

SERROGA: Servicerobotik für die Gesundheitsassistenz im nutzerzentrierten Entwurf^{*}

Andrea Scheidig, Christof Schröter, Michael Volkhardt, Steffen Müller, Klaus Debes,
Horst-Michael Gross

Fachgebiet Neuroinformatik und Kognitive Robotik, Technische Universität Ilmenau, 98684
Ilmenau, Germany

Nicola Döring, Katja Richter

Fachgebiet Medienpsychologie und Medienkonzeption, Technische Universität Ilmenau, 98684
Ilmenau, Germany

Kurzfassung

In diesem Beitrag werden die Zielstellungen der Forschergruppe SERROGA zur Umsetzung einer robotergestützten Gesundheitsassistenz anhand praktisch zu realisierender Demonstratoren vorgestellt. Die in den Demonstratoren *Sekretär* und *Bewegungsmotivator* enthaltenen Funktionen wurden unter dem Gesichtspunkt des praxistauglichen Langzeiteinsatzes eines sozialen Assistenzroboters in einer häuslichen Umgebung gewählt. Außerdem sollten die roboterspezifischen Anwendungen explizit von der Mobilität und Körperlichkeit des Roboters Gebrauch machen. Die bislang sowohl unter Laborbedingungen als auch in realen häuslichen Einsatzumgebungen erreichten Ergebnisse werden selbstkritisch dargestellt und aus technischer und sozialwissenschaftlicher Sicht betrachtet.

Abstract

This paper describes the aims of the research group SERROGA concerning the implementation of a robot-based health assistance by using demonstrators to be done in practice. Functions of the demonstrators *Secretary* and *Physical Activator* were carefully chosen with the practicability at a long-term use of a robot companion in home environments in mind. Furthermore, the robot-specific applications explicitly make use of the mobility and the embodiment of the robots. Results achieved so far both under lab conditions and in real-world home environments are presented self-critically and considered from the technical and social science point of view.

1 Problemstellung

Die heutige Service- und Assistenzrobotik bietet bereits umfangreiche Möglichkeiten zur Verbesserung der Lebenssituation älterer Menschen, insbesondere zur Unterstützung einer selbstbestimmten Lebensweise im Alter. Voraussetzung dafür ist die Bereitstellung und zielgruppenspezifische Aufbereitung bedarfsgerechter Dienstleistungen. So wird in einer aktuellen Studie im Auftrag des VDE zu den von älteren Menschen gewünschten alltäglichen Einsatzgebieten von Servicerobotik dem Konzept eines „Gesundheitsroboters“ besonders hohe Akzeptanz bescheinigt, der „das gesundheitliche Monitoring übernimmt, an Medikamente, Geburtstage und Termine erinnert, zur gesundheitlichen Prävention animiert, den Kontakt zu Freunden und Verwandten erleichtert, Zeitungsberichte oder Gedichte vorliest, Notizen und Einkaufslisten verwaltet und auch als Fitness-Animator einsetzbar ist“ [1].

Die Entwicklung einer solchen robotergestützten Gesundheitsassistenz bildet den Rahmen und das inhaltliche Ziel für die Forschergruppe SERROGA (**SERVICE-RO**botik für die **GESUNDHEITS**Assistenz) mit einer Laufzeit von Mai

2012 bis April 2015. Mit den zwei nachfolgend vorgestellten Demonstratoren zur roboterbasierten **Sekretärsfunktion** und **Bewegungsmotivation** sollen wichtige der genannten Anforderungen an einen „Gesundheitsroboter“ alltagstauglich praktisch umgesetzt werden. Die Demonstratoren werden dabei nicht nur zusammen mit den Endnutzern in einem nutzerzentrierten Entwurfsprozess entwickelt, sondern auch langfristig in deren direktem häuslichen Umfeld eingesetzt und evaluiert. Die Endnutzer sind in diesem Vorhaben vor allem unterstützungsbedürftige ältere Menschen (ohne kognitive Einschränkungen), deren Angehörige und Servicedienstleister.

Zielstellung dieses Beitrags ist neben der methodisch-technischen Vorstellung des Projektes und seiner Demonstratoren vor allem die realistische Darstellung und Wertung der bislang sowohl unter Laborbedingungen als auch in realen häuslichen Einsatzumgebungen erreichten Ergebnisse aus technischer und sozialwissenschaftlicher Sicht.

2 Die SERROGA-Demonstratoren

Basierend auf [1] wurden zwei für die häusliche Gesundheitsassistenz aus der Sicht der Endnutzer (Senioren, Angehörige, Pflegedienste) als besonders wünschenswert eingestufte Szenarien definiert und als funktionale Demonstratoren **Sekretär** und **Bewegungsmotivator** realisiert. Ein wesentlicher Schwerpunkt bei der Auswahl der

^{*} Gefördert durch das Programm „Förderung von Personal in Forschung und Entwicklung“ des Thüringer Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT) aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds.

dazu notwendigen Funktionalitäten lag auf der Entwicklung von Verfahren, die einen praxistauglichen Langzeiteinsatz eines Serviceroboters in einer häuslichen Umgebung ermöglichen, sowie der Demonstration von roboterspezifischen Anwendungen, die explizit von der Mobilität und der Körperlichkeit des Roboters Gebrauch machen.

In Abschnitt 2.1 wird zunächst die Spezifik beider Demonstratoren vorgestellt, bevor ihre technischen und methodischen Grundlagen im Rahmen der Systemarchitektur in Abschnitt 2.2 erläutert werden.

2.1 Szenarien und funktionale Demonstratoren

Beide nachfolgend vorgestellten SERROGA-Demonstratoren wurden so gewählt, dass sie eine repräsentative Breite besitzen, gut verallgemeinerbar sind und das zurzeit technologisch Machbare verdeutlichen. Die für die Demonstratoren bislang bereits umgesetzten Funktionen und die damit erreichten Ergebnisse werden in Abschnitt 5 vorgestellt.

