

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 Pflegeassistenten, 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 Gehhilfe möglichst intuitiv zu gestalten, wurde die Form der Benutzung an konventionelle Gehhilfesysteme angepasst. Als Verbesserung gegenüber konventionellen Gehhilfesystemen sind intelligente Verhaltensweisen wie autonome Hindernisumfahrung und intelligente Bahnplanung integriert.

1. Einleitung

Care-O-bot[®] ist ein erster Prototyp eines mobilen Serviceroboters, der in der Lage sein soll, nützliche Unterstützungs-, Sicherheits- und Versorgungsaufgaben im häuslichen Bereich durchzuführen /1/. 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 /3/ /4/.



Abb. 1. Care-O-bot[®] II Designskizze und Prototypen

Care-O-bot[®] II (Abb. 1) 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. 2).



Abb. 2. Mit Sensor versehener Gehhilfegriff

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. Das „*Handy 1*“ - System /13/ zum Beispiel unterstützt Schwerstbehinderte in verschiedenen Bereichen des täglichen Lebens. „*Moveaid*“ /1/ ist ein mobiler Manipulator, der als Pflegesystem für den häuslichen Bereich konzipiert wurde.

Nur wenige Systeme sind darauf ausgelegt, älteren und gebrechlichen Menschen auch eine Unterstützung zum sicheren Aufstehen und Gehen zu bieten. Das „*PAM-AID*“ System /9/ 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. Auf motorisierten Antrieb wurde verzichtet, jedoch können die beiden Vorderräder – z.B. zur Umfahrung von Hindernissen – mit einem Motor gesteuert werden.

Zwei Prototypen des Gehhilfesystems „*PAMM*“ /2/ wurden in den letzten Jahren 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, automatische umfahren werden.

Eine andere, von Hitachi /10/ entwickelte Gehhilfe, gibt Unterstützung beim Aufstehen, Laufen und Hinsetzen. 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.

Die hier vorgestellten Gehhilfesysteme haben eins gemeinsam: Eine mobile Plattform wurde speziell als intelligente 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 Fortbewegung des Benutzers grundlegend einzuschränken.

3. Systemvoraussetzungen

Um die Benutzung der intelligenten Gehhilfe möglichst nah an konventionelle Gehhilfesysteme anzupassen, 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. Um die Kräfte und Momente, die auf eine konventionelle Gehhilfe während der Bewegung einwirken, zu messen, wurde 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).



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. Navigationsmodi

Zwei verschiedene Operationsmodi wurden auf der intelligenten Gehhilfe implementiert /5/: „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. Beim Erkennen von Hindernissen in der Bewegungsrichtung des Roboters muss der aus den Sensorwerten errechnete Geschwindigkeitsvektor modifiziert werden, um eine Kollision zu vermeiden.

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 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.

5. Realisierung des intelligenten Gehhilfesystems

Um die optimalen Steuerparameter für die intelligente Gehhilfe leichter zu finden, wurden die beschriebenen Operationsmodi für den Roboter weiter unterteilt. 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.

Modus	Geschwindigkeit	Richtung
1: Fahren nach Führung		
1a	Konstant	Benutzergesteuert
1b	Benutzergesteuert	Benutzergesteuert
2: Fahren nach Plan		
2a	Konstant	Wegplanung
2b	Benutzergesteuert	Wegplanung
2c	Benutzergesteuert	Wegplanung, Modifikation durch Benutzereingabe

Abb. 4. Operationsmodi

Fahren nach Führung

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 wird der Minimalwert aus beiden Sensorwerten 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:

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

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.

Reaktive Hindernisumfahrung

Zur Hindernisumfahrung während des Fahren nach Führung wird die in /12/ 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.

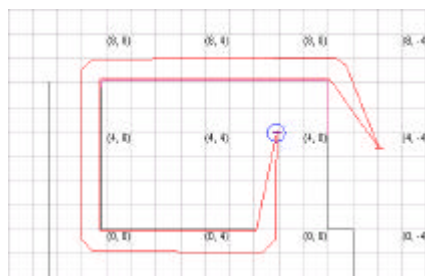
Fahren nach Plan

Zur Navigation in bekannten Umgebungen wurde ein intelligentes Bahnplanungssystem, basierend auf einer statischen Umgebungskarte des Roboters entwickelt (Abb. 5) /6/. 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 /8/ 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.

Pfad für Roboter ohne kinematische Restriktionen



Pfad für Roboter mit limitiertem Drehwinkel

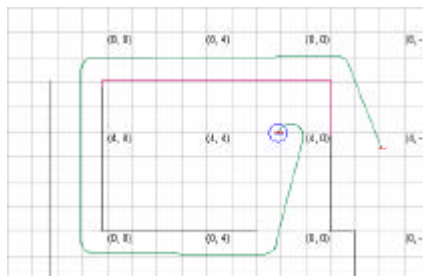


Abb. 5. Beispiele der Bahnplanung

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

Reaktive Bahnmodifikation

Der Bahnplanungsalgorithmus wurde mit Hilfe einer Methode zur dynamischen Bahnmodifikation nach dem Verfahren elastischer Bänder [7] erweitert. Diese Methode dient einerseits zur dynamischen Hindernisumfahrung (Abb. 6), andererseits um auch während des Abfahrens eines geplanten Pfads auf Eingaben des Benutzers zu reagieren (Modus 2c).

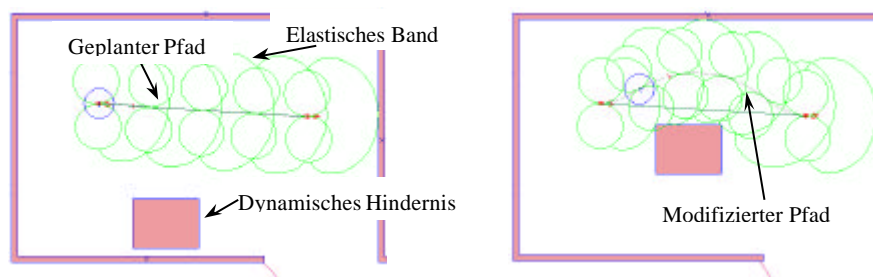


Abb. 6. Bahnmodifikation aufgrund eines dynamischen Hindernisses

6. Literatur

- /1/ 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 Mo-biNet symposium, Athens, 1997, pp. 9-14.
- /2/ 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.
- /3/ 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.
- /4/ Graf, B.; Schraft, R.D.; Neugebauer, J.: "A Mobile Robot Platform for Assistance and Entertainment." In Proceedings of ISR-2000, Montreal, pp. 252-253.
- /5/ Graf, B.: „Reactive Navigation of an Intelligent Robotic Walking Aid“. Angenommen zur ROMAN-2001.
- /6/ Graf, B., Hostalet Wandosell, J. M.: "Flexible Path Planning for Nonholonomic Mobile Robots." Angenommen zur Eurobot'01.
- /7/ 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.
- /8/ Jiang, Kaichun; Seneviratne, Lakmal D.; Earles, PP. 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.
- /9/ 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.
- /10/ 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.
- /11/ 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.
- /12/ Schraft, R.D; Graf, B.; Traub, A.; John, D.: „PolarBug – ein effizienter Algorithmus zur reaktiven Hindernisumfahrung“. In Proceedings of AMS 2000.
- /13/ 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.