

Technische Hilfen ermöglichen selbständiges Leben

Dipl.-Inf. Birgit Graf, Fraunhofer IPA, Stuttgart

Dipl.-Ing. Christoph Schaeffer, MBA, Fraunhofer IPA, Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl, Fraunhofer IPA, Stuttgart

Kurzfassung

Neben der zentralen Rolle moderner IuK in Geräte-, Unterhaltungs-, Sicherheits- und Haustechnik wird diskutiert, welche Rolle zukünftig Roboter- und Assistenztechnologien im Bereich AAL spielen werden. Eine der Entwicklungen des Fraunhofer IPA, der Serviceroboter Care-O-bot[®], ist der Prototyp eines multifunktionalen Heim- und Pflegeassistenten, zur Unterstützung von gehbehinderten und pflegebedürftigen Personen.

Care-O-bot[®] ermöglicht es künftig Betroffenen, trotz ihrer körperlichen Einschränkung, weiterhin selbständig in der heimischen Umgebung zu wohnen. Um den Umgang mit dem intelligenten Assistenzsystem möglichst intuitiv zu gestalten, wurde z.B. die Art und Weise der Mobilitätsunterstützung an konventionelle und bewährte Gehhilfesysteme angepasst. Als Verbesserung gegenüber konventionellen Gehhilfesystemen sind intelligente Verhaltensweisen wie autonomes Hindernisausweichen und intelligente Bahnplanung integriert.

Weitere wesentliche Unterstützungsfunktion von Care-O-bot[®] ist die Durchführung von Hol- und Bringdiensten zur Versorgung der Betroffenen mit Getränken oder Mahlzeiten am Bett.

Durch die geeignete Kopplung von Assistenzrobotern mit der Iuk der intelligenten Wohnumgebung können z.B. direkt ambulante Dienste oder auch die Familie informiert werden, wenn externe Hilfe notwendig wird.

1 Ausgangssituation und Bedarf

Weltweit erhöhen sich drastisch die volkswirtschaftlichen Aufwendungen für Gesundheit und Pflege. 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 2050, so die Prognose des Statistischen Bundesamtes, wird ein Drittel älter als 60 Jahre, davon 12 % 80 Jahre und älter sein (Quelle: www.destatis.de).

Getreu dem Grundsatz „Ambulante Pflege vor stationärer Pflege“ besteht ein grundlegender Bedarf an neuen Pflegekonzepten sowie an unterstützenden technischen Hilfsmitteln, die es den betroffenen Menschen ermöglichen, eigenständig und doch betreut in ihrer heimischen Umgebung wohnen zu können. Als Antwort auf diesen Bedarf technologischer Lösungen wurde vom Fraunhofer IPA in Stuttgart der Versuchsträger Care-O-bot[®] konzipiert und aufgebaut. Der mobile Roboterassistent führt Unterstützungs-, Sicherheits- und Versorgungsaufgaben im häuslichen Bereich durch, wie z.B. die Versorgung mit Essen und Getränken am Bett oder ermöglicht auch das sichere und sturzfreie Führen durch die eigene Wohnung /28/.

1.1 Abhilfe durch innovative technische Assistenzsysteme

Technische Systeme sollen Unterstützung und Sicherheit im Ablauf des täglichen Lebens sowie Anleitung

zur Eigeninitiative bieten. Hieraus ergeben sich für mobile Assistenzroboter im privaten Wohnumfeld die folgenden sinnvollen Funktionen und Aufgaben:

Kommunikation und soziale Integration:

- Kommunikation mit medizinischen und öffentlichen Einrichtungen (Telemedizin, Ärzte, Behörden, etc.),
- Automatischer Notruf,
- Management persönlicher Kontakte,
- Medienmanagement (Bildtelefon, Fernseher, Musikanlagen, interaktive Medien etc.),
- Sprachausgabe und -kommandierung als natürliche und intuitive Bedienschnittstelle,
- Touchscreen-Bedienpanel mit online Kamerabild vom Roboter 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, Aufräumen von Gegenständen etc.

Handhabungshilfe / Holen und Tragen:

- Bringen von Gegenständen wie Bücher, Fernbedienung, Arzneimittel 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, Übungen, Termine 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, Motivation),
- Erkennung von kritischen / fehlenden Lebenszeichen oder anormaler Tagesabläufe,
- Alarmfunktionen in Form von automatischen Rufsystemen, um Nachbarn, lokale Hilfs- und Notdienste nach Bedarf benachrichtigen zu können (Informationsruf, Hilferuf, Notruf),
- Erkennung möglicher Gefahren (Rauchentwicklung, Wasser, Gas, fremde Personen).

