

LISA: ein Assistenzroboter für den Einsatz in Laborumgebungen zur sicheren Mensch-Roboter-Interaktion

Dr. techn. **Norbert Elkmann**, M.-Eng. Dipl.-Ing. **Markus Fritzsche**,
Dipl.-Inf. **Erik Schulenburg**, Dr. **Christian Teutsch**
Fraunhofer IFF, Geschäftsfeld Robotersysteme,
Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg
<vorname>.<nachname>@iff.fraunhofer.de

Kurzfassung

Neben den klassischen Anwendungsszenarien für Roboter im industriellen Umfeld entstehen zunehmend neue Einsatzfelder für Serviceroboter und Assistenzsysteme. Dabei teilen sich Roboter und Mensch den Arbeitsraum ohne trennende Schutzeinrichtungen. Die Interaktion von Roboter und Mensch im selben Arbeitsraum wie z.B. im Haushalt oder im Labor erfordert oftmals die Berührung von Mensch und Roboter. Aus dieser direkten Interaktion entsteht jedoch oftmals ein ernst zu nehmendes Gefahrenpotential für den Menschen.

Die Sicherheit von Servicerobotern steht aktuell einer nicht eindeutigen Normenlage gegenüber. Da eine für Serviceroboter spezifische C-Norm fehlt kann die Konformität nur durch Konformität mit relevanten Abschnitten aus den A und B Normen nachgewiesen werden. Im Bereich interaktiver mobiler Robotersysteme für das öffentliche Umfeld, den Heim- und auch den Industriebereich, besteht hier akuter Handlungsbedarf.

In diesem Artikel wird am Beispiel des vom BMBF im Rahmen der Leitinnovation Servicerobotik geförderten Verbundprojektes LISA „Assistenzroboter in Laboren von Life-Science-Unternehmen“ eine Serviceroboterentwicklung skizziert, die die Voraussetzungen für eine Zertifizierung für die Mensch-Maschine Interaktion erfüllen soll. Außerdem werden wesentliche Punkte zur aktuellen Normenlage bzgl. der Sicherheit dargestellt.

1. Sicherheit in der Servicerobotik

Wenn Mensch und Maschine miteinander im gleichen Arbeitsraum interagieren, sind immer strenge Sicherheitsvorkehrungen zu treffen bzw. zu erfüllen. Für Industrieroboter und automatische Anlagen existiert dazu eine Vielzahl von Vorschriften und konkreten Normen. Im Bereich der Service- und Assistenzroboter sind diese Vorschriften aber oft nicht anwendbar, da sie eine direkte Interaktion praktisch unmöglich machen würden. Es

existieren bisher keine Sicherheitsnormen für dieses zukunftssträchtige Gebiet. Eine Anwendung von Service- und Assistenzrobotern im gemeinsamen Arbeitsraum mit dem Menschen setzt definitiv voraus, dass die Systeme – auch im Fehlerfall – keine Gefahr für den Menschen darstellen.

Erste Angaben zur Mensch-Maschine-Interaktion erfolgten in der Norm EN ISO 10218-1: 2006. Diese Norm definiert grundlegende Anforderungen bzgl. der Sicherheit von Industrierobotern und benennt erstmals technische Voraussetzungen, die bei Robotern für den MRI-Betrieb beachtet werden müssen. Diese Norm gilt nicht für den Einsatz im Heim-, sondern nur für den gewerblichen Bereich. Folgende Festlegungen werden in der Norm EN ISO 10218-1: 2006 in Bezug auf kooperierenden Betrieb getroffen:

- bei der Handführung des Manipulators durch den Menschen Verringerung der Geschwindigkeit des TCP (Tool Center Point) auf max. 250 mm/s, überwacht durch Sicherheitssysteme der Kategorie 3 (ISO 13849-1)
- Mindestabstand gemäß ISO 13855, sonst Sicherheitshalt oder maximal auftretende Kräfte von 150 N bzw. maximale Leistung von 80 W
- Schutz vor Singularitäten und
- Sichere Achsbegrenzungen

Diese Vorschriften sind jedoch nur erste grobe Ansätze für die Entwicklung komplexer interaktiver mobiler Robotersysteme.

Grundlage für den Aufbau eines sicheren Servicerobotersystems im gemeinsamen Arbeitsraum Mensch/Roboter ist zudem eine Risikoanalyse auf Basis der EN 1050 (ISO 14121), die das Einsatzszenario detailliert berücksichtigt. In weiteren Schritten müssen auftretende Sicherheitsrisiken an dem Service- und Assistenzroboter beseitigt werden. Dieses Vorgehen wird auch beim LISA-Projekt verfolgt, das im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

2. Das LISA-Projekt¹

Das Projekt „Assistenzroboter in Laboren von Life-Science-Unternehmen (LISA)“ ist ein Verbundprojekt mit acht Partnern aus Forschung und Industrie. Zielsetzung des Projektes ist die Entwicklung, der Aufbau und die Erprobung eines mobilen, alltagstauglichen

¹ Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ (Förderkennzeichen 02PB2170 bis 02PB2177) gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), betreut.