2.1.1 Sekretär

Der Demonstrator **Sekretär** integriert Funktionalitäten und Services, die organisatorische Abläufe im häuslichen Umfeld betreffen. Unter Berücksichtigung der technischen Machbarkeit werden hierbei eine *Kommunikationsassistentz*, eine *Erinnerungsfunktion* und eine *Informationsvermittlung* umgesetzt. Die roboterbasierte **Kommunikationsassistentz** umfasst dabei neben der Realisierung einer Videotelefonie auch die Möglichkeit zur Fernsteuerung des Roboters, z. B. durch räumlich entfernte Angehörige. Darüber hinaus wird eine Anmelde- und Abmeldefunktion des Nutzers realisiert, so dass dieser nach einem Abmelden (z. B. zum Schlafen) ungestört bleibt und auch keine eingehenden Videotelefonate ausgeliefert bekommt. Beim erneuten Anmelden wird dann an zwischenzeitlich möglicherweise abgelaufene Termine oder nicht ausgelieferte Videotelefonate erinnert. Die damit verbundene **Erinnerungsfunktion** ermöglicht darüber hinaus die Verwendung eines gemeinsamen Kalenders durch den Nutzer und seine Angehörigen. Anstehende Termine werden dabei zeitnah und aktiv durch den Roboter basierend auf einer Nutzersuche ausgeliefert. Bei der **Informationsvermittlung** sollen vor allem für den Tagesablauf der Senioren relevante Informationen berücksichtigt werden, z. B. das Datum, die Uhrzeit und aktuelle Wetterinformationen. Darüber hinaus wird auch ein integrierter Webbrowser zur Verfügung gestellt, um auch auf dem Roboter Zugang zum Internet zu ermöglichen.

Mit diesen geschilderten Funktionalitäten und Services lässt sich der Demonstrator Sekretär in den Tagesablauf eines Seniors folgendermaßen einbetten. Zunächst wird sich der Nutzer morgens nach dem Aufstehen bei seinem Roboter anmelden, wodurch er einerseits Informationen über die am Tag anstehenden Termine erhält, andererseits aber auch für einkommende Videotelefonate wieder erreichbar wird. Kommt es dann im Verlaufe des Tages zu einem Ereignis, wie z. B. zu einen eingehenden Videotelefonat, wird sich der Roboter aktiv in der Wohnung auf die Suche nach dem Nutzer begeben und sich diesem auf

Interaktionsdistanz nähern. Der Nutzer nimmt das Videotelefonat an, möchte dieses jedoch an einer für ihn bequemerer Position in der Wohnung führen, so dass er den Roboter anweist, ihm zu folgen. Würde der Senior dann den Anrufenden im Verlaufe des Videotelefonats bitten, sich ein bestimmtes Objekt oder einen bestimmten Bereich in der Wohnung näher anzusehen, kann der Anrufer (bei ausreichender Berechtigung zum Fernzugriff) die Roboterfernsteuerung dazu schalten und sich über unterschiedliche Modi, z. B. durch Nutzung des Joysticks frei in der Wohnung bewegen. Verlässt der Senior dann nach dem Telefonat die Wohnung, meldet er sich beim Roboter ab und wird über mögliche, zeitnah anstehende Termine informiert. Würde nach der Abmeldung ein Videotelefonat eintreffen, wird dieses für eine spätere Erinnerung vermerkt, eine Nutzersuche jedoch nicht initiiert.

2.1.2 Bewegungsmotivator

Dieser Demonstrator integriert Funktionen zur Überwachung und zum Erhalt der physischen Gesundheit durch das Monitoring ausgewählter Vitaldaten (*Gesundheitsmonitoring*) und die Bereitstellung ausgewählter *Bewegungsprogramme*.

Dazu werden basierend auf Vorarbeiten in [2] unterschiedlich komplexe **Bewegungsprogramme** mit und ohne Überwachung der Übungsausführung umgesetzt. Darüber hinaus werden auch Übungen integriert, die wiederum die Körperlichkeit und die Mobilität des Roboters bewusst nutzen, z. B. Gehübungen oder eine Begleitung bei verschiedenen Tätigkeiten in der Wohnung. Diese Art von Bewegungsübungen dient vor allem der Aktivierung des Seniors in seinem Tagesablauf.

Ein optional vor oder nach den konkreten Bewegungsübungen ausführbares **Gesundheitsmonitoring** erlaubt die Erfassung verschiedener Vitaldaten des Nutzers, wie z. B. des Blutdrucks und der Pulsrate. Diese können dazu genutzt werden, situationsgerechte Hinweise für eine sinnvolle Übungszusammenstellung zu geben.

Die Einbettung dieses Demonstrators in den Tagesablauf soll anhand des folgenden Ablaufs exemplarisch verdeutlicht werden. Steht ein Termin für Bewegungsübungen an (der in einem vorher festgelegten Bewegungsprogramm vereinbart wurde), initiiert der Roboter eine Nutzersuche, um den Senior an die Bewegungsübungen zu erinnern. Im Rahmen der folgenden Interaktion kann der Senior dem anstehenden Termin zustimmen und damit den Roboter an eine im Voraus festgelegte Trainingsposition schicken. Er begibt sich ebenfalls dorthin und positioniert sich stehend oder sitzend in Interaktionsdistanz. Wahlweise wird der Senior zunächst über das am Roboter befindliche Blutdruckmessgerät seinen Blutdruck kontrollieren. Anhand der aktuellen Werte kann er die Länge und Schwierigkeit der Trainingseinheit selbständig anpassen. Anschließend werden dem Senior Turnübungen zum Nachturnen über das Display des Roboters vorgeführt. Entsprechend des gewählten Übungstyps wird wahlweise auch die Ausführungsgenauigkeit erfasst, so dass dem Senior Hinweise gegeben werden können. Nach Abschluss der Übungen vereinbart der Senior direkt am Roboter einen nächsten Termin, und der Roboter fährt wieder auf eine für ihn festgelegte Ruheposition in der Wohnung.

