

Reaktive Navigation eines intelligenten Gehhilferoboters

Birgit Graf

Fraunhofer IPA
Nobelstr. 12
706569 Stuttgart
btg@ipa.fhg.de

Diese Arbeit präsentiert den intelligenten Gehhilferoboter Care-O-bot . Care-O-bot ist der Prototyp eines multifunktionalen Heim- und Pflegesystems, konzipiert zur Benutzung von älteren Personen. Der Roboter soll es diesen Personen ermöglichen, trotz verschiedener Gebrechen weiterhin eigenständig in ihrer heimischen Umgebung wohnen zu können. Um den Umgang mit der intelligenten Hilfe möglichst intuitiv zu gestalten, wurde die Art und Weise der Benutzung an konventionelle Gehhilfesysteme angepasst. Der Roboter bewegt sich in Reaktion auf Druck- und Zugkräfte, die durch den Benutzer verursacht werden. Wenn zum Beispiel ein Benutzer den Roboter vorwärts „schiebt“, wird dieser sich selbständig in die gewünschte Richtung bewegen. Als Verbesserung gegenüber konventionellen Gehhilfesystemen sind intelligente Verhaltensweisen wie autonome Hindernisumfahrung und intelligente Bahnplanung integriert. Ein besonderer Augenmerk liegt in der Sicherheit des Benutzers. Deshalb sollte der Roboter keine Bewegungen durchführen, denen sein Benutzer nicht folgen kann.

1. Einleitung

Auf der ganzen Welt erhöhen sich drastisch die volkswirtschaftlichen Aufwendungen für die Gesundheit. Mehr als 30% dieser Kosten entfallen dabei auf die Betreuung von älteren Menschen. Von den heute 82 Millionen Menschen in Deutschland sind nach Angaben des Statistischen Bundesamtes rund 21 Prozent 60 Jahre und älter. Hält die demografische Entwicklung an, stellen die über 60-jährigen in zehn Jahren schon ein Viertel der Gesamtbevölkerung. Im Jahr 2040, so die Prognose des Institutes für Bevölkerungsforschung, werden die Älteren bereits 37 Prozent der Bevölkerung ausmachen /1/. Es besteht ein grundlegender Bedarf an technischen Hilfsmitteln, die es den betroffenen Menschen ermöglichen, unabhängig bzw. mit entsprechender Unterstützung in ihrer heimischen Umgebung eigenständig wohnen zu können. Als Antwort auf diesen Bedarf an technologischen Lösungen wurde vom Fraunhofer Institut IPA in Stuttgart ein Versuchsträger für ein mobiles Home Care System – mit der Bezeichnung Care-O-bot – konzipiert und aufgebaut. Care-O-bot ist ein mobiler Serviceroboter, der in der Lage ist, nützliche Unterstützungs-, Sicherheits- und Versorgungsaufgaben im häuslichen Bereich durchzuführen /28/.

Technische Systeme bieten Unterstützung im Ablauf des täglichen Lebens sowie Anleitung zur Eigeninitiative. Hieraus ergeben sich für einen mobilen Serviceroboter folgende mögliche Funktionen:

Kommunikation und soziale Integration:

- Kommunikation mit medizinischen und öffentlichen Einrichtungen (Telemedizin, Ärzte, Behörden, etc.),
- Automatischer Notruf,
- Persönliche Kontakte,
- Medienmanagement (Bildtelefon, Fernseher, Musikanlagen, interaktive Medien etc.),
- Stimme als natürliche und intuitive Bedienschnittstelle,
- Multimedia Touchscreen als zusätzliche Schnittstelle.

Haustechnik-Management (Infrastruktur):

- Steuerung der häuslichen Infrastruktur, wie Heizung, Klimaanlage, Licht, Fenster, Haustür, Alarmanlage, etc.

Persönliche Versorgung:

- Zubereitung und Servieren von Nahrungsmitteln, warmen Mahlzeiten und Getränken,
- Ausführen einfacher Aufgaben im Haushalt, wie Blumengießen, Wegräumen von Gegenständen, etc.

Handhabungshilfen / Holen und Tragen:

- Bringen von Gegenständen, wie Bücher, Fernbedienung, Arznei, etc.,
- Entsorgung von Wäsche und Hygieneartikeln,
- Unterstützung beim Greifen, Heben und Halten von Gegenständen und Geräten, wie z.B. beim Halten eines Buches o. ä.

Mobilitätsunterstützung:

- Hilfe beim Aufstehen aus dem Bett oder vom Stuhl, intelligente Steh- und Gehhilfe, z. B. Stützen auf dem Weg zum Badezimmer.

Management privater organisatorischer Belange:

- Day-Time-Manager (Tagesablauf, Medikamenteneinnahme, Agenda usw.).

Haushaltsaufgaben:

- Speisen zubereiten und servieren (z.B. Mikrowelle, Herd), Servieren von Getränken,
- Einfache Reinigungsaufgaben etc.

