Kameras gleichzeitig aufgenommen. Die dabei entstehenden Bilder werden vom Computer verarbeitet, welcher daraus die Bewegungen in den drei Raumrichtungen sowie die jeweiligen Distanzen berechnet.

Die Triangulations-Kameras bilden ein bestimmtes Lichtmuster auf ihre Umwelt ab. Mit Hilfe der daraus resultierenden Verzerrung des Musters wird die Distanz und Bewegung gemessen.

Die Time of Flight Kameras arbeiten mit Lichtstrahlen. Diese Lichtstrahlen werden in die Umgebung gesendet. Aus der Laufzeit, welche das Licht von der Ausstrahlung und durch die Reflexion wieder zurück zur Ausgangsposition benötigt, werden die räumlichen Bewegungen und Distanzen berechnet.

3.2.2 Möglichkeiten und Lösungsansätze

Die kamerabasierte Gestensteuerung wird in diesem Abschnitt nur im Zusammenhang mit der Kinect von Microsoft betrachtet. Die Einsatzmöglichkeiten der Kinect sind sehr vielseitig. Die normalen Webkameras können zwar ebenfalls für die Gestensteuerung verwendet werden, bieten aber im Gegensatz zur Kinect-Kamera weniger Möglichkeiten. Zum Beispiel kann die Kinect für verschiedene Multitouchanwendungen ohne größere Probleme eingesetzt werden. Somit hat der Anwender die Möglichkeit, den Mauszeiger und einzelne Fotos per Handbewegung zu steuern. Zusätzlich kann der Anwender die Fotos mit beiden Händen drehen, vergrößern und verkleinern. Dieses Konzept wurde vom Unternehmen Evolute vorgestellt, welches sich auf Multitouch- und Gestensteuerung spezialisiert hat [Kla12a, Vgl.].

Die Kinect wird vorwiegend zur Steuerung von Spielen verwendet. Durch das Zusammenwirken der folgenden Hardwarekomponenten, dem Prime-Sense-Sensor, dem Tiefensensor, das 3D-Mikrofon und die Farbkamera, erfolgt die Steuerung. Zusätzlich wird der komplette Steuerungsprozess durch leistungsfähige Bildverarbeitungssoftware unterstützt, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Weiterhin unterstützt die Kinect auch die Sprachsteuerung. Auf Grund dieser spezifischen Besonderheiten ist die Kinect in den verschiedenen Forschungsbereichen sehr begehrt und in der Robotik von großem Interesse.

Am Massachusetts Institute of Technology (MIT) ist eine Kinect mit zusätzlichem Akku an einem umgebauten iRobot Create befestigt worden. Die gesammelten Daten der Kinect auf dem iRobot Create werden an einen externen Rechner per WiFi Funktechnologie übertragen. Von diesem werden die Daten ausgewertet und es wird ein 3D-Modell der Umgebung erstellt.

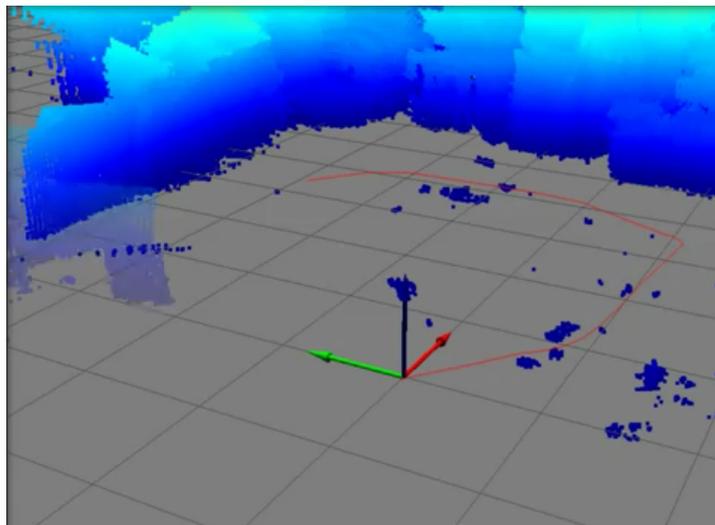


Abbildung 3.5: Kinect - Virtuelle 3D Umgebung [Rob]

Dies bietet sich vor allem für Kollisionserkennung im dreidimensionalen Raum an. Zusätzlich kann über Handgesten mit dem iRobot Create interagiert werden. Mit Hilfe des 3D-Modell der Umgebung könnte eine ideale Kollisionserkennung im dreidimensionalen

Raum und autonome Navigation innerhalb von Gebäuden umgesetzt werden. Damit könnte das Problem der Positionsbestimmung basierend auf Funktechnologie im Indoor-Bereich verhindert werden [Kla12b, Vgl.].

Die Kinect bietet sich für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine innerhalb eines Museums an. Zusätzlich könnte durch die technischen Besonderheiten die Interaktion und Steuerung eines Roboters über Spracherkennung, sowie die Kollisionserkennung im dreidimensionalen Raum mit Hilfe der Kinect realisiert werden. Allerdings wird sich die Steuerung per Gesten durch den Museumsbesucher schnell auf Grund der hohen Fehleranfälligkeit und dem fehlenden haptischen Feedback als Benutzer unfreundlich erweisen, wodurch der Einsatz von Gesten bei diesem Konzept ungeeignet ist. Somit ist dieses Konzept für den Einsatzbereich Museum nicht zu empfehlen.

3.2.3 Auswertung

In diesem Abschnitt werden die Vorteile und Nachteile der Gestensteuerung gegenübergestellt, sowie weitere Probleme betrachtet.

Vorteile von Kamera basierter Gestenerkennung

- Das fehlende taktile Feedback kann mit visuellem und akustischem Feedback ausgeglichen werden.
- Toleranz gegen Veränderungen im Raum.
- Schnelle und einfache Interaktion.
- Kabellose und bequeme Bedienung von Geräten.
- Kein zusätzliches Bedienelement mehr erforderlich.
- Sprachsteuerung mit Hilfe der Kinect möglich.
- Kollisionserkennung im dreidimensionalen Raum.

Nachteile von Kamera basierter Gestenerkennung

- Die Ausführung von Bewegungen im dreidimensionalen Raum und die Geometrie von Objekten erschwert die Trennung von unterschiedlichen Gesten.
- Taktile Feedback fehlt bei diesem Bedienkonzept komplett.
- Die Korrektheit bei der Durchführung von Gesten ist vom jeweiligen Betrachter abhängig, somit subjektiv.
- Für korrekte Funktionsweise ist eine manuelle Kalibrierung erforderlich.
- Es können Probleme bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen auftreten.
- Es können Probleme bei Reflexionen auftreten.

Weitere Probleme

Wegen der fehlenden Akzeptanz einiger Museumsbesucher verschiedene Posen für die Interaktion und Steuerung des Roboters einzunehmen, ist dieses Konzept mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zum Scheitern im Voraus verurteilt. Weitere Probleme treten beim Wechsel von Tag und Nacht auf, sowie bei Wolkenbildung, welche die Lichtverhältnisse im Museum negativ beeinflussen können. Die Konsequenz ist, dass Gesten infolgedessen nicht korrekt erkannt werden[Hil12, Vgl.].

3.3 Sprachsteuerung

Die herkömmlichen Eingabegeräte wie Maus, Tastatur und Fernbedienungen werden in vielen Bereichen zunehmend von der Spracheingabe abgelöst. Somit stellt die Sprachsteuerung ebenfalls einen sehr interessanten Bereich der Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine dar. Die menschliche Sprache ist für Maschinen schwierig zu interpretieren, da zum Beispiel Homophone ein großes Problem bei der Spracherkennung darstellen. Erst der Einsatz von Statistiken über die Häufigkeit bestimmter Wörter in bestimmten Wortkombinationen erhöht die Erkennung der gleich klingenden Wörtern im Kontext. Mithilfe der Kontextprüfung war die Unterscheidung von Homophone erstmals im Jahr 1980 möglich gewesen. Die so genannten Trigrammstatistiken sind seitdem ein wichtiger Bestandteil aller Spracherkennungssysteme, um die richtigen Wörter aus dem gesprochenen Kontext zu extrahieren. Außerdem stellen Hintergrundgeräusche und ein etwaiger Dialekt des Benutzers ebenfalls ein großes Problem dar, da die Spracherkennung teilweise nicht die Sprache von den Hintergrundgeräuschen herausfiltern kann und somit falsche Lautkombinationen aufgezeichnet werden. Ebenso die vielfältigen Dialekte erschweren die korrekte Spracherkennung enorm [AG12, Vgl.].

3.3.1 Funktionsweise

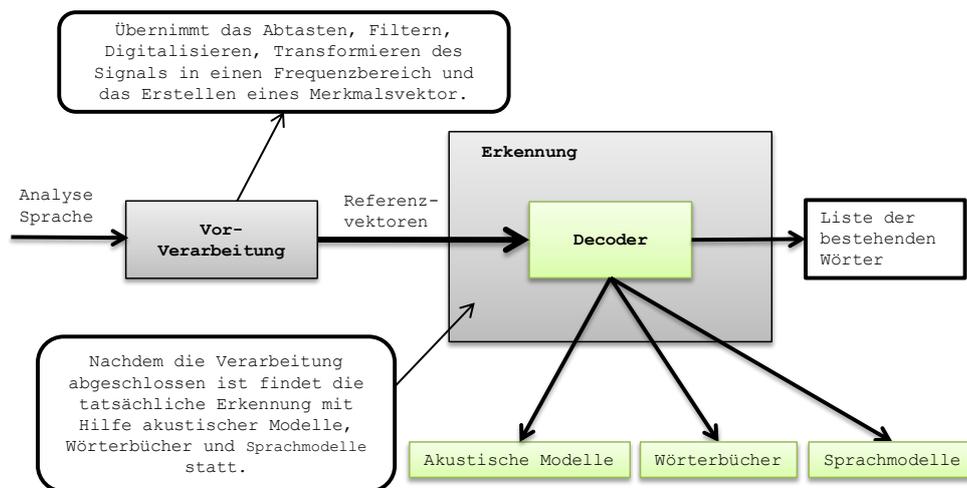


Abbildung 3.6: Aufbau eines Spracherkennungssystem [Wei, Vgl.]

Es gibt zwei Arten von Spracherkennungssoftware, auf der einen Seite das Frontendsystem und auf der anderen Seite das Backendsystem. Das Frontendsystem nimmt die Verarbeitung und Umsetzung des gesprochenen Textes direkt auf dem Computersystem des Anwenders vor. Somit hat der Anwender keine größeren Latenzen im Übersetzungsprozess. Das Backendsystem übersetzt die Texte nicht lokal, sondern verwendet im Übersetzungsprozess ein entferntes Serversystem im Gegensatz zum Frontendsystem. Die Backendsysteme finden vor allem im mobilen und medizinischen Bereich Anwendung. Die Qualität der akustischen Aufnahmen sowie die Größe des Wörterbuchs spielen hier eine bedeutende Rolle. Weitere Faktoren, wie die Positionierung des Mikrofons in der

Nähe des menschlichen Sprachzentrums und die präzise Aussprache der Wörter, wirken sich signifikant auf den Erkennungsprozess des gesprochenen Textes aus. Die Spracherkennungssoftware übersetzt die gesprochenen Wörter in Text. Mit Hilfe des übersetzten Textes kann die Maschine mit dem Anwender interagieren. Sinnvoll ist der Einsatz von Sprachsteuerung vor allem in Bereichen, wo die Hände für die Arbeit frei sein sollten. Diese Arbeitsszenarios könnten natürlich im medizinischen oder militärischen Sektor liegen. Des Weiteren werden die Spracherkennungssysteme in zwei weitere Unterkategorien unterteilt. Einmal das sprecherunabhängige und das sprecherabhängige Spracherkennungssystem. Die sprecherabhängige Spracherkennung kann erst korrekt arbeiten, wenn der Anwender eine Trainingsphase durchlaufen hat. In der Trainingsphase wird das System auf die Besonderheiten der Aussprache des entsprechenden Anwenders trainiert, somit ist dieses System als Multiusersystem komplett ungeeignet. Dafür ist der Wortschatz, welcher zur Verfügung steht, bedeutend größer im Gegensatz zum sprecherunabhängigen Spracherkennungssystem. Das sprecherabhängige System wird von vielen Menschen zur Protokollierung verwendet, zum Beispiel von Medizinerinnen oder Anwälten. Die sprecherunabhängigen Spracherkennungssysteme werden vor allem in technischen Einsatzbereichen zur Steuerung von Maschinen verwendet. Diese technischen Systeme besitzen meist nur einen geringen Wortschatz von 1000 Wörtern. Beide Systeme haben im Verlauf der letzten Jahre ihre Erkennungsquoten signifikant gesteigert. Die Erkennungsrate liegt bei beiden Systemen fast bei hundert Prozent. Somit besitzen beide Systeme ein sehr hohes Potenzial in den verschiedenen Bereichen [RJ93, Vgl.].