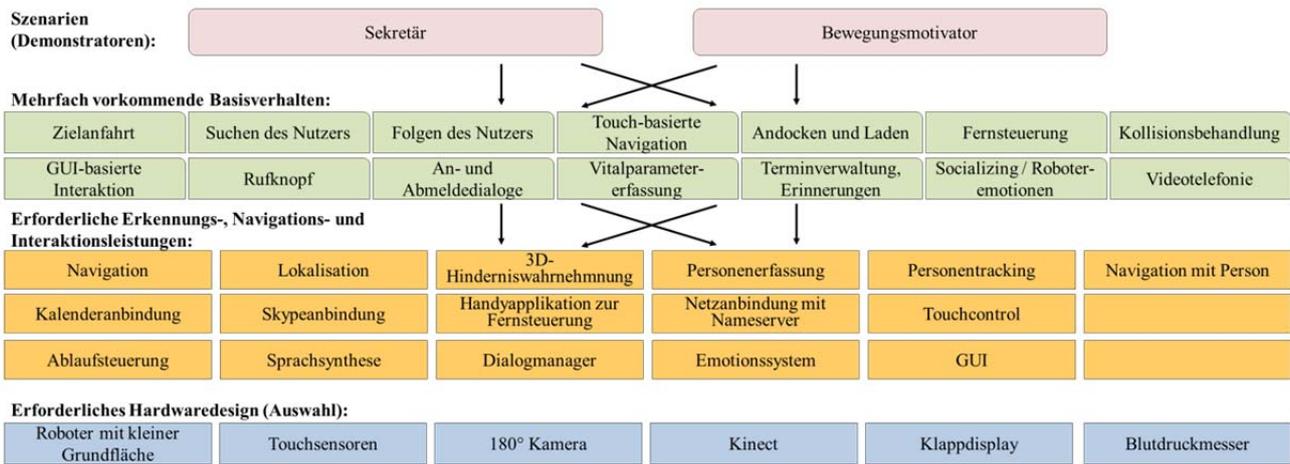


Abbildung 1: Systemarchitektur mit den zwei Demonstratoren Sekretär und Bewegungsmotivator, die durch kombinierte Basisverhalten umgesetzt werden und verschiedene Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen aber auch spezifische Hardwarekomponenten erfordern.

2.2 Systemarchitektur

Entsprechend der technischen Machbarkeit wurden aus den vorgestellten Szenarien die zu realisierenden funktionalen Demonstratoren abgeleitet. Deren Umsetzung erfolgt wiederum durch eine Kombination unterschiedlicher Basisverhalten (Abb. 1, grün hervorgehobene Boxen). Diese werden in beiden Demonstratoren unterschiedlich intensiv genutzt, wie z. B. das Fahren zu definierten Zielen in der Wohnung, das Suchen des Nutzers oder die Terminverwaltung. Die konkret gewählten Parameter für diese Basisverhalten, z. B. konkrete Positionen in der Wohnung oder spezielle Termine ebenso wie die Inhalte der Dialoge spezifizieren dann die konkreten Demonstratoren.

Die Basisverhalten werden wiederum durch softwaretechnisch umzusetzende, realwelttaugliche Erkennungs-, Navigations-, und Interaktionsleistungen realisiert (Abb. 1, orange hervorgehobene Boxen), wozu auch spezielle Hardwarekomponenten (Abb. 1 blaue Boxen) erforderlich sind. Die softwaretechnische Umsetzung erfolgt dabei unter Nutzung des vom Fachgebiet Kognitive Robotik mitentwickelten MIRA Softwareframework [3, 4].

Den Prinzipien des Systems Engineering folgend wurden für diese technischen Basisleistungen Anforderungen, Erfolgskriterien und Testfälle definiert (siehe Abschnitt 5).

3 Roboter-Plattform

Als mobile Roboter-Plattform wird ein Scitos G3 (Abb. 2) der Firma MetraLabs genutzt, dessen technische Details in [5, 6] vorgestellt wurden. Erweiternd wurde zur 3D-Umgebungswahrnehmung unter beengten häuslichen Verhältnissen eine Kinect-Kamera integriert, was eine 3D-Hinderniserkennung ermöglicht [7]. Darüber hinaus wird die Roboter-Plattform zur exemplarischen Umsetzung des Gesundheitsmonitorings gegenwärtig um zwei Geräte zur Erfassung der Vitaldaten Blutdruck und Puls erweitert. Die Erfassung des Pulses soll sowohl über ein Pulsoxymeter (Fingerclip, liefert auch Werte zur Sauerstoffsättigung) als auch durch die videobasierte Analyse

des Gesichtsbildes des Nutzers (videobasierte Plethysmografie) erfolgen, was den großen Vorteil einer berührungslosen und damit kontinuierliche Messwertgewinnung bietet. Da Blutdrucksensor und Pulsoximeter vor einer Nutzung erst am Körper des Nutzers angebracht werden müssen, sind diese nicht fest mit dem Roboter verbunden und werden in einem speziellen Ablagefach des Roboters transportiert.

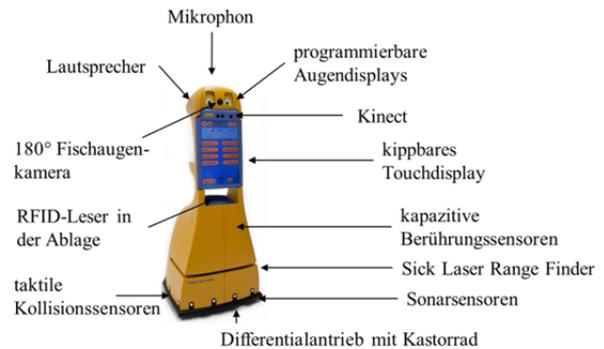


Abbildung 2: Die in SERROGA genutzte mobile Roboterplattform Scitos G3.

Damit nach Gebrauch der Geräte sichergestellt werden kann, dass diese wieder an den Roboter übergeben wurden, verfügen die Messgeräte über RFID-Marker, die von einem Lesegerät im Aufbewahrungsfach erfasst werden. Erweiternd zu [5, 6] wurden in die Hülle des Roboters auch kapazitive Sensoren integriert (Abb. 3), die eine berührungsbasierte direkte Steuerung des Roboters zur Navigation und Feinpositionierung im häuslichen Umfeld ermöglichen. Details zur technischen Umsetzung dieser Form der haptischen Robotersteuerung sind in [8] beschrieben.

Mit einer Funkfernbedienung (Rufknopf) kann der Nutzer dem Roboter über einen integrierten Funkempfänger verschiedene Kommandos übermitteln, z. B. den Roboter zu sich selbst rufen oder die Anfahrt an verschiedene definierte Positionen in der Wohnung initiieren.



Abbildung 3: Integration kapazitiver Sensoren zur berührungsbasierten Steuerung des Roboters.

