

Ausarbeitung AW2

Felix Kolbe

Indoor-Navigation eines
autonomen mobilen Service-Roboters :
Vorstellung vergleichbarer Projekte

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
1.1 Gliederung	3
1.2 Motivation	3
1.3 Ziel und Anwendung	4
1.3.1 Zielszenario des Projekts	4
1.4 Grundlagen	5
1.4.1 Begriffsklärung eines autonomen mobilen Service-Roboters	5
1.4.2 Begriffsklärung von Roboter-Navigation	5
1.4.3 Kernproblem SLAM	6
2 Vergleichbare Projekte	8
2.1 Projekt Care-O-Bot	8
2.1.1 Details der Umsetzung	9
2.2 Projekt ASIMO	10
2.2.1 Details der Umsetzung	10
2.3 Projekt b-it-bots	11
2.3.1 Der Wettbewerb RoboCup@Home	11
2.3.2 Details der Umsetzung	12
2.4 Vergleichbarkeit	12
3 Ausblick	13
3.1 Methodischer Ausblick	13
3.2 Operativer Ausblick	13
3.3 Resümee	14
Literaturverzeichnis	15
Abbildungsverzeichnis	16
Glossar	17
Akronyme	18

1 Einführung

Diese Ausarbeitung setzt sich mit der Navigation eines autonomen mobilen Service-Roboters auseinander. Insbesondere werden dabei vergleichbare Projekte aus Industrie und Forschung betrachtet, um daraus eine realistische Zielsetzung sowie eine plausible Herangehensweise für das kürzlich entstandene Roboterprojekt an der HAW Hamburg zu ermitteln. Dazu wurde ein Roboter angeschafft, welcher aus einer erweiterbaren, fahrbaren Plattform mit einem Greifarm und diversen Sensoren besteht. Dadurch soll dieser Roboter eine Zusammenführung der verschiedenen Forschungsthemen des Department Informatik ermöglichen. Dazu gehören etwa intelligente Sensorik und Regler, Navigation und Bahnplanung, verschiedenste Kinematiken, Aspekte der Bildverarbeitung sowie Mensch-Maschine-Interaktionen.

1.1 Gliederung

Das erste Kapitel geht genauer auf die Motivation für ein solches Roboter-Projekt ein, beschreibt das angestrebte Ziel und erläutert einige Grundlagen des Themas. Im nächsten Kapitel [2 \(Vergleichbare Projekte\)](#) werden drei ähnliche Forschungs-Projekte vorgestellt und hinsichtlich des Navigationsaspektes verglichen.

Das darauf folgende Kapitel [3 \(Ausblick\)](#) schildert, wie nunmehr in der praxisnahen Entwicklung vorgegangen wird, um dem oben beschriebenen Roboter navigatorische Fähigkeiten zu verleihen.

Stichwörter mit Verweis auf Glossar oder Abkürzungsverzeichnis sind mit ^G markiert.

1.2 Motivation

Die Motivation für ein solches Service-Roboter-Projekt liegt in der Vision, Menschen in jeder Situation bei jeder Tätigkeit durch einen Roboter unterstützen zu können:

„Die Motivation, warum wir uns mit der Entwicklung [...] mobiler Roboter befassen, liegt zum großen Teil in [...] dem Wunsch, Roboter einsetzen zu können, die mit und für Menschen bei

ihrer gewöhnlichen Arbeit und in ihrer alltäglichen Umgebung arbeiten“ (Nehmzow, 2002, S. vii).

So könnten etwa lästige Aufgaben, weil lang andauernd oder sich oft wiederholend, einem Roboter übergeben werden. Ebenfalls könnten unlösbare Aufgaben, welche die Möglichkeiten eines Menschen in Hinblick auf Beweglichkeit oder Muskelkraft übersteigen, von einem Roboter übernommen werden (vgl. Nehmzow, 2002, S. 11). Ein dabei oft gebrachtes Beispiel ist die Unterstützung von älteren oder erkrankten hilfsbedürftigen Menschen.