3.3.2 Möglichkeiten und Lösungsansätze

Die Einsatzgebiete der sprecherabhängigen und sprecherunabhängigen Spracherkennungssysteme sind sehr vielfältig. Aufgrund des technischen Aspektes und der fehlenden Multiuser Interaktion beim sprecherabhängigen Spracherkennungssystem wird im Folgenden nur das sprecherunabhängige Spracherkennungssystem betrachtet. Diese Systeme werden zurzeit vor allem in der Medizin zur Steuerung von Robotern eingesetzt, um den Arzt bei operativen Eingriffen zu unterstützen. Des Weiteren kann mithilfe von Spracherkennungssystemen die Hygiene erhöht werden. Weitere Einsatzszenarien sind, wie im oberen Abschnitt bereits erwähnt, der Einsatz als Fahrplanauskunft oder Fahrkartenausschalter. Einige Einsatzszenarien dürften für Menschen mit Behinderungen eine große Erleichterung darstellen [90, Vgl.].

Spracherkennungssysteme werden nicht nur für alltägliche Einsatzszenarien, sondern auch in der Robotik verwendet. Zum Beispiel die Hochschule für angewandte Wissenschaften (HAW) in Hamburg hat sich ebenfalls mit der Realisierung einer Sprachsteuerung für Roboter beschäftigt. In dieser Arbeit ist aufgefallen, dass die Spracherkennung für die Steuerung des Roboters auf den jeweiligen Benutzer abgestimmt werden muss. Diese Besonderheit wurde im Abschnitt Funktionsweise der Sprachsteuerung bereits in diesem Forschungsprojekt erfasst und erläutert. Das Problem bei der Arbeit von der HAW aus Hamburg ist, dass das sprecherabhängige und sprecherunabhängige Spracherkennungssystem keiner genauen Analyse zu Grunde liegt [And12, Vgl.]. Im Bereich der Sprachsteuerung gibt es einige Projekte, welche auf Lego Mindstorms basieren, in denen die Roboter den

Befehlen des Anwenders, wie zum Beispiel das gerade oder seitwärts Fahren, Folge leisten. Bei diesen Sprachbefehlen handelt es sich um einfache Befehle, da diese leichter von Spracherkennungssystemen interpretiert werden können.

Die Steuerung des Roboters per Sprache in Verbindung mit der autonomen Navigation zu Points of Interest ist ein sehr interessanter Aspekt. Der Roboter kann die Museumsbesucher zum Beispiel zu bestimmten Points of Interest führen. Bei diesen Points of Interest kann es sich um Bilder oder Exponate innerhalb des Museums handeln. Zusätzlich könnte der Roboter die Museumsbesucher am Punkt von Interesse weitere mediale Informationen zur Verfügung stellen. Ein anderes Szenario ist die Fernsteuerung des Roboters durch den Museumsbesucher von Zuhause aus. Dabei gibt der Museumsbesucher seine Points of Interest per Sprachbefehl an. Durch die vorgenommene Interaktion des Museumsbesuchers von zuhause aus fährt der Roboter zum Punkt von Interesse. Der Museumsbesucher kann die Fahrt zum Punkt von Interesse mithilfe einer montierten Kamera auf dem Roboter mit verfolgen, sowie bei der Ankunft beim Point of Interest sich das Gemälde oder Exponat mithilfe einer Kamerasteuerung genauer betrachten. Der Vorteil bei diesem Verfahren ist, dass der Museumsbesucher von Latenzzeiten, die über das Netzwerk entstehen, keine Kenntnis nimmt. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass bei diesem Lösungsansatz der Museumsbesucher nicht überfordert wird und daher die Interaktion mit dem Roboter mithilfe kurzer und prägnanten Befehlen erfolgt.

3.3.3 Auswertung

In diesem Abschnitt werden die Vorteile und Nachteile des Spracherkennungssystems gegenüber gestellt, sowie weitere Probleme betrachtet.

Vorteile von Spracherkennungssystemen

- Bedienung und Steuerung von Geräten durch Sprache
- Einfacher Befehlssatz für sprecherunabhängige Systeme
- Beschleunigung und Unterstützung von Arbeitsprozessen
- Schnelleres Verfassen von Texten für textbasierte Arbeiten
- Großes Vokabular für sprecherabhängige Systeme
- Mehrbenutzersystem für sprecherunabhängige Systeme
- Keine Konfiguration bei sprecherunabhängigen System erforderlich
- Mehrsprachig und erleichtert die Kommunikation

Nachteile von Spracherkennungssystemen

- Konfiguration bei sprecherabhängigen System erforderlich
- Keine Multiuser Unterstützung bei sprecherabhängigen System
- Hintergrundgeräusche können störend wirken

- Konfiguration der Mikrofon erforderlich
- Zuverlässige Erkennung der Wörter für die Befehlsverarbeitung erforderlich

Weitere Probleme

Der direkte Einsatz im Museum könnte sich aufgrund der vielen Hintergrundgeräusche innerhalb des Museums schwierig gestalten. Die Steuerung des Roboters per Sprachbefehle von zuhause aus ist das am besten geeignetste Einsatzszenario, welches für die Sprachsteuerung von Robotern innerhalb von Museen am sinnvollsten ist. Dies belegen die zuvor genannten Aspekte. Ein weiteres Problem ist, dass das Spracherkennungssystem eine Vielzahl von Sprachen für Museumsbesuche unterstützen sollte. Des Weiteren müssen auch bei der Sprachsteuerung von zuhause aus Latenzen berücksichtigt werden, welche durch die Kommunikation über das Netz entstehen können [RS78, Vgl.].

3.4 Headtracking



Abbildung 3.7: Helmet mounted Display with Headtrackingsystem [Cor]

Das Headtracking bezeichnet das Erfassen von Position, Lage und Bewegung des Kopfes. Diese Informationen werden auf unterschiedliche Art und Weise benutzt. Zum Beispiel kann der Anwender mit Hilfe von Headtracking mit einem Waffensystem oder einer Kamera interagieren. Die Einsatzgebiete liegen vor allem im medizinischen, militärischen und spielerischen Bereich.

3.4.1 Funktionsweise

Die Headtrackingsysteme müssen in fünf Kategorien unterschieden werden. Im folgenden Abschnitt werden alle fünf Kategorien beschrieben und vorgestellt.

Beim mechanischen Headtracking wird das System direkt am Hals getragen, wobei mithilfe von Widerständen mechanisch die Kopfstellung ermittelt wird. Der größte Nachteil bei dieser Variante des Headtracking ist die umständliche Befestigung der Sensoren am Körper, sowie die eingeschränkte Bewegungsfreiheit [Pet05, Vgl.].

Beim elektromagnetischen Headtracking wird mithilfe eines elektromagnetischen Feldes die Ausrichtung und Position des Kopfes getrackt. Für die Bestimmung der Ausrichtung

und Position des Kopfes werden die Stärken und Verhältnisse des Magnetfeldes über induzierte Ströme gemessen und ausgewertet. Die Messgenauigkeit bei diesem Verfahren ist sehr hoch. Ein weiterer positiver Fakt bei diesem Verfahren ist, dass das Magnetfeld durch den menschlichen Körper nicht stark beeinträchtigt wird und somit keine Abschattungsprobleme entstehen. Weiterhin muss bei diesem Verfahren zwischen Wechselstrom und Gleichstrombetrieb unterschieden werden, da im Wechselstrombetrieb störende Wirbelfelder in metallischen Objekten in der Umgebung auftreten, darunter leidet die Genauigkeit. Im Betrieb mit Gleichstrom verursachen ferromagnetische Gegenstände ein Genauigkeitsverlust. Dieses Verfahren wird zum Beispiel in der Militärtechnik bei Kampfflugzeugen eingesetzt. Deswegen ist in diesem Einsatzgebiet eine Konfiguration der Magnetfelder anhand der metallischen Eigenschaften des Kampfflugzeuges erforderlich [Pet05, Vgl.].

Beim optischen Headtracking werden verschiedene Methoden zur Feststellung der Ausrichtung und Position des Kopfes eingesetzt. Zum Beispiel können hier helligkeitsempfindliche Fotodioden verwendet werden. Über die Beleuchtungsstärke, welche mithilfe einer Lichtquelle an verschiedenen positionierten Fotodioden erzeugt wird, erfolgt mit Hilfe von Triangulation die Ermittlung des Ortes der Lichtquelle. Ein anderes Verfahren benutzt strukturiertes Licht für die Abtastung des Raumes. Das reflektierte Licht von den Objekten innerhalb des Raumes wird von der Kamera aufgezeichnet. Mithilfe der gesammelten Informationen aus dem Bildmaterial kann die Position und Lage ermittelt werden. Da das ganze System auf Licht basiert, besitzt dieses System eine hohe Störempfindlichkeit gegenüber Lichteinstrahlung und Reflexionen, somit ist es nur schwer bei direkter Sonneneinstrahlung beziehungsweise Tageslicht verwendbar. Dafür kann mit diesem System eine sehr hohe Performance aufgrund der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht erzielt werden. Ein weiteres Problem der optischen Systeme ist das sogenannte Verdeckungsproblem [Pet05, Vgl.].

Das bildbasierte Headtrackingsystem erfolgt mithilfe von zwei oder mehreren Kameras. Dieses System versucht anhand definierter Ziele und aus den Bewegungsabläufen auf die Position zu schließen. Bei diesem System müssen die Ziele entweder aktiv oder passiv gekennzeichnet sein. Die aktive Kennzeichnung erfolgt durch LEDs. Die passive Kennzeichnung erfolgt mithilfe von Markierungen oder Rasterungen. Wie bereits beim optischen Headtracking erwähnt, spielt das Verdeckungsproblem ebenfalls eine große Rolle, das bedeutet, dass eine direkte Sichtverbindung zwischen Kamera und Ziel vorhanden sein muss. Reflektierende Materialien können vor allem bei passiv gekennzeichneten Zielen zu Irritationen am Kamerasystem führen. Diese Irritationen führen zur Verfälschung der Messergebnisse [Pet05, Vgl.].

Das inertielle Headtrackingsystem basiert auf Messungen der Kopfbeschleunigung mit anschließender Integration. Bei diesem System werden vor allem Gyroskope eingesetzt. Bei diesem System ist eine regelmäßige Kalibrierung erforderlich, welche das Abdriften kontrolliert. Trotz der regelmäßigen Kalibrierung entsteht ein Langzeitdrift, der die Messwerte negativ beeinflusst. Der Vorteil bei diesem System ist, dass keine Quelle benötigt wird und die theoretische Reichweite beliebig ist [Pet05, Vgl.].