Außerdem wurde zur Vermittlung eines haptischen Feedbacks an den Roboter ein Streichelsensor, eingebettet in ein auf dem Roboterkopf angebrachtes künstliches Fell, integriert (Abb. 4).



Abbildung 4: Integration eines Streichelsensors zur Umsetzung eines haptischen Feedbacks.

4 State of the Art zu robotischer Gesundheitsassistenz

Im Bereich der robotischen Gesundheitsassistenzsysteme existieren derzeit zumeist forschungsorientierte, experimentelle aber nur wenige kommerziell verfügbare Systeme. Zu den kommerziell verfügbaren Systemen gehören:

- der einer Plüschrobbe ähnelnde Therapieroboter PARO [9] zur kognitiven Stimulation demenzerkrankter Personen (seit ca. 2005 verfügbar),
- der Roboter CareBotTM [10] für den Einsatz im klinischen Umfeld mit den Schwerpunkten Telemedizin und Vitaldatenerfassung sowie im häuslichen Umfeld mit einfacher Unterhaltungsfunktion (als Prototyp seit 2009 verfügbar) und
- der Roboter Giraff [11] im Projekt EXCITE [12] mit Fokus auf Telekommunikation und die Möglichkeit zur Fernsteuerung durch autorisierte, räumlich entfernte Kommunikationspartner konzipiert für Ältere in deren häuslichem Umfeld (verfügbar seit Anfang 2011).

Weitere ausschließlich auf Telepräsenz ausgerichtete Roboter sind VGo [13], QB [14], Gostai Jazz [15], Texai [16] und Double [17]. Die Roboterplattformen Luna [18] und AVA [19] sind kommerziell verfügbare Systeme, die durch Entwickler für eigene Anwendungen nutzbar sind. Im Unterschied zu der in SERROGA zu entwickelnden robotischen Gesundheitsassistenz werden bei diesen Systemen jedoch nur einfache Interaktionsmechanismen umgesetzt.

Darüber hinaus existiert eine Vielzahl an Forschungsprojekten, die sich auf einen oder mehrere spezifische Aspekte einer robotischen Gesundheitsassistenz fokussieren:

- Im Projekt TriageBots (seit 2010) der Vanderbilt University (USA) wird ein Empfangsroboter für Notaufnahmen in Krankenhäusern entwickelt, der die Daten leicht verletzter Patienten aufnimmt und während ihrer Wartezeit deren Vitaldaten in zeitlichen Abständen überwacht.
- Im Projekt WiMi-Care [20] (2008-2011) wurde der Care-O-Bot III in Pflegeheimen in verschiedenen Szenarien (Transportszenario, Nacht-Notfall-Szenario mit Erkennung gestürzter Personen, Getränkeversorgungsszenario, Unterhaltungs-/Aktivitäts-Szenario) eingesetzt und evaluiert.
- Das AAL-JP-Projekt ALIAS (2010-2013) [21] hatte die Entwicklung eines Kommunikationsroboters für allein lebende Nutzer zur Unterstützung im täglichen Leben sowie zur Förderung der Kommunikation und sozialen Integration zum Ziel.

Neben der Realisierung spezifischer Aspekte einer Gesundheitsassistenz wurden in verschiedenen Projekten auch mehrere solcher Aspekte integriert, z. B. die auf die Nutzergruppe der Älteren ausgerichtete EU-Projekte CompanionAble [22, 23] (2008-2012) und ROBADMOM [24], sowie der HealthBots [25], eine gemeinsame Initiative von Südkorea und Neuseeland, der Bandit [26] (seit 2007) der USC in Los Angeles, Mobiserv [27], FLORENCE [28], KSERA [29], DOME0 [30], EmotiRob [31] und Robo M.D. [32]. Ziel dieser Forschungsprojekte ist die Integration von Unterhaltungsfunktionen, von kognitivem und physischem Training, von Funktionalitäten zur Erfassung von Vitaldaten und teilweise auch zur Personalisierung auf den Nutzer.

Obwohl die genannten Projekte viele verschiedene Teilaspekte einer robotergestützten Gesundheitsassistenz integrieren, werden die Schwerpunkte des nutzerzentrierten Entwurfs und der Adaption an die Vorlieben und Wünsche der Endnutzer zur Erhöhung der Akzeptanz des Gesamtsystems nicht oder nur untergeordnet berücksichtigt. Lediglich bei dem universitären Projekt NURSEBOT [33, 34] (2000-2005; Carnegie Mellon University) spielte ein Konzept zum Lernen eines einfachen Dialogs mit dem Ziel der Motivierung von Patienten für physische Mobilisierungsleistungen eine Rolle. Eine ähnliche Zielstellung hatte auch das EU-Projekt LIREC [35] (2008-2011), in dem die Langzeit-Interaktion zwischen einem Assistenzsystem und einem Nutzer untersucht wurde, ohne als Anwendungsszenario jedoch den Fokus auf Gesundheitsassistenz zu legen.

Neben den oben genannten robotischen Systemen liefern auch Systeme aus dem Bereich der tragbaren Sensoren („wearable sensors“) einen Beitrag zur Gesundheitsassistenz. Ein typischer Ansatz zur Gesundheitsassistenz mit tragbaren Systemen ist die Integration spezieller Sensoren und Technologien in die Smartphonetechnik. Neben damit erfassbaren Vitalparametern werden z. B. im Projekt DiaTrace [36] (Fraunhofer IGD Rostock) auch Möglichkeiten zur Bewegungsanalyse mit Beschleunigungssensoren untersucht. Ebenso wurde im Projekt Fit4Age [37] (2008-2011) basierend auf Beschleunigungssensoren und weiteren Sensoren zur Vitaldatenerfassung ein Fitnessbegleiter entwickelt. Darüber hinaus werden vermehrt auch

Ansätze zur Erfassung des allgemeinen Nutzerzustands über intelligente Textilien, wie z. B. die Überwachung des Ernährungszustandes und des Wasserhaushaltes in dem vom BMBF von 2007-10 geförderten Projekt NutriWear [38] untersucht. Kommerziell verfügbar sind gegenwärtig auch Zusatzkomponenten für interaktive Spiele wie z. B. „Wii-Fit“, die der Verbesserung der körperlichen Fitness dienen sollen, indem sie durch die Integration interessanter körperlicher Betätigungen dem Nutzer Spaß an deren Ausführung vermitteln.

