



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Anwendung 2 - Ausarbeitung

Christoph Schmiedecke

Differenzierung von Robotern in Industrie und
Service - Probleme der Robotik bei mobilen
Systemen

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
1.1 Motivation	3
1.2 Zielsetzung	3
2 Problemanalyse	4
2.1 Roboterarten und ihre Aufgabenbereiche	4
2.2 Probleme	5
2.2.1 Problemerkfassung nach der Differenzierung der Roboter in Klassen und nach Aufgabenbereichen	6
2.2.2 Problemerkfassung nach definierten Aufgabenstellungen und Anforderungen	6
2.2.3 Zusammenfassung der Probleme	8
3 Lösungsansätze	10
3.1 Positionsbestimmung und Selbstlokalisierung	10
3.1.1 Infrarot	10
3.1.2 Ultraschall	10
3.1.3 Kamera	11
3.1.4 Funk	11
3.2 Mapping Problematik	11
3.2.1 Kartenerstellung anhand natürlicher Raummerkmale unter Verwendung eines Kamerasystems	12
3.2.2 Stereokamera	12
3.2.3 Time of Flight Kamera	12
3.2.4 Laserscanner	12
3.3 Roboterfahrt - Bewegungsplanung im Groben	13
3.3.1 Zellenzerlegung	13
3.3.2 Skeletisierungsmethode	13
3.4 Armbewegung / Objektannäherung - Bewegungsplanung im Feinen	14
3.4.1 Open-Loop Ansatz	14
3.4.2 Closed-Loop Ansatz	14
3.5 Auffinden von Gegenständen	14
4 Zusammenfassung und Ausblick	16
Literaturverzeichnis	17

1 Einführung

In der Vergangenheit waren Roboter an einen fixen Arbeitspunkt gebunden. Auch wenn noch viele in der Industrie eingesetzten Roboter über einen festen Arbeitspunkt verfügen, können sich heute bereits viele Roboter eigenständig bewegen. Dadurch erweitert sich der Arbeitsbereich der Roboter und es können neue Aufgabengebiete erschlossen werden. Dies gilt sowohl für den Bereich der Industrie als auch für den Bereich des Service (Thrun (1998), Dietsch und Madhavan (2010), Dietsch (2010)). Die erreichte Mobilität birgt für die Entwicklung von Robotern aber auch neue Herausforderungen und Problemstellungen. Mit einigen dieser Probleme befasst sich diese Arbeit im Folgenden.

1.1 Motivation

In der Veranstaltung Anwendungen 1 wurden theoretische Begriffe und Grundlagen für die Entwicklung einer Kinematik zur Steuerung eines Roboterarms erörtert (Schmiedecke (2010)). Diese Betrachtung bezog sich nur auf einen Roboterarm mit fixem Arbeitspunkt. Der im Robot Vision Lab der HAW Hamburg eingesetzte Roboter Scitos G5 verfügt jedoch über eine mobile Plattform. Der Roboter besitzt dadurch eine deutlich größere Flexibilität und sein Aktions- und Aufgabenbereich ist entsprechend ausgeweitet. Diese neue Flexibilität führt zu einer Dynamik, die im Zusammenhang mit den Grundlagen der Kinematik noch nicht betrachtet worden ist. Dies soll an dieser Stelle nachgeholt werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Ausarbeitung ist die Gegenüberstellung von Robotern in Industrie und Service bezüglich ihres mechanischen Aufbaus und den an sie gestellten Aufgaben sowie im speziellen der Probleme die sich bei mobilen Service-Systemen ergeben. Im Zuge dieser Gegenüberstellung werden verschiedene Aufgabenstellungen genauer betrachtet und die daraus resultierenden Probleme beziehungsweise die zu lösenden Aufgabenstellungen erläutert. Schließlich werden mögliche Ansätze zur Lösung dieser Probleme aufgezeigt.

2 Problemanalyse

In diesem Kapitel werden grundlegende Modelle von Gelenkarmrobotern und eine Kombination dieser Modelle mit mobilen Plattformen vorgestellt. Diese werden anhand ihres mechanischen Aufbaus und Bewegungsraums unterschieden und es werden Beispiele für mögliche Aufgabenbereiche gegeben. Aus dieser Betrachtung ergeben sich bereits erste Probleme, die in Hinblick auf die Steuerung eines mobilen Service-Roboters auftreten. Des Weiteren werden verschiedene definierte Aufgabenstellungen betrachtet, die ein realer mobiler Service-Roboter erfüllen muss. Aus diesen Anforderungen werden dann weitere Problemstellungen abgeleitet. Wenn in dieser Arbeit von mobilen Robotern oder Service-Robotern gesprochen wird, so handelt es sich hierbei immer um eine Kombination aus einer mobilen Plattform und einem Knickarmroboter. Autonome Haushalts- oder Gartenroboter (Staubsauger, Rasenmäher etc.) werden in dieser Ausarbeitung nicht betrachtet.

2.1 Roboterarten und ihre Aufgabenbereiche

Da Roboter für unterschiedlichste Aufgabenbereiche eingesetzt werden, kam es zu einer Entwicklung von einer Vielzahl an unterschiedlichen Roboterarten. Diese unterscheiden sich sowohl in ihrem Aufbau wie in ihren Fähigkeiten. Im Folgenden findet eine Unterteilung von Robotern nach ihrem mechanischen Aufbau und dem daraus resultierenden Bewegungsraum statt. Darüber hinaus werden Beispiele für mögliche Einsatzbereiche gegeben.