3.4.2 Möglichkeiten und Lösungsansätze

Headtrackingsysteme werden vor allem mit Helmet-Mounted-Display im militärischen Sektor zur Steuerung von Waffensystemen verwendet. Zum Beispiel der amerikanische Kampfhubschrauber Apache benutzt solch ein System zur Steuerung einer Nachtsichtkamera und Waffensystems zur Abwehr von Bodentruppen bei Tag und Nacht. Weiterhin werden diese Trackingsysteme auch bei strahlgetriebenen Kampfflugzeugen, wie zum Beispiel beim Eurofighter Typhoon, eingesetzt. Diese Systeme finden nicht nur im militärischen Bereich Verwendung, sondern werden auch sehr oft in Verbindung mit virtuellen Realitäten eingesetzt [Tal12, Vgl.], in denen sich der Anwender mit Hilfe eines Systems umschauen kann.

Ein anderes Einsatzszenario für ein Headtrackingsystem mit Head-Mounted-Display wäre der medizinischen Sektor. Vor allem konnten Ärzte mithilfe dieses Headtrackingsystems und einer Kamera die inneren Organe des Menschen durch Steuerung der Kamera mit dem Headtrackingsystem aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten und im Diagnoseprozess von Krankheiten unterstützt werden.

In der Robotik werden Headtrackingsysteme wenig verwendet. Es gibt einige Projekte, welche Headtrackingsysteme auf unterschiedliche Weise nutzen. Zum Beispiel wird mithilfe des Headtrackingsystems eine Webkamera auf einem Roboter gesteuert. Ein anderes Projekt beschäftigt sich mit der Ausrichtung des Roboters auf das menschliche Gesicht des Anwenders. Bei diesem Projekt könnte der Roboter mit einem Touchdisplay und über ein Audiosystem direkt mit dem Anwender interagieren. Somit konnte zum Beispiel ein Museumsbesucher auf den Touchdisplay ein Punkt von Interesse anwählen. Nachdem sich der Museumsbesucher ein Punkt von Interesse ausgewählt hat, navigiert der Roboter den Museumsbesucher zum entsprechenden Exponat oder Gemälde. Eine zusätzliche Option wäre multimediale Inhalte über ein Bildschirminterface für den Museumsbesucher zur Verfügung zu stellen, welche dieser beim Betrachten von Exponaten oder Gemälden vorgespielt bekommt.

3.4.3 Auswertung

In diesem Abschnitt werden die Vorteile und Nachteile der Headtrackingsysteme gegenüber gestellt, sowie weitere Probleme betrachtet.

Vorteile von Headtrackingsystemen

- Authentische Steuerung der Kamera

Nachteile von Headtrackingsystemen

- Zusätzliche Gerätschaften erforderlich
- Teuer
- ungeeignet für den Heimbereich

- geringe Akzeptanz der Benutzer
- Eingeschränkte Blickwinkel
- Kein Multi-User-Support

Weitere Probleme

Die Steuerung der Kamera per Headtrackingsystem könnte von den Museumsbesucher beziehungsweise Anwendern allzu kompliziert empfunden werden. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Position des Kopfes wegen der erforderlichen Kopfbewegungen zur Steuerung der Kamera verändert werden muss. In diesem Fall ist jedoch der stationäre Bildschirm zur Anzeige der Informationen ungeeignet, da dieser bei der Drehung des Kopfes vom Benutzer nicht mehr wahrgenommen werden kann. Infolgedessen müsste dem Anwender ein Head-Mounted-Display zur Verfügung gestellt werden.

3.5 Auswertung der verschiedenen Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten

In der folgenden Tabelle sind einige Kriterien gegenübergestellt, welche zur Bewertung der verschiedenen Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten dienen.

	Multitouch	Gesten	Sprache	Headtracking
Kosten	gering	gering	hoch	sehr hoch
Tag/Nacht	Ja	Nein	Ja	Ja
Usability	hoch	mittel	hoch	gering

Tabelle 3.1: Tabellarischer Vergleich

Aus der analytischen, systematischen und kritischen Betrachtung der Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten hat sich herausgestellt, dass das Headtrackingsystem für die Interaktion und Steuerung eines Roboters, welcher innerhalb eines Museums eingesetzt wird, sehr interessant aber ungeeignet ist. Die Einsatzbereiche des Headtrackingsystems in Verbindung mit einem Head-Mounted-Display liegen eher im Bereich Weltraumforschung, wo zum Beispiel der Reparaturprozess von Raumfähren und Satelliten mithilfe solch ein Systems unterstützt werden kann. Weitere Informationen, die gegen die Verwendung eines Headtrackingsystems sprechen, können dem Abschnitt 3.4 entnommen werden.

Die Sprachsteuerung ist ein sehr interessanter Punkt zur Interaktion und Steuerung eines Roboters. Hier hätte der Museumsbesucher die Möglichkeit über das Internet oder vor Ort über Sprachbefehle mit dem Roboter zu kommunizieren. Somit könnte der Museumsbesucher den Roboter bitten, ihn direkt zu Punkten von Interesse zu führen beziehungsweise Informationen zum Exponat oder Gemälde zur Verfügung zu stellen. Die Sprachsteuerung ist für diesen Einsatzbereich perfekt geeignet. Aber aufgrund der Unzulänglichkeiten die im Abschnitt Auswertung der Sprachsteuerung beschrieben

wurden, müssten für die Interaktions- und Steuerungsmöglichkeit bei sprecherunabhängige Sprachbefehlen für genauere Aussagen weitere Tests durchgeführt werden. Auf jeden Fall würde sich dieses Thema im Forschungsprojekt zwei anbieten. Weitere detaillierte Informationen können dem Abschnitt Abschnitt 3.3 entnommen werden.

Die Interaktions- und Steuerungsmöglichkeit per Gestensteuerung für den Einsatz direkt vor Ort im Museum ist ebenfalls unpraktikabel. Aufgrund der verändernden Lichtverhältnisse und der ständig variierenden Anzahl von Museumsbesucher kommt es hier zur Störungen im Bilderkennungprozess der Gesten. Somit ist eine Fehlinteraktion und Fehlsteuerung durch den Museumsbesucher vorprogrammiert. Ein weiteres großes Manko ist der unzureichende Multi-User-Support bei diesen Systemen, welcher für den Einsatz im Museum erforderlich ist. Weitere Informationen können dem Abschnitt 3.2 entnommen werden.

Die Multitouchsysteme eignen sich am besten zur Interaktion und Steuerung eines Roboters innerhalb eines Museums. Vor allem in Verbindung mit einem Multitouchtisch, einem Smartphone oder Tablet ist dieses System sehr interessant, da mit HTML5 auch die Ansteuerung von Multitouchgeräten unterstützt wird. Dies ermöglicht die Entwicklung einer plattformunabhängigen Webapplikation, welche von vielen Museumsbesuchern auf den mobilen Geräten wie zum Beispiel Smartphone oder Tablet verwendet werden kann. Weiterhin kann diese Webapplikation aus einem normalen Browser aufgerufen werden. Weitere Informationen sind im Abschnitt 3.1 zu finden.

Aufgrund der hier zugrunde liegenden Ergebnisse und Möglichkeiten im Pergamonmuseum erfolgt die Konzeption von zwei Webapplikationen. Mithilfe der ersten Webapplikation ist es möglich mit zur Verfügung stehenden Robotern innerhalb des Vorführraums zu interagieren. Infolgedessen hat der Museumsbesucher hier die Möglichkeit, die verschiedenen Komponenten des Roboters zu steuern und auszuprobieren. Die Interaktion zwischen Mensch und Roboter erfolgt mit Hilfe einer HTML5-Webanwendung und einem Multitouchsystem. Dadurch hat der Museumsbesucher bei dieser Variante die Möglichkeit, die Bewegungen und Aktionen des Roboters in Echtzeit nachzuvollziehen. Bei diesem Szenario können die entstehende Latenzzeiten aufgrund des direkten Sichtkontaktes vernachlässigt werden. Es kann bei dieser Entwicklung an die Sat360 Softwarearchitektur von der Universität Potsdam angeknüpft werden. Die mit Hilfe der Roboterkomponenten gesammelten visuellen und auditiven Inhalte werden an die Webanwendung über entsprechende Services weitergeleitet.

Die zweite Webapplikation bietet die Steuerung der Roboter von Zuhause aus an. Bei dieser Art der Steuerung hat der Museumsbesucher die Möglichkeit, Punkte von Interesse mit Hilfe einer Auswahlliste anzusteuern. Infolgedessen wird die direkte Steuerung des Roboters verhindert. Dies hat den Vorteil, dass der Museumsbesucher keine Ausstellungsstücke beschädigen kann, sowie von Latenzzeiten bei der Datenübertragung keine Notiz nimmt. Es kann ebenfalls bei dieser Entwicklung auf die Sat360-Softwarearchitektur von der Universität Potsdam angeknüpft werden. Wie bei der Webanwendung zuvor werden die visuellen und auditiven Inhalte ebenfalls an den Anwender bzw. Museumsbesucher weitergeleitet.

Die abschließende Gesamtbetrachtung vom Kapitel Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten liefert folgende Ergebnisse. Der Einsatz der Kinect-Kamera für die Kollisionserkennung im zweidimensionalen und dreidimensionalen Raum sollte in Betracht gezogen werden. Zusätzlich kann die Kamera für Aufnahme von Sprache verwendet werden. Dies kann in späteren Betrachtungen mit sprecherunabhängigen Spracherkennungssystemen kombiniert werden, somit könnte bei der Interaktion- und Steuerung des Roboters eine größere Barrierfreiheit erzielt werden. Infolgedessen könnte dieses System einem größeren Spektrum von Museumsbesuchern zur Verfügung gestellt werden. Primär kann aber gesagt werden, dass die Realisierung per Multitouchsysteme in Verbindung mit Webanwendungen basierend auf HTML5 der erste wichtige Schritt für zukünftige Weiterentwicklungen ist.

4 Lokalisierungsverfahren (JL)

Eine hochgenaue Lokalisierung ist für das Projekt unerlässlich. Für das Auffinden von Points of Interest (POI) muss die genaue Lage und Position der POI bekannt sein. Anschließend muss der Roboter in der Lage sein, autonom zum POI zu navigieren. Aber auch für eine manuelle Navigation ist eine genaue Lokalisierung sinnvoll. Dem Benutzer kann so beispielsweise eine Übersichtskarte angezeigt werden, damit sich dieser besser im Gebäude zurecht findet.

Ortung und Navigation in Gebäuden ist ein sehr komplexes Gebiet, welches bereits seit einigen Jahren intensiv untersucht wird. Im Bereich der Outdoor-Navigation, insbesondere durch die rasante Weiterentwicklung der GNSS, sind große Fortschritte erzielt worden und die Ortung ist in vielen Bereichen schon ausreichend genau. GNSS können jedoch nur bedingt für die Indoor-Navigation genutzt werden und so gibt es viele Versuche, mithilfe von WLAN, RFID, Lagesensoren und ähnlichem die Ortungsgenauigkeit in Gebäuden voran zu treiben.

Roboter können sich in der Regel nur in der Ebene bewegen, womit das Bewegungsprofil für die Ortung deutlich eingeschränkt wird. Außerdem können beim Roboter zusätzliche Sensoren eingesetzt werden, wie Odometrie und Ultraschall. Es gilt zu untersuchen, wie all diese Sensoren sinnvoll kombiniert werden können.