Auch über den Bereich der tragbaren Sensoren hinaus werden zurzeit erhebliche Forschungsanstrengungen zur Integration von Gesundheitsassistenten in das häusliche Umfeld durch sogenannte Smart Home-Techniken und Smart Home-Sensornetze unternommen. Einige dieser Ambient Assisted Living-Technologien sollen im Rahmen von SERROGA nutzbringend eingesetzt werden, wenn sie eine Reihe von technologischen und sozialwissenschaftlichen Kriterien erfüllen, wie z. B. technische Reife und Verfügbarkeit (zumindest als Prototyp), gute Integrierbarkeit in die eigene Systemarchitektur, notwendiger Funktions- und Leistungsumfang, Komplementarität zur robotischen Lösung, vor allem aber Nützlichkeit, Bedienbarkeit und Akzeptanz der Lösung durch die Endnutzergruppen (Senioren, Angehörige, Pflegedienste).

5 Funktionstests der SERROGA-Demonstratoren

Methodisch-technische Grundlage für die Demonstratoren sind spezifische Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen, wie z. B. eine autonome Navigation in Wohnungen, eine Personenerfassung und -verfolgung, Möglichkeiten zur GUI-basierten Interaktion sowie ein Emotionssystem für eine ansprechende und abwechslungsreiche Langzeitinteraktion (Abb. 1, orange hervorgehobene Boxen).

Basierend auf diesen Grundleistungen werden die funktionalen Demonstratoren umgesetzt und Funktionstests sowohl für die einzelnen Teilleistungen als auch für den jeweiligen Demonstrator zunächst unter Laborbedingungen und anschließend in häuslichen Umgebungen durchgeführt, bevor tatsächliche Nutzertests erfolgen. Aufgrund des gewählten nutzerzentrierten Entwurfs erfolgen die Nutzertests frühzeitig, wiederholt und zeitnah zu den Funktionstests, so dass die in den Nutzertests gewonnenen Erkenntnisse bei der Weiterentwicklung Teilleistungen wieder berücksichtigt werden können.

5.1 Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen

5.1.1 Navigation und Robotersteuerung

Zur Navigation in häuslichen Umgebungen sind verschiedene Teilleistungen erforderlich, wesentliche sind dabei: eine 2D oder 3D-Hinderniserkennung, eine Selbstlokalisierung, eine autonome Pfadplanung unter Berücksichtigung glatter Bewegungsspuren und eine an die häusliche Umgebung angepasste Bewegungsgeschwindigkeit sowie

ein zu Hindernissen einzuhaltender Mindestabstand. Zur Bewertung der Güte dieser Navigationsleistungen wurden an die häuslichen Umgebungen und die zugrundeliegende Systemaufgabe angepasste Anforderungen und Gütemaße definiert, anhand derer der Erfolg der Funktionstests zu bewerten ist:

Ausgewählte Anforderungen und Gütemaße:

- Bei drei Stunden Dauertest mit permanent ausgeführten Zielfahrten (entspricht ca. 180 Zielfahrten) wird das Ziel maximal zweimal nicht erreicht, z. B. aufgrund von Kollisionen oder zu hoher Abweichung von der Zielposition (entspricht einer Güte von 99%).
- Eine Zielposition gilt dann als erreicht, wenn der Abstand zur Zielposition (Ground Truth Position) maximal 15 cm und 15° (durchschnittlich 10 cm, 10°) beträgt.
- Nach der Festlegung eines anzufahrenden Ziels beginnt die Zielfahrt nach maximal 3 s.
- Der Mindestabstand zu Hindernissen beträgt 5 cm.

Bislang erreichte Ergebnisse:

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen erfolgten bereits Funktionstests in Form eines 36-stündigen Dauertests im Rahmen der European Robotics Week 2011 [5, 6]. Die Tests wurden dabei unter wohnungsähnlichen Laborbedingungen durchgeführt. Die mithilfe der Lasersensoren nicht erfassbaren Hindernisse, wie z. B. ein Couchtisch, wurden manuell in der Navigationskarte als nichtbefahrbar markiert. Entsprechend der oben gewählten Gütemaße waren diese Tests größtenteils erfolgreich, da bei 2480 Zielfahrten nur 8 Kollisionen erfolgten (entspricht 99,6%). Die Zielposition wurde in weiteren 152 Fällen nicht erreicht, was auf blockierte Wege durch Personen oder andere Roboter oder auch Lokalisationsprobleme zurückzuführen war. Eine detaillierte Diskussion dieser Ergebnisse erfolgt in [5, 6].

Eine nutzerinitiierte Robotersteuerung erfolgt entweder durch eine mittels GUI initiierte Zielfahrt oder über eine berührungsbasierte direkte Steuerung des Roboters unter Nutzung seiner Touchsensoren (Abb. 3). Anforderungen und Gütemaße für eine solche haptische Robotersteuerung werden vor allem im Rahmen sozialwissenschaftlicher Nutzertests festgelegt. Erste Ergebnisse zu Funktionstests unter Einbeziehung von Studierenden und Mitarbeitern als Probanden werden in [8] vorgestellt. Darüber hinaus erfolgte auch eine sozialwissenschaftliche Evaluation, bei der Größen wie die Effektivität, Effizienz, Zufriedenheit oder auch Erlernbarkeit ermittelt werden. Probanden waren dabei fünfzehn Personen im Alter von 50 – 87 Jahren und die Tests erfolgten unter wohnungsähnlichen Laborbedingungen. Zielstellung war ein Vergleich der unterschiedlichen Arten der Robotersteuerung durch den Nutzer:

- Zielfahrt über eine GUI-Eingabe,
- Zielfahrt getriggert über die Funkfernbedienung (Rufknopf) und
- berührungsbasierte direkte Steuerung des Roboters zu vorgegebenen Zielpositionen.

Im Ergebnis wurde die berührungsbasierte direkte Steuerung bei der Bewegung des Roboters über größere Dis-

tanzen bezüglich verschiedener Kriterien, wie z. B. Effizienz, Erlernbarkeit und Zufriedenheit schlechter als die zwei anderen Arten bewertet. Die kritisch angemerkten Aspekte, wie z.B. Schiebengeschwindigkeit und intuitive Handhabung werden daher in einer nächsten Version der haptischen Robotersteuerung stärker mit berücksichtigt.

