Teleoperierte mobile Roboter warten Prozessanlagen

Niedrigere Betriebskosten und höhere Arbeitssicherheit

Eine wichtige Aufgabe des Personals industrieller Prozessanlagen besteht darin, regelmäßig Inspektions- und Wartungsaufgaben durchzuführen. Viele dieser Arbeiten sind einfache Routinearbeiten, die durch den Einsatz mobiler Roboter automatisiert werden können. Im Rahmen des Projekts ImRoNet (www.imronet.de) wurde ein mobiles Robotersystem aufgebaut, das nicht nur Inspektionsfahrten, sondern auch Handhabungsaufgaben durchführen kann.

SCHLAGWÖRTER Roboter / teilautonom / Fernwartung

Tele-Operated Mobile Robots Maintain Process Plants – Lower Operating Costs and Higher Operational Safety

An important task of operators of industrial process plants consists in regular inspection and maintenance of the equipment. Many of these tasks can be automated by the use of tele-operated mobile robots. With a recently developed software framework, the robot is not only able to inspect but to assist the operator semi-autonomously.

KEYWORDS Robots / semi-autonomous / tele-maintenance

GEORG ARBEITER, ALEXANDER BUBECK, JAN FISCHER UND BIRGIT GRAF,
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Viele Tätigkeiten im Bereich Inspektion und Wartung sind Routinearbeiten, die sich durch den Einsatz mobiler Roboter automatisieren lassen. Insbesondere in für Menschen gefährlichen Umgebungen wie zum Beispiel auf Offshore-Anlagen sowie in chemischen oder petrochemischen Produktionsanlagen können damit die Betriebskosten gesenkt und die Arbeitssicherheit verbessert werden. Hohe Potenziale für die Automatisierung liegen vor allem in der regelmäßigen automatischen Durchführung folgender Wartungs- und Inspektionsaufgaben:

- Monitoring aktueller Pegelstände oder Anzeigen von Messgeräten
- Akustische Inspektion, zum Beispiel von Pumpen
- Untersuchung auf Leckage
- Entnehmen von Proben
- Wartung stationärer Feuer- und Gassensoren

Neben Routineaufgaben eignen sich mobile Roboter auch dazu, in Notfällen zeitnah und ohne eine Gefährdung des Personals zu reagieren. Mögliche unregelmäßige Einsatzfelder des Roboters sind:

- Lokalisieren und Abdichten von Gaslecks
- Erkennen und Löschen von Feuer
- Öffnen und Schließen von Ventilen

Für den sicheren Betrieb und die Akzeptanz bei den Benutzern ist eine möglichst einfache und intuitive Steuerung und Überwachung des Roboters über eine zentrale Leitstelle notwendig. Entsprechend der unterschiedlichen Einsatzfälle sollte der Roboter sowohl autonom als auch teleoperiert betrieben werden können.

1. STAND DER TECHNIK UND VORARBEITEN

Der Einsatz mobiler Roboter im industriellen Umfeld beschränkt sich bisher auf einige spezielle Anwendungsfelder. Mobile Plattformen für den Transport, zur Reinigung oder zur Bewachung sind bereits in der Lage, sich autonom in einer vorher definierten Arbeitsumgebung fortzubewegen. Mobile Roboter mit Handhabungsfähigkeiten, zum Beispiel für die Minen- oder Bombenentschärfung, zum Feuerlöschen, unbemannte Bodenfahrzeuge im militärischen Einsatz oder Unterwasserroboter werden hingegen größtenteils ferngesteuert [1].

MIMROex (Bild 1) ist ein mobiler Roboter für die automatische Inspektion prozesstechnischer Anlagen, der insbesondere auch in explosiver Atmosphäre sicher betrieben werden kann [2]. Neben den in der Roboterbasis integrierten Gas- und Feuersensoren sowie zwei Mikrophonen ist MIMROex mit einer Kamera ausgestattet, die mithilfe eines Roboterarms zielgenau vor den abzulesenden Anzeigen positioniert wird. Die Ergebnisse von Inspektionsfahrten werden in einer Datenbank abgelegt, das Bedienpersonal kann sie jederzeit am Leitstand abrufen. Über die grafische Benutzerschnittstelle werden zudem die aktuellen Sensorwerte angezeigt und bei Unregelmäßigkeiten Warnungen ausgegeben. Im Rahmen eines 2-wöchigen Feldtests auf einer Offshore-Plattform wurden die Fähigkeiten des Roboters zur automatischen Inspektion der Anlagentechnik erfolgreich erprobt.