Im Folgenden sollen verschiedene Lokalisierungsverfahren auf ihre Eignung hin untersucht werden. Dazu werden zunächst die Verfahren vorgestellt und anschließend Vor- und Nachteile gegenübergestellt.

4.1 Satellitenortung

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) wie das Global Positioning System (GPS) ermöglichen eine Lokalisierung hauptsächlich im Outdoor-Bereich. Generell werden bei der Lokalisierung über Satelliten, folgende zwei Werte ermittelt:

1. Die genaue Position auf der Erdoberfläche mit einer Genauigkeit von ca. 12m bis 1mm.
2. Die Universal Time Coordinated (UTC), das heißt die genaue Weltzeit im Bereich von 40ns bis zu ca. 5ns.

Die Position spielt dabei die größere Rolle. Die UTC wird jedoch immer mit berechnet und erst mit der genauen Zeit ist es möglich, die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung abzuleiten, was eine Navigation ermöglicht. [Str+12]

Die Lokalisierung durch GNSS ist hauptsächlich für den Outdoor-Bereich interessant, da durch einige Störfaktoren, die im Folgenden näher erläutert werden, eine Indoor-Lokalisierung erheblich erschwert wird. Sie wurde trotzdem genauer untersucht, da zum einen regelmäßige Fortschritte in diesem Bereich erzielt werden und zum anderen, die Betrachtungen für einen möglichen Einsatz des Roboters im Outdoor-Bereich interessant sind.

4.1.1 GNSS im Indoor-Bereich

Da es bei GNSS eine Reihe von Störfaktoren gibt, wird die theoretische Genauigkeit von 1mm praktisch nicht erreicht. Zum einen sind die Atomuhren in den Satelliten, sowie die Synchronisation untereinander, immer noch nicht genau genug (ein Zeitfehler von 10ns bewirkt bereits einen Fehler in der Größenordnung von 3m). Zum anderen gibt es umweltbedingte Störfaktoren, die durch die Atmosphäre auftreten. Die Signale verlangsamen sich beim Durchqueren von Ionosphäre und Troposphäre und können dann nicht mehr als konstant angenommen werden. Daneben gibt es noch einige andere Störfaktoren, die Störungen in der Ionosphäre und die Ungenauigkeit der Atomuhren sind dabei jedoch meist am größten. [Zog12]

Einige Fehler lassen sich durch zusätzliche Komponenten minimieren. Eine sehr wirkungsvolle Methode ist das D-GNSS (Differential GNSS). Hierbei wird ein zusätzlicher stationärer GNSS-Empfänger genutzt, der parallel zum mobilen Empfänger seine Position ermittelt. Befindet sich der stationäre Empfänger in der Nähe des mobilen Empfängers, sollten die gemessenen Werte der beiden Empfänger annähernd gleich ungenau sein. Da die exakte Position des D-GNSS-Empfängers bekannt ist, lässt sich die Differenz zwischen gemessener Position und errechneter Position berechnen. Diese Differenz wird dann vom errechneten Wert des mobilen Empfängers abgezogen. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit in den Zentimeter-Bereich.

Ein weiteres Problem tritt beim Versuch der Nutzung von GNSS im Indoor-Bereich auf. Zum einen werden die Signale durch Wände und ähnlichem aufgehalten und erreichen somit den Empfänger nicht mehr. Zum anderen ist es, sollten die Signale doch den Empfänger

erreichen, sehr wahrscheinlich, dass die Signale durch Wände abgelenkt werden und dann beim Empfänger mit einer großen Verzögerung auftreffen, was bei Genauigkeiten in diesem Bereich zu hohen Fehlerwerten führt.

Einen möglichen Lösungsansatz stellen hier sogenannte Pseudolites dar. Diese sind bodengebundene Sender und ahmen einen Satelliten nach. Sie werden hauptsächlich zur Unterstützung von Landeanflügen eingesetzt. Doch gerade für den Indoor-Bereich stellen sie eine besonders wirkungsvolle Ergänzung dar. Durch die Verteilung der Pseudolites in einzelnen Räumen, können die GNSS-Signale direkt empfangen werden und die Genauigkeit wird wieder in den Meter- bis Zentimeter-Bereich erhöht. Die notwendigen Bauteile sind jedoch verhältnismäßig teuer, sodass für Indooranwendungen zumeist auf reine GNSS-Repeater zurückgegriffen wird. Diese werden außerhalb des Gebäudes angebracht, empfangen die Signale der Satelliten und leiten diese lediglich weiter.

Im Indoor-Bereich ist die Ortung durch Satelliten also noch schwierig. Doch es gibt einige Ansätze, die zukünftig eine genaue Indoor-Lokalisierung möglich machen könnten. Hier müssen in erster Linie die Kosten für die benötigte Hardware gesenkt werden.

4.2 Inertiale Navigation

Durch neuere Entwicklungen in der Mikrosystem-Technik ist es seit einigen Jahren möglich Inertial Navigation Systems (INS) in Unterhaltungselektronik und mobilen Endgeräten zu verbauen. Dabei bestehen neuere INS aus Accelerometer (Beschleunigungssensor) und 3-Achsen-Gyroskop. Zusätzlich haben viele mobile Endgeräte noch einen digitalen Kompass zur Unterstützung der INS-Sensoren.

4.2.1 Freiheitsgrade

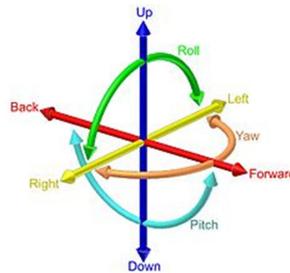


Abbildung 4.1: Freiheitsgrade

Ein Körper hat im dreidimensionalen Raum, die Freiheit, sich in drei verschiedene Richtungen und um drei verschiedene Achsen zu drehen (auch als 6 Degrees of Freedom bezeichnet). [Woo12] Geräte zur Detektierung solcher Lageänderungen gibt es bereits seit vielen Jahren. So wurde beispielsweise das Gyroskop im Jahr 1852 von Léon Foucault erfunden.

Bei einem Gyroskop wird die Drehimpulserhaltung eines sich rotierenden Kreisels genutzt, um die Lageänderungen des Gesamtsystems (z.B. eines mobilen Endgeräts) zu ermitteln. Mithilfe von drei Sensoren lässt sich die Rotation um alle drei Achsen bestimmen. Für den Roboter ist dabei meist nur die Rotation um eine Achse bedeutend.

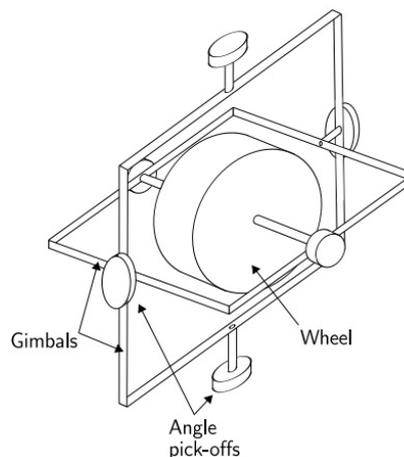


Abbildung 4.2: Gyroskop

Ein Accelerometer misst die Beschleunigung, indem die Trägheit einer Masse ermittelt wird. Generell lässt sich damit bestimmen, ob eine Geschwindigkeitszunahme oder -abnahme

in eine bestimmte Richtung stattgefunden hat. In modernen mobilen Endgeräten ist für jede der drei Achsen, jeweils ein Sensor verbaut. Für den Roboter sind dabei nur zwei Achsen von Bedeutung.

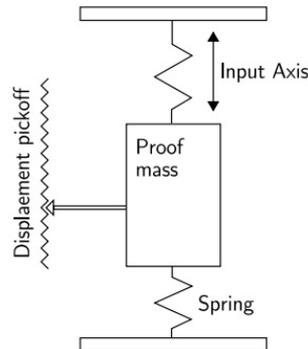


Abbildung 4.3: Accelerometer

Die vorgestellten Sensoren Accelerometer und Gyroskop machen sich physikalische Effekte zunutze und sind dabei meist sehr groß. Beispielsweise sind Gyroskope, die in einem Flugzeug verbaut werden, um ein vielfaches größer als herkömmliche mobile Endgeräte. Durch die voranschreitende Entwicklung in der Mikrosystem-Technik (verbreiteter ist die Abkürzung MEMS für Microelectromechanical systems), ist es inzwischen möglich, sehr kleine Bauteile zu entwickeln, allerdings mit einer erheblich geringeren Genauigkeit. So existieren inzwischen sehr kleine Bauteile, auf denen jeweils Gyroskope und Accelerometer für alle 6 Freiheitsgrade Platz finden.

4.2.2 Funktionsweise

Wie der Titel dieses Kapitels bereits vermuten lässt, ist es mit INS nicht möglich, eine absolute Positionierung vorzunehmen. Hierfür muss eine andere Technologie genutzt werden. Ist jedoch die anfängliche Lage, die anfängliche Geschwindigkeit und die anfängliche Position bekannt, kann aus den Messungen, mittels geeigneter Integrationsverfahren, der zeitliche Verlauf der Position, der Geschwindigkeit und der Lage berechnet werden. Um die Messwerte aufnehmen zu können muss eine Plattform mit entsprechenden Drehraten- und Beschleunigungssensoren am oder im Objekt angebracht werden.

Bei der Navigation mit Inertialsensoren muss neben der gegenseitigen Lage und Rotation der Koordinatensysteme zueinander, der Einfluss der Gewichtskraft kompensiert werden, die von den Beschleunigungssensoren nicht von der durch die Bewegung des Objektes verursachten dynamischen Beschleunigung separiert werden kann. Weiterhin wirkt bei der Bewegung auf der Erde, da das Erdkoordinatensystem rotiert, die Coriolis-Kraft, welche ebenso wie die Gewichtskraft kompensiert werden muss. Für all dies gibt es in modernen INS jedoch eingebaute Navigationscomputer.

Zunächst haben INS-Sensoren eine relativ hohe Genauigkeit. Zum Bestimmen der Position im Raum, müssen die Werte der INS-Sensoren doppelt integriert werden. Der Accelerometer gibt beispielsweise die Beschleunigung an. Durch einfache Integration erhält

man die Geschwindigkeit und, durch erneute Integration, die Position. Diese Positionsveränderungen sind anfangs sehr genau, allerdings wird durch die doppelte Integration die Ungenauigkeit überproportional größer, sollten die INS-Sensoren kleinste Messfehler haben. Dies wird auch als Drift bezeichnet und ist in der Praxis leider der Fall. Abhilfe schaffen hier sogenannte Hochpass- und Tiefpass-Filter, doch selbst dann ist die Ungenauigkeit nach einigen Sekunden sehr hoch.

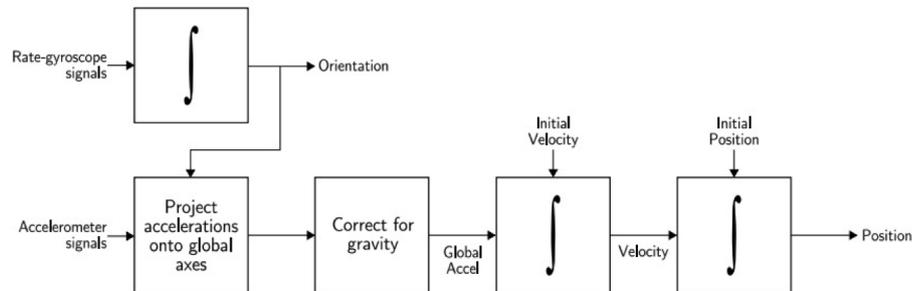


Abbildung 4.4: Verwendung des Gyroskops und Accelerometer zur Positionsbestimmung

4.2.3 Fazit

INS eignen sich hervorragend für eine kurzzeitige Bestimmung der Position, sollten beispielsweise andere Systeme ausfallen oder gerade zur Unterstützung von anderen Systemen. Jedoch wird die Genauigkeit, durch den Drift, mit der Zeit zunehmend geringer, sodass eine erneute initiale Lokalisierung vorgenommen werden muss. Das System eignet sich also nur zur Unterstützung.