Ergebnisanalyse:

- Eine 2D-Hindernisvermeidung ist durch die hohe Komplexität der Umgebung nicht ausreichend und erfordert ein manuelles Markieren nicht befahrbarer Gebiete in der Navigationskarte. Mit einer 3D-Hindernisvermeidung kann dieses Problem deutlich besser behandelt werden [7].
- Durch die in den Wohnungen von Senioren vorhandenen Teppiche entstehen Probleme bei der Lokalisationsgenauigkeit. Durch die Integration eines Gyrosensors in das Hardwaredesign (Abb. 2) konnte dieses Problem abgeschwächt werden.
- Heranfahen an eine Person, z. B. um eine Interaktion zu beginnen, erfordert im Vergleich zu einer Zielfahrt an feste Positionen in der Wohnung weitere, zu berücksichtigende Aspekte. –So befinden sich Zielpositionen sitzender Personen immer in Hindernissen, so dass automatisch neue Zielpositionen vor den Hindernissen zu ermitteln sind, die diesen Aspekt berücksichtigen.
- Darüber hinaus ist beim Heranfahen an Personen auch eine Beinerkennung erforderlich, um einen Mindestabstand zu halten sowohl hinsichtlich einer Kollision mit den Füßen als auch des Einhaltens einer höflichen Interaktionsdistanz.
- Zur intuitiveren Nutzung der berührungsbasierten direkten Robotersteuerung ist diese in der nächsten Version lernfähig zu gestalten, so dass individuelle Besonderheiten und Abweichungen im Schiebeverhalten der Nutzer kompensiert werden können

5.1.2 Personenerkennung, -verfolgung und -suche

Eine Personenerkennung und –verfolgung in häuslichen Umgebungen erfordert, dass Personen in sehr unterschiedlichen Situationen erfasst werden können. Typische Herausforderungen sind vor allem die Variabilität in der Pose, wobei Personen zu Hause eher selten stehen, meist sitzen und dabei auch häufig einzelne Körperteile verdeckt sind. Darüber hinaus treten bereits in ein und derselben Wohnung sehr unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen auf, wie Gegenlicht mit Sonneneinstrahlung, Deckenlicht, Seitenlicht von Stehlampen oder auch sehr schlecht ausgeleuchtete Wohnbereiche. Der in SERROGA genutzte Personentracker basiert dabei auf der Erkennung von Beinen, Körper- und Oberkörpersilhouetten [39]. Dieser Personentracker bildet ebenso die Grundlage für die Basisverhalten der Nutzersuche und des Nutzerfolgen (Abb. 1).

Ausgewählte Anforderungen und Gütemaße:

- Der Personentracker mit den integrierten Detektoren wird für fünf Situationsklassen evaluiert:
 1. stehende Person und Folgen der Person (Person im Abstand von 1 bis 5 m)

2. stehende Person im Rahmen einer Nutzersuche, wobei die zu suchende Person am Anfang noch nicht im Bild zu sehen ist
3. sitzende Person und Nutzersuche
4. sitzende Person mit Verdeckungen
5. sitzende Person unter schwierigen Beleuchtungsverhältnissen und mit Verdeckungen

- Beine sind bis zu einer Entfernung von 5 m zu erfassen. Der Beindetektor muss dabei einzelne, sich gegenseitig verdeckende oder verbundene Beine erfassen. Hosenbeine dürfen nicht zu ausgestellt sein, da sonst keine Beinähnlichkeit mehr vorliegt.
- Für die einzusetzenden bildbasierten Detektoren für die Körper- und Oberkörpersilhouetten und den laserbasierten Beindetektor ist für jede der oben genannten Situationsklassen eine Precision von mindestens 80% und ein Recall von ebenso mindestens 80 % zu erreichen.
- Die Rechenzeit pro Detektor pro Bild darf bei einem CPU-Kern 1 s nicht überschreiten.
- Zur Bewertung des integrierten Personentrackers wird die Multi-Object-Tracking-Performance Metric (MOTPM) [40] genutzt. Es sind folgende Gütemaße zu erreichen:
 - stehende Personen: MOTPM > 60%, Precision > 85%, Recall > 85%
 - sitzende Personen: MOTPM > 10% , Precision > 60%, Recall > 60%

Bislang erreichte Ergebnisse:

Erste Untersuchungen erfolgten bereits in der wohnungsähnlichen Laborumgebung. Die dabei erreichten Ergebnisse sind in [39] vorgestellt und erfüllen prinzipiell die festgelegten Gütekriterien für die Situationsklassen mit stehenden und sich bewegenden Personen. In den Situationsklassen mit sitzenden Personen werden die definierten Gütemaße dagegen noch nicht erreicht.

Die Nutzersuche basiert auf dem Personentracker und wird durch den Nutzer selbst oder durch Ereignisse, die durch den Roboter auszuliefern sind (z. B. ein Termin oder ein Videotelefonat) getriggert. Obwohl bislang noch keine konkreten Anforderungen und Gütekriterien hierfür definiert wurden, erfolgten bereits erste Funktionstest in der wohnungsähnlichen Laborumgebung mit einer Fläche von ca. 40 m². Dabei wurden ca. 80 % der begonnenen Nutzersuchen erfolgreich beendet, wobei die durchschnittlich erforderliche Zeit unter 2 Minuten lag [41].

Ergebnisanalyse:

- Die Spezifik der SERROGA-Demonstratoren erfordert eine Echtzeitfähigkeit der zugrundeliegenden Algorithmen. Begründet durch die roboterspezifisch eingeschränkte Rechenleistung können daher einige State-of-the-Art Detektoren mit sehr guten Erkennungsraten, aber hohem Rechenzeitbedarf (z.B. Implicit Shape Models [42]) nicht eingesetzt werden.
- Für realistischere Labortests ist die Laborumgebung wesentlich beengter und noch wohnungsähnlicher zu gestalten.

- Die in häuslichen Umgebungen auftretenden Beleuchtungsverhältnisse unterscheiden sich deutlich von denen in Laborumgebungen, so dass hier auch realistischere Bedingungen herzustellen sind, um die robuste Funktionsfähigkeit noch vor den eigentlichen Nutzertests in deren eigener häuslicher Umgebung evaluieren zu können.