Im Notfall ist neben dem vollautomatischen Betrieb auch eine Fernsteuerung des Roboters durch den Benutzer möglich, zum Beispiel um mit Hilfe eines Handrads ein Ventil zu schließen, das zu einer undichten Leitung führt oder eine bestimmte Anzeige abzulesen. Auch hier lässt sich die Sensorik des Roboters nutzen, um das Personal mit teilautonomen Sicherheits- und Assistenzfunktionen zu unterstützen.

2. ANWENDUNGSSZENARIO

Für die teilautonome Durchführung von Wartungs- und Inspektionsaufgaben fährt der Bediener den Roboter teleoperiert durch die Umgebung, um mit diesem so in die Nähe der zu inspizierenden oder zu manipulierenden Objekte zu gelangen. Nachdem ein Objekt vom Roboter mit Hilfe seiner Sensorik erkannt wurde, kann der Be-

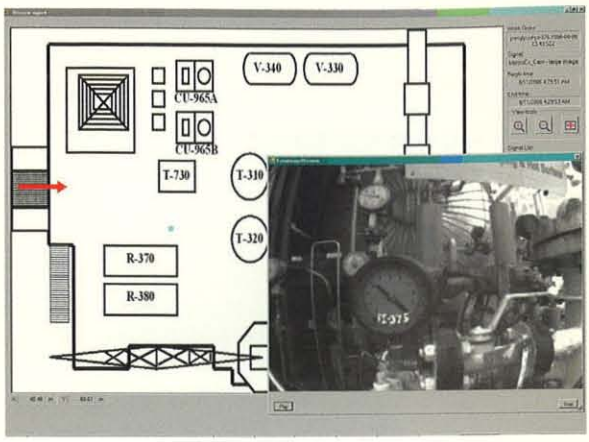

BILD 1: Mobiler Inspektionsroboter MIMROex im Einsatz auf einer Offshore-Plattform (links), Benutzeroberfläche mit Visualisierung der aufgezeichneten Sensordaten (rechts)

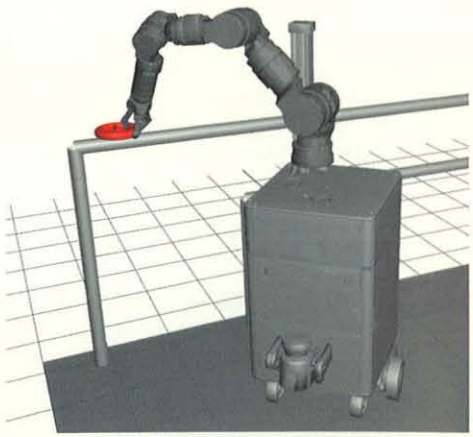

BILD 2: Der Demonstrator für das Wartungsszenario; Modell der Testumgebung im Labor des Fraunhofer IPA