Persönliche Sicherheit:

- Überwachung der persönlichen Sicherheit,

- Überwachung der Vitalfunktionen (Puls, Atmung, Blutdruck, Körpertemperatur, etc.),
- Überwachung des mentalen Zustandes (Verhalten, Aktivitäten, Reaktionsvermögen, etc.),
- Gesundheitsfürsorge (Informationsbereitstellung, Erteilung von Ratschlägen, Motivationsgebung),
- Erkennung von kritischen / fehlenden Lebenszeichen oder unnormalen Tagesabläufen,
- Alarmfunktionen in Form von automatischen Rufsystemen, um Nachbarn, lokale Einrichtungen und / oder Behörden im Notfall benachrichtigen zu können (Überprüfung, Weckrufe, Notrufe),
- Erkennung von möglichen Gefahren (Rauchentwicklung, Wasser, Gas, Einbruch).

2. Existierende Assistenzsysteme

In den letzten Jahren haben verschiedene Forschungseinrichtungen damit begonnen, Prototypen von intelligenten Robotersystemen zu entwickeln, die die Lebensqualität von älteren und behinderten Menschen im häuslichen Bereich verbessern sollen /6/ /7/ /10/ /26/ /27/ /32/ /34/. Das „Handy 1“ - System /35/ zum Beispiel unterstützt Schwerstbehinderte in verschiedenen Bereichen des täglichen Lebens. „Moveaid“ /4/ ist ein mobiler Manipulator, der als Pflegesystem für den häuslichen Bereich konzipiert wurde. Die Entwicklung von „Nursebot“ /2/ ist erst der erste Schritt hin zu der Entwicklung eines persönlichen Assistenzsystem für ältere und behinderte Menschen.

Nur wenige dieser Systeme sind jedoch darauf ausgelegt, älteren und gebrechlichen Menschen auch eine Unterstützung zum sicheren Aufstehen und Gehen zu bieten. Dies kann zum Beispiel durch die Verbesserung bereits bestehender Gehhilfesysteme erreicht werden – durch die Integration sensorbasierter autonomer Navigation.

Das „PAM-AID“ System/20/ /21/ /24/, entwickelt an Trinity College in Dublin, stellt eine intelligente Gehhilfe für gebrechliche, blinde und sehbehinderte Menschen dar. Ähnlich den konventionellen Gehhilfen besteht das Gerät aus einem Metallrahmen mit zwei Haltegriffen, auf die sich der Benutzer stützen, bzw. über die der Roboter in verschiedene Richtungen bewegt werden kann. Darüber hinaus ist das Fahrzeug mit verschiedenen Sicherheitssensoren ausgestattet, sowie einem Sicherheitsknopf, der während des Betriebs dauerhaft gedrückt werden muss. Auf motorisierten Antrieb wurde verzichtet, jedoch können die beiden Vorderräder – z.B. zur Umfahrung von Hindernissen – mit einem Motor gesteuert werden. Das System beinhaltet außerdem eine multimediale Bedienerschnittstelle und gibt dem Benutzer akustische Informationen über seine Umgebung.

Zwei Prototypen des Gehhilfesystems „PAMM“ /5/ wurden in den letzten Jahren am MIT in Boston entwickelt. Die erste Version ist der „Smart Cane PAMM“, der die Form eines (motorisierten) Spazierstocks besitzt. Die zweite Version, der „Smart Walker PAMM“, wurde in Anlehnung an konventionelle Gehhilfen entwickelt und verfügt über omnidirektionalen Antrieb. Beide Systeme sollen älteren Menschen mit

Fortbewegungsproblemen aufgrund von körperlicher Gebrechlichkeit sowie alters- oder krankheitsbedingter Desorientierung körperliche Unterstützung und Führung geben. Die Benutzer können sich mit Hilfe der Stütze innerhalb gewohnter häuslicher Räumlichkeiten bewegen, wobei auftretende Hindernisse, wie Möbel oder Personen, automatisch umfahren werden.

Eine andere, von Hitachi in Japan entwickelte Gehhilfe /25/ gibt Unterstützung beim Aufstehen, Laufen und Hinsetzen. Bei der Entwicklung dieses Systems wurde besonderer Wert auf die sichere Navigation auch auf geneigten Ebenen gelegt (Steigungen bis zu 5°, kurzzeitig 10°, sind möglich). Als Gehhilfe dienen zwei elektrisch betriebene Armauflagen. Das Fahren und Steuern der Gehhilfe erfolgt durch Drücken, Ziehen und Drehen der Gehhilfestützen. Die Fahrgeschwindigkeit wird direkt aus den vom Benutzer ausgeübten Kräften generiert.

Ein weiteres System zur Unterstützung älterer und behinderter Personen in der Rehabilitation /23/ wurden am KAIST in Südkorea entwickelt.



Abb. 1. Intelligente Gehhilfesysteme PAM-AID, Smart Cane PAMM, sowie Prototypen von Hitachi und KAIST

Um blinden Menschen in neuen und unvorhersehbar strukturierten Umgebungen Orientierung zu geben, wurden verschiedene Arten von Gehhilfesystemen entwickelt /15/ /33/.

Der „Guide Cane“ /3/ ist das bekannteste dieser Systeme. Es besteht aus einem langen Haltegriff und einem „Sensorkopf“, der sich am Ende des Haltegriffs befindet.