5.2 Auswählte Basisverhalten

Die Basisverhalten Videotelefonie und Fernsteuerung kombinieren verschiedene Erkennungs-, Navigations- und Interaktionsleistungen und werden in der jeweiligen Kombination vor allem im Rahmen von Nutzertests untersucht.

5.2.1 Videotelefonie mit Nutzersuche

Zur Realisierung einer Videotelefonie wurde für den Roboter eine Skypeanbindung geschaffen und als Remote-Station ein Tablet mit einer Skype App bereitgestellt. Ein Videotelefonat wird dabei entweder durch den Senior selbst am Roboter initiiert oder alternativ durch einen Remote-Nutzer. Letzteres führt zunächst zu einer Nutzersuche in der Wohnung des Seniors. Für dieses Basisverhalten steht die Definition von konkreten Anforderungen und Gütemaßen noch aus.

Bislang erreichte Ergebnisse:

Die bislang durchgeführten Funktionstests betrafen vor allem die technischen Randbedingungen, wie die Anbindung von Roboter und Remote-Station an das LAN- bzw. WLAN- oder auch das UMTS Netz. Mit einem dann als sinnvoll erachteten Setup erfolgten erste Nutzertests. Diese wurden unter Laborbedingungen mit fünfzehn Senioren (im Alter von 50 - 87 Jahren) in Ilmenau sowie mit sechs Bewohnern (im Alter von 79 - 87 Jahren) einer Service-Wohnanlage der Arbeiterwohlfahrt (AWO) in Erfurt in deren häuslichen Umfeld durchgeführt. Das Tablet als Remote-Station wurde jeweils durch eine eingewiesene Person außerhalb der Wohnung bedient.

Ergebnisanalyse:

- Zur Verringerung von Verbindungsstabilitäts- und -qualitätsproblemen muss eine der beiden Stellen immer in ein WLAN-Netz eingebunden sein, dann kann die zweite Station UMTS nutzen. Nutzen beide Stellen UMTS, ist die Audio- und Video-Übertragungsqualität (im Raum Ilmenau und Erfurt) meist nicht ausreichend.
- Die Qualität der Verbindung wird hauptsächlich durch Skype auf das Basis der verfügbaren Bandbreite selbst bestimmt.
- Bedingt durch die Skype-Technologie muss die Nutzersuche nach spätestens 2 Minuten erfolgreich beendet sein, da Skype die Verbindung ansonsten automatisch beendet. Dies ist unter Realweltbedingungen in den Wohnungen zurzeit noch problematisch.

5.2.2 Fernsteuerung mit Nutzersuche

Zur Realisierung der Fernsteuerung wurde für das Tablet eine Android-Applikation erstellt. Mit dieser kann man

sich direkt mit dem Roboter verbinden und diesen über unterschiedliche Modi (Auswahl einer Zielposition in der Navigationskarte, Auswahl einer Zielposition im Bild oder per Joystick) steuern. Darüber hinaus ist jeder dieser Steuermodi mit einer Hindernisvermeidung durch den Roboter überlagert. Die Definition konkreter Anforderungen und Gütemaße steht für dieses Basisverhalten noch aus.

Bislang erreichte Ergebnisse:

Auch zu diesem Basisverhalten erfolgten frühzeitig erste Nutzertests:

- unter Laborbedingungen mit fünfzehn Personen (im Alter von 20 - 48 Jahren),
- in einer Wohnung mit eingewiesenen Personen und
- mit zwei Bewohnern der Service-Wohnanlage der AWO in deren häuslichen Umfeld.

Eine Auswertung erfolgte aus sozialwissenschaftlicher Sicht mit guten Ergebnissen bezüglich der Effektivität, Effizienz, Zufriedenheit und Robustheit.

Ergebnisanalyse:

- Die Fernsteuerung und die Videotelefonie sind zukünftig in einer einzigen App zu integrieren, weil so ein Umschalten entfällt und eine verbesserte Handhabbarkeit gegeben ist.
- Bei der Fernsteuerung sind mindestens zwei Arten der Zugangsberechtigung zu integrieren (uneingeschränkter Zugang auch ohne Rückfrage beim Senior und Zugangserlaubnis erst durch Bestätigung des Seniors).
- Zur Steuerung über größere Entfernungen, z. B. zwischen unterschiedlichen Zimmern, ist der Kartenmodus (Auswahl einer Zielposition in der Navigationskarte) oder die Auswahl einer Zielposition im Bild sinnvoll.
- Der Joystick-Modus eignet sich dagegen mehr für eine Feinpositionierung des Roboters.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die SERROGA-Demonstratoren liefern einen wichtigen Beitrag für die häusliche Gesundheitsrobotik, weil sie ein breites Spektrum repräsentativer Funktionen besitzen, gut verallgemeinerbar sind und das technologisch Machbare insbesondere für einen praxistauglichen Langzeiteinsatz verdeutlichen.

Weiterführende Arbeiten im Rahmen des SERROGA-Projektes werden sich bis Ende 2014 der Umsetzung des Bewegungsmotivators mit integriertem Gesundheitsmonitoring und unterschiedlichen Bewegungsübungen widmen. Weiterhin wird die Erinnerungsfunktion integriert und beides in Funktions- und Nutzertest untersucht.

Ein wesentliches Ziel und Erfolgskriterium wird dabei die Durchführung von komplexen Nutzertests zum mehrstufigen Einsatz des Roboters in der Wohnung der Senioren ohne Anwesenheit von Fremdpersonen sein, wobei der Roboter in mindestens 50% der Testdauer Navigations- und Interaktionsleistungen für und mit dem Nutzer erbringt.