Es zeigt sich, dass insbesondere das Gyroskop sinnvoll eingesetzt werden kann, z.B. zur Unterstützung der Odometrie. Ein digitaler Kompass liefert im Indoor-Bereich nur unzufriedene Ergebnisse. Durch die hohen Ungenauigkeiten, die nach kurzer Zeit auftreten, ist jedoch eine regelmäßige absolute Lokalisierung notwendig.

4.3 Lokalisierung durch RFID

Grundsätzlich wurde die RFID-Technologie nicht zum Orten bzw. Lokalisieren entworfen, sondern die Tags dienen rein einer berührungslosen, robusten Identifikation von Objekten. Der hohe Kostendruck für die elektronischen Labels in der Logistik (wenige Cent) erfordert eine sehr einfache Elektronik, die nicht auf Parameter wie Feldstärkemessung oder Laufzeitmessungen ausgelegt sind.

Trotzdem ist es mit RFID möglich eine funkbasierte Lokalisierung durchzuführen. Dabei hängen die möglichen Verfahren insbesondere von der verwendeten Technologie ab. In den letzten Jahren wurden vermehrt Tags und Lesegeräte speziell zur Lokalisierung entwickelt.

4.3.1 Funktionsweise

Allgemein nutzt RFID ein elektromagnetisches Feld um Daten zwischen einem Tag und einem Lesegerät zu übertragen. Es gibt drei wichtige Unterscheidungskriterien:

- Betriebsfrequenz
- Kopplungsverfahren
- Reichweite

Bei der Betriebsfrequenz gilt es zum Beispiel zwischen Langwelle (125 kHz), Kurzwelle (13,56 MHz) und dem Mikrowellenbereich (5,8 GHz) zu unterscheiden. Der NFC-Standard arbeitet beispielsweise mit 13,56 MHz. Je nach Frequenz lassen sich unterschiedlich hohe Datentransferraten und Reichweiten erreichen.

Die Kopplung kann durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder erfolgen. Ein magnetisches Feld wird beispielsweise bei der induktiven oder auch Nahfeldkopplung (NFC) verwendet. Dabei erfolgt die Datenübertragung und ggf. auch Stromversorgung über das magnetische Feld der Spule im Lesegerät und im Tag.

Die Reichweite hängt schließlich auch von der verwendeten Frequenz und dem Kopplungsverfahren ab. Sie reicht von wenigen Millimetern (Short range) über 1 Meter bis 100 Meter (Long range). Die Reichweite kann unter anderem über die Signalstärke des Lesegeräts gesteuert werden.

4.3.2 Aktives RFID

Ein aktiver RFID-Transponder verfügt über eine eigene Stromversorgung. Dazu hat er meist eine Batterie auf dem Board und sendet ständig seine ID aus. So ist zur Lokalisierung beispielsweise der Received Signal Strength Indicator (RSSI) einsetzbar. Dabei wird die Stärke des empfangenen Signals gemessen und damit lässt sich die Reichweite in einem bestimmten Radius bestimmen. Werden drei unabhängige Signale durch diese Weise gemessen, lässt sich theoretisch die genaue Position bestimmen. Ein solches System lässt sich beispielsweise durch die OpenBeacon-Technologie realisieren. [Bit12]



Abbildung 4.5: Aktiver RFID Transponder

4.3.3 Passives RFID



Abbildung 4.6: Passiver RFID Transponder

Bei passivem RFID verfügen die Transponder über keine eigene Stromversorgung. Hier wird das elektromagnetische Feld des Senders zur Energiegewinnung genutzt, auch “back-scattering” genannt. Eine Lokalisierung kann beispielsweise Zell-basiert erfolgen, das heißt, dass die relativ geringe Reichweite von passivem RFID genutzt wird, um die Positionierung auf einen bestimmten Radius einzugrenzen. Sobald ein bestimmtes Tag erkannt wurde, und dessen genaue Position bekannt ist, lässt sich die ungefähre Position ableiten. Bei der eigentlichen Lokalisierung des Tags im oben genannten Fall, spricht man von inhärenter Lokalisierung durch die Nähe zwischen Lesegerät und Tag, in Zusammenhang mit der maximal möglichen Reichweite.

Zu passivem RFID gehören unter anderem die so genannten Smart Labels. Diese arbeiten mit einer Frequenz von 13,56 MHz und haben eine maximale Reichweite von ca. 70 cm. Durch ihre besonders kleine Bauform und dem niedrigen Anschaffungspreis (wenige Cent), werden sie in sehr vielen Bereichen eingesetzt.

4.3.4 Lokalisierung durch passives RFID

RFID wurde zwar nicht primär für eine hochgenaue Lokalisierung entwickelt, bietet jedoch vielfältige Möglichkeiten. Durch die niedrigen Kosten und ihre kleine und flexible Bauform sind insbesondere die passiven RFID-Tags im 13,56 MHz-Bereich interessant. Es bieten sich hier unterschiedliche Möglichkeiten der absoluten Positionierung.

Es bieten sich drei Möglichkeiten an, passive RFID-Tags einzusetzen. Durch die Anbringung von einigen Tags an bestimmten Positionen, ließen sich beispielsweise POI genau identifizieren. Der Roboter weiß dann, dass er sein Zielort erreicht hat, bzw. an welchem POI er gerade steht.

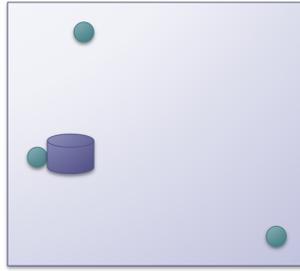


Abbildung 4.7: 1. Möglichkeit: Detektierung eines POI durch RFID

Die zweite Möglichkeit unterscheidet sich von der ersten, durch einen zweiten RFID-Tag, der direkt neben dem ersten angebracht ist und zusätzlich eine Ausrichtung ermöglicht. Dabei werden zwei Lesegeräte im Roboter integriert. Durch die Identifizierung der RFID-Tags durch unterschiedliche Lesegeräte, lässt sich die Ausrichtung bestimmen.

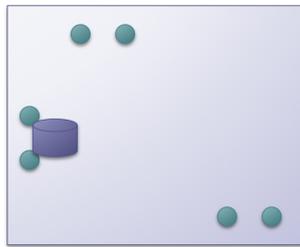


Abbildung 4.8: 2. Möglichkeit: Detektierung und Ausrichtung

Schließlich bietet die dritte Möglichkeit eine absolute Positionierung an jedem Ort im Raum. Dabei wird ein Grid von Tags mit festem Abstand zueinander angelegt. Die niedrigen Kosten der Tags machen ein solches Szenario möglich.

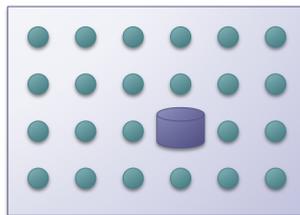


Abbildung 4.9: 3. Möglichkeit: Lokalisierung durch ein Grid

4.4 Auswertung

4.4.1 Klassifizierung

Die vorgestellten Lokalisierungsverfahren lassen sich in unterschiedliche Kategorien aufteilen. Für die Positionsbestimmung des Roboters wird zunächst eine absolute Positionierung benötigt. Dazu wurden folgende Systeme untersucht:

- Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
- Wireless LAN (WLAN)
- Radio Frequency Identification (RFID)

Folgende Systeme können nur für eine Messung der relativen Position genutzt werden. Sie lassen sich in Verbindung mit den oben genannten Verfahren einsetzen.

- Ultraschall
- Laserscanner
- Inertial Navigation Systems (INS)

Außerdem lassen sich folgende Verfahren, die ebenfalls untersucht wurden, unterstützend einsetzen:

- Optische Verfahren (Rekonstruktion, QR-Codes)
- Odometrie

4.4.2 Fazit

Alle Lokalisierungsverfahren haben jeweils Vor- und Nachteile und sind oft nur unter bestimmten Bedingungen anwendbar. Satellitennavigation ist fast ausschließlich im Outdoor-Bereich einsetzbar und bietet nur eine ungenaue Positionsbestimmung, ist dafür jedoch meist recht zuverlässig und durch die hohe Verbreitung in mobilen Endgeräten, leicht verfügbar. Inertiale Navigation ist anfangs sehr genau, durch den hohen Drift allerdings nach kurzer Zeit wieder sehr ungenau. Optische Lokalisierungsverfahren sind mit hohem Rechenaufwand verbunden und schwer zu implementieren, haben aber eine hohe Genauigkeit. Um die Lokalisierung durch RFID zu nutzen, ist der Aufbau einer Infrastruktur erforderlich. Da es kein perfektes Verfahren gibt, ist eine Kombination der Sensordaten sinnvoll. Diese Sensordatenfusion kombiniert die Vorteile der einzelnen Verfahren und nutzt somit die individuellen Stärken.

Es hat sich gezeigt, dass RFID besonders geeignet ist, um POI zu markieren und den Roboter genau auszurichten. Dazu sind jedoch zwei Lesegeräte im Roboter erforderlich. Eine weitere Möglichkeit der Ausrichtung bietet ein Gyroskop. Diese Sensorik ist durch die Mikrosystem-Technik inzwischen sehr preisgünstig und könnte leicht im Roboter eingebaut werden. Für die relative Positionierung sollte in jedem Fall Odometrie angewendet werden. Abweichungen, die durch Odometrie auftreten, können dann an einem POI durch RFID wieder ausgeglichen werden.

5 Autonome Navigation (TB)



Abbildung 5.1: Navigation autonomer Systeme im Outdoor-Bereich [Hena]

Die autonome Navigation findet in vielen Bereichen Anwendung. Es existieren zum Beispiel Roboter, welche selbstständig Grünflächen in großen Parkanlagen mähen oder Touristen zu Sehenswürdigkeiten fahren. Weiterhin werden autonome Navigationssysteme in der Logistik und Automatisierung eingesetzt, um Arbeitsprozesse effizienter zu gestalten. Um diese Aufgaben zu lösen müssen die Roboter zu jeder Zeit wissen, wo sie sich befinden. Diese triviale Aufgabenstellung klingt simpel, gehört jedoch mit zu den schwierigsten Bereichen der Robotik. Ein Beispiel ist das Deutsche Luft- und Raumfahrt Institut welches verschiedene Roboter entwickelt, welche in der Lage sind, autonom auf fremden Planeten zu navigieren. Mit Hilfe dieser Roboter können die Planeten erkundet werden und Proben genommen werden. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass die verschiedenen Gegebenheiten der Umgebung bei der Betrachtung der Navigation mit einbezogen werden müssen. Hierbei wird zwischen der Indoor-Navigation und der Outdoor-Navigation unterschieden. Die Outdoor-Navigation ist bedeutend komplexer als die Indoor-Navigation, da die Hindernisse und Objekte im Outdoorbereich bedeutend komplizierter sind, da diese Objekte, wie zum Beispiel Bäume, Sträucher, Landschaften usw., sich kontinuierlich verändern und die Vegetation in den verschiedenen Gebieten sehr unterschiedlich ist. Die zuvor genannten Punkte lassen sich nur sehr schwer in mathematischen Modellen

darstellen, wodurch die Berechnungen enorm erschwert werden. Der Indoorbereich ist im Gegensatz zum Outdoorbereich aufgrund gerader Wände, Türen und ebener Böden sehr strukturiert. Dies vereinfacht die Navigation im Gegensatz zum Outdoorbereich [Henb, Vgl.].