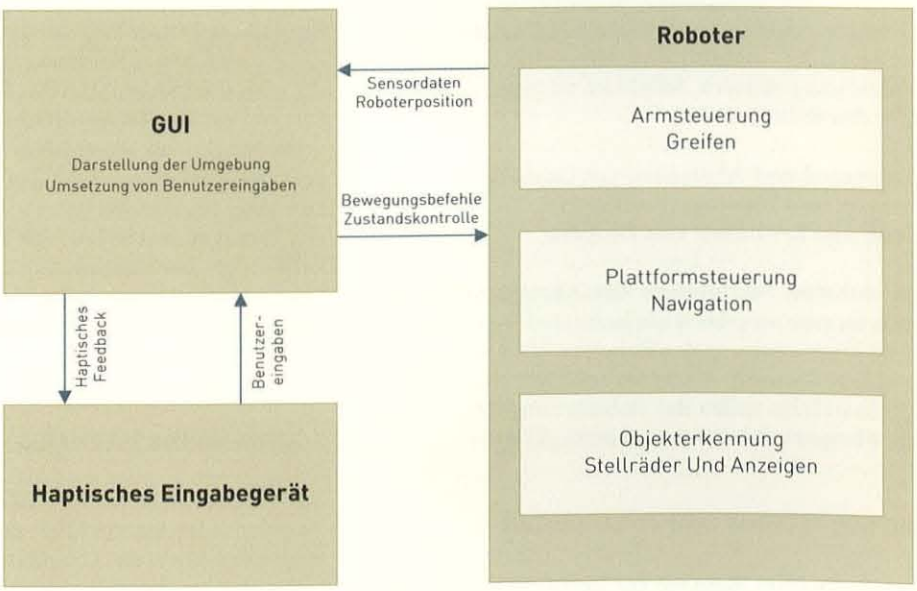

BILD 3: Übersicht der eingesetzten Schlüsseltechnologien

nutzer den automatischen Betrieb starten, in dem der Roboter autonom Fahr- oder Greifbewegungen zur Lösung der gegebenen Aufgabe durchführt.

Um neben Inspektions- auch Wartungsaufgaben erledigen zu können, benötigt der Roboter im Vergleich zu MIMROex einen Manipulator und zusätzliche Sensorik zur Umgebungserfassung. Deswegen wurde ein neuer Demonstrator aufgebaut, dessen Arm mit einem Drei-Finger-Greifer zur Objektmanipulation ausgestattet ist Auf einem beweglichen Sensorkopf befinden sich eine Farbkamera und ein 3-D-Tiefenbildsensor (Bild 2).

Die Teleoperation des Roboters erfolgt über eine per Funk mit dem Roboter verbundene grafische Bedienoberfläche (GUI). Diese besitzt ein Anzeigefenster, in dem die Umgebung aus Robotersicht zu sehen ist. In das Umgebungsmodell können zusätzlich für Wartungsaufgaben relevante 3-D-Objekte eingeblendet werden. Weiterhin zeigt die GUI Statusinformationen des Roboters wie Position oder aktuellen Zustand an. Für die Fortbewegung des Roboters wird ein haptisches Eingabegerät wieder Novint Falcon [3] genutzt. Haptische Vibrationseffekte geben Rückmeldung über drohende Kollisionen mit Hindernissen.

Erkennt der Roboter mithilfe seiner Sensoren ein Stellrad oder eine Anzeige, so wird dieses Objekt an der entsprechenden Stelle im Umgebungsmodell angezeigt und hervorgehoben. Über das haptische Eingabegerät kann der Bediener ein Objekt von Interesse auswählen. Dazu führt er beispielsweise den Cursor über ein Stellrad und aktiviert mit einem Tastendruck die automatische Bedienung. Bei der Auswahl der Objekte hilft ein haptischer Magneteffekt. Dieser fängt den Cursor in der Umgebung des Objekts ein und zieht ihn in die Richtung des Stellrads. Gleichzeitig bekommt der Bediener eine haptische Rückmeldung über das Eingabegerät.

Nach der Aktivierung des automatischen Betriebs fährt der Roboter zunächst zu einer für die Aufgabe geeigneten Position. Je nach Art des ausgewählten Objekts werden nun unterschiedliche Aktionen durchgeführt:

- Soll ein Stellrad gedreht werden, so erfolgt zunächst eine Bewegung des Roboterarms in die Greifposition.
- Nach der Berechnung einer geeigneten Trajektorie und einer zum Objekt passenden Konfiguration des Greifers wird das Stellrad gegriffen und auf- oder zugedreht.
- Ist das Stellrad größer als der Arbeitsraum des Arms, so wird die Roboterplattform synchron mitbewegt.
- Will der Bediener stattdessen eine Anzeige ablesen, wird die Kamera auf das Zielobjekt fokussiert.
- Nach Abschluss des Vorgangs erhält der Bediener über die GUI Rückmeldung und kann den Roboter wieder manuell steuern.

3. EINGESETZTE SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN

Die Umsetzung des Anwendungsszenarios bedingt den Einsatz vieler verschiedener Technologien. Die wichtigsten Schlüsseltechnologien werden in Bild 3 beschrieben. Um Stellräder und Anzeigen korrekt erkennen zu können, benötigt der Roboter eine entsprechende Bildverarbeitungskomponente. Weiterhin muss das in der GUI angezeigte Umgebungsmodell aus Kartenmaterial und Sensordaten erstellt werden. Die Bedienereingaben werden vom haptischen Eingabegerät entgegen genommen. Gleichzeitig erzeugt das Gerät haptische Effekte. Der Roboter benötigt zudem eine Armsteuerung und Greifplanung, um mobile Manipulation durchführen zu können und die Stellräder zu drehen.