Der Sensorkopf ist an einer zweirädrigen Achse montiert, deren Räder zwar motorgesteuert, jedoch nicht über einen Motor angetrieben sind. Ultraschallsensoren erkennen Hindernisse und steuern das Gerät um diese herum. Der Benutzer fühlt diese Steuerbefehle über den Haltegriff. Weitere Informationen über seine Umgebung erhält der Benutzer über akustische Ausgaben.

„Hitomi“ [19] ist ein weiterer Prototyp einer Navigationshilfe für Blinde. Er dient zur Orientierung, Fortbewegung und zum kartenbasierten Anfahren eines Ziels. Das System liefert Informationen über Hindernisse, den aktuellen Standort, Orientierungspunkte und über die weiteren Abschnitte der Route.

Die hier vorgestellten Gehhilfesysteme haben eins gemeinsam: Eine mobile Plattform wurde speziell als intelligenten Gehhilfe konstruiert. Eine noch größere Herausforderung ist es jedoch, eine Gehhilfe in einen mobilen Roboter zu integrieren, der gleichzeitig über zahlreiche weitere Funktionen verfügt. Damit ein solcher Roboter auch als Gehhilfe funktionieren kann, muss die Navigationssoftware dynamischen und geometrischen Restriktionen gerecht werden, ohne dabei jedoch die Fortbewegungsmöglichkeiten des Fahrzeugs grundlegend einzuschränken.

3. Systemvoraussetzungen

Um die Benutzung der intelligenten Gehhilfe möglichst nah an konventionelle Gehhilfesysteme anzupassen (Abb. 2), muss die Geometrie der am Roboter angebrachten Gehstützen den ergonomischen Anforderungen an konventionelle Gehhilfen entsprechen. Damit die Nutzung des Roboters als Gehhilfe möglichst intuitiv erfolgen kann, müssen die Kräfte, die auf den Roboter einwirken, in Bewegungsmuster umgewandelt werden, die denen eines nicht angetriebenen Gehhilfewagens entsprechen.



Abb. 2. Konventionelle Gehhilfesysteme

Die meisten konventionellen Gehhilfen bestehen aus einem Metallrahmen mit zwei Haltegriffen, auf die sich der Benutzer stützen kann. Für gewöhnlich haben sie drei oder vier Räder, die manchmal auch durch Gummistopper ersetzt werden, um ein Wegrollen der Gehhilfe zu verhindern. Gehhilfen mit Rädern sind oft mit Bremsen, ähnlich denen von Fahrrädern, ausgestattet. Unter den ausgereifteren Systemen gibt es Gehhilfen, deren Geschwindigkeit durch dem vom Benutzer ausgeübten Druck auf

das System beschränkt wird oder die über eine Möglichkeit zur Anpassung der Trägheit des Gesamtsystems verfügen. Ein Parkmodus zum Feststellen der Handbremse ist in vielen Gehhilfesystemen integriert.

Im allgemeinen wiegen konventionelle Gehhilfen zwischen 5 kg und 8 kg und können zum Transport zusammengeklappt werden. Die Höhe der Haltegriffe variiert zwischen 70 cm und 100 cm; allerdings kann der Benutzer die Höhe an einem System in der Regel nur um etwa 20 cm verändern. Der Abstand zwischen den Haltegriffen liegt zwischen 28 cm und 45 cm. Die meisten Gehhilfen lassen sich zu einem Sitz umwandeln, manchmal sogar mit Rückenlehne. Ein großer Teil der konventionellen Gehhilfen ist außerdem mit einem Einkaufskorb ausgestattet. Die Belastbarkeit der meisten Systeme liegt zwischen 80 kg und 130 kg.

Um die Kräfte und Momente, die auf eine konventionelle Gehhilfe während der Bewegung einwirken, zu messen, haben wir ein Testmodell, bestehend aus einer dreirädrigen Gehhilfe und einem Kraft-Momentsensor, der zwischen den Haltegriffen und der Basis der Gehhilfe montiert wurde, aufgebaut. Es wurde ein Feldversuch mit sechs Personen aus einem Pflegeheim durchgeführt, die mit der Gehhilfe eine S-förmige Teststrecke abfuhren (Abb. 3). Für diesen Test wurden nur Personen ausgewählt, die auch in ihrem täglichen Leben eine Gehhilfe benutzen.