Assistenzroboters, der in Laboren von Life-Science-Unternehmen mit Labormitarbeitern interagiert und Routineaufgaben, Transportaufgaben und die Bestückung der Stationen selbständig übernimmt. Für die Akzeptanz eines Assistenzroboters, der sich die Arbeitsumgebung mit menschlichem Laborpersonal teilt und mit diesem interagiert sind die Flexibilität, die intuitive Bedienbarkeit und die Sicherheit entscheidend. Diese Aspekte stehen daher im Vordergrund des Projektes.

Zentrale Entwicklungen hinsichtlich des Aufbaus eines Komplettsystems zum Einsatz im Labor unter Alltagsbedingungen sind folgende:

- Entwicklung und Aufbau einer mobilen Plattform
- Navigation in dynamischer Umgebung, flexibler Einsatz bei sich ändernden Laborausstattungen
- Bestimmung der Aufnahme- und Ablagepositionen und der zu handhabenden Objekte, sensorgeführte Bewegung des Manipulators
- Sicherheitsanforderungen und -module, Integration in Manipulator (gemeinsamer Arbeitsraum Mensch-Assistenzsystem)
- Interaktion Mensch ↔ Assistenzsystem (grafisch, Sprache)

2.1 Hardwareaufbau

Der LISA-Roboter besteht im Wesentlichen aus einer mobilen Plattform mit einem speziell angefertigten Manipulator-Arm (siehe Bild 1).

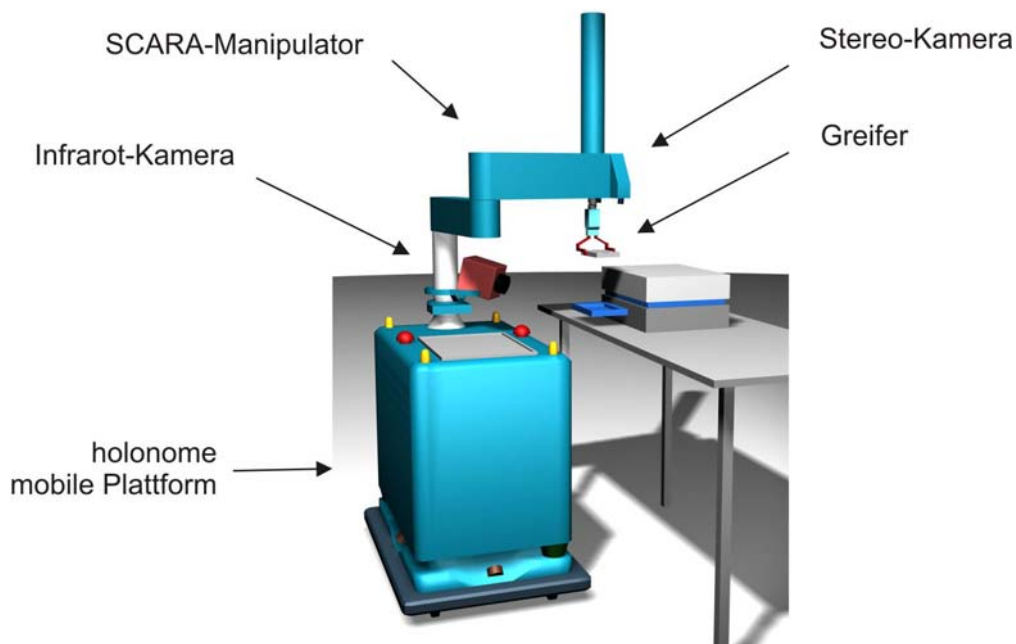


Bild 1: Design-Studie der LISA-Plattform.

Die Plattform besitzt einen holonomen Antrieb, um gut in der engen Laborumgebung navigieren zu können. Zwei SICK-Laserscanner (S300) sind an gegenüberliegenden Ecken montiert und decken jeweils einen Sichtbereich von 270° ab. Dadurch ergibt sich eine ständige 2D-Rundumsicht. Zusammen mit den Daten eines Gyroskops und Drehgebern an den Rädern werden die Laserscans zur Markov-Lokalisierung verwendet.