3.1 Objekterkennung

Die Objekterkennung dient zur Detektion von Stellrädern und Anzeigen in Position und Orientierung. Dabei verwendet das hier beschriebene Verfahren einen 3-D-Tiefensensor[4], um eine dreidimensionale Punktewolke sowie ein zweidimensionalen Tiefenbild der Umgebung zu erzeugen. Im Tiefenbild werden die gemessenen Distanzen durch Grauwerte kodiert, wodurch es möglich ist, Algorithmen aus der 2-D-Bildverarbeitung auf das Tiefenbild anzuwenden.

Die Detektion ist in vier Komponenten gegliedert (Bild 4):

1 | Ellipsenextraktion auf 2-D Tiefenbild: Das entwickelte Verfahren basiert auf der Annahme, dass Stellräder oder Anzeigen eine annähernd runde Form besitzen. Da runde Formen unter Änderung des Blickwinkels in Ellipsen übergehen können, werden mithilfe der Randomized Hough Transformation [5] in einem ersten Schritt Ellipsen im Tiefenbild detektiert.

2 | Ebenenfitting auf den entsprechenden 3-D-Raumkoordinaten der Ellipsen: In der Umgebung jeder erkannten Ellipse werden nun die zugehörigen 3-D-Punkte betrachtet. In diese Punkte wird durch den Random Sample Consensus (RANSAC) Algorithmus [6] eine Ebene bestmöglich eingepasst und alle betrachteten 3-D-Punkte auf diese Ebene orthogonal (in Normalenrichtung der Ebene) projektiert.

3 | Kreisfitting und Bestimmung von Radius, Normalenrichtung und Position des möglichen Objekts in der extrahierten Ebene: Um Radius und Position des Objekts zu bestimmen, wird basierend auf den projektierten Punkten in der Ebene ein Kreis eingefittet. Dazu wird das Verfahren von Taubin [7] verwendet, welches basierend auf impliziten Funktionen auch eine Rekonstruktion von teilweise verdeckten Kreisen ermöglicht.

4 | Plausibilitätsanalyse des Detektionsergebnisses (nicht dargestellt im Bild 4): Damit Stellräder und Anzeigen von anderen runden Objekten in der Umgebung unterschieden werden können, wird abschließend eine Plausibilitätsanalyse des Detektionsergebnisses durchgeführt. Dabei wird Radius und Lage des erkannten Objekts mit den Daten des statischen Umgebungsmodells verglichen.

3.2 Umgebungsmodellierung

Sollen mobile Roboter (teil-)autonom Manipulationsaufgaben übernehmen, ist eine exakte Kenntnis der aktuellen Umgebung Voraussetzung. Nur so können potenzielle Kollisionen des Roboters mit Objekten oder Personen

frühzeitig erkannt und vermieden werden.

Der Roboter besitzt zur Erfüllung von Navigationsaufgaben bereits eine 2-D-Karte, welche bei der Inbetriebnahme „eingelernt" wird. Weiterhin werden von statischen Hindernissen wie Wänden, Geländern oder Maschinen 3-D-Modelle erstellt und dem Roboter zur Verfügung gestellt sowie in der GUI angezeigt. Darauf aufbauend kann die 3-D-Karte nun durch dynamische 3-D-Objekte ergänzt werden. Dazu werden aus den Bildern der im Sensorkopf montierten Farbkamera Merkmalspunkte (SURF-Features) extrahiert[8]. Diese sind gegenüber Rotation und Änderung der Lichtverhältnisse robust, so dass eine hohe Wiedererkennungswahrscheinlichkeit gegeben ist. Unter Zuhilfenahme der Daten des 3-D-Tiefensensors kann nun die Lage der SURF-Merkmale im Raum bestimmt und entsprechende geometrische Formen errechnet werden. Diese sind jedoch aufgrund von Ungenauigkeiten in den Sensorwerten und der nicht exakt bekannten Roboterposition fehlerbehaftet. Deswegen erfolgt eine Fehlerminimierung durch den Einsatz von probabilistischen Filtern[9]. Anschließend werden die Merkmale und erkannte Geometrien in die Umgebungskarte eingetragen (vergleiche Bild 5).