Die autonome Navigation von Robotern im Indoor- oder Outdoorbereich muss somit mit statischen und dynamischen Umgebungen ohne Probleme umgehen können. Bei der statischen Umgebung ändert sich nur der Zustand des Roboters innerhalb der Umgebung, wobei die Karte die wahre Umgebung repräsentiert. Bei einer dynamischen Umgebung ändern sich ständig die Lage oder der Zustand von Objekten durch das Verrücken von Tischen oder Öffnen und Schließen von Türen, sowie durch das Auftreten neuer Objekte, wie zum Beispiel anderer Roboter oder Personen.

Erst durch die Kombinationen verschiedener Sensoren, wie GPS, Kompass, Lasersensoren, Infrarotsensoren, Radsensoren oder Ultraschallsensoren usw. sind wir in der Lage, Modelle von der Umgebung zu erstellen, welche es uns ermöglichen, eine zentimetergenaue Lokalisierung und Navigation durchzuführen. Bei der Lokalisierung und Navigation kommen erschwerend die Messfehler der verschiedenen Sensorarten, sowie äußere Einflüsse welche die Ergebnisse verfälschen können, hinzu. Die Fehlmessungen müssen so gut wie möglich für eine korrekte Funktionsweise kompensiert werden. Ein großer Teil dieser Kompensation erfolgt bereits durch die Kombination verschiedener Sensorarten [Sol, Vgl.].

Die Hauptpunkte der Navigation werden in den folgenden drei Hauptpunkten beschrieben, welche in der Robotik sich als nicht trivial herausstellen:

1. Der erste Punkt ist die Selbstlokalisierung - Wo bin ich?
2. Der zweite Punkt ist die Modellierung der Umgebung mit Hindernissen - Welche Informationen habe ich über meine Umgebung (Kartenerstellung)?
3. Der dritte Punkt ist die Wegfindung - Wie gelange ich von meiner Startposition zur Zielposition?

Die folgenden Abschnitte beschäftigen sich hauptsächlich mit der Lokalisierung, Kartenerstellung und Wegfindung. Dies ist die Grundlage, damit eine autonome Navigation überhaupt erfolgen kann. Im späteren Verlauf dieses Abschnittes wird zusätzlich auf die Ausrichtung der Kamera für die Besucherinformationen eingegangen, sowie auf das Ansteuern von Points of Interest mit Hilfe der autonomen Navigation im Indoor-Bereich betrachtet [Unb, Vgl.][TBF05, Vgl.].

5.1 Lokalisierung

Die Lokalisierung ist die Fähigkeit eines mobilen Roboters, seine Position in der aktuellen Umgebung festzustellen. Sie stellt den Kernpunkt der Navigation dar. Der Roboter kann nur aufgrund dieser Grundlage den Weg zu seiner Zielposition bestimmen. Das Problem ist hier, dass die Position des Roboters in den wenigsten Fällen bekannt ist, da die Startposition unbekannt ist oder zu starke Messungenauigkeiten vorliegen, welche eine exakte Bestimmung unmöglich machen. Das Problem hierbei ist, dass die Lokalisierung

und die Kartenbildung aneinander gekoppelt sind. Sobald die Lokalisierung nicht genau arbeitet wird die Kartographierung nicht korrekt vorgenommen, womit wieder neue Folgeprobleme, wie zum Beispiel Probleme in der Wegfindung, entstehen [CT00, Vgl.].

5.1.1 Lokalisierung (Position Tracking)

Die Pose des Roboters in seiner Umwelt ist bekannt. Das Problem ist hier, dass die Pose kontinuierlich aktualisiert und auf Richtigkeit der Messungen überprüft wird. Die Position des Roboters wird anhand der Odometrie-Sensorik geschätzt und auf die richtige Position korrigiert. Somit hat die lokale Lokalisierung, die inkrementellen Fehler der Odometrie-Sensorik zu korrigieren. Ohne diese Korrekturen würden sich die Positionsfehler summieren und zu starken Abweichungen führen [CT00, Vgl.].

5.1.2 Globale Lokalisierung

Hierbei ist die Pose des Roboters in seiner Umwelt nicht bekannt. Im Gegensatz zur lokalen Lokalisierung erfolgt hier keine Korrektur der Positionsfehler. Der Positionsfehler bei der globalen Lokalisierung ist beliebig groß, wodurch die Bestimmung der Position erschwert wird. Das Auffinden der richtigen Pose erfolgt durch das Finden von signifikanten Umgebungsmerkmalen. Ist die richtige Pose bestimmt wird mit der lokalen Lokalisierung fortgefahren [CT00, Vgl.].

5.1.3 Kidnapped Robot Problem

Bei diesem Problem ist die Position des Roboters zum Anfang bekannt, anschließend erfolgt aber eine Umpositionierung des Roboters, ohne dass dieser darüber informiert wird. Somit muss der Roboter in diesem Fall selbstständig feststellen, dass die ursprünglichen Lokalisierungsdaten hinfällig sind und eine neue globale Lokalisierung durchführt werden muss. Dies kann der Roboter bei einem Vergleich der aktuellen und vormaligen Lokalisierungsdaten feststellen.

5.2 Kartenerstellung (Mapping)

Karten stellen die wichtigste Form von Umgebungsmodellen in der Robotik dar. Sie erlauben dem Roboter gezielt an bestimmte Orte zu navigieren und Hindernisse zu umfahren. Diese Informationen werden auch genutzt, um andere wichtige Informationen über den Einsatzort in Erfahrung zu bringen. Es werden in der Robotik hauptsächlich zwei Arten von Karten beim Mapping eingesetzt. Das sind die Raster- und die Vektorkarte. Beide Karten speichern ähnlich kompakt ihre Informationen und Metainformationen. Die beliebteste ist die Rasterkarte in der Robotik. Die Karte ist die Grundlage für das Ansteuern von Punkten von Interesse mit Hilfe von effizienten Wegfindungsalgorithmen [CT00, Vgl.].

5.3 Wegfindung (Pathfinding)

Die Algorithmen gestützte Suche nach dem optimalen Weg von einem Ausgangspunkt zum Zielpunkt stößt vor allem bei der autonomen Navigation sehr schnell an ihre Grenzen. Grund hierfür ist die Eigendynamik der unterschiedlichen Umgebungen. Es gibt eine Vielzahl von Algorithmen zur Wegfindung, der bekannteste ist der A*-Algorithmus. Die Wahl des richtigen Algorithmus ist immer noch abhängig von der zur bewältigen Aufgabe. Auf Grund der erforderlichen Dynamik, zum Beispiel beim Ansteuern von Punkten von Interesse in öffentlichen Gebäuden, wird in diesem Abschnitt hauptsächlich der D*-Algorithmus betrachtet. Bei diesem Algorithmus handelt es sich um die Erweiterung des A*-Algorithmus. Somit sind der D*- und A*-Algorithmus direkte Nachfahren des Dijkstra-Algorithmus. Der D*-Algorithmus besitzt im Gegensatz zum A*-Algorithmus und Dijkstra-Algorithmus eine sehr hohe Flexibilität, da der D*-Algorithmus sehr gut auf Veränderungen im Graphen während einer Expansion bzw. nach einer Expansion reagiert. Im Gegensatz zu den beiden älteren Algorithmen können die gesammelten Ergebnisse des D*-Algorithmus weiterverwendet werden, infolgedessen ist keine komplette Neuberechnung der Daten erforderlich. Diese spezifische Besonderheit erhöht die Performanz. Auf Grund der begrenzten Sensorreichweite und der kontinuierlichen Veränderung der Umgebung ist eine ständige Aktualisierung der Karten erforderlich, womit der Einsatz des D*-Algorithmus für das Einsatzgebiet Museum in erster Betrachtung prädestiniert ist. Die Funktionsweise des D*-Algorithmus ist sehr stark an der Funktionsweise vom A*-Algorithmus angeknüpft. Die Erklärung der Funktionsweise von beiden Algorithmen würde den Rahmen dieses Forschungsprojekt übersteigen. Deshalb werden in diesem Abschnitt nur die spezifischen Besonderheiten von beiden Algorithmen vorgestellt [Les, Vgl.][Pat, Vgl.][Lik+, Vgl.].

5.3.1 D*-Algorithmus

Auf Grund des hohen Speicherbedarfs und der fehlenden Eigendynamik ist der A*-Algorithmus ungeeignet für die Navigation von Robotern innerhalb von Museen am Tag. Durch die Museumsbesucher ist an dieser Stelle ein dynamischer Algorithmus erforderlich, welcher schnell auf Änderung in der durch den Roboter wahrgenommen Umgebung reagieren kann und somit effizient neue Routen zum Punkt von Interesse berechnen kann. Mit Hilfe dieser sich ständig aktualisierenden Routen wird der Museumsbesucher von dem Roboter auf effiziente Art und Weise zu den Exponaten oder Gemälden

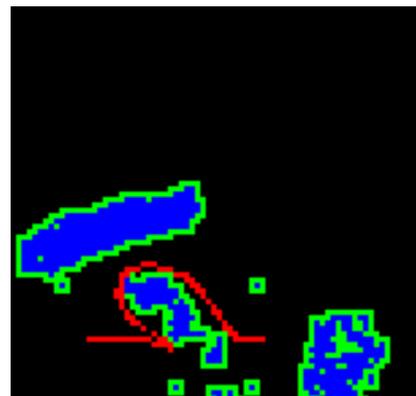


Abbildung 5.2: D* [Uni]

um auftretende Hindernisse herum navigiert. Der D*-Algorithmus hat den Vorteil, dass die gesammelten Daten während einer Expansion oder nach einer Expansion nicht komplett Neuberechnet werden müssen. Dafür ist die Optimierung mit sehr hohem Implementierungsaufwand verbunden. Nicht zugängliche Bereiche können die Terminierung für

die Routenberechnung bei unzureichender Implementierung des Algorithmus verhindern. Dafür profitiert diese Algorithmus im Unterschied zum A*-Algorithmus davon, möglichst viele kurze Routen zum gewählten Ziel zu kennen[Ste, Vgl.][Lik+, Vgl.].