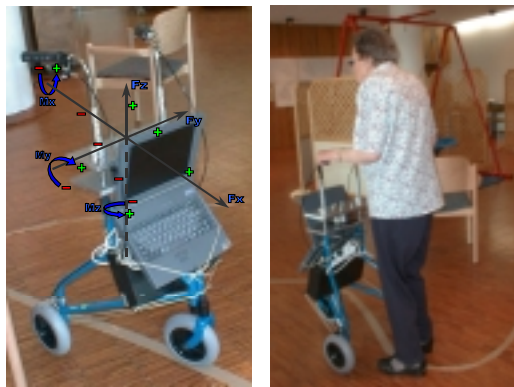


Abb. 3. Testplattform für Kraft- und Momentenmessungen

Aus den Testergebnissen ließen sich die folgenden Werte ablesen: Die durchschnittlich auf die Gehhilfe eingebrachten Kräfte (Stützfunktion) variierten zwischen 20 N und 80 N, in Abhängigkeit vom jeweiligen Benutzer. Maximale Kraftwerte zwischen 30 N und 120 N konnten beobachtet werden. Um die Gehhilfe in den Kurven zu drehen, wurden maximale Drehmomente zwischen 6 Nm und 13 Nm, sowie laterale Kräfte im Bereich von 10 N and 38 N ausgeübt. Einwirkende Kräfte in und entgegen der Bewegungsrichtung schwankten zwischen 10 N und 20 N. Um das Fahrzeug entlang seiner Route zu schieben wurden durchschnittliche Kräfte von etwa 2 N in Bewegungsrichtung festgestellt. Keine der Testpersonen benutzte die angebrachten Handbremsen, um das Fahrzeug am Ende der Teststrecke anzuhalten.

4. Die mobile Plattform Care-O-bot

Care-O-bot ist ein im Jahre 1998 entwickelter erster Prototyp eines mobilen Service-roboters, der in der Lage sein soll, nützliche Unterstützungs-, Sicherheits- und Versorgungsaufgaben im häuslichen Bereich durchzuführen /9/ /28/ /30/. Durch die Installation dreier auf derselben Plattform basierender Museumsroboter im Museum für Kommunikation Berlin im März 2000 hat Care-O-bot seine Fähigkeit bewiesen, sich sicher und verlässlich auch in von Menschen frequentierten Umgebungen zu bewegen /8/ /11/ /12/ /13/ /29/.

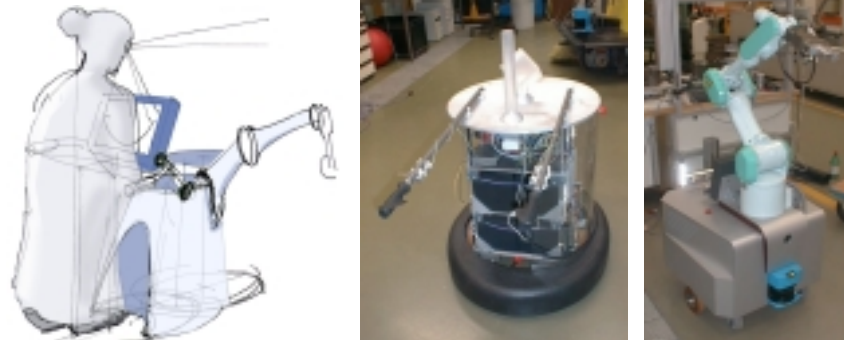


Abb. 4. Care-O-bot II Designskizze und Prototypen

Care-O-bot II (Abb. 4) wird mit einem Manipulatorarm und benutzerspezifisch einstellbaren Gehhilfestützen ausgestattet sein. Ein Prototyp des intelligenten Gehhilferoboters wurde bereits fertiggestellt. Als Stützen zum Aufstehen und Laufen wurden zwei Gehhilfearme integriert. Um die durch den Benutzer ausgeübten Kräfte auf die Stützen zu messen, wurden die Gehhilfegriffe mit Sensoren versehen (Abb. 5).



Abb. 5. Mit Sensor versehener Gehhilfegriff

5. Konzeption des Navigationssystems: Navigationsmodi

Zwei verschiedene Operationsmodi wurden auf der intelligenten Gehhilfe implementiert /13/: „Fahren nach Führung“ ermöglicht es dem Benutzer, den Roboter in eine gewünschte Richtung zu „schieben“. Im Modus „Fahren nach Plan“ folgt der Benutzer dem Roboter entlang eines geplanten Pfades zu einem vorher spezifizierten Ziel.

Im ersten Operationsmodus bewegt sich der Roboter ausschließlich aufgrund der Kräfte, die vom Benutzer in Fahrtrichtung auf die Gehhilfestützen ausgeübt werden.

Aufgrund von Fluktuationen der ausgeübten Kräfte müssen die gemessenen Sensorwerte gefiltert werden. In unserem Ansatz wird aus den gefilterten Werten direkt die Sollgeschwindigkeit des Roboters errechnet.

Beim Erkennen von Hindernissen in der Bewegungsrichtung des Roboters muss der errechnete Geschwindigkeitsvektor modifiziert werden, um eine Kollision des Roboters oder seines Benutzers mit diesem Hindernis zu vermeiden. Andererseits ist es wichtig, dass der Roboter nahe genug an Hindernisse herangeführt werden kann, z.B. um seinem Benutzer zu ermöglichen, Gegenstände von einer Ablage aufzunehmen.

Im zweiten Modus wird dem Roboter über die Benutzeroberfläche eine Zielposition vorgegeben. Anhand einer lokalen Karte plant und folgt der Roboter dem besten Weg zu diesem Ziel. Um die Sicherheit des Benutzers zu gewährleisten, müssen verschiedene Restriktionen berücksichtigt werden; so darf der Pfad zum Beispiel keine scharfen Kurven enthalten, da der Benutzer dieser Bewegung nicht folgen könnte. Die lineare Geschwindigkeit des Roboters wird auch in diesem Modus durch den Benutzer gesetzt. Eine Modifikation der geplanten Bahn aufgrund dynamischer Hindernisse oder Benutzereingaben (Kräfte, die eine rotatorische Bewegung des Roboters implizieren) kann außerdem stattfinden.