Beim Manipulator handelt es sich um eine SCARA-Kinematik. Der Manipulator ist mit einer Stereo-Kamera zur Objekterkennung und zur sensorgeführten Manipulatorbewegung ausgestattet. Die entsprechenden Algorithmen werden kurz in Abschnitt 3.4 erläutert. Zusätzlich ist eine kombinierte Kamera auf den Greifers gerichtet und liefert Bilder im visuellen und im Infrarot-Spektrum. Diese Kamera dient zur groben Positionierung des Manipulators und zur Überwachung des Arbeitsraumes auf menschliche Interaktion.

2.2 Multimodale Interaktion

Die Interaktion mit dem LISA-Roboter geschieht über Sprache und Eingaben auf einem berührungsempfindlichen Display. Die Spracheingabe basiert auf einem Dialogmanager, der im Rahmen des LISA-Projektes erweitert wird. Durch die Erweiterungen ist es möglich, die Spracheingabe durch Berühren des Touchscreens zu ergänzen, wodurch beispielsweise verbale Aufträge der Form „*Bringe die Probe von hier nach dort!*“ ermöglicht werden, wobei die Wörter „*hier*“ und „*dort*“ jeweils von einer Zeigegeste auf dem Touchscreen begleitet wird.

2.3 Sicherheitskomponenten im Projekt LISA

Im Rahmen des LISA-Projektes werden verschiedene Sicherheitskonzepte untersucht, die den Weg für eine Sicherheitszertifizierung vorbereiten sollen. Ausgangspunkt ist eine Gefahrenanalyse für den Roboter, der sich einen gemeinsamen Arbeitsraum mit Menschen teilt. Einige Gefahrenpotenziale und Lösungsansätze werden im Folgenden dargestellt.

Gefahrenpotential rührt von der autonomen mobilen Plattform her. Durch die große Masse können bei Kollisionen ernsthafte Verletzungen entstehen. Als erste Sicherheitsstufe wird daher eine Kollisionsvermeidung auf Basis von Laserscannern implementiert. Zusätzlich zu den Sicherheits-Laserscannern, die auch zur Navigation verwendet werden, aber nur eine waagerechte Ebene um den Roboter abdecken, werden vier Laserscanner eingesetzt, die an den vier Seiten des Roboters angebracht sind und schräg nach oben gerichtet werden. Diese Laserscanner bilden einen Schutztrichter um den Roboter, durch den die Annäherung von Objekten oder Personen detektiert werden kann. Außerdem sind die unteren Kanten der Plattform durch Schalleisten gesichert, die bei Kontakt einen sofortigen Halt auslösen.

Darüber hinaus wird die gesamte Oberfläche des Roboters mit einer innerhalb des LISA-Projektes neuentwickelten, druckempfindlichen künstlichen Haut (siehe Bild 2) verkleidet. Sie besteht aus einer Matrix aus Sensorzellen, die elektrisch entkoppelt sind. Das Messprinzip beruht auf dem druckabhängigen Widerstand eines leitfähigen Schaumstoffs.

Um die Verletzungsgefahr weiter zu verringern, wird außerdem die maximale Geschwindigkeit, abhängig vom detektierten Freiraum um die Plattform, auf 0,8 m/s bzw. 0,3 m/s beschränkt.



Bild 2: Prototyp der druckempfindlichen taktilen Haut.

Weitere Gefahr geht vom Greifer aus, der menschliche Finger oder Gliedmaße einklemmen kann. Daher wird der Backenhub derart optimiert, dass zwischen Objekten und Greifer nur wenige Millimeter Platz sind. Dadurch passen menschliche Finger nicht in den entstehenden Spalt und die Klemmgefahr wird ausgeschlossen. Gleichzeitig wird der Arbeitsraum ständig durch eine Thermographiekamera überwacht, um menschliche Interaktion im Bereich des Greifers zu erkennen. Das Verfahren basiert auf Bildsequenzanalyse und der IR-Information, um menschliche Bewegungen und deren Richtung zu bestimmen. Eine Aufnahme dieser Kamera ist in Bild 3 auf der linken Seite dargestellt.

Ein weiteres Sicherheitsrisiko stellt der Manipulator selbst dar, der ebenfalls mit Menschen kollidieren kann. Der Manipulator wird daher mit der gleichen druckempfindlichen künstlichen Haut, wie die Plattform ausgestattet und die Drehmomente der einzelnen Antriebe überwacht, um Kollisionen zu erkennen.