Bewegt sich der Roboter und nimmt neue Messwerte über die Sensorik auf, so werden die oben genannten Schritte wiederholt, um schließlich eine genaue 3-D-Karte der Umgebung zu erhalten. In dem Fall, dass Objekte aus der Umgebung verschwinden, sind die eingesetzten Algorithmen in der Lage, die Umgebungskarte durch Löschen der entsprechenden Merkmale anzupassen.

3.3 Haptik

Für die intuitive Teleoperation von Robotern ist der Einsatz von haptischen Effekten sehr hilfreich. Hierzu wird ein haptisches Eingabegerät verwendet, welches Kraftrückkopplungen erzeugen kann. Diese basieren auf der Interaktion des Cursors in der GUI mit Objekten in der 3-D-Umgebung.

Die Berechnung und das Auslösen der haptischen Effekte geschehen in mehreren Schritten:

1 | Definition von haptischen Oberflächen und Kraftfeldern: Um verschiedene haptische Effekte, wie zum Beispiel weiche oder magnetische Oberflächen darstellen zu können, müssen die entsprechenden haptischen Oberflächen erzeugt werden. Dafür werden Kontaktkraftverläufe generiert und an die Oberfläche gebunden[10].

2 | Zuweisen der Oberflächen zu Objekten im Umgebungsmodell: Die im vorherigen Schritt generierten Oberflächen müssen nun den Objekten im Umgebungsmodell zugeordnet werden, die einen entsprechenden Effekt besitzen sollen. So erhalten beispielsweise die Stellräder eine magnetische Oberfläche zugeordnet.

3 | Kollisionserkennung zwischen Cursor und haptischem Objekt: Während der Bewegung des Cursors über das haptische Eingabegerät muss ständig abgefragt werden, ob es zu einer Kollision mit einem haptischen Objekt kommt. In diesem Fall wird der entsprechende Effekt ausgelöst.

4 | Auslösen des Feedbacks je nach Art der Kollision und der Oberfläche: Wird eine Kollision detektiert, so beginnt die Berechnung der Kraft, welche anschließend an das haptische Eingabegerät gegeben wird. Die Kraft wird während der weiteren Bewegung des Cursors ständig aktualisiert.

3.4 Mobile Manipulation

Nachdem durch die Objekterkennung die Position und Rotation des Stellrades definiert wurde, kann sich der Roboter mittels der mobilen Plattform in dessen Nähe begeben. Durch Vorberechnung des Arbeitsraums des eingesetzten Manipulators (Bild 6) wird eine Zielposition für die Plattform relativ zum Stellrad berechnet, die eine Manipulation des Stellrades ermöglicht. Das Anfahren dieser Position geschieht autonom. Ein Pfadplanungsalgorithmus führt den Roboter um alle Hindernisse zur Manipulationsposition[11].

Die Stellradposition, die im Weltkoordinatensystem vorliegt, wird nun auf Basis der exakten Lokalisierung der Roboterplattform in das Koordinatensystem des Manipulators transformiert. Anschließend kann dieser sich zum Stellrad bewegen. Während der Armbewegung werden mittels eines eigenen Kollisionsberechnungsverfahrens potenzielle Eigenkollisionen ermittelt und die Bewegung somit überwacht[12]. Nachdem das Stellrad erreicht ist, wird basierend auf dessen Parametern sowie dem Umgebungsmodell eine Armtrajektorie berechnet, um das Stellrad in vorgegebener Richtung zu bewegen.

Durch Ungenauigkeiten der Sensorik beziehungsweise durch Regelungsfehler sind geringe Abweichungen von der vorberechneten Trajektorie nicht vermeidbar. Diese erzeugen nicht unerhebliche Kräfte auf den eingesetzten Greifer, da bei der Manipulation eine kinematische Kopplung zwischen dem Greifer und dem Stellrad vorhanden ist. Daher ist der Roboterarm mit einem Kraft-Momenten-Sensor hinter der Hand ausgestattet. Ein überlagerter Kraftregelungsalgorithmus ermöglicht es, die Bewegungsfehler auszugleichen und die entstehenden Kräfte so annähernd vollständig zu kompensieren.