6. Realisation des intelligenten Gehhilfesystems

Um die optimalen Steuerparameter für die intelligente Gehhilfe leichter zu finden, wurden anfänglich die notwendigen Funktionalitäten des Roboters in zwei grundlegenden Operationsmodi realisiert (Abb. 6): Fortbewegung mit oder ohne ein vorgegebenes Ziel (mit oder ohne Wegplanung). In einem ersten Schritt fährt der Roboter für beide Operationsmodi mit konstanter Geschwindigkeit, nur die Bewegungsrichtung wird durch den Benutzer vorgegeben. Als zweiter Schritt werden sowohl die Geschwindigkeit als auch die Richtung vom Benutzer festgelegt.

Steuermodus	Geschwindigkeit	Richtung
1: Kein Ziel		
1a	Konstant	Benutzergesteuert
1b	Benutzergesteuert	Benutzergesteuert
2: Ziel angegeben		
2a	Konstant	Wegplanung
2b	Benutzergesteuert	Wegplanung
2c	Benutzergesteuert	Wegplanung, Modifikation durch Benutzereingabe

Abb. 6. Steuermodi

6.1 Direkte Steuerung des Roboters

In diesem Ansatz wird die Sollgeschwindigkeit für den Roboter direkt aus den Eingabedaten des Gehhilfesensors erzeugt (Modus 1b). Zur Berechnung der linearen und rotatorischen Geschwindigkeiten wurden mehrere Verfahren getestet. Wenn der Mittelwert aus beiden Sensorwerten zur Bestimmung der Lineargeschwindigkeit der Gehhilfe genommen wurde, führte dies zu zu schnellen Bewegungen des Roboters bei Drehungen auf der Stelle. Aus diesem Grund wird jetzt der jeweilige Minimalwert von beiden Werten verwendet. Der Rotationsfaktor der Robotergeschwindigkeit wird gemäß der Differenz aus den Eingabewerten beider Sensoren bestimmt. Mit s_l , s_r als die analogen Sensorwerte für den linken und den rechten Sensor, s_{max} als den Maximalwert für die Sensoren, können die Linear- und Rotationsgeschwindigkeiten v_{lin} und v_{rot} in Abhängigkeit von den Maximalgeschwindigkeiten v_{linmax} , v_{rotmax} also wie folgt errechnet werden:

$$v_{lin} = v_{linmax} * \min(s_l, s_r) / s_{max}$$
$$v_{rot} = v_{rotmax} * (s_l - s_r) / s_{max}$$

Während der Experimente wurden etwa 16 Werte pro Sekunde eingelesen. Aufgrund der fluktuierenden Eingabekräfte erschienen die Bewegungen des Roboters in den Tests nicht stabil. Deshalb wurden die Eingabekräfte der Sensoren gefiltert. Stabilere Resultate konnten durch Mittelung der letzten n Sensorwerte erzielt werden:

$$s = \frac{\sum_{i=0}^n s_i}{n}$$

Zu beachten ist, dass ein abruptes Stoppen des Roboters ($s_i=0$) separat behandelt werden muss. In diesem Fall ist kein „Nachschwingen“ des Fahrzeugs erlaubt, vielmehr muss die Gehhilfe zum Schutz des Benutzers sofort anhalten.

Es ist möglich einen konstanten Geschwindigkeitsmodus zu aktivieren (Modus 1a). In diesem Modus beschleunigt der Roboter gemäß der Eingabe des Benutzers nur bis zu einem bestimmten Prozentsatz der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit.

6.2 Reaktive Hindernisumfahrung

Zur Hindernisumfahrung während des direkten Steuern des Roboters wird die in /31/ vorgestellte PolarBug-Methode angewandt. Dieser Algorithmus wurde speziell zur Hinderniserkennung mit einem Laserscanner entwickelt. Er liefert eine effektive Methode zur schnellen Reaktion und Navigation in veränderlichen Umgebungen (Abb. 7).

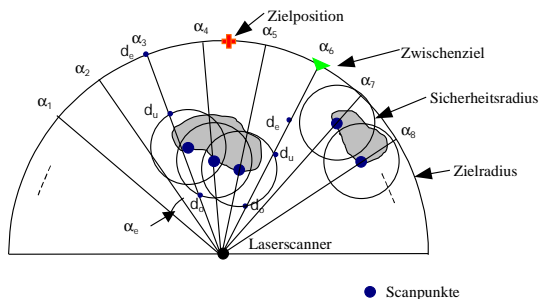


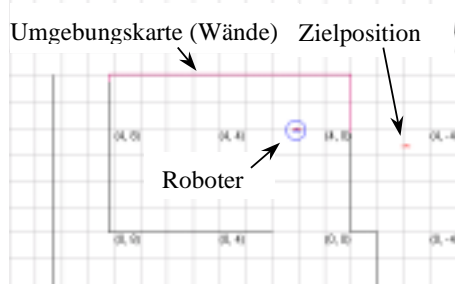
Abb. 7. Reaktive Hindernisumfahrung mit der PolarBug-Methode