2.4 Objekterkennung

Mithilfe optischer Sensoren werden die Ablage- und Übergabepositionen für die Multischalen automatisiert erkannt. Hierfür werden zwei kombinierte digitale 8-Bit Kameras mit einer Chipgröße von 1392x1040 Pixeln eingesetzt. In einem festen Arbeitsabstand von ca. 500 mm erlaubt das Kamerasystem die Überwachung eines Arbeitsfeldes von 400x300 mm². Durch den Einsatz von Subpixelinterpolationsverfahren ergibt sich eine Auflösung von ca. 50 Pixeln/mm². Dies ist für die Objekt- bzw. Positions- und Lageerkennung ausreichend, da die Greiferhardware und der Greifvorgang eine Toleranz von mindestens 0,5 mm erlaubt.

Das Verfahren zur optischen Erkennung der Multischalen unterteilt sich in drei Stufen: Segmentierung, Formerkennung und -identifizierung. Dabei basiert es im ersten Schritt auf einer Histogramm basierten, adaptiven Segmentierung um sich ändernden Lichtverhältnisses anpassen zu können [4]. Mit Hilfe der rotating caliper Methode [5] wird im zweiten Schritt das kleinste, das Objekt umschließende Rechteck bestimmt und die entsprechende Lageinformation abgeleitet. Im dritten Schritt werden stichprobenartig 3D-Höheninformationen der Objektoberfläche generiert, um zwischen Multischale und deren Deckel unterscheiden zu können. Dieser Ansatz basiert auf der Stereophotogrammetrie. Dafür wird die Epipolargeometrie zwischen den Kameras genutzt, um zunächst korrespondierende Bildpositionen (Pixel) durch Korrelation zu erkennen. Anschließend wird auf Basis der Kamerakalibrierung und des Prinzip der optischen Triangulation für jedes Pixelpaar eine 3D-Koordinate ermittelt [6]. Bei einem Kameraabstand von ca. 200 mm ermöglicht dies eine praktische Messunsicherheit von < 0.5 mm.

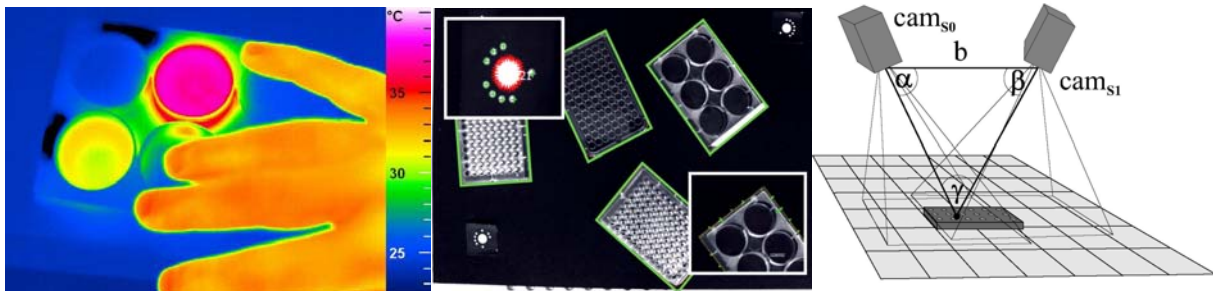


Bild 3: Thermografieaufnahme während einer menschlichen Interaktion (links). Verfahren zur Objekterkennung anhand der geometrischen Form (mitte) und Prinzip der optischen Triangulation (rechts).

Literaturangaben

- [1] Schulenburg E., Elkmann N., Fritzsche M., Girstl A., Stiene S., Teutsch C.: LiSA: A Robot Assistant for Life Sciences. In Proc. of the 30th Annual German Conference on AI (KI 2007), Osnabrück, Germany, September 2007
- [2] Fritzsche M., Schulenburg E., Elkmann N., Girstl A., Stiene S., Teutsch C.: Safe Human-Robot Interaction in a Life Science Environment. In Proc. of the IEEE International Workshop on Safety Security and Rescue Robotics (SSRR 2007), Rome, Italy, September 2007
- [3] Schulenburg E., Elkmann N., Fritzsche M., Teutsch C.: A Mobile Service Robot for Life Science Laboratories. 20. Fachgespräch Autonome Mobile Systeme (AMS 2007), Kaiserslautern, Oktober 2007
- [4] Rosin P. L.: Unimodal thresholding. *Pattern Recognition* 34(11) (2001) 2083–2096.
- [5] Ahn H.-K., Brass P., Cheong O., Na H.-S., Shin C.-S. Vigneron A.: Inscribing an axially symmetric polygon and other approximation algorithms for planar convex sets, *Computational Geometry: Theory and Applications* 33 (2006), pp. 152–164
- [6] Teutsch C., Berndt D., Sobotta A., Sperling S.: A flexible photogrammetric stereo vision system for capturing the 3d shape of extruded profiles. In P. S. Huang, editor, Proc. Two- and Three-Dimensional Methods for Inspection and Metrology IV (SPIE Optics East), vol. 6382, p. 63820M., 2006.