5.3.2 D*-Pseudocode

```

1 // Im Gegensatz zum A* wird beim D* mit dem Endpunkt gestartet
2 Erstelle Open List und initialisere diese mit Endpunkt
3 Solange ( Open List nicht leer ) {
4     Setze Punkt mit erstem Element aus Open List
5
6     // Raise-Zustand mit Default-Wert initialisieren
7     Setze Raise gleich Falsch
8
9     // Prüfe, ob Raise vorliegt
10    Initialisiere Kosten
11    Wenn ( Aktuelle Kosten vom Punkt größer als minimale Kosten vom Punkt ) {
12        Durchlaufe ( Jeden Nachbarn im Punkt ) {
13            Kosten vom Punkt über den Nachbarn berechnen und zuweisen
14            Wenn ( Berechnete Kosten kleiner der aktuellen Kosten vom Punkt ) {
15                Beim Punkt den nächsten Nachbarn hinzufügen
16                Kosten vom Punkt aktualisieren
17            }
18        }
19    }
20
21    // Raise Zustand ermitteln
22    Wenn ( Aktuelle Kosten größer als minimale Kosten vom Punkt ) {
23        Setze Raise gleich Wahr
24    } sonst {
25        Setze Raise gleich Falsch
26    }
27
28    // Kosten mit Default-Wert initialisieren
29    Setze Kosten
30    Durchlaufe ( Jeden Nachbarn im Punkt ) {
31        Wenn ( Raise gleich Wahr ) {
32            Wenn ( Nächster Punkt vom Nachbar gleich aktueller Punkt ) {
33                Nachbarn nächsten Punkt hinzufügen und Kosten aktualisieren
34                Nachbarn in die Open List einfügen
35            } Sonst {
36                Kosten vom Nachbarn über aktuellen Punkt berechnen
37                Wenn ( kosten kleiner Nachbarkosten ) {
38                    Minimal Kosten auf aktuelle Kosten beim aktuellen Punkt setzen
39                    Aktuellen Punkt in die Open List einfügen
40                }
41            }
42        } Sonst {
43            Kosten des Nachbarns über die Kosten vom Punkt berechnen
44            Wenn ( Kosten kleiner Kosten vom Nachbarn ) {
45                Nächsten Punkt beim Nachbarn hinzufügen und Kosten aktualisieren
46                Nachbarn zur Open List hinzufügen
47            }
48        }
49    }
50 }

```

5.3.3 A*-Algorithmus

Der A*-Algorithmus kann vor allem bei Nacht verwendet werden, wenn ausreichend Speicherplatz auf dem entsprechenden Systemen zur Verfügung steht. Bei Nacht ist keine ständige Aktualisierung der Karte auf Grund der fehlenden Museumsbesucher erforderlich. Infolgedessen ist die Gewichtung der zuvor erforderlichen Dynamik und Effizienz in der Aktualisierung der Routenplanung vernachlässigbar. Weiterhin ist die Optimierung und Implementierung des A*-Algorithmus einfacher. Der A*-Algorithmus berechnet die kürzeste Route zu einem Punkt, somit hat dieser Algorithmus das Problem, im Unterschied zum D*-Algorithmus, nicht auf eine alternative Route ausweichen zu können ohne eine komplette Neuberechnung der Daten vornehmen zu müssen. Dafür findet dieser Algorithmus immer eine Lösung, falls eine existiert [Scha, Vgl.].

7	6	5	6	7	8	9	10	11		19	20	21	22
6	5	4	5	6	7	8	9	10		18	19	20	21
5	4	3	4	5	6	7	8	9		17	18	19	20
4	3	2	3	4	5	6	7	8		16	17	18	19
3	2	1	2	3	4	5	6	7		15	16	17	18
2	1	0	1	2	3	4	5	6		14	15	16	17
3	2	1	2	3	4	5	6	7		13	14	15	16
4	3	2	3	4	5	6	7	8		12	13	14	15
5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abbildung 5.3: A* [Wik]

5.3.4 A*-Pseudocode

```

1  Erstelle die Open List und initialisiere Sie mit dem Startknoten
2  Erstelle die Closed List
3  Solange ( Zielpunkt nicht erreicht und Open List nicht leer ) {
4      Knoten mit geringstem Wert aus Liste entnehmen
5      Wenn ( Entnommer Knoten gleich Zielknoten ) {
6          Weg gefunden
7      } Sonst {
8          Entnommen Knoten in Closed List einfügen und alle Nachbarn prüfen
9          Durchlaufe (Jeden Nachbarknoten vom entnommen Knoten ) {
10             Wenn ( Aktuelle Nachbarknoten in der Closed List und der aktuelle Kostwert ist
11                 geringer ) {
12                 Nachbarknoten mit dem neuen und niedrigen Kostenwert aktualisieren
13                 Vorgängerknoten des Nachbarknotens mit aktuellen Knoten ersetzen
14             } Sonst Wenn ( Ist aktueller Knoten in Open List und Kostenwert ist geringer )
15                 {
16                 Nachbarknoten mit dem neuen und niedrigen Kostenwert aktualisieren
17                 Vorgängerknoten des Nachbarknotens mit aktuellen Knoten ersetzen
18             } Sonst {
19                 // Wenn Nachbarknoten nicht in der Open List oder Closed List
20                 Nachbarknoten in Open List einfügen und Kostenwert setzen
21             }
22         }
23     }
24 }

```

5.3.5 Zusammenfassung

Aufgrund der beschriebenen Besonderheiten besitzen beide Algorithmen ihre Vor- und Nachteile im Einsatz. Damit Routen innerhalb von Gebäuden nicht immer komplett neu berechnet werden müssen ist die Verwendung des D*-Algorithmus zu empfehlen. Auch wenn die Optimierung und Implementierung aufwendiger sind im Vergleich zum A*-Algorithmus. Das zuvor genannte Argument für den Einsatz vom A*-Algorithmus bei Nacht ist ein sehr interessanter Ansatz, aber aufgrund von nicht auszuschließenden Veränderungen in der Umgebung, zum Beispiel durch einen Nachtwächter, nicht vertretbar. Den verschiedenen Problemen beim D*-Algorithmus kann durch entsprechende Implementierungsmaßnahmen entgegengewirkt werden. Zusätzlich kann die daraus resultierende erhöhte Rechenzeit bei diesem Algorithmus mit Hilfe von Multithreading kompensiert werden. Auf jeden Fall würden sich in diesem Fall eine bedeutende tiefere Analyse von beiden Wegfindungsalgorithmen in einem weiteren Forschungsprojekt anbieten, um noch genauere Aussagen treffen zu können. Weitere Algorithmen für die Wegfindung sind der Algorithmus von Dijkstra, Bellman-Ford-Algorithmus (für negative Kanten), Min-Plus-Matrixmultiplikations-Algorithmus oder der Algorithmus von Floyd und Warshall.

6 Proof of Concept (TB, JL)

Im Proof of Concept wurde ein großer Teil unserer Ergebnisse umgesetzt. Es wurde die Energieversorgung der Kamera realisiert, sowie das Kameragestell konzipiert und entwickelt. Zusätzlich wurde eine Webapplikation, basierend auf Websockets, entwickelt, welche die direkte Steuerung und Interaktion mit dem iRobot Create per Mehrfingergesten erlaubt. Die Fernerkundung basierend auf der Lokalisierung und autonomen Navigation wurde aus zeitlichen Gründen nicht in diesem Proof of Concept umgesetzt.

6.1 Kameragestell (TB)

Die Fertigung des Kameragestells erfolgte in mehreren Konzeptionsschritten. Die erste Konzeptionszeichnung war an einigen Stellen zu kompliziert, worauf in Verbindung mit dem Leiter der Zentralwerkstatt eine neue Konzeption des Kameragestells besprochen und ausgearbeitet wurde. Das Problem beim iRobot Create ist der Schwerpunkt des Roboters. Dieser liegt sehr weit vorne bei dem Roboter. Dies resultiert aus der ursprünglichen Funktionsweise des Roboters den Boden bzw. Teppichboden zu reinigen. Die neue Konstruktion wurde innerhalb einer Woche in der Zentralwerkstatt der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin fertiggestellt. Nach der ersten Testung des Kameragestells sind neue Modifikationen aufgetreten, welche in der Zentralwerkstatt umgesetzt werden. Bei diesen Änderungen handelt es sich, um eine Verkürzung der Teleskopstange für die Kamera, sowie eines Ausschnitts der Bodenplatte für die Bedienung der verschiedenen Schalter zur Ansteuerung des iRobot Create. Dieses Kameragestell wurde mit Hilfe von Distanz auf dem Roboter befestigt. Für die Befestigung der Distanzstücke war eine Neubohrung der Gewinde erforderlich, da es sich bei diesen um amerikanische



Abbildung 6.1: Kameragestell - Foto[Buh]

Gewinde gehandelt hat. Zusätzlich sind noch verschiedene Verzögerung in der Fertigstellung aufgetreten, in Folge fehlender Materiallieferungen. Im Endeffekt wurde das Gestell auf dem iRobot Create montiert und eine Webkamera auf das Gestell montiert, welche an den Akku des iRobot Create angeschlossen wurde. Der Roboter und die Kamera können über ein Tablet ferngesteuert werden.

6.2 Energieversorgung (JL)

Zusätzlich zum Gestell muss die Kamera mit Energie versorgt werden. Diese sollte über den Akkumulator des Roboters gezogen werden. Es wurden mehrere Ansätze angedacht, dies umzusetzen. Zum einen hätte das Kameramodell direkt an die Platine des Gumstix gelötet werden können. Dieser liefert bereits die notwendige Spannung von 12 Volt. Aufgrund mangelnder Portabilität wurde diese Idee jedoch verworfen. Eine weitere Möglichkeit bestand darin, den noch unbelegten Mini-DIN-Anschluss des iRobot Create zu verwenden. Die Belegung sieht zwei PINs vor, die einen direkten Kontakt mit dem Akku haben.

Der Akku des Roboters liefert eine Spannung von 14,4 Volt. Um die Kamera mit den geforderten 12 Volt zu versorgen, wurde ein typischer Spannungsregler (7812) genutzt. In Verbindung mit einem Mini-DIN-7-Stecker und einem Netzgerätestecker wurde ein Adapter zum direkten Anschluss der Kamera am iRobot Create entworfen.

6.3 Webapplikation (JL)

Zur Demonstration des Zusammenspiels zwischen Roboter und Kamera wurde eine HTML5-Webanwendung entwickelt. Diese nutzt Javascript-APIs zur Verwendung von Multitouch-Gesten und die Kommunikation über Websockets. Die Anwendung ist in zwei Teile getrennt, dem linken Teil für die Steuerung des Roboters und dem rechten Teil für die Steuerung der Kamera. Durch Berührung des Bildschirms erscheint ein Steuerkreuz über den sich dann der Roboter und die Kamera steuern lassen. Eine Zoom-Funktion ist dabei noch nicht implementiert. Durch die Verwendung von Websockets, werden die Befehle schnell an den Server übertragen. Der Server baut eine Verbindung mit dem Roboter und der Kamera auf und leitet die Befehle weiter.

7 Fazit & Ausblick

In Rahmen dieser Arbeit wurde gezeigt, dass Roboter sich grundsätzlich für den Einsatz in Museen eignen. Es wurden schon einige Projekte in dieser Richtung realisiert und es gibt noch viele mögliche Einsatzszenarien. Dabei wurden zwei Szenarien genauer untersucht, die Fernerkundung und die Erkundung vor Ort. Bei der Fernerkundung müssen noch weitere Aspekte beachtet werden, wie die Entwicklung einer Webplattform mit Buchungssystem, um die gleichzeitige Steuerung des Roboters von mehreren virtuellen Besuchern zu verhindern. Die Erkundung vor Ort wurde in dieser Arbeit eingehender untersucht, unter anderem verschiedene Interaktionsmöglichkeiten, einsetzbare Lokalisierungsverfahren und die autonome Navigation.

Zur Steuerung haben sich Multitouch-Gesten als besonders intuitiv herausgestellt. Hier wurde im Rahmen des Projekts schon mit verschiedenen Smartphones und Tablets getestet. Für die Steuerung vor Ort sollten in jedem Fall Tablets angedacht werden. Aber auch die Sprachsteuerung bietet praktische Aspekte. Zukünftig sollte die Sprachsteuerung in Hinblick auf Barrierefreiheit genauer untersucht werden.

In einem Proof of Concept wurde ein bestehender Roboter mit einer Kamera ausgestattet und eine Webapplikation zur Steuerung entwickelt. Dadurch konnte gezeigt werden, dass die bestehende Sat360-Plattform für einen Einsatz im Museum weiterentwickelt werden kann. Zukünftig sollen weitere Ergebnisse dieser Arbeit in den Prototypen einfließen. Als nächstes sollten die Lokalisierung und autonome Navigation umgesetzt werden. Anschließend kann der Roboter für die Erkundung vor Ort getestet werden. Wie bereits erwähnt, müssten für eine Fernerkundung weitere Aspekte berücksichtigt werden. Ein weiteres Problem tritt durch die hohen Latenzen bei der Übertragung des Live-Videos auf. Dieses kann teilweise umgangen werden, wenn dem Client lediglich eine Liste von auswählbaren POI angeboten wird. Dadurch können Latenzen verdeckt werden, die über das Netzwerk auftreten.