Es gibt verschiedene Klassen von Robotern. Sie können fest installiert oder mobil, statisch programmiert, ferngesteuert oder autonom sein. Ein Service-Roboter ist für die direkte Dienstleistung und Unterstützung des Menschen entwickelt. Dies erfordert u. a. einen gewissen Grad an Mobilität, damit der Roboter an verschiedene Handlungsplätze folgen oder seinen Aktionsradius erweitern kann, ohne vom Menschen getragen oder transportiert werden zu müssen.

1.3 Ziel und Anwendung

Das Ziel des beschriebenen Entwicklungsprojektes des Department Informatik ist es, einen autonomen mobilen Service-Roboter zu entwickeln, der sich selbstständig in einer einstöckigen wohnungstypischen Indoor-Umgebung bewegen kann. Die Bewältigung von Treppen oder Outdoor-Gelände wird hierbei vernachlässigt.

Dabei soll der Roboter seine Umgebung automatisch protokollieren und kartieren, um später auf Kommando oder aufgrund selbstgewählter Aktionen zu Räumen oder Gegenständen navigieren zu können. Hierbei soll sowohl darauf verzichtet werden, dem Roboter als Starthilfe einen groben Grundriss der Wohnung einzugeben, als auch die Wohnung mit künstlichen und unästhetischen Markierungen zu modifizieren.

Weiterhin soll der Roboter mittels menschlicher Sprache, Gestik oder Mimik mit den Menschen in seiner Nähe kommunizieren. So soll sowohl ein Erkennen von Hilfsbedürftigkeit möglich sein als auch das Verrichten beliebiger Aufgaben nach den Wünschen der Bewohner. Damit langfristig nicht alle möglichen Gegenstände und Raumfunktionen einprogrammiert werden müssen, soll der Roboter diese selbstständig erlernen. Mithilfe seines Greifarms sollen Gegenstände aufgenommen, transportiert und dargereicht werden können.

1.3.1 Zielszenario des Projekts

Am Ende des zuvor beschriebenen Entwicklungsprojektes soll der Roboter folgende Aufgabe erfüllen können: „Roboter, hole mir eine Flasche Saft aus dem Kühlschrank!“

Zur Umsetzung dieser Aufforderung sind bzgl. der Navigation folgende Schritte erforderlich, wobei die Interaktion mit dem Menschen und Steuerung des Greifarms außer Acht gelassen wird:

1. Erkennen der eigenen Position in der Wohnung
2. Finden des Kühlschranksstandortes, oder Erinnern an diesen, falls zuvor bereits gefunden
3. Ermitteln von möglichen Wegen vom aktuellen Punkt zum Kühlschrank
4. Befahren von einem der ermittelten Wege mit dynamischer Hindernisumfahrung
5. Bei Ankunft ggf. Absprache mit der Greifarmsteuerung oder Kamerasensoren zur geeigneten Positionierung der Standplattform

1.4 Grundlagen

1.4.1 Begriffsklärung eines autonomen mobilen Service-Roboters

Ein autonomer mobiler Service-Roboter unterscheidet sich stark von den klassischen, fest installierten Industrierobotern. Es gibt keine strukturierte und kontrollierte Umgebung, für die der Roboter programmiert werden könnte, er muss sein Verhalten flexibel nach der Umgebung richten. Dazu gehört auch der Vorsatz, keinem Lebewesen oder Einrichtungsgegenständen Schaden zuzufügen, was die Bewegungen langsam und die Sicherheitsprüfungen ausführlich werden lässt (vgl. [Nehmzow, 2002](#), S. vii f.).

1.4.2 Begriffsklärung von Roboter-Navigation

„Eine Grundvoraussetzung für das autonome Agieren mobiler Roboter ist die Bewältigung der sicheren Navigation“ ([Stegmann und Liu, 2007](#), S. 82).

Die Navigation eines Service-Roboters ist ebenso elementar wie umfangreich. Sie beinhaltet Selbstlokalisierung, Routenplanung, Kartenerstellung und -interpretation (vgl. [Nehmzow, 2002](#), S. 97).

1.4.3 Kernproblem SLAM

Mit *simultaner Lokalisierung und Kartierung* (engl. *simultaneous localization and mapping*, **SLAM**^G) wird ein Verfahren der Navigationsalgorithmen bezeichnet. Dabei werden Kartierung und Lokalisierung kombiniert.

LOKALISIERUNG ist der Vergleich von Merkmalen der Umgebung mit denen der Karte, um die eigene Position auf der Karte zu bestimmen.