2 Existierende Assistenzsysteme

Schon in den 90er Jahre haben die ersten Forschungseinrichtungen damit begonnen, Prototypen von intelligenten Robotersystemen zu entwickeln, die die Lebensqualität älterer und behinderter Menschen im häuslichen Bereich verbessern sollen /6/ /7/ /10/ /18/ /26/ /22/ /27/. Das „Handy 1“ - System /8/ 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. „Nursebot“ /2/ ist der Prototyp eines persönlichen Assistenzsystems für ältere und behinderte Menschen.

Neben der Handhabungsunterstützung spielt die Unterstützung zum sicheren Aufstehen und Gehen eine wichtige Rolle bei der Förderung der Selbstständigkeit älterer und gebrechlicher Menschen zu bieten. Dies kann zum Beispiel durch die Verbesserung bereits bestehender Gehhilfesysteme erreicht werden – durch die Integration sensorbasierter autonomer Navigation. Der Stand der Technik stellt verschiedene intelligente Gehhilfesysteme bereit (Bild 1): „PAM-AID“ /21/, entwickelt am Trinity College in Dublin, ist eine intelligente Gehhilfe für gebrechliche, blinde und sehbehinderte Menschen. Ähnlich den konventionellen Gehhilfen besteht das Gerät aus einem Metallrahmen mit zwei Haltegriffen, auf die sich der Benut-

zer 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. Unter dem Namen „Guido“ wird dieses System inzwischen kommerziell vertrieben. Zwei Prototypen des Gehhilfesystems „PAMM“ /5/ wurden 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. 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. 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.



Bild 1 Intelligente Gehhilfesysteme „Smart Walker PAMM“, „Guido“ sowie Prototyp von Hitachi

Um blinden Menschen in neuen und unvorhersehbar strukturierten Umgebungen Orientierung zu geben, wurden verschiedene Arten von Gehhilfesystemen entwickelt /15/ /21/. 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.

3 Anforderungen an intelligente Gehhilfesysteme

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 (Bild 2). 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.



Bild 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 ausgereiften 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.

In der Regel 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. 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, wurde am Fraunhofer IPA 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 abfahren

(Bild 3). Für diesen Test wurden nur Personen ausgewählt, die auch in ihrem täglichen Leben eine Gehhilfe benutzen.



Bild 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 und 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 Der mobile Roboterassistent Care-O-bot®

Care-O-bot® (Bild 4) ist ein am Fraunhofer IPA entwickelter Prototyp eines mobilen Roboterassistenten, mit der Zielsetzung, nützliche Unterstützungs-, Sicherheits- und Versorgungsaufgaben im häuslichen Bereich durchzuführen /9/ /28/ /30/ /32/.

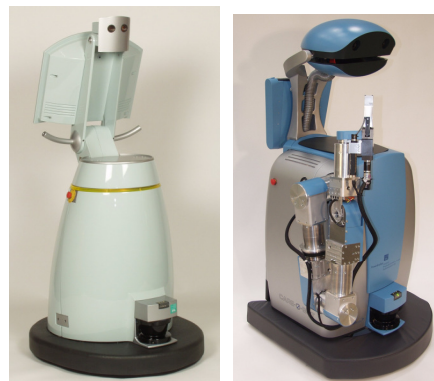


Bild 4 Care-O-bot® Prototypen

Der erste Care-O-bot[®] Prototyp wurde 1998 entwickelt. Durch die Installation dreier auf derselben Plattform basierender Museumsroboter im Museum für Kommunikation in Berlin, im März 2000, hat Care-O-bot[®] seine Fähigkeit bewiesen, sich sicher und verlässlich auch in von Menschen stark frequentierten Umgebungen zu bewegen /11/ /12/ /13/ /29/.