8 Literatur

- [90] *Readings in Speech Recognition*. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN: 1558601244.
- [AG12] Afinion AG. *Sprachsteuerung für Maschinen und Geräte*. 2012. URL: <http://www.afinion.ch/afinion-de/presse-meldungen/sprachsteuerung.php> (besucht am 09.09.2012).
- [And12] Arne Dieckmann und Andrej Gossen. *Realisierung einer Sprachsteuerung für Roboter an der HAW-Hamburg*. Techn. Ber. Hochschule für angewandte Wissenschaften, 2012. URL: <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~kvl/dieckmann/stud.pdf> (besucht am 09.09.2012).
- [Bit12] Björn Bittins. *Indoor Navigation Based on a Multimodal Positioning System*. 2012. (Besucht am 12.09.2012).
- [Bow03] Jonathan P. Bowen. *A Brief History of Early Museums Online*. The Rutherford Journal. 2003. URL: <http://www.rutherfordjournal.org/article030103.html> (besucht am 12.09.2012).
- [Bru08] F. Bruning. *Schätze im Netz - Digitale Bibliothek Europeana*. Süddeutsche Zeitung. 2008. URL: <http://www.sueddeutsche.de/digital/digitale-bibliothek-europeana-schaetze-im-netz-1.515793> (besucht am 12.09.2012).
- [CT00] Jose A. Castellanos und Juan D. Tardós. *Mobile Robot Localization and Map Building - A Multisensor Fusion Approach*. Springer, 2000. ISBN: 0792377893.
- [Ehl12] Annika Ehlers. *Gesture Technology*. 2012. URL: <http://public.fh-wolfenbuettel.de/~ehlersa> (besucht am 09.09.2012).
- [Gro07] Hubert Grosser. *Die Roboter kommen! Die neue Ausstellung des Museums für Kommunikation Berlin zeigt ab 5.4.2007 Geschichte und Gegenwart der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine*. Informationsdienst Wissenschaft. 2007. URL: <http://idw-online.de/pages/de/news201017> (besucht am 13.09.2012).
- [Henb] Matthias Hentschel. *Navigation autonomer Systeme im Outdoor-Bereich*. Techn. Ber. Universität Hannover. URL: http://www.rts.uni-hannover.de/index.php/Navigation_autonomer_Systeme_im_Outdoor-Bereich (besucht am 18.09.2012).
- [Hil12] Uwe Hill. *Echte Gestenerkennung für alle*. Techn. Ber. all-electronics, 2012. URL: <http://www.all-electronics.de/texte/anzeigen/46176/Echte-Gestenerkennung-fuer-alle> (besucht am 09.09.2012).
- [IPA00] Fraunhofer IPA. *Museumsroboter Berlin*. 2000. URL: http://www.ipa.fraunhofer.de/Museumsroboter_Berlin.510.0.html (besucht am 12.09.2012).

- [Ken11] Philip Kennicott. *Google Art Project: 'Street view' technology added to museums*. The Washington Post, Arts Post. 2011. URL: http://voices.washingtonpost.com/arts-post/2011/02/google_launches_the_google_art.html (besucht am 12.09.2012).
- [Kla12a] Christian Klauß. *Evoluce zeigt Multi-Gestensteuerung für Windows 7*. 2012. URL: <http://www.golem.de/1011/79547.html> (besucht am 09.09.2012).
- [Kla12b] Christian Klauß. *Kinect - Als Roboterauge und für 3D-Videos*. 2012. URL: <http://www.golem.de/1011/79505.html> (besucht am 09.09.2012).
- [Les] Patrick Lester. *A* Pfadfindung für Anfänger*. URL: http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial_de.html (besucht am 18.09.2012).
- [Lik+] Maxim Likhachev u. a. *Anytime Dynamic A*: An Anytime, Replanning Algorithm*. Techn. Ber. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~ggordon/likhachev-etal.anytime-dstar.pdf> (besucht am 18.09.2012).
- [Mag12] elektor Magazin. *iPad auf Rädern - Spezielles Telepräsenz-System von Double Robotics*. 2012. URL: <http://www.elektor.de/elektronik-news/ipad-auf-radern.2241379.lynkx> (besucht am 12.09.2012).
- [Pat] Amit Patel. *Amit's A* Pages*. URL: <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/> (besucht am 18.09.2012).
- [Pet05] Nils Peters. *Entwicklung eines drahtlosen, zeitvarianten Binauralsystems auf Ultraschallbasis*. Techn. Ber. Institut für elektronische Musik und Akustik (IEM) der Universität für Musik und darstellende Kunst Graz, Österreich, 2005. URL: <http://nilspeters.info/papers/MA-Peters.pdf> (besucht am 13.09.2012).
- [RJ93] Lawrence Rabiner und Bing-Hwang Juang. *Fundamentals of Speech Recognition*. Prentice Hall, 1993. ISBN: 0130151572.
- [RS78] Lawrence R. Rabiner und Ronald W. Schafer. *Digital Processing of Speech Signals*. Prentice Hall, 1978. ISBN: 0132136031.
- [Scha] Thorsten Schmidt. *A-Stern Algorithmus*. URL: http://www.geosimulation.de/methoden/a_stern_algorithmus.htm (besucht am 18.09.2012).
- [Sol] Oxford Technical Solutions. *Navigation autonomer Fahrzeuge*. URL: http://www.oxts.com/downloads/090904_Navigation_autonomer_Fahrzeuge.pdf (besucht am 18.09.2012).
- [Spa+12] Dieter Spath u. a. *Multi-Touch Technologie, Hard-/Software und deren Anwendungsszenarien Dieter*. Techn. Ber. Fraunhofer IAO, 2012. URL: <http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/studie-multi-touch-fraunhofer-iao.pdf> (besucht am 09.09.2012).
- [Ste] Anthony Stentz. *Real-Time Replanning in Dynamic and Unknown Environments*. Techn. Ber. URL: http://www.frc.ri.cmu.edu/~axs/dynamic_plan.html (besucht am 18.09.2012).
- [Str+12] T. Strang u. a. *Lokalisierungsverfahren*. 2012. URL: http://elib.dlr.de/54309/1/Lokalisierungsverfahren_v22.pdf (besucht am 12.09.2012).

- [Tal12] Defence Talk. *Denel Optronics Head-Tracker System for Eurofighter Typhoon*. 2012. URL: <http://www.defencetalk.com/denel-optronics-head-tracker-system-for-eurofighter-typhoon-12206/> (besucht am 13.09.2012).
- [TBF05] Sebastian Thrun, Wolfram Burgard und Dieter Fox. *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents series)*. The MIT Press, 2005. ISBN: 0262201623.
- [Unb] Unbekannt. *Neues von der Roboter-Front: autonome Navigation durch ein Labyrinth*. URL: <http://y371de.com/2011/12/16/neues-von-der-roboter-front-autonome-navigation-durch-ein-labyrinth/> (besucht am 18.09.2012).
- [Woo12] Oliver J. Woodman. *An introduction to inertial navigation*. 2012. URL: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf> (besucht am 12.09.2012).
- [Zog12] Jean-Marie Zogg. *GPS und GNSS - Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten*. 2012. URL: http://www.zogg-jm.ch/Dateien/Update_Zogg_Deutsche_Version_Jan_09_Version_Z4x.pdf (besucht am 12.09.2012).

9 Bilderquellen

- [Buh] Tom Buhrtz. *Kameragestell*. Techn. Ber. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.
- [Cor] United States Marine Corps. *F-35 Helmet Mounted Display System*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:F-35_Helmet_Mounted_Display_System.jpg (besucht am 13.09.2012).
- [Eva] Evan-Amos. *Xbox-360-Kinect*. URL: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/67/Xbox-360-Kinect-Standalone.png> (besucht am 09.09.2012).
- [GRPa] GRPH3B18. *Gesture Pan*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gestures_Pan.png (besucht am 19.09.2012).
- [GRPb] GRPH3B18. *Gestures Flick*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gestures_Flick.png (besucht am 19.09.2012).
- [GRPc] GRPH3B18. *Gestures Long Press*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gestures_Long_Press.png (besucht am 19.09.2012).
- [GRPd] GRPH3B18. *Gestures Pinch*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gestures_Pinch.png (besucht am 19.09.2012).
- [GRPe] GRPH3B18. *Gestures Scroll*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gestures_Scroll.png (besucht am 19.09.2012).
- [GRPf] GRPH3B18. *Gestures Unpinch*. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gestures_Unpinch.png (besucht am 19.09.2012).
- [Hena] Matthias Hentschel. *Navigation autonomer Systeme im Outdoor-Bereich*. Techn. Ber. Universität Hannover. URL: http://www.rts.uni-hannover.de/index.php/Navigation_autonomer_Systeme_im_Outdoor-Bereich (besucht am 18.09.2012).
- [Rob] Philipp Robbel. *Kinect - Virtuelle 3D Umgebung*. URL: http://www.youtube.com/watch?v=dRPEns8MS2o&feature=player_embedded (besucht am 10.09.2012).
- [Schb] Catherine Schwanke. *Scissor Hands*. URL: <http://www.popsci.com/content/robotic-roshambo-close> (besucht am 09.09.2012).
- [Uni] Field Robotics Center - The Robotics Institute Carnegie Mellon University. *A* Algorithmus*. URL: <http://www.frc.ri.cmu.edu/projects/mars/images/dstar.gif>.
- [Wei] Alexander Weibel. *Aufbau eines Spracherkennungssystems nach Waibel*. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spracherkennung-aufbau.png&filetimestamp=20041012215058> (besucht am 13.09.2012).

- [Wik] Wikipedia. *A* Algorithmus*. URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Pathfinding_A_Star.svg.
- [Wil] Willtron. *Multi-Touch-Screen*. URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Multitouch_screen.svg (besucht am 09.09.2012).

Abbildungsverzeichnis

2.1	MuseumsroboterBerlin	4
2.2	Roomba	5
2.3	ServiceArchitektur	5
3.1	Human-Robot-Interaction	7
3.2	Multi Touch Screen	8
3.3	Mehrfingergesten für die Interaktion und Steuerung	10
3.4	Xbox-360-Kinect	12
3.5	Kinect - Virtuelle 3D Umgebung	13
3.6	Aufbau eines Spracherkennungssystem	16
3.7	Helmet mounted Display with Headtrackingsystem	20
4.1	Freiheitsgrade	29
4.2	Gyroskop	29
4.3	Accelerometer	30
4.4	Integration	31
4.5	Aktives RFID	33
4.6	Passive RFID	33
4.7	LokalisierungRFID1	34
4.8	LokalisierungRFID2	34
4.9	LokalisierungRFID3	34
5.1	Navigation autonomer Systeme im Outdoor-Bereich	36
5.2	D* Algorithmus	39
5.3	A* Algorithmus	41
6.1	Konstruktion vom Kameragestell	43

Tabellenverzeichnis

3.1 Tabellarischer Vergleich 23

Abkürzungsverzeichnis

HAW Hochschule für angewandte Wissenschaften. 17

MIT Massachusetts Institute of Technology. 13

Glossar

Head-Mounted-Display Ist ein am Kopfgetragendes visuelles Ausgabegerät. 22, 23

Helmet-Mounted-Display Ist ein am Helmgetragendes visuelle Ausgabegerät. 22

Homophon Ist ein Wort, das bei gleicher oder ähnlicher Aussprache verschiedene Bedeutungen hat. 16