KARTIERUNG ist die Konstruktion einer beliebig gearteten Abbildung (Karte) aus den aufgenommenen Umgebungssensoren (vgl. [Nehmzow, 2002](#), S. 98). Um die an verschiedenen Orten gesammelten Momentaufnahmen der Sensorwerte zueinander in Bezug bringen zu können, wird die räumliche Distanz dieser Orte benötigt.

Dafür gibt es drei grundlegende Verfahrensweisen für Roboter:

Odometrie

Die **Odometrie**^G ist eine einfache und oft eingesetzte Methode, welche jedoch wegen aufsummierender Fehler nur für kurze Strecken eine akzeptable Genauigkeit liefert, und daher meist nur in Kombination mit anderen Methoden Verwendung findet ([Nehmzow, 2002](#), vgl.[S. 99]).

Markierungen

Ein weiteres Möglichkeit ist das Anbringen von für den Roboter einfach erkennbaren Markierungen in der Umgebung, deren Positionen oder Abstände dem Roboter bekannt gemacht werden, beispielsweise im Boden eingelassene **RFID**^G-Tags. Da die Umgebung jedoch aus Aufwands- und Flexibilitätsgründen möglichst wenig manipuliert werden soll, sollen Markierungen jedoch vermieden werden. Flexibilität ist etwa dann gefordert, wenn der Roboter sich auch dann zurechtfinden soll, wenn er nur für wenige Stunden in eine unbekannte Wohnung gebracht wird.

SLAM

Das dritte Verfahren ermittelt die Distanz der Messorte, indem die Sensorwerte direkt verglichen werden. Etwa können die erkannten Strukturen eines **Laserscanners**^G oder die **SIFT**^G-Merkmale von Kamerabildern auf Übereinstimmungen untersucht werden. Hierbei wird im Prozess der Kartierung die Lokalisierung eingebunden, wodurch ein Zyklus mit Wechselwirkungen zwischen beiden Prozessen entsteht, wie die [Abb. 1.1 auf der nächsten Seite](#) verdeutlicht.

Das Problem dabei entsteht durch die Ungenauigkeiten in den beiden Schritten. Die Lokalisierung benötigt eine exakte Abbildung, die Kartierung präzise Umgebungsdaten. Da in der Digitalisierung und der Wiedererkennen der Umwelt jedoch stets kleine, sich über die Wegstrecke summierende Ungenauigkeiten involviert sind, ist ein absolut fehlerfreies Fortschreiten nicht möglich.

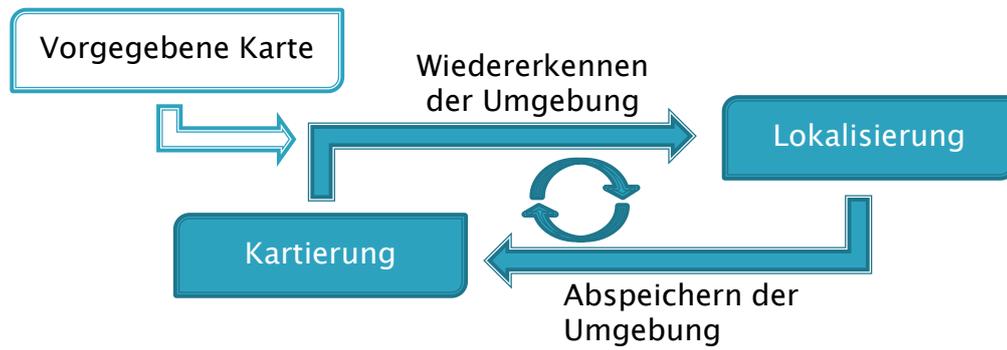


Abbildung 1.1: SLAM-Zyklus

Die Datenstruktur für die schrittweise erstellte Abbildung der Umgebung muss daher spätere Veränderungen ermöglichen, beispielsweise die Streckung eines Kartenschnittes.

2 Vergleichbare Projekte

Dieses Kapitel beschreibt drei vergleichbare Entwicklungsprojekte eines autonomen mobilen Service-Roboters und untersucht sie bzgl. gestellter Anforderungen, gegebener Bedingungen und verwendeter Lösungswege. Die folgende Abbildung 2.1 zeigt die Roboter der untersuchten Projekte.