Care-O-bot[®] II, aufgebaut im Jahr 2002, besitzt zusätzlich einen Arm mit 6 Freiheitsgraden und einer Reichweite von ca. 1m. Damit kann der 1,48 m große Roboter typische Haushaltsgegenstände bis 2 kg Gewicht greifen und transportieren. Die Umgebung nimmt Care-O-bot[®] II über seinen schwenkbaren Sensorkopf, ausgestattet mit Kameras und Laserscanner, wahr. Die Daten werden mit Objekteigenschaften aus einer Datenbank verglichen. Damit kann der Roboter selbständig bestimmte Gegenstände erkennen und greifen. An der Hand befindet sich ein weiteres Kamerasystem, um den Griff genau zu überwachen und zu präzisieren. Bedient wird Care-O-bot[®] II über ein abnehmbares Funkpanel mit Touchscreen. So kann der Benutzer die Aktionen des Roboters auch dann überwachen, wenn er sich nicht im selben Raum aufhält. Ebenfalls zum Bedienpanel gehört ein Mikrofon für Sprachbefehle.

An der Rückseite des Care-O-bot[®] II sind zwei Gehhilfestützen angebracht, die bei Einsatz des Roboters als roboterbasierte Gehhilfe automatisch ausgefahren und entsprechend den Bedürfnissen des Benutzers in der Höhe angepasst werden können. Für das Messen der eingebrachten Benutzerkräfte sind die Griffe der Gehstützen mit Sensoren versehen (Bild 5).

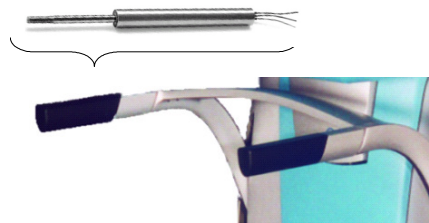


Bild 5 Mit Sensoren versehene Gehhilfestützen

5 Realisierung der Gehhilfefunktion

Im Betrieb als intelligente Gehhilfe soll Care-O-bot[®] sowohl das selbstständige Planen und Führen des Benutzers zu einem vorgegebenen Ziel als auch das Rangieren auf kurzen Strecken ermöglichen. Diese beiden unterschiedlichen Fahrfunktionen wurden in zwei verschiedene Betriebsmodi der Gehhilfesteu-erung, dem „benutzergesteuerten Modus“ und dem „Zielführungsmodus“ realisiert /13/. Im benutzergesteuerten Modus werden über das Interaktionssystem eingegebene Geschwindigkeits- und Richtungsvorgaben des Benutzers direkt in Fahrgeschwindigkeiten

des Roboters umgesetzt. Im Zielführungsmodus wird über das Interaktionssystem ein Ziel vorgegeben, zu dem der Roboter dann selbstständig den Weg plant. Die Fahrgeschwindigkeit des Roboters beim Abfahren des errechneten Wegs entspricht auch hier den über das Interaktionssystem eingegebenen Geschwindigkeitsvorgaben des Benutzers wohingegen die Fahr-richtung durch den geplanten Pfad vorgegeben wird. Dieser kann zusätzlich aufgrund erkannter Hindernisse oder abweichender Richtungsvorgaben des Benutzers modifiziert werden.

5.1 Bahnplanung und -optimierung im Zielführungsmodus

Im Zielführungsmodus plant der Roboter selbstständig einen optimalen Pfad zu einem vorgegebenen Ziel. Für den Transfer zwischen verschiedenen Stockwerken wird die Benutzung von Aufzügen und Rampen berücksichtigt. Die Planung wurde für Gehhilferoboter ohne uns für Gehhilferoboter mit kinematischen Einschränkungen (z.B. Benutzerposition außerhalb des Drehzentrums) realisiert. Für die Glättung des geplanten Pfads wird die Methode elastischer Bänder /16/ /18/ eingesetzt.

Der, für die globale Planung ohne kinematische Einschränkungen auf Care-O-bot[®] II realisierte Algorithmus basiert auf der Potentialfeldmethode. Bild 6 zeigt ein Beispiel für die Bahnplanung mit Hilfe der Potentialfeldmethode in einem Altenheim. Bild 7 zeigt den zugehörigen, mittels der Methode elastischer Bänder geglätteten, kollisionsfreien Pfad.