Literatur

- [1] Meyer, S.: Mein Freund der Roboter. Servicerobotik für ältere Menschen—eine Antwort auf den demographischen Wandel? VDE Verlag, Berlin, 2011
- [2] Geue, P.-O., Scheidig, A., Kessler, J., Gross, H.-M. *Entwicklung eines robotischen Bewegungsassistenten für den Langzeiteinsatz zur physischen Aktivierung von Senioren*. In: Proc. 5. Deutscher AAL-Kongress, Berlin, 2011
- [3] MIRA-Project Website: www.mira-project.org
- [4] Einhorn, E., Langner, T., Stricker, R., Martin, Ch., Gross, H.-M.: *MIRA - Middleware for Robotic Applications*. In: Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2012), Vilamoura, Portugal, pp. 2591-2598, IEEE 2012
- [5] Gross, H.-M., Schröter, Ch., Müller, S., Volkhardt, M., Einhorn, E., Bley, A., Martin, Ch., Langner, T., Merten, M. *Progress in Developing a Socially Assistive Mobile Home Robot Companion for the Elderly with Mild Cognitive Impairment*. In: Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011), San Francisco, USA, pp. 2430-2437, IEEE Omnipress 2011
- [6] Gross, H.-M., Schröter, Ch., Müller, S., Volkhardt, M., Einhorn, E., Bley, A., Martin, Ch., Langner, T., Merten, M. *I'll keep an Eye on You: Home Robot Companion for Elderly People with Cognitive Impairment*. In: IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE-SMC 2011), Anchorage, USA, pp. 2481-2488, IEEE 2011
- [7] Einhorn, E., Gross, H.-M.: *Generic 2D/3D SLAM with NDT Maps for Lifelong Application*. Proc. 6th European Conference on Mobile Robots (ECMR 2013), Barcelona, Spain, 2013
- [8] Müller, S., Schröter, Ch., Gross, H.-M.: *Low-cost Whole-Body Touch Interaction for Manual Motion Control of a Mobile Service Robot*. In: Proc. 5th International Conference on Social Robotics (ICSR 2013), Bristol, UK, LNAI vol. 8239, pp. 229-238, Springer 2013
- [9] PARO Therapeutic Robot Website: www.prorobots.com
- [10] CareBotTM Website: www.geckosystems.com
- [11] Giraff Technologies Website: www.giraff.org
- [12] Kristoffersson, A., Coradeschi, S., Eklundh, K.S., Loutfi, A.: *Sense of Presence in a Robotic Telepresence Domain*. In: Proc. Int. Conf. on Human-Computer Interaction (HCI 2011), Orlando, Florida, USA, pp. 479-487, 2011
- [13] VGo Communications Website: www.vgocom.com
- [14] Anybots/QB Website: www.anybots.com
- [15] Gostai Website: www.gostai.com
- [16] Willow Garage/Texai Website: www.willowgarage.com/pages/texai
- [17] Double Robotics Website: www.doublerobotics.com
- [18] RoboDynamics/Luna Website: www.robotdynamics.com
- [19] iRobot/AVA Website: www.irobot.com/ava
- [20] WiMi-Care Projekt Website: www.wimi-care.de
- [21] ALIAS Projekt Website: www.aal-alias.eu
- [22] CompanionAble Projekt Website: www.companionable.net
- [23] Schröter, Ch., Müller, S., Volkhardt, M., Einhorn, E., Gross, H.-M.: *Companionable – ein robotischer Assistent und Begleiter für Menschen mit leichter kognitiver Beeinträchtigung*. In: 7. Deutscher AAL- Kongress (AAL 2013), Berlin, 2013
- [24] ROBADMOM Projekt Website: cogrob.ensta-paristech.fr/robadom.html
- [25] HealthBots Website: www.csi.ac.nz/healthbots
- [26] Bandit Projekt Website: robotics.usc.edu/interaction/
- [27] Huijnen, C., Badii, A., Heuvel, van den H., Caleb-Solly, P., Thiemert, D.: *'Maybe it becomes a buddy, but do not call it a robot' – Seamless Cooperation between Companion Robotics and Smart Homes*. In: Proc. 2nd Intl. Joint Conf. on Ambient Intelligence (AmI 2011), Amsterdam, Springer Lecture Notes in Comp.Science LNCS7040, pp. 324-329, 2011
- [28] Brell, M., Frenken, T., Meyer, J., Hein, A.: *A Mobile Robot for Selfselected Gait Velocity Assessments in Assistive Environments*. In: Proc. 3rd Intl. Conf. on Pervasive Techn. Rel. to Assistive Environm. (PETRA'10), Samos, Greece, 2010
- [29] KSERA Projekt Website: ksera.ieis.tue.nl
- [30] DOME0 Projekt Website: www.aal-domeo.eu
- [31] Saint-Aime, S., Le-Pevedic, B., Duhaut, D., Shibata, T.: *EmotiRob: Companion Robot Project*. In: Proc. IEEE Intl. Conf. on Robot & Human Interactive Communication (Ro-Man 2007), Jeju, Korea, pp. 919-924, 2007
- [32] Ven, A., Sponselee, A., Schouten, B.: *Robo M.D.: A Home Care Robot for Monitoring and Detection of Critical Situations*. In: Europ. Conf. on Cognitive Ergonomics (ECCE 2010), Delft, The Netherlands, pp. 375-376, 2010
- [33] Montemerlo, M., Pineau, J., Roy, N., Thrun, S., Verma, V.: *Experiences with a Mobile Robotic Guide for the Elderly*. In: Proc. AAAI Nat. Conf. on AI, 2002
- [34] Nursebot Projekt Website: www.cs.cmu.edu/~nursebot
- [35] LIREC Projekt Website: www.lirec.eu
- [36] DiaTrace Projekt Website: www.igd-r.fraunhofer.de/diatrace
- [37] Fit4Age Projekt Website: www.fit4age.org
- [38] NutriWear Projekt Website: www.rwth-aachen.de/go/id/bbgh/
- [39] Volkhardt, M., Weinrich, Ch., Gross, H.-M.: *People Tracking on a Mobile Companion Robot*. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE-SMC 2013), Manchester, GB, pp. 4354-4359, IEEE Computer Society CPS 2013
- [40] Bernardin, K., Stiefelhagen, R.: *Evaluating multiple object tracking performance: The clear mot metrics*. In: EURASIP Journ. on Image and Video Processing, pp. 1-10, 2008
- [41] Volkhardt, M., Gross, H.-M.: *Finding People in Apartments with a Mobile Robot*. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE-SMC 2013), Manchester, GB, pp. 4348-4353, IEEE Computer Society CPS 2013
- [42] Leibe, B., Leonardis, A., Schiele, B.: *Robust Object Detection with Interleaved Categorization and Segmentation*. In: Int. Journal of Computer Vision (IJCV 2008), Vol. 77, Issue 1-3, pp 259-289, 2008