Im Praxiseinsatz kann es vorkommen, dass ein sehr großes Stellrad bewegt werden soll, so dass der Arbeitsraum des Manipulators nicht ausreicht, um das Stellrad vollständig in die gewünschte Position zu bewegen. Mittels einer Synchronisation des Arm- und des Plattformreglers ist es jedoch möglich, den Arbeitsraum des Manipulators beliebig zu vergrößern. Bewegungen der Plattform werden vollständig durch den Arm kompensiert, so dass sie keinen Einfluss auf die Zieltrajektorie, jedoch auf die Position des Arms in seinem Arbeitsraum haben. Der Einsatz eines Echtzeitbetriebssystems und eines Echtzeitnetzwerkprotokolls macht es möglich, diese Kopplung mit der nötigen Genauigkeit und Zuverlässigkeit durchzuführen.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Über das vorgestellte Verfahren zur Teleoperation von Robotern ist es möglich, Wartungsaufgaben wie die Manipulation von Stellrädern oder das Ablesen von Anzei-

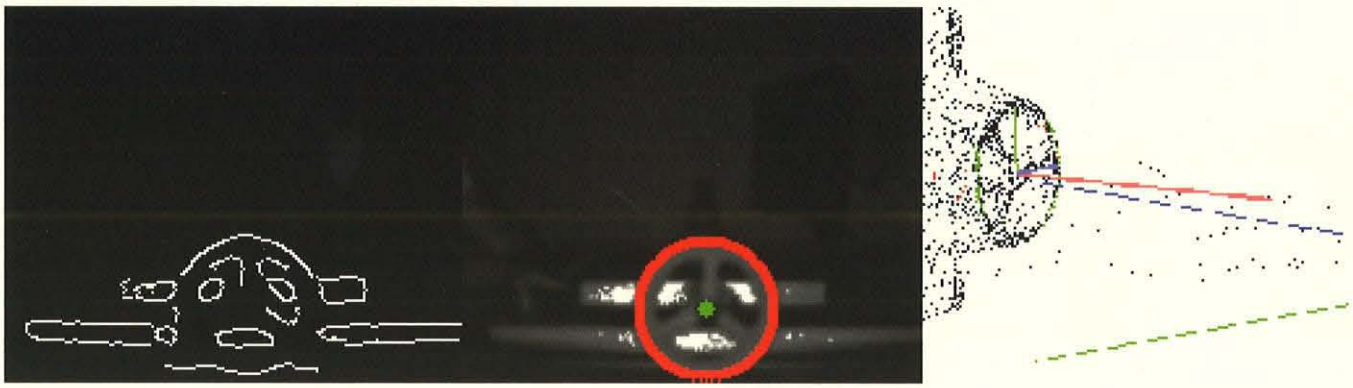

BILD 4: Schritte der Stellraderkennung: Kantenextraktion, erkanntes Rad in 2-D, erkanntes Rad in 3-D