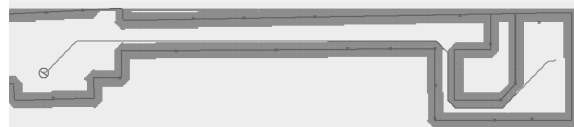


Bild 6 Mit Hilfe eines Potentialfeldplaners errechneter Pfad

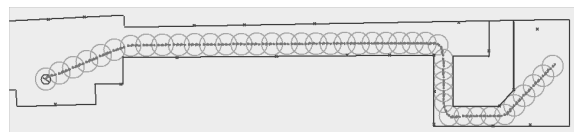


Bild 7 Mittels eines elastischen Bands optimierter Pfad für einen holonomen Roboter

Für die globale Planung mit limitiertem Drehwinkel wird ein mehrstufiges Konzept, basierend auf der in /17/ vorgestellten Errechnung des Sichtbarkeitsgraphen mit einer nachfolgenden Evaluierung und Anpassung des Roboterpfades an die geometrischen und kinematischen Eigenschaften des Roboters eingesetzt. Bild 8 zeigt ein Beispiel für die Bahnplanung mit dieser Methode in der graphischen Benutzeroberfläche der Plattformsteuerung. Dabei ist sowohl der ausgewählte Referenzweg als auch der anhand des gegebenen Kollisionsradius sowie der Einschränkung des

Drehradius modifizierte Pfad dargestellt. Bild 9 zeigt den zugehörigen, mittels der Methode elastischer Bänder glätteten, kollisionsfreien Pfad.

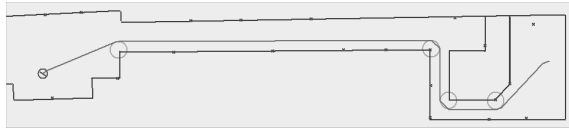


Bild 8 Für einen Roboter mit maximalem Drehwinkel von 50 Grad errechneter Pfad

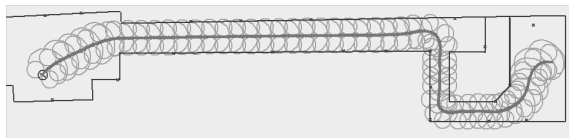


Bild 9 Mittels eines elastischen Bands optimierter Pfad für ein einen Roboter mit maximalem Drehwinkel von 50 Grad

5.2 Echtzeit-Bahnmodifikation

Das Verfahren elastischer Bändern wurde um Funktionen zur Anpassung des geplanten Bewegungspfad an die Eingaben des Benutzers erweitert. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: Sind keine Wände oder mögliche Zwischenziele in der vom Benutzer vorgegebenen Bewegungsrichtung erkennbar, findet eine direkte Bahnmodifikation statt (Bild 10), ansonsten kann eines der Bewegungsverhalten »Wandnahes Fahren« (Bild 11) oder »Anfahren eines Zwischenziels« (Bild 12) aktiviert werden. Zeigt die vorgegebene Bewegungsrichtung auf die andere Seite eines Hindernisses als der geplante Pfad, wird eine Neuplanung des Pfads in dieser Richtung durchgeführt (Bild 13).

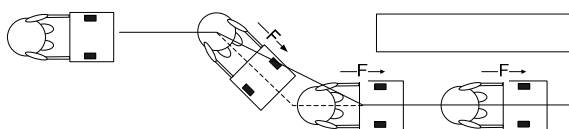


Bild 10 Direkte Bahnmodifikation: Der Pfad wird einmalig entsprechend der aktuellen Benutzereingaben geändert

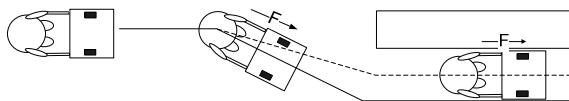


Bild 11 Wandnahes Fahren: Der Pfad wird nahe der Wand entlang geführt, bis das Ende der Wand erreicht ist

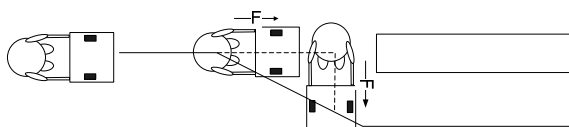


Bild 12 Anfahren von Zwischenzielen: Der Pfad wird modifiziert, so dass er möglichst nahe am vorgegebenen Zwischenziel vorbeiführt

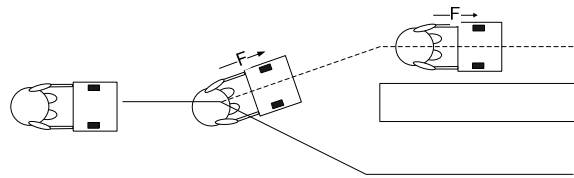


Bild 13 Neuplanung des Pfads falls der Benutzer auf einer anderen als der ursprünglich vorgesehenen Seite um ein Hindernis herumfahren will

6 Fazit und Ausblick

Ein großer Teil der Bevölkerung ist speziell im höheren Lebensalter auf Hilfe, Unterstützung, Pflege und technische Hilfsmittel angewiesen. Roboterassistenzsysteme werden künftig eine der Möglichkeiten sein, um Bedürftigen das eigenständige, sichere Leben in den eigenen vier Wänden zu ermöglichen. Neben Hol- und Bringdiensten ist vor allem die Mobilitätsunterstützung zum sicheren und sturzfreien Gehen und Führen durch die Wohnung eine der wesentlichen Grundfunktionen.