6.3 Folgen eines geplanten Wegs

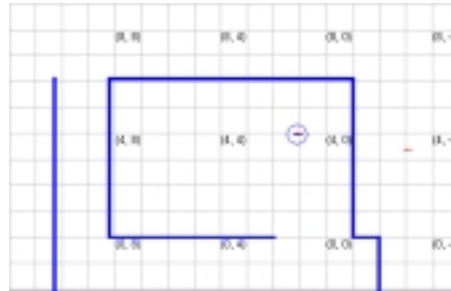
Zur Navigation in bekannten Umgebungen wurde ein intelligentes Bahnplanungssystem, basierend auf einer statischen Umgebungskarte des Roboters entwickelt (Abb. 8) /14/. Dies erlaubt es, die dynamischen Eigenschaften des Roboters während der Laufzeit zu setzen. Damit können unterschiedliche Wege generiert werden, abhängig davon, ob dem Roboter gerade eine Person folgt oder nicht.

Der Planer basiert auf einem Algorithmus, der in /17/ näher vorgestellt wird. Er verwendet eine global-lokale Strategie und löst das anstehende Problem im 2D Arbeitsraum des Roboters, ohne dabei den Konfigurationsraum zu generieren. Zuerst wird ein Visibility Graph konstruiert, um für einen punktförmigen Roboter den kürzesten, kollisionsfreien Weg zu finden. Als zweites wird der gefundene Weg dahingehend evaluiert, ob er sich als Referenz zum Erstellen eines machbaren Wegs für den mobilen Roboter eignet. Falls nicht, wird dieser Weg verworfen und der nächst kürzere Weg wird ausgewählt und evaluiert, solange bis ein geeigneter Referenzweg gefunden wird. Als dritter Schritt werden Roboterkonfigurationen entlang des ausgewählten Wegs so platziert, dass der Roboter von einer Konfiguration zur nächsten fahren kann und dabei alle in der Karte gegebenen Hindernisse umfährt.

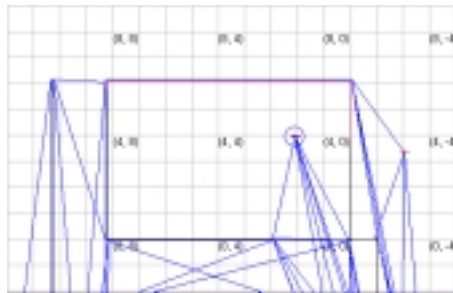
Startposition des Roboters und Umgebungskarte



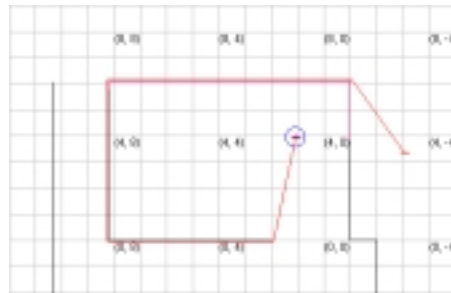
Stufe 1: Erkennung von Polygonen



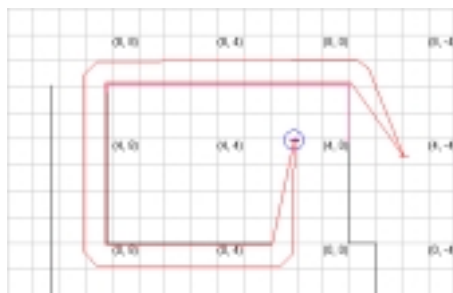
Stufe 2: Visibility Graph



Stufe 3: Kürzester Pfad



Stufe 4: Bahnmodifikation (Geometrie des Roboters)



Stufe 5: Bahnmodifikation (kinematische Restriktionen)

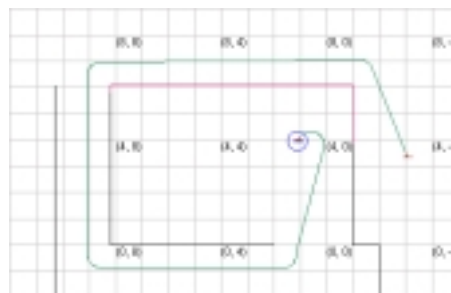


Abb. 8. Bahnplanung Schritt für Schritt

Der Algorithmus arbeitet entweder bei konstanter linearer Geschwindigkeit (Modus 2a) oder mit einer vom Benutzer über die Gehilfegriffe vorgegebenen (Modus 2b).

6.4 Reaktive Bahnmodifikation

Der Bahnplanungsalgorithmus wurde mit Hilfe einer Methode zur dynamischen Bahnmodifikation nach dem Verfahren elastischer Bänder /16/ /18/ erweitert. Diese Methode dient einerseits zur dynamischen Hindernisumfahrung (Abb. 9), andererseits um auch während des Abfahrens eines geplanten Pfades auf Eingaben des Benutzers zu reagieren (Modus 2c).