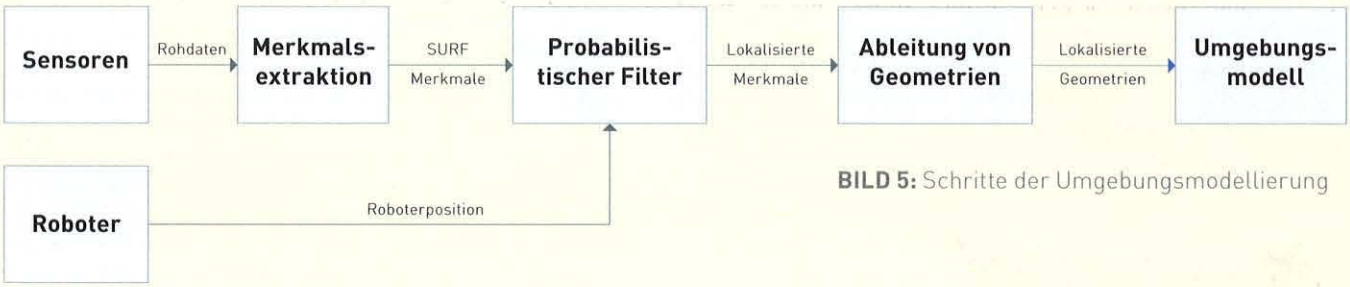

BILD 5: Schritte der Umgebungsmodellierung

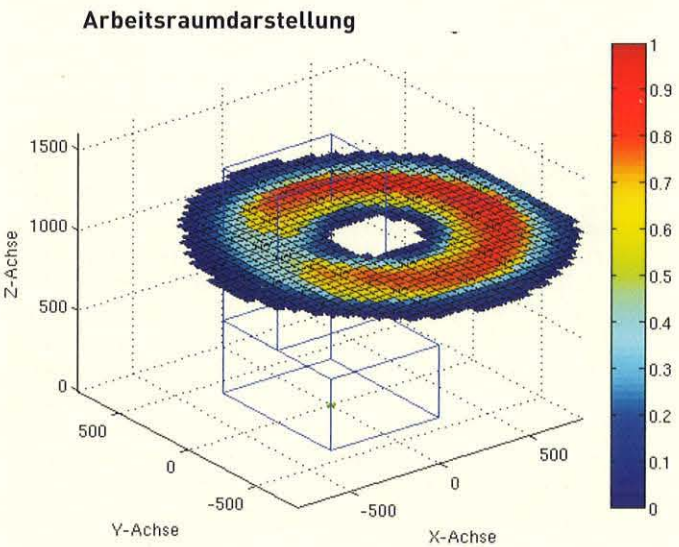

BILD 6: Schnittbild des Manipulatorarbeitsraums. (Die Farbkodierung zeigt die Güte der Erreichbarkeit.)

BILD 7: Synchrone Arm- und Plattformbewegung im Einsatz.

gen durch einen Roboter ferngesteuert durchführen zu lassen. Der Roboter unterstützt den Bediener bei der Durchführung der Aufgaben, indem er beispielsweise Navigations- und Manipulationsaufgaben teilautonom durchführt.

Nach der erfolgreichen ersten Umsetzung des Anwendungsszenarios befassen sich zukünftige Arbeiten mit möglichen Erweiterungen der Benutzerschnittstelle, zum Beispiel durch Integration eines aktuellen Kamerabildes des Roboters. Das Umgebungsmodell kann um dynamische Objekte erweitert werden und somit eine kollisionsfreie Manipulation in sich ändernden Umgebungen möglich machen. Dafür werden aktuell Auswertealgorithmen entwickelt, die schnell genug sind, um auch plötzlich auftauchende Hindernisse zu erkennen.

Weiterhin muss das Robotersystem im Dauerbetrieb getestet und optimiert werden. Hierzu werden Tests bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen durchgeführt und die Objekterkennung und Manipulation an verschiedenen Stellrädern und Anzeigen getestet.

Schließlich müssen noch Untersuchungen zur Robustheit des entwickelten Verfahrens gemacht werden. Hier spielen vor allem Bandbreitenbeschränkungen und Latenzen bei der Übertragung von Daten über das Internet eine zentrale Rolle. So muss beispielsweise bei einer nicht ausreichenden Bandbreite entschieden werden, welche Daten die höchste Priorität besitzen und demnach zuerst gesendet werden.

MANUSKRIPTEINGANG
18.12.2009

AUTOREN

Dipl.-Ing. **GEORG ARBEITER** (geb. 1981) studierte Mechatronik an der Universität Erlangen-Nürnberg.
Seit 2007 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und befasst sich mit 3-D-Umgebungserfassung und kleinen Robotern für den Haushalt.

Fraunhofer IPA,
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart,
Tel. +49 711 970 1299,
E-Mail: georg.arbeiter@ipa.fraunhofer.de

JAN FISCHER (geb. 1982) erlangte den Titel Dipl.-Inf. im Jahre 2008 an der Universität Karlsuhe (TH). Seit 2008 arbeitet er am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart als wissenschaftlicher Mitarbeiter. Seine Forschungsinteressen liegen im Gebiet der Bildverarbeitung und beziehen sich auf die Erkennung von Objektposen mittels 3-D-Bildverarbeitungsverfahren.

Fraunhofer IPA,
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart,
Tel. +49 711 970 1191,
E-Mail: jan.fischer@ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. **ALEXANDER BUBECK** (geb. 1983) sammelte schon während seines Mechatronikstudiums an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg bei der Firma Neobotix Erfahrungen mit mobilen Robotern. Sein Forschungsschwerpunkt liegt seit April 2008 am Fraunhofer IPA in der mobilen Manipulation, der Verbindung von mobilen Plattformen mit Servicerobotik-Manipulatoren.

Fraunhofer IPA,
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart,
Tel. +49 711 970 1314,
E-Mail: alexander.bubeck@ipa.fraunhofer.de

Dr. **BIRGIT GRAF** (geb. 1972) leitet am Fraunhofer IPA die Gruppe Haushalts- und Assistenzrobotik und ist schon seit über 10 Jahren in der mobilen Robotik tätig. Ihre