Abbildung 2.1: a) Roboter 'Care-O-Bot' der 3. Generation, entwickelt am Fraunhofer Institut, Stuttgart ([Care-O-bot, 2010](#))
b) Humanoider Roboter 'ASIMO' der 2. Version, entwickelt von Honda, Japan ([ASIMO, 2010](#))
c) Roboter 'Johnny' im 4. Jahr, entwickelt von b-it-bots, Bonn-Rhein-Sieg Universität ([b-it-bots, 2010](#))

2.1 Projekt Care-O-Bot

Das Stuttgarter Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung hat 1998 das Projekt Care-O-Bot gestartet. Ziel war es, einen autonomen mobilen Service-Roboter zu

entwickeln. Im Jahr 2003 wurde die dritte und bisher aktuellste Generation des Care-O-Bot vorgestellt.

Die Besonderheit des Care-O-Bot ist seine Entwicklerplattform, die für jeden im Internet einsehbar ist. Dort sind sowohl der Software-Quellcode als auch die Gerätenummern der Hardware des Care-O-Bot frei verfügbar.

2.1.1 Details der Umsetzung

Der Care-O-Bot basiert auf einer [omnidirektionalen^G](#) vierrädrigen Indoor-Plattform. Dabei kann jedes Rad separat gedreht und angetrieben werden. Dies ermöglicht flexiblere Bahnplanungen und einen stabilen Stand. Wegen der kleinen Räder sind ebene Böden ohne größere Schwellen erforderlich, was den Aktionsradius über Stufen und Treppen hinweg verhindert.

2.1.1.1 Sensoren

Zur Wahrnehmung der Umgebung ist der Care-O-Bot mit drei [Laserscannern^G](#), einer [Stereokamera^G](#) und einer [3D-time of flight \(TOF\)^G](#)-Kamera ausgestattet. Die Kameras sind an einem beweglichen Modul auf Kopfhöhe befestigt, wobei die [TOF^G](#)-Kamera zwischen den beiden Objektiven der Stereokamera liegt. Das Modul lässt sich in der Querachse neigen, so dass die Kameras verschiedene Blickwinkel einnehmen und auch auf die Rückseite des Roboters gekippt werden können. Dies ermöglicht einen flexibleren Wahrnehmungsbereich ohne doppelte Kamera-Hardware. Die Kombination von Tiefenbild- und Farbkamera ermöglicht das Finden und Identifizieren von Objekten.

Beim Care-O-Bot ist diese universelle Auslegung von Nutzen, da dieser üblicherweise über seine Vorderseite, an der auch das Tablett ausgefahren wird, mit Personen interagiert. Über die Rückseite dagegen nimmt er mit seinem Arm z. B. Gegenstände auf oder öffnet Türen.

2.1.1.2 Aktoren

Um Gegenstände aufnehmen zu können ist der Care-O-Bot mit einem [7-degree of freedom \(DOF\)^G](#) Roboterarm ausgestattet, an der ein sehr flexibles [7-DOF^G](#) Handmodul angebracht ist. Dieses ermöglicht mit seinen 3 Drucksensorfingern das Greifen von Gegenständen unterschiedlicher Formen.

Zur Interaktion mit Personen bedient sich der Care-O-Bot Gesten, akustischer Sprache und seinem Tablett. Letzteres ist mit einem Touchscreen und 3 kg Tragfähigkeit ausgestattet und

wird nur bei Bedarf ausgeklappt. Über das Tablett werden Befehle entgegengenommen sowie Gegenstände überreicht. Ein in-die-Hand-Geben mit dem Roboterarm findet aus Sicherheitsgründen nicht statt.

2.1.1.3 Navigation

Die Kartierung und Lokalisierung des Care-O-Bot geschieht zunächst über Koppelnavigation. Zur Fehlerkompensation werden Merkmale der Umgebung mit ihren Sollpositionen einer Karte verglichen. Diese Karte wird aus CAD^G-Daten erzeugt oder selbstständig im SLAM^G-Verfahren erlernt (siehe 1.4.3 Kernproblem SLAM auf Seite 6). Zur Bahnoptimierung werden Hindernisse dynamisch mit Hilfe der „Elastische-Bänder-Methode“ umfahren (vgl. COB Navigation, 2010).