Differenzierung nach Aufbau und Bewegungsraum

Roboter lassen sich in verschiedene Gruppen aufteilen (Salvendy (2001)). Bei denen in dieser Arbeit betrachteten Roboter handelt es sich um verschiedene Modelle der Knickarmroboter. Für diese Modelle haben sich feste Begriffe ergeben, mit denen eine bestimmte Folge von Gelenken verbunden ist, die auch in dieser Arbeit übernommen werden.

1. **Schwenkarm Roboter / SCARA:** Besteht in der Regel aus vier Achsen, normalerweise aus Drehachsen. Sie sind für gewöhnlich durch einen nierenförmigen Bewegungsbereich gekennzeichnet.
2. **Portal / Linear Roboter:** Besteht aus linearen Schubachsen die auf einer Ebene liegen, so dass sich die Bewegungsrichtungen vor und zurück sowie von links nach rechts ergeben.
3. **Zylindrische Roboter:** Die Gelenke sind so angeordnet, dass sich ein Zylinderförmiger Bewegungsraum ergibt, in dem Objekte gegriffen werden können.
4. **Sphärische Roboter:** Ähnlicher Aufbau wie beim zylindrischen Roboter, nur das der Bewegungsraum beliebige Bewegungen im Radius einer Kugel ermöglicht.
5. **Knickarmroboter**, häufig 6 DOF¹ oder mehr: Die Gelenke können je nach Aufgabenbereich und benötigter Anzahl an Gelenken individuell aufgebaut werden.

¹DOF = Degree of Freedom (Freiheitsgrad): Beschreibt die Bewegungsfreiheit des Roboters

6. **Mobile Roboter:** Hierbei handelt es sich um mobile Plattformen in Kombination mit verschiedenen Roboterarmen. Der Bewegungsraum und die Planung von Bewegungen werden deutlich komplexer.

Traditionell werden die Roboterarten 1 bis 5 für Aufgabenstellungen in Bereichen der Industrie und Fertigung eingesetzt. Die Idee der mobilen Roboter wird eher mit dem Bereich Service verbunden. In den letzten Jahren wurden aber auch immer mehr autonome mobile Systeme für den Bereich der Industrie entwickelt. Die unterschiedlichen Konstruktionen der Roboter prädestinieren diese für verschiedene Aufgaben.

Industrieroboter

<u>Roboterart</u>	<u>Aufgabe (Beispiele)</u>
Schwenkarm	Pick and Place ¹ (Nimm was von Punkt A und packe es nach Punkt B)
Portal	Lastentransport (z.B. Hebearbeiten im Hafen)
Zylindrisch	CD's in Presse legen und herausnehmen
Sphärisch	Lackierarbeiten
Knickarmroboter	komplexe Aufgaben (z.B. Bahnschweißen)
Mobile Plattformen	Lagerhallen (z.B. autonome Gabestapler)

Serviceroboter

<u>Roboterart</u>	<u>Aufgabe (Beispiele)</u>
Knickarmroboter	Hole einen Gegenstand (z.B. Schlüssel, Stift, Brille etc.)
Humanoid	Hierbei handelt es sich eigentlich um eine spezielle Robotervariante, die in ihrer Form dem menschlichen Körper nachempfunden ist.

2.2 Probleme

So lange man in der Robotik mit stationären Systemen arbeitet, verfügen die Roboter über eine Nullstellung / einen Nullpunkt, in den sie immer wieder zurückkehren können. Die Gleichungen für ihre Bewegungen lassen sich mit einfachen Verfahren lösen, da alle Abläufe kontinuierlich sind und es keine speziellen Einflüsse von außen gibt. Auch mögliche auftretende Fehler stellen meist kein Sicherheitsproblem dar, da sich die Roboter normalerweise in von Menschen unzugänglichen Arbeitsbereichen befinden. Dies alles ändert sich jedoch, wenn Roboter mobil werden. Die Dynamik die hiermit ins Spiel kommt verändert alles. Zudem werden die Aufgaben, die mobile Roboter zu bewältigen haben, komplexer und die Sensoren, die zur Steuerung verwendet werden, sind oft nicht so genau. Dieser Abschnitt beschreibt die zu lösenden Problemstellungen die durch die Anforderungen an mobile Systeme entstehen.

¹Pick and Place: Unter Pick and Place Aufgaben werden Aufgaben verstanden, bei denen Gegenstände von einer Position genommen und an einer anderen Position abgelegt werden. Hierbei handelt es sich normalerweise um einfache Aufgaben, so dass die Programmierung der Roboter ohne großen Aufwand durchführbar ist.

2.2.1 Problemerkfassung nach der Differenzierung der Roboter in Klassen und nach Aufgabenbereichen

Bei der Unterteilung der Roboter in verschiedene Typen, der Zuordnung der Roboter zu unterschiedlichen Aufgaben sowie der Betrachtung der Unterschiede zwischen mobilen und stationären Systemen, wurden bereits einige Probleme deutlich. Im Folgenden werden nun die Probleme bei dynamischen Systemen näher erläutert.