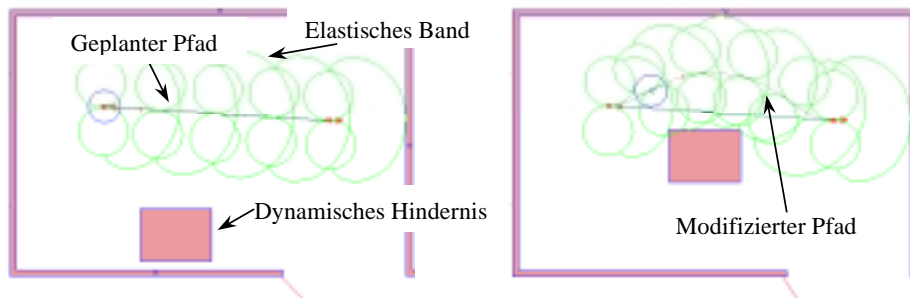


Abb. 9. Bahnmodifikation aufgrund eines dynamischen Hindernisses

7. Zusammenfassung und Ausblick

Ein Navigationssystem für einen intelligenten Gehhilferoboter wurde präsentiert. Zwei grundlegende Operationsmodi wurden auf der intelligenten Gehhilfe implementiert: „Fahren nach Führung“ ermöglicht es dem Benutzer, den Roboter in eine gewünschte Richtung zu „schieben“. Im Modus „Fahren nach Plan“ folgt der Benutzer dem Roboter entlang eines geplanten Pfades zu einem vorher spezifizierten Ziel.

Laufende Arbeiten beschäftigen sich mit der Implementierung und Test der vorgestellten Operationsmodi. Ein Mechanismus zum automatischen Aus- und Einfahren der Stützen ist derzeit in Konstruktion. Nach Fertigstellung der Mechanik sind ausführliche Praxistests des Roboters mit älteren Menschen in einem Altersheim geplant.

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten wurden teilweise im Rahmen des Leitprojekts MORPHA /25/ mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IL902G/9 gefördert.

8. Literatur

- /1/ AOK-Presseservice: „Senioren stellen im Jahr 2040 ein Drittel der Bevölkerung, Mit der Lebenserwartung steigt das Risiko der Pflegebedürftigkeit“, <http://www.aok.de/bv/bundesvb/presse/tba/gesund/691090548914388992.html>, 2000.
- /2/ Baltus, Gregory; Fox, Dieter; Gemperle, Francine; Goetz, Jennifer; Hirsch, Tad; Margaritis, Dimitris; Montemerlo, Mike; Pineau, Joelle; Roy, Nicholas; Schulte, Jamie; Thrun, Sebastian: „Towards Personal Service Robots for the Elderly.“ In: Proceedings of the Workshop on Interactive Robotics and Entertainment, Pittsburgh, 2000.
- /3/ Borenstein, Johann; Ulrich, Iwan: “The Guide Cane - A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians.” In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, 1997, pp. 1283-1288.
- /4/ Dario, P., Guglielmelli, E.; Laschi, C.; Teti, G.: “MOVAID: a mobile robotic system residential care to disabled and elderly people.” In: Proc. of the first MobiNet symposium, Athens, 1997, pp. 9-14.
- /5/ Dubowsky, Steven; Genot, Frank; Godding, Sara; Kozono, Hisamitsu; Skwersky, Adam; Yu, Haoyong; Yu, Long Shen: “PAMM - A Robotic Aid to the Elderly for Mobility Assistance and Monitoring.” In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, 2000, pp. 570 -576.
- /6/ Ettelet, E.; Furtwängler, R.; Hanebeck, U. D.; Schmidt, G.: “Design issues of a semi-autonomous robotic assistant for the health care environment.” In: Journal of Intelligent and Robotic Systems, 22nd Ed. (1998), pp. 191-209.
- /7/ Fiorini, Paolo; Ali, Khaled; Seraji, Homayoun: “Health Care Robotics: A Progress Report.” In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, 1997, pp. 1271-1276
- /8/ Fraunhofer IPA: “Entertainment Robotics Homepage”, <http://www.ipa.fhg.de/300/320/323/EntertainmentHome.php3>, 2001.
- /9/ Fraunhofer IPA: “Rehabilitation Robotics Homepage”, <http://www.ipa.fhg.de/300/320/323/RehaHome.php3>, 2001.
- /10/ Giuffrida, Francesco; Morasso, Pietro G.; Zaccaria, Renato: “PARTNER - a semi-autonomous mobile service robot in a wireless network for biomedical applications.” In: Technology for Inclusive Design and Equality (TIDE) Congress, Helsinki, 1998, pp. 342-345.
- /11/ Graf, B.; Baum, W.; Traub, A.; Schraft, R.D.: “Konzeption dreier Roboter zur Unterhaltung der Besucher eines Museums”. In: VDI-Berichte 1552, pp. 529-536, 2000.
- /12/ Graf, B.; Schraft, R.D.; Neugebauer, J.: “A Mobile Robot Platform for Assistance and Entertainment.” In Proceedings of ISR-2000, Montreal, pp. 252-253.
- /13/ Graf, B.: „Reactive Navigation of an Intelligent Robotic Walking Aid“. Angenommen zur ROMAN-2001.
- /14/ Graf, B., Hostalet Wandosell, J. M.: “ Flexible Path Planning for Nonholonomic Mobile Robots.” Angenommen zur Eurobot’01.