Das Fraunhofer IPA hat ein Navigationssystem zur Mobilitätsunterstützung von gehbehinderten Personen konzipiert, aufgebaut und getestet. Zwei grundlegende Operationsmodi wurden auf der intelligenten Gehhilfe Care-O-bot® implementiert: Der „benutzergesteuerte Modus“ ermöglicht es dem Benutzer, den Roboter in eine gewünschte Richtung zu „schieben“. Im „Zielführungsmodus“ folgt der Benutzer dem Roboter entlang eines geplanten Pfades zu einem vorher spezifizierten Ziel.

Ausführliche Praxistests des Roboters mit gehbehinderten Menschen wurden in mehreren Altenheimen im Stuttgarter Raum durchgeführt. Die Ergebnisse der Tests und der Zuspruch der Betroffenen bestätigen die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges /33/ /34/.

Laufende Arbeiten beschäftigen sich mit der Weiterentwicklung der Gehhilfe /36/, des Handhabungsarmes, der Greifhand sowie der intelligenten Handlungsplanung /35/ sowie verbesserter Bedienerschnittstellen zur Kommandierung und Kommunikation.

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Rahmen des BMBF-Leitprojekts MORPHA /25/ gefördert. Weiterführende Arbeiten finden im BMBF-Projekt DESIRE (www.service-robotik-initiative.de/) sowie den EU-Projekten COGNIRON (www.cogniron.org) und SMERobot (www.smerobot.org) statt. An der Konzeption und Entwicklung von Care-O-bot® 3 wird derzeit am Fraunhofer IPA gearbeitet. Zielsetzung ist der Aufbau einer kleinen handlichen Plattform mit erweiterten Funktionalitäten.

7 Literatur

- /1/ Schraft, Rolf Dieter; Hägele, Martin; Wegener, Kai; et.al.: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: **Service Roboter Visionen**. München; Wien: Hanser, 2004
- /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/ Etelet, 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/ 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.
- /9/ Fraunhofer IPA: **Rehabilitation Robotics Homepage**, http://www.ipa.fhg.de/Arbeitsgebiete/robotersysteme/service/service_reha.php, 2007.
- /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**. ROMAN-2001.
- /14/ Graf, B., Hostalet Wandosell, J. M.: **Flexible Path Planning for Nonholonomic Mobile Robots**. Eurobot 2001.
- /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 Non-holonomic 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/ 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.
- /20/ 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.
- /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/ Takahashi, Yoshiyuki; Komeda, Takashi; Uchida, Tateki; et. al.: **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.
- /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>, 2007.
- /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 Hilffssystem 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
- /32/ Schaeffer, Christoph; Hans, Matthias: **Care-O-bot II - die nächste Generation**. In: Technische Rundschau 94 (2002), Nr. 16, S. 34
- /33/ Graf, Birgit; Hans, Matthias; Schraft, Rolf Dieter: **Care-O-bot II - Development of a Next Generation Robotic Home Assistant**. In: Autonomous Robots 16 (2004), Nr. 2, S. 193-205
- /34/ Graf, Birgit; Hans, Matthias: **Der intelligente Roboter zieht ins smarte Haus**. In: Technische Rundschau 96 (2004), Nr. 7, S. 98-100
- /35/ Hans, Matthias: **The Control Architecture of Care-O-bot II**. In: Prassler, Erwin (Ed.) u.a.: *Advances in Human-Robot Interaction*. Berlin u.a.: Springer, 2005, S. 321-330 (Springer Tracts in Advanced Robotics - STAR 14).
- /36/ Graf, Birgit; Schraft, Rolf Dieter: **Behaviour-based Path Modification for Shared Control of Robotic Walking Aids**. In: Driessen, Bart (General Chair / Ed.) u.a.; Nederlandse Centrale Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek u.a.: *Robots care*. ICORR '07 / CD-ROM: 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 12 - June 15, 2007, Noordwijk, Netherlands. Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, 2007, S. 317-322