- **Verlust der traditionellen Nullposition:** Mobile Systeme können sich an einer beliebigen Stelle im Raum befinden. Eine Rückkehr zu einer Startposition kann zwar programmiert werden, ist jedoch nicht unbedingt gewünscht, sinnvoll und auch nicht immer möglich.
- **Dynamische Anpassung der Steuerung:** Der Roboter muss auf Veränderungen der Umgebung reagieren können.
- **Verhalten im Fehlerfall:** Durch die relativ freie Bewegung im Raum und die fehlenden Sicherheitsmaßnahmen, wie beispielsweise Arbeitskäfige, muss das Verhalten des Roboters in einem Fehlerfall genau definiert sein. Wie kann die Steuerung des Roboters im Fehlerfall erfolgen und wie wird eine unkontrollierte und gefährliche Bewegung im Raum verhindert?
- **Verhalten in unvorhergesehene Situationen:** Was geschieht, wenn eine bei der Programmierung des Roboters nicht betrachtete Konfliktsituation auftritt?
- **Handhabung der Dynamik:** Die Steuerung der mobilen Plattform und des montierten Roboterarms muss koordiniert und berechnet werden.
- **Interpretation von Sensoren:** Wie weit können Sensordaten verwendet und mögliche Sensorfehler ausgeglichen werden?

2.2.2 Problemerkfassung nach definierten Aufgabenstellungen und Anforderungen

Die in der Industrie vorwiegend eingesetzten stationären Systeme konnten verhältnismäßig einfach programmiert werden (Spong u. a. (2005)). Bei einfachen Aufgaben wurden die Bewegungsabläufe von einem Menschen manuell durchgeführt und im Roboter gespeichert (Teached z.B. bei einfachen Pick and Place Aufgaben). Komplexere Aufgaben erforderten den Einsatz von Sensoren die den Roboter bei der Durchführung seiner Aufgaben unterstützen (Teached mit Sensorkorrektur). Mit den mobilen Systemen kommen nun neue Aufgaben und damit auch neue Herausforderungen an die Steuerung hinzu.

Möchte man einen Roboter steuern, so muss man sich vorher überlegen, welche Aufgabe der Roboter ausführen soll und wie die Umgebung beschaffen ist, in der der Roboter eingesetzt werden soll. Als grobe Einteilung kann hierfür die folgende Aufstellung dienen.

- **Teached** - Die Armbewegung ist fest eingespeichert
 - Statische Aufgabe
 - Statische Umgebung
- **Teached mit Sensorkorrektur** - Die Armbewegung ist im Großen vorgegeben und die Position des Effektors wird durch Sensoren korrigiert
 - Statische Aufgabe

- Semistatische Umgebung
- **Dynamische Bahnverfolgung** - Die Bewegung des Arms wird für jede Aufgabe neu berechnet
 - Dynamische Aufgabe
 - Dynamische Umgebung

Da in dieser Ausarbeitung mobile Robotersysteme betrachtet werden, hat man es mit einem hochdynamischen System zu tun. Anhand von drei definierten Aufgabenstellungen sollen im Folgenden die Herausforderungen und die zu lösende Probleme aufgezeigt werden, die für die Steuerung eines solchen Systems notwendig sind.

Bin-Picking

Problembeschreibung

Unter Bin-Picking oder dem „Griff in die Kiste“ versteht man Aufgaben, bei denen der Roboter eine Menge gleicher unsortierter Teile aus einem Behälter greifen soll. Bei Bin-Picking Aufgaben handelt es sich normalerweise um eine statische Aufgabe, die Umgebung ist jedoch semistatisch, da Objekte nur teilweise sichtbar sind, sich überlagern, in unterschiedlicher Höhe liegen und verrutschen können (Boehnke (2007)).

Problemstellungen und gewonnene Erkenntnisse

- **Objekterkennung:** Einzelne Objekte müssen erkannt werden, bevor sie gegriffen werden können.
- **Positionsbestimmung:** Um Objekte greifen zu können, muss dessen genaue Position (Koordinaten) bestimmt werden.
- **Orientierungsbestimmung:** Da Objekte verdreht in der Kiste liegen, muss die Orientierung eines Objekte vor dem Greifen festgestellt werden.
- **Greif-Algorithmus:** In welcher Reihenfolge können die Objekte gegriffen werden. Objekte die oben liegen müssen zu erst gegriffen werden.
- **Steuerungsansatz:** Teached mit Sensorkorrektur angepasst an die Aufgabenstellung und Umgebung.
- **Sensorinterpretation:** Bin-Picking Systeme kombinieren verschiedene Sensoren zur Problemlösung.

Kidnapped-Robot

Problembeschreibung

Im normalen Einsatzalltag bewegt sich der Roboter in seiner Umwelt und weiß, an welcher Position er sich befindet. Beim Kidnapped-Robot Problem werden dem Roboter jetzt die „Augen“ (Sensoren) verbunden und er wird an einen ihm zum aktuellen Zeitpunkt unbekanntem Ort gebracht. Die Herausforderung besteht nun darin seine Position zu ermitteln und dem Weg zu seinem letzten Ziel wieder zu finden bzw. einen neuen Weg zu planen. Typischerweise handelt es sich bei den Aufgaben eines Serviceroboters um dynamische Aufgaben, bei denen nicht immer nur der gleiche Gegenstand und der gleiche Weg genommen werden kann. Die Bewegung erfolgt also dynamisch und Problemorientiert. Die Roboter werden

zudem in dynamischen Umgebungen eingesetzt in denen sich die Positionen von Gegenständen ändern und Hindernisse verschieben oder plötzlich auftreten können (Guanghui u. a. (2008)).

Problemstellungen und gewonnene Erkenntnisse

- **Wegfindung:** Wie muss sich der Roboter bewegen um sein Ziel zu erreichen bzw. wie muss der neuen Weg zum Ziel sinnvollerweise aussehen.
- **Positionsbestimmung:** An welcher Position befindet sich der Roboter gerade. Dies ist nicht nur nach einer „Entführung“ wichtig.
- **Umgebungskarte:** Um optimal agieren und Wege planen und Positionen bestimmen zu können, muss der Roboter über eine Karte seiner Umgebung verfügen.

Fish-Catching

Problembeschreibung

Die Aufgabe beim Fish-Catching Problem besteht im Fangen eines Fisches aus einem Becken, Aquarium oder ähnlichem. Es handelt sich um eine dynamische Aufgabenstellung die sich natürlich leicht auf andere Problemstellungen übertragen lässt. Die Herausforderung liegt im Umgang mit einer hochmobilen Umgebung und dem Umgang mit mehreren Objekten. Die Fische bewegen sich und versuchen nicht gefangen zu werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Fische durcheinander schwimmen (Hidekazu und Mamoru (2005)).

Problemstellungen und gewonnene Erkenntnisse

- **Bewegungsabschätzung:** Wie wird sich das Zielobjekt vermutlich verhalten?
- **Objektverfolgung:** Verfolgung des Zielobjekts auch bei Überschneidung mit anderen Fischen oder Hindernissen.
- **Bewegungsstrategie:** Wie muss der Roboter seine Plattform bzw. seinen Roboterarm bewegen um den Fisch zu fangen?
- **Aktionsplanung:** Die Aktionen des Roboters müssen möglichst geschickt geplant werden.

2.2.3 Zusammenfassung der Probleme

Aus den abgeleiteten Problemen und Erkenntnissen der Roboterdifferenzierung und den drei Aufgabenstellungen ergeben sich nun folgende zu lösende Problemstellungen für die Steuerung eines mobilen Serviceroboters.

- **Positionsbestimmung / Selbstlokalisierung (SLAM)²:** Für die Navigation und Bewegungsplanung des Roboters ist es wichtig zu wissen, wo im Raum er sich befindet.
 - **Mapping Problematik:** Unter der Mapping Problematik versteht man die Aufgabe eine möglichst genaue Karte der Umgebung des Roboters zu erzeugen. Diese Umgebungskarte wird unter anderem bei der Selbstlokalisierung verwendet und ist eng mit dieser verknüpft.

²SLAM = Simultaneous Localization and Mapping: Die Problematik der Selbstlokalisierung ist eng mit der Mapping Problematik verknüpft und wird deswegen häufig zusammen betrachtet.

- **Bewegungsplanung / Roboterfahrt:** Bei der Bewegungsplanung kann zum Einen zwischen der Objektannäherung im Groben, wie kommt der Roboter in die Nähe des Objektes, und zum Anderen zwischen der Objektannäherung im Feinen, wie ist das Objekt zu greifen bzw. wie muss die Position des Roboters korrigiert werden, unterschieden werden.
 - Objektannäherung im Groben - Roboterfahrt
 - Objektannäherung im Feinen - Armbewegung
- **Auffinden von Gegenständen:** Wo befindet sich der Gegenstand mit dem eine Aktion durchgeführt werden soll?
- **Kollisionskontrolle:** Wie können Hindernisse erkannt werden und wie soll mit diesen Informationen umgegangen werden.
- **Kommunikation im Roboterverbund:** In Arbeitsbereichen agieren unter anderem mehr als ein Roboter in einem Teamverbund. Wie erfolgt die Kommunikation zwischen den einzelnen Einheiten?

3 Lösungsansätze

Die in der Analyse gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass es eine Vielzahl an Problemstellungen gibt, die für die Steuerung eines mobilen Service-Roboters gelöst werden müssen. Hier werden nun einige mögliche Verfahren und Lösungsansätze zu den verschiedenen Bereichen vorgestellt.

Schwerpunktmäßig werden Lösungen für die Bereiche Selbstlokalisierung, Erstellung von Umgebungskarten (Mapping Problematik), Bewegungsplanung und das Auffinden von Gegenständen behandelt. Die Notwendigkeit der Lösung dieser Problemstellungen wurde bereits in der Analyse betrachtet. Die Bereiche Kollisionskontrolle und Kommunikation im Roboterverbund werden hier zum einen auf Grund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit und zum anderen auf Grund des aktuell geplanten Einsatzgebietes des Roboters im Robot Vision Lab vorerst nicht betrachtet. Eine umfassende Übersicht der im Folgenden betrachteten Themen bietet auch die Dissertation von J. Gutmann (Gutmann (2000)).

3.1 Positionsbestimmung und Selbstlokalisierung

Unter Selbstlokalisierung versteht man die Bestimmung der Position des Roboters. Für die Bestimmung der Roboterposition werden gewöhnlich Verfahren genutzt, die für die Positionsbestimmung Referenzdaten aus einer Umgebungskarte oder aus vorher definierten internen Listen beziehen. Einen umfassenden Überblick für die Bereiche Infrarot und Funk kann man in der Arbeit von A. Ward (Ward (1998)) erhalten.

3.1.1 Infrarot

Diese Methode verwendet Infrarotsender und Infrarotempfänger um Gegenstände im Raum zu erkennen und ihre Position zu bestimmen. Hierbei kann zwischen zwei Varianten unterschieden werden.

- **Aktiv:** Bei diesem Verfahren befindet sich ein Infrarotempfänger am Roboter und Infrarotsender im Raum. Aus den dem Roboter bekannten Positionen der Infrarotsender und den aufgefangenen Infrarotsignalen kann der Roboter seine eigenen Position bestimmen.
- **Passiv:** Hierbei befindet sich ein Infrarotsender am Roboter und verschiedene Infrarotempfänger im Raum. Der Roboter sendet nun in kurzen Intervallen Infrarotstrahlen aus die durch die Empfänger empfangen werden. Aus dem Zusammenspiel dieser Informationen kann nun das Raumsteuerungssystem die Position des Roboters ermitteln.

3.1.2 Ultraschall

Dieses Verfahren arbeitet mit Ultraschall. Vom Roboter werden Ultraschallwellen ausgesandt, die an Hindernissen reflektiert werden. Die Reflektionen werden wieder aufgefangen und können, nach Abgleich mit der internen Umgebungskarte oder einer Objektliste zur Positionsbestimmung verwendet werden (vgl. Jurdak u. a. (2004)).

3.1.3 Kamera

Bei den Kameraverfahren gibt es eine Vielzahl an Ansätzen, wobei einige dieser Verfahren die Modifikation der Umgebung voraussetzen.

- **Aktiv:** Auf dem Roboter ist eine Kamera montiert. Diese nimmt Bilder der Umgebung auf und der Roboter versucht ihm bekannte Objekte wieder zu erkennen. Die Objekte sind anhand ihrer natürlichen Merkmale identifizierbar. Da die Positionen der Objekte bekannt ist, kann hieraus die eigene Position berechnet werden. Eine Arbeit die sich mit diesem Thema beschäftigt ist die Bachelorarbeit von D. Jacobi (Jacobi (2009)).
- **Aktiv mit Umgebungsmodifikation:** Diese Methode funktioniert ähnlich wie die Aktiv-Methode mit dem Unterschied, dass in der Arbeitsumgebung des Roboters verschiedene Identifikationsmarken angebracht sind. Die Positionen dieser Marken sind dem Roboter bekannt. Werden also eine oder mehrere Marken auf den aufgenommenen Bildern erkannt, kann somit ein Rückschluss auf die Position des Roboters erfolgen. An der HAW Hamburg hat N. Manske eine Masterarbeit zu diesem Thema angefertigt (Manske (2008)).
- **Passiv:** Bei den Passiven-Verfahren werden im Raum mehrere Kameras verteilt. Diese nehmen in regelmäßigen Abständen Bilder der Umgebung auf. Taucht der Roboter in einem der Bilder auf, so kann das Kamerasystem des Raumes die Position des Roboters berechnen.

3.1.4 Funk

Auch der Bereich der Funknetze bietet verschiedene Ansätze zur Positionsbestimmung. Die Ansätze sind ähnlich zu den Ansätzen von Infrarot, nur das hierbei Funksender und Funkempfänger verwendet werden.

- **Passiv:** Ein Beispiel für den Einsatz von Funksendern und Empfängern bietet das Ubisense Projekt der Firma Ubisense (UbisenseAG). Hierbei wird am Roboter ein Funksender befestigt, der ständig Signale aussendet. Diese werden durch Funkempfänger im Raum aufgenommen und können somit die Position des Roboters bestimmen. Aktive Verfahren sind natürlich auch denkbar, bei denen der Funkempfänger auf dem Roboter befestigt ist.
- **WLAN:** Dieser Ansatz nutzt die heute ohnehin weit verbreiteten WLAN-Sender in Gebäuden. Die Position wird anhand der Signalstärke der verschiedenen empfangenen WLAN-Accesspoints bestimmt (Vgl. hierzu auch den Ansatz von Ladd u. a. (2006)).
- **GPS / Galileo:** Für den Außenbereich kann die Positionsbestimmung auch Satellitengestützt erfolgen. Dies ist jedoch für den geplanten Einsatz des HAW Roboters vorerst nicht relevant, auch wenn es Ansätze für den Einsatz von GPS in Gebäuden gibt.

3.2 Mapping Problematik

Die Umgebungskarte des Roboters kann nicht nur für die Lokalisierung des Roboters oder Markierung von wichtigen Positionen sondern auch für die Bewegungsplanung verwendet werden. S. Thrun beschreibt in seinem Aufsatz Robotic Mapping: A Survey (Thrun (2002)) mehrere Mapping-Verfahren, speziell für die Navigation im Indoor-Bereich.

3.2.1 Kartenerstellung anhand natürlicher Raummerkmale unter Verwendung eines Kamerasystems

Die Verwendung von natürlichen Raummerkmalen hat den Vorteil, dass keine Manipulation des Raumes vorgenommen werden muss. Ein Verfahren das mit natürlichen Raummerkmalen arbeitet ist das sogenannte SIFT-Verfahren¹(Lowe (1999)). Hierbei werden Bilder von der Umgebung aufgenommen und markante natürliche Raummerkmale herausgefiltert. Anhand dieser Merkmale wird dann eine Karte der Umgebung erstellt.

3.2.2 Stereokamera

Das Stereokameraverfahren basiert auf dem Einsatz von zwei parallel zueinander angeordneten Kameras, ähnlich den menschlichen Augen. In den von diesem System aufgenommenen Bildpaaren gibt es Unterschiede, diese werden auch als Disparitäten bezeichnet. Über Triangulation können die Positionen einzelner Punkte oder ganzer Bereiche dieser Disparitäten und damit deren Entfernung zum Roboter berechnet werden. Aus diesen Informationen lässt sich dann eine Karte erstellen.

3.2.3 Time of Flight Kamera

Bei der Time of Flight Kamera handelt es sich um ein Kamerasystem bei dem mit Laufzeitverfahren die Distanz zu Objekten gemessen wird. Hierbei wird vom Kamerasystem ein Lichtpuls ausgesendet, welcher vom Objekt reflektiert und von der Kamera wieder aufgefangen wird (vgl. Abb. 3.1, linke Seite). Über die Laufzeit vom Senden des Lichtpulses bis zum Empfangen der Reflektion kann die Entfernung für jeden einzelnen Bildpunkt bestimmt werden. Aus den gewonnenen Informationen kann dann die Karte erstellt werden (vgl. Abb. 3.1, rechte Seite). Für diese Methode untersuchten R. Lange und P. Seitz den Einsatz solch eines Kamerasystems in einer Echtzeitumgebung (Lange und Seitz (2001)).

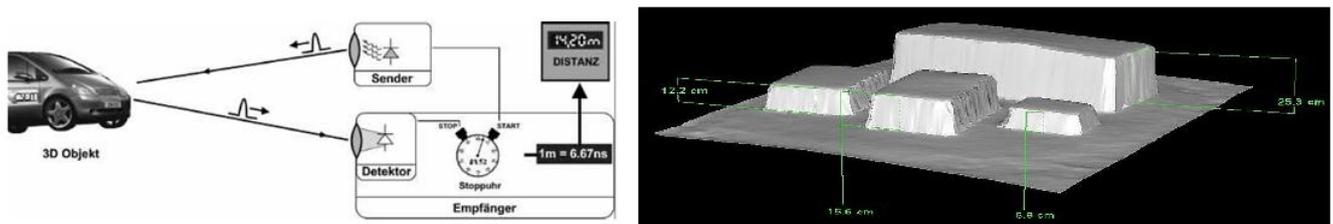


Abbildung 3.1: Auf der linken Seite des Bildes ist das Laufzeitverfahren der Time of Flight Kamera zu sehen. Die rechte Seite zeigt eine aus Time of Flight-Daten erstellte Umgebungskarte (Lange und Seitz (2001)).

3.2.4 Laserscanner

Der Einsatz von Laserscannern verhält sich ähnlich wie die Time of Flight Kamera. Die Abstandsberechnung erfolgt hierbei durch die Laufzeit von Laserpulsen, der Phasendifferenz in den Pulsen im Vergleich zu einem Referenzwert oder mittels Triangulation von Laserstrahlen. Während bei der Time of Flight Kamera mit einem Mal ein komplettes Bild der Umgebung aufgenommen und die Entfernung zu allen

¹SIFT = Scale Invariant Feature Transform: Ein Verfahren das unter anderem zum Auffinden von natürlichen Merkmalen in Bildern verwendet werden kann

Gegenständen auf einmal berechnet werden kann, muss der Laserscanner die Szene erst einmal Zeile für Zeile oder in einem bestimmten Raster abscannen. Der Zeitaufwand zur Erfassung einer kompletten Szene ist daher deutlich größer.

3.3 Roboterfahrt - Bewegungsplanung im Groben

Für die Bewegungsplanung im Groben werden zwei Ansätze betrachtet, die Zellenzerlegung (Cell Decomposition) und die Skeletisierungsmethode (Skeletonization). Die Grundlage der beiden Ansätze bildet das Wissen um die freien Bereiche im Raum, d.h. der Gesamtraum abzüglich der Fläche an denen sich Hindernisse befinden. Weitere Verfahren beschreiben unter anderem J. Gutmann (Gutmann (2000)), S. Thrun (Thrun (2002)) sowie B. Jensen, R. Kruse und B. Wendholdt (Jensen u. a. (2009)).

3.3.1 Zellenzerlegung

Bei der Zellzerlegung wird der freie Raum in geometrische Zellen unterteilt die durch Hindernisse oder die Wände des Raumes begrenzt werden. Die Darstellung der Nachbarbeziehungen der Zellen findet häufig in Form einer Adjazenzmatrix statt. Für die Bewegung vom Start zum Ziel wird der Weg nun so gewählt, dass der Pfad durch die Mittelpunkte der Zellwände und des Zellmittelpunktes führt. Der Roboter hält daher immer relativ viel Abstand zu den Hindernissen, auch wenn dies nicht dem optimalen Weg entspricht (vgl. Abb. 3.2, linke Seite).

3.3.2 Skeletisierungsmethode

Bei der Skeletisierungsmethode unterscheidet man zwischen Sichtbarkeitsgraphen (Visibility Graph) und dem Voronoidiagramm. Das Wegfindungsproblem wird bei diesen Methoden auf eine Graphensuche abgebildet.

- **Sichtbarkeitsgraph:** Zu Beginn wird der Start- und Zielpunkt der geplanten Strecke festgelegt. Anschließend werden alle sichtbaren Ecken der Hindernisse miteinander verbunden. Diese Verbindungen repräsentieren die möglichen Wege. Nun muss der Roboter noch den kürzesten Weg herausuchen und kann die Fahrt starten. Dieses Verfahren sucht nach dem kürzesten Weg, jedoch muss an den Ecken der Hindernisse darauf geachtet werden, dass der Roboter nicht mit diesen kollidiert (vgl. Abb. 3.2, Mitte).
- **Voronoidiagramm:** Für jeden freien Punkt im Raum wird die Distanz zum nächsten Hindernis berechnet und ihm eine Anziehungs- bzw. Abstoßungskraft zugeordnet. Je Näher ein Punkt einem Hindernis ist, desto größer ist seine Abstoßungskraft für den Roboter. Dieser bewegt sich nun also entlang der Punkte mit der geringsten Abstoßungskraft zum Ziel. Hierdurch wählt er automatisch den sichersten Weg mit dem größten Abstand zu den Hindernissen (vgl. Abb. 3.2, rechte Seite).

Es gibt auch noch weitere voronoiartige Ansätze deren Ziel die Wegoptimierung ist um einen schnelleren, aber trotzdem sicheren Weg zum Ziel zu finden.

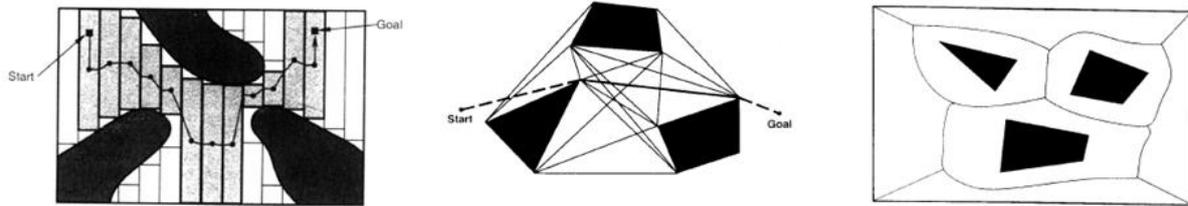


Abbildung 3.2: Ansätze der Bewegungsplanung: links die Zellenzerlegung, in der Mitte der Sichtbarkeitsgraph und rechts das Voronoidiagramm.

3.4 Armbewegung / Objektannäherung - Bewegungsplanung im Feinen

Für die Bewegungsplanung im Feinen werden hier zwei eher allgemeine Vorgehensweisen unterschieden. Diese beschreibt B. Wagner auch in seiner Projektarbeit im Robot Vision Lab der HAW Hamburg (Wagner (2009)).

3.4.1 Open-Loop Ansatz

Unter Open-Loop kann man sich eine Schleife vorstellen, die nur einmal durchlaufen wird. Der Bewegungsdurchführung geht eine einmalige Bildaufnahme voraus. Anhand dieser Aufnahme wird der Weg geplant und in einem Schritt durchgeführt. Zwischendurch findet keine weitere Bildaufnahme und Bewegungskorrektur statt. Nur in Ausnahmesituationen, z.B. wenn plötzlich ein Hindernis erscheint, wird die Bewegung unterbrochen. Je nachdem wie auf die Situation reagiert worden ist, muss eventuell ein neues Bild aufgenommen werden.

3.4.2 Closed-Loop Ansatz

Beim Closed-Loop Ansatz wird die Schleife von Bildaufnahme und Auswertung in regelmäßigen Abständen ausgeführt. Die Bewegung erfolgt also in mehreren Schritten, wobei der Weg situationsbedingt angepasst wird. Wird der Closed-Loop Ansatz beim Annähern an einen bekannten Gegenstand verwendet, wird dies auch häufig als Visual Servoing (visuelle Regelung) bezeichnet.

3.5 Auffinden von Gegenständen

Bevor der Roboter einen Gegenstand holen kann, muss er dessen Position bestimmen. Je nachdem wie autonom der Roboter arbeiten soll, gibt es verschiedene Verfahren.

- **Aktive Suche:** Soll der Roboter autonom agieren, so steht ihm normalerweise kein unterstützendes zentrales System zur Verfügung. Der Roboter kann mit verschiedenen Sensoren ausgestattet werden, die ihm das Auffinden von Gegenständen ermöglichen. Voraussetzung hierfür ist aber, dass ihm die Gegenstände in irgendeiner Art und Weise bekannt sind, so sollte er die Form, Farbe, natürliche Merkmale oder ähnliches kennen. Ein Ansatz mit natürlichen Merkmalen wird im Robot

Vision Lab von C. Fries verfolgt. Die hierbei eingesetzten Techniken sind SIFT und SURF² (Bay u. a. (2008)). Zum aktuellen Zeitpunkt liegen die Ergebnisse noch nicht in schriftlicher Form vor. Ein Verfahren zur Identifizierung von Objekten in Filmen anhand natürlicher Merkmale wird auch in Ta u. a. (2009) beschrieben. Dieses lässt sich vermutlich auch auf Einzelbilder einer Roboterkamera anwenden.

- **Passive Suche:** Bei diesem Ansatz sucht der Roboter die Position des Gegenstandes nicht selbst, sondern erhält dessen Position von einem externen System, z.B. zentrales Raum-/Wohnungssystem. Hierbei könnten vergleichbare Lösungsansätze aus dem Bereich der Selbstlokalisierung, wie z.B. die Verwendung von Marken oder Sendern an Gegenständen, zum Einsatz kommen. Handelt es sich um einen prägnanten Punkt im Raum, so kann dessen Position möglicherweise auch aus der internen Umgebungskarte entnommen werden.

²SURF = Speeded Up Robust Features: Ein Verfahren zur schnellen und robusten Erkennung von Merkmalen in Bildern. Es ist ähnlich zum SIFT-Verfahren, verwendet für die Bildanalyse aber andere Filter.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Ausarbeitung beschäftigte sich mit Problemstellungen die bei der Steuerung von mobilen Service-Robotern auftreten. Ein Hauptgrund für diese Schwierigkeiten liegt in der Bewegung des Roboters und in der Vielfältigkeit der Aufgabenstellungen, welche ein solcher Service-Roboter täglich zu bewältigen hat. Anhand verschiedener allgemeingültiger Aufgabenstellungen erfolgte die Herleitung konkreter Problemstellungen. Hierzu gehörten unter Anderem die Orientierung und Bewegung des Roboters in seiner Umgebung, das Erkennen und Auffinden von Gegenständen sowie das Greifen von fixen und mobilen Gegenständen.

Im Zweiten Teil der Ausarbeitung wurden dann Lösungsansätze aufgezeigt, mit denen diese Probleme gelöst werden könnten. Die meisten Verfahren setzen hierbei auf den Einsatz von Sensoren verschiedenster Art. Je nach Problemstellung werden häufig Infrarot-, Funk- oder kameragestützte Systeme eingesetzt, die sich aber in ihrem Aufwand und ihrer Genauigkeit unterscheiden. Für den Einsatz mancher Verfahren muss teilweise auch die Arbeitsumgebung modifiziert werden. Außerdem muss sich der Anwender zwischen aktiven und passiven Sensorverfahren entscheiden, bei denen der Sender entweder auf dem Roboter oder in der Umgebung des Roboters positioniert ist.

Im Robot Vision Lab der HAW Hamburg arbeiten bereits mehrere Studenten um für den vorhandenen Roboter eben diese Probleme zu lösen. Der Roboter soll später im Living Place Hamburg zum Einsatz kommen.

Literaturverzeichnis

- [Bay u. a. 2008] BAY, Herbert ; ESS, Andreas ; TUYTELAARS, Tinne ; VAN GOOL, Luc: Speeded-Up Robust Features (SURF). In: *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)* 110 (2008), S. 346–359
- [Boehnke 2007] BOEHNKE, K.: Object localization in range data for robotic bin picking. In: *Proceedings of the 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering, 2007*
- [Dietsch 2010] DIETSCH, J.: People Meeting Robots in the Workplace [Industrial Activities]. In: *Robotics & Automation Magazine, IEEE* 17 (2010), S. 15–16
- [Dietsch und Madhavan 2010] DIETSCH, J. ; MADHAVAN, R.: When People Meet Robots [News and Views]. In: *Robotics & Automation Magazine, IEEE* 17 (2010), S. 6–16
- [Guanghai u. a. 2008] GUANGHUI, Cen ; NOBUTO, Matsuhira ; JUNKO, Hirokawa ; HIDEKI, Ogawa ; ICHIRO, Hagiwara: Mobile Robot Global Localization Using Particle Filters. In: *International Conference on Control, Automation and Systems 2008, 2008*
- [Gutmann 2000] GUTMANN, Jens-Steffen: *Robuste Navigation autonomer mobiler Systeme*, Universität Freiburg, Dissertation, 2000
- [Hidekazu und Mamoru 2005] HIDEKAZU, Suzuki ; MAMORU, Minami: Visual Servoing to Catch Fish Using Global/Local GA Search. In: *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS* 10 (2005), S. 352–357
- [Jacobi 2009] JACOBI, Dirk: *Identifikation und räumliche Lokalisierung skalierungsinvarianter Merkmale für die visuelle Navigation*. 2009
- [Jensen u. a. 2009] JENSEN, Bjoern ; KRUSE, Ralf ; WENDHOLT, Birgit: Application of Indoor Navigation Technologies Under Practical Conditions. In: *PROCEEDINGS OF THE 6th WORKSHOP ON POSITIONING, NAVIGATION AND COMMUNICATION, 2009*
- [JurdaK u. a. 2004] JURDAK, Raja ; VIDEIRA LOPES, Cristina ; BALDI, Pierre: An Acoustic Identification Scheme for Location Systems. In: *IEEE Advancing Technology for Humanity* (2004)
- [Ladd u. a. 2006] LADD, Andrew M. ; BEKRIS, Kostas E. ; RUDYS, Algis ; MARCEAU, Guillaume ; KAVRAKI, Lydia E. ; WALLACH, Dan S.: Robotics-Based Location Sensing using Wireless Ethernet. In: *IEEE Advancing Technology for Humanity* (2006)
- [Lange und Seitz 2001] LANGE, Robert ; SEITZ, Peter: Solid-State Time-of-Flight Range Camera. In: *IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS* 37 (2001), S. 390–397
- [Lowe 1999] LOWE, D.G.: Object recognition from local scale-invariant features. In: *International Conference on Computer Vision, 1999*
- [Manske 2008] MANSKE, Nico: *Kamerabasierte Präzisionsnavigation mobiler Systeme im Indoor-Bereich*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Diplomarbeit, 2008
- [Salvendy 2001] SALVENDY, Gavriel (Hrsg.): *Handbook of Industrial Engineering, Technology and Operations Management*. Institute of Industrial Engineers, 2001

- [Schmiedecke 2010] SCHMIEDECKE, C: *Entwicklung einer allgemeinen dynamischen inversen Kinetik*. 2010
- [Spong u. a. 2005] SPONG, W. M. ; HUTCHINSON, Seth ; VIDYASAGAR, M.: *Robot Modeling and Control*. John Wiley & Sons, 2005
- [Ta u. a. 2009] TA, Duy-Nguyen ; CHEN, Wei-Chao ; GELFAND, Natasha ; PULLI, Kari: SURFTrac: Efficient Tracking and Continuous Object Recognition using Local Feature Descriptors. In: *IEEE Advancing Technology for Humanity* (2009)
- [Thrun 1998] THRUN, S: When robots meet people. In: *Intelligent Systems and their Applications, IEEE* 13 (1998), S. 27–29
- [Thrun 2002] THRUN, Sebastian: Robotic Mapping: A Survey. In: *Exploring Artificial Intelligence in the New Millenium*. Morgan Kaufmann, 2002
- [UbisenseAG] UBISENSEAG. – URL <http://www.ubisense.de>. – Letzter Abruf am 26.07.10
- [Wagner 2009] WAGNER, Benjamin: Visuelle Regelung für einen Roboterarm. (2009)
- [Ward 1998] WARD, Andrew Martin R.: *Sensor-driven Computing*, Corpus Christi College, University of Cambridge, Dissertation, 1998