2.2 Projekt ASIMO

Das japanische Unternehmen Honda beschäftigt sich seit 1986 mit der Entwicklung von humanoiden Robotern. Im Jahr 2000 wurde das Projekt **A**dvanced **S**tep in **I**nnovative **M**obility (ASIMO) gestartet.

Im Jahre 2005 wurde das derzeit aktuelle v2-Modell vorgestellt, dessen Software laufend weiterentwickelt wird.

2.2.1 Details der Umsetzung

Die Besonderheit des ASIMO gegenüber den anderen beiden vorgestellten Projekten ist die **humanoide^G** Bauweise. Diese ermöglicht hinsichtlich der Fortbewegung die Überwindung von Stufen und Treppen. Zudem ermöglichen die Beine eine Seitwärtsbewegung, was etwa beim Schieben eines Rollwagens sehr vorteilhaft ist.

2.2.1.1 Sensoren

Der bedeutendste Sensor für ASIMO zur Wahrnehmung der Umwelt ist die **high dynamic range (HDR)^G-Stereokamera^G**, mit deren Hilfe er Gegenstände, Hindernisse und Gesichter erkennen und lokalisieren kann. Ein Rundum-Ultraschall dient zur groben Umgebungs- und Hinderniserkennung. Ein Frontsensor mit Lasertechnik ermittelt die Bodenstruktur und Hindernisse, ein Frontbodeninfrarotsensor erkennt Markierungen. Drei Mikrofone dienen zur

akustischen Wahrnehmung und Schallortung, sodass ASIMO sich sprechenden Menschen zuwenden kann (vgl. [ASIMO inside, 2010](#)).

2.2.1.2 Aktoren

Als Aktoren besitzt ASIMO zwei symmetrische Arme mit jeweils 7 [DOF^G](#), die dem humanoiden Schema entsprechen. Eine Hand trägt 300 g Last, beidhändig kann 1 kg gehoben werden. Die Arme sind zur Gestikulierung und Manipulation von Gegenständen gedacht. Es gibt passende Tablett und Rollwagen, die ASIMO schieben kann.

Die Bewegung mithilfe der Beine basiert auf der voraussehenden Schwerpunktverschiebung. Diese ermöglicht sehr flüssige Bewegungen, wie etwa Richtungsänderungen während des Rennens.

2.2.1.3 Navigation

Über die Navigation des ASIMO werden kaum Informationen veröffentlicht. Jedoch wird auch hier die eigene Position anhand von Sensordaten und bereits gespeicherten Karteninformationen korrigiert. Falls sich auf halber Wegstrecke Hindernisse auftun wird selbstständig von der aktuellen Position aus eine Alternativroute ermittelt (vgl. [ASIMO inside, 2010](#)).

2.3 Projekt b-it-bots

Die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg nimmt seit 2007 unter dem Teamnamen 'b-it-bots' am RoboCup@Home-Wettbewerb teil.

2.3.1 Der Wettbewerb RoboCup@Home

In diesem Wettbewerb müssen sich die Service-Roboter der antretenden Universitäten diversen Aufgaben stellen, die typisch für einen häuslichen Service-Roboter sind. Dazu gehört z.B. das Folgen einer Person, die Rückkehr zu einem bekannten Ort oder der Transport einer Getränkeflasche von einem Zimmer zum nächsten.

Dieser Wettbewerb findet sowohl national als auch global statt. Das Team b-it-bots der Hochschule Bonn-Reihn-Sieg konnte mit ihrem Roboter „Johnny Jackanapes“ 2009 den Titel 'World Championship' und 2010 den Titel 'German Open Championship' erlangen.

2.3.2 Details der Umsetzung

Der Roboter Johnny hat zwei Antriebsräder und zwei Stützrollen, so dass er auf ebene Böden und Platz zum Wenden angewiesen ist.

Zur Objekterkennung dient eine [Stereokamera^G](#); ein [Laserscanner^G](#) ermöglicht die Hinderniserkennung. Ein anmontierter 5-DOF^G Greifarm „Katana“ kann mit zwei Fingern 500 g Last heben.