- /15/ Hine, Julian; Nooralahiyan, Amir: "Improving Mobility and Independence for Elderly, Blind and Visually Impaired People." In: Technology for Inclusive Design and Equality (TIDE) Congress, Helsinki, 1998.
- /16/ Jaouni, H.; Khatib, Maher; Laumond, J.P.: "Elastic Bands For Nonholonomic Car-Like Robots: Algorithms and Combinatorial Issues." In: 3rd International Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR'98), Houston, 1998.
- /17/ Jiang, Kaichun; Seneviratne, Lakmal D.; Earles, P.P. W. E.: "A shortest Path Based Path Planning Algorithm for Nonholonomic Mobile Robots." In: Journal of Intelligent and Robotic Systems, 24th Ed (1999), pp. 347-366.
- /18/ Khatib, Maher; Jaouni, H.; Chatila, R.; Laumond, J.P.: "Dynamic path modification for car-like nonholonomic mobile robots." In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, 1997, pp. 2920-2925.
- /19/ Kotani, Shinji; Mori, Hideo; Kiyohiro, Noriaki: "Development of the robotic travel aid HITOMI." In: Robotics and Autonomous Systems, 1996, pp. 119-128.
- /20/ Lacey, Gerard; Dawson-Howe, Kenneth M.: "Autonomous guide for the blind." In: The European Context for Assistive Technology, IOS Press, Amsterdam, 1995, pp. 294-297.
- /21/ Lacey, Gerard; Dawson-Howe, Kenneth M.: "The application of robotics to a mobility aid for the elderly blind." In: Robotics and Autonomous Systems, 23rd Ed. (1998), pp. 245-252.
- /22/ Latombe, J.-C.: "Robot Motion Planning", Kluwer Academic Publishers, UK, 1996.
- /23/ Lee, Choon-Young; Lee, Ju-Jang: „Walking-Support Robot System for Walking Rehabilitation: Design and Control“.
- /24/ MacNamara, Shane; Lacey, Gerard: "A Smart Walker for the Frail Visually Impaired." In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, 2000, pp. 1354-1359.
- /25/ "MORPHA – intelligente antropomorphe Assistenzsysteme", <http://www.morpha.de>, 2001.
- /26/ Nemoto, Yasuhiro; Egawa, Saku; Koseki, Atsushi; Hattori, Shizuko; Fujie, Masakatsu: "Power Assist Control for Walking Support System." In: IEEE International Conference on Advanced Robotics, Tokyo, 1999, pp. 15-18.
- /27/ Neveryd, Hakan; Blomsjö, Gunnar: "WALKY, an ultrasonic navigating mobile robot for the disabled." In: Technology for Inclusive Design and Equality (TIDE) Congress, Paris, 1995, pp. 366-378.
- /28/ Schaeffer, C.; May, T.: "Care-O-bot: A System for Assisting Elderly or Disabled Persons in Home Environments". In Proceedings of AAATE-99, Düsseldorf, 1999, pp. 340-345.
- /29/ Schraft, R.D.; Graf, B.; Traub, A.; John, D.: „A Mobile Robot Platform for Assistance and Entertainment“. In Industrial Robot Journal, Vol. 28, 2001, pp. 29-34.
- /30/ Schraft, R.D.; Neugebauer, J.; Schaeffer, C.; May, T.: "Care-O-bot : Ein technisches Hilfssystem für unterstützungs- und pflegebedürftige Personen im häuslichen Bereich". In: Wörn, Heinz (Hrsg.); Dillmann, Rüdiger (Hrsg.); Henrich, Dominik (Hrsg.): Autonome Mobile Systeme: 14. Fachgespräch, Karlsruhe, Berlin; Heidelberg: Springer, 1998, S. 234-244

- /31/ Schraft, R.D; Graf, B.; Traub, A.; John, D.: „PolarBug – ein effizienter Algorithmus zur reaktiven Hindernisumfahrung“. In Proceedings of AMS 2000.
- /32/ Song, Won-Kyung; Lee, Heyoung; Bien, Zeungnam: “KARES: Intelligent wheelchair-mounted robotic arm system using vision and force sensor.” In: Robotics and Autonomous Systems , 28th Ed. (1999), pp. 83-94.
- /33/ Storthotte,Thomas; Johnson, Valerie; Petrie, Helen; Douglas, Graeme: “Evaluation of an orientation and navigation aid for visually impaired travellers.” In: Technology for Inclusive Design and Equality (TIDE) Congress, Helsinki, 1998.
- /34/ Takahashi, Yoshiyuki; Komeda, Takashi; Uchida, Tateki; Miyagi, Masao; Koyama, Hiroyuki; Funakubo, Hiroyasu: “Development of the mobile robot system to aid the daily life for physically handicapped Interface using internet browser.” In: Technology for Inclusive Design and Equality (TIDE) Congress, Helsinki, 1998.
- /35/ Topping, Michael J.; Smith, Jane K.: “Handy 1- A Rehabilitation Robotic System For The Severely Disabled.” In Proceedings of ISR-2000, Montreal, pp. 254-257.