2.3.2.1 Navigation

Das Softwaresystem des Roboters besteht aus drei lose verbundenen autonomen Komponenten, auf diese sind die Aufgabenbereiche wie folgt aufgeteilt.

Eine Komponente übernimmt das Lernen, Erkennen und Manipulieren von Objekten. Eine weitere regelt die Interaktion mit dem Menschen. Die dritte Komponente ist für die Navigation und Kartierung zuständig. Sie erstellt selbstständig mehrere unterschiedliche interne Abbilder der Umgebung (siehe [1.4.3 Kernproblem SLAM](#) auf Seite 6). Es werden gegenüber anderen Komponenten sowohl low-level-Methoden zur Antriebssteuerung, also auch high-level-Methoden zur Pfad- und Bewegungsplanung angeboten.

In jeder dieser Komponenten gibt es einen Entscheidungsalgorithmus, sodass diese Komponenten in der Gesamtarchitektur nicht übereinander, sondern nebeneinander anzuordnen sind.

2.4 Vergleichbarkeit

Im Wesentlichen verfolgen alle drei Projekte ähnliche Ziele. Es gibt zwar Unterschiede bei den bereits erreichten Fähigkeiten, bezüglich ihres Navigationsverfahrens jedoch sind die Unterschiede gering. Auch wenn beim Care-O-Bot die Möglichkeit besteht eine Karte vorzugeben, sind alle drei Roboter in der Lage die Umgebung eigenständig zu erkunden, zu kartieren und sich darin zurechtzufinden. Lediglich Anzahl und Typ der dazu verwendeten Sensoren sind unterschiedlich.

„Johnny“ ist wesentlich einfacher aufgebaut als Care-O-Bot und ASIMO, was auf die kürzere Entwicklungszeit und auf die geringeren verfügbaren Mittel zurückzuführen ist. Trotzdem konnte er ein beachtenswertes Fähigkeits-Level erreichen und ist daher ein angemessener Vergleich zum Entwicklungsprojekt der HAW Hamburg.

3 Ausblick

Der Ausblick ist unterteilt in einen methodischen und einen operativen Teil, um die anstehenden theoretischen Überlegungen und die angedachte praktische Umsetzung getrennt zu betrachten.

3.1 Methodischer Ausblick

Die in den vergleichbaren Projekte eingesetzten Frameworks, Algorithmen und Strategien müssen auf ihre Einsatzfähigkeit untersucht werden, um mit vielen nutzbaren Programmfragmenten den eigenen Konzeptions- und Implementierungsaufwand verringern zu können.

Dazu gehören etwa Simulationsumgebungen, die den Zyklus von Entwicklung und Testen klein und schnell halten, bspw. „Player + Stage“, welches vom Care-O-Bot verwendet wird (siehe Abschnitt [2.1 \(Projekt Care-O-Bot\)](#)).

3.2 Operativer Ausblick

In dem Entwicklungsprojekt der HAW Hamburg wird anhand der vergleichbaren Projekte wird ein Anfangsszenario aufgestellt, welches mittelfristig erreicht werden soll, z. B. „Hole eine Flasche Saft aus dem Kühlschrank hierher“.

Um die Komplexität zu entschärfen, werden die Teilgebiete – wie das der Navigation – separat entwickelt. Dazu gehört im Wesentlichen die Festlegung und Simulation der Schnittstellen. Für die Navigation in Kombination mit der Bewegungssteuerung steht daher zunächst die selbstständige Kartierung mit dem Wiedererkennen von Orten an, gefolgt von der Wegfindung und der Bahnplanung.

Hierbei werden gegebenenfalls zunächst Vereinfachungen festgelegt, um durch kleinere Komplexitätssteigerungen die Entwicklung übersichtlich zu halten. Dies könnte etwa bedeuten, dass dem Roboter der grobe Wohnungsgrundriss bekannt ist. Auch könnten künstliche Markierungen in der Wohnung helfen, grobe Missstände in der Navigation zu beheben, bis der Einsatz in völlig natürlicher Umgebung getestet werden kann.

3.3 Resümee

Diese Ausarbeitung hat versucht einen Überblick über das Gebiet der Navigation von autonomen mobilen Service-Robotern zu geben. Dazu wurden drei existierende Projekte aus Industrie und Forschung erläutert. Dies gibt einen guten Anhaltspunkt über Möglichkeiten, Hindernisse und Aufwendungen in der eigenen Entwicklung am Department Informatik.

Literaturverzeichnis

- [ASIMO 2010] AMERICAN HONDA MOTOR CO. INC.: *ASIMO by Honda, The World's Most Advanced Humanoid Robot*. 2010. – URL <http://asimo.honda.com/>. – Abruf: 2010-07-21
- [ASIMO inside 2010] AMERICAN HONDA MOTOR CO. INC.: *Inside ASIMO Robotics by Honda | The Technology Behind ASIMO*. 2010. – URL <http://asimo.honda.com/inside-asimo/>. – Abruf: 2010-07-21
- [b-it-bots 2010] B-IT-BOTS, BONN-RHINE-SIEG UNIVERSITY: *b-it-bots : Johnny Jackanapes*. 2010. – URL <http://www.b-it-bots.de/Johnny.html>. – Abruf: 2010-07-21
- [Care-O-bot 2010] FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.: *Care-O-bot*. 2010. – URL <http://www.care-o-bot.de/>. – Abruf: 2010-07-21
- [COB Navigation 2010] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG IPA: *Sichere Navigation autonomer Systeme in dynamischen Umgebungen*. 2010. – URL http://www.care-o-bot.de/Produktblaetter/PB_300_303.pdf. – Abruf: 2010-07-21
- [Nehmzow 2002] NEHMZOW, Ulrich: *Mobile Robotik: Eine praktische Einführung*. Berlin/Heidelberg : Springer, 2002. – ISBN 3-540-42858-5
- [Stegmann und Liu 2007] STEGMANN, Nadine ; LIU, Steven: *Eingangsrößenrekonstruktion zur Trajektorienfolge mit elementarer Sensorik*. S. 82–88. In: BERNS, Karsten (Hrsg.) ; LUKSCH, Tobias (Hrsg.): *Autonome Mobile Systeme 2007: 20. Fachgespräch Kaiserslautern, 18./19. Oktober 2007*. Berlin/Heidelberg : Springer, 2007. – ISBN 978-3-540-74763-5

Abbildungsverzeichnis

1.1	SLAM-Zyklus	7
2.1	a) Roboter 'Care-O-Bot' der 3. Generation, entwickelt am Fraunhofer Institut, Stuttgart (Care-O-bot, 2010) b) Humanoider Roboter 'ASIMO' der 2. Version, entwickelt von Honda, Japan (ASIMO, 2010) c) Roboter 'Johnny' im 4. Jahr, entwickelt von b-it-bots, Bonn-Rhein-Sieg Universität (b-it-bots, 2010)	8

Glossar

Bezeichnung	Beschreibung	Seiten
humanoid	Eine menschenähnliche Bauweise mit (meistens) Beinen, Torso, Kopf und Armen. Auch eine menschenähnlich nachgebildete Psyche kann dazugehören.	10
Laserscanner	Ein Laserscanner in der Robotik ist ein meist horizontal ausgerichteter Sensor, der über einen Halbkreis einer Ebene die Entfernung zu Objekten misst.	6, 9, 12
Odometrie	Auch Koppelnavigation genannt, ist das Aufzeichnen der zurückgelegten Fahrstrecke und der getätigten Drehungen, um daraus die aktuelle Position relativ zum Startpunkt bzw. dem letzten bekannten Punkt zu berechnen.	6
omnidirektional	Ein omnidirektionaler Antrieb ermöglicht einem Fahrplattform in jede beliebige Richtung zu fahren, ohne sich vorher um die Hochachse drehen zu müssen.	9
Stereokamera	Eine Kombination zweier parallel ausgerichteter Kameras, welche ein räumliches (stereoskopisches) Sehen ermöglicht, ähnlich dem menschlichen Augenpaar.	9, 10, 12

Abkürzungsverzeichnis

Bezeichnung	Beschreibung	Seiten
CAD	computer aided design	10
DOF	degree of freedom	9, 11, 12
HDR	high dynamic range	10
RFID	radio-frequency identification	6
SIFT	scale-invariant feature transform	6
SLAM	self localization and mapping	6, 10
TOF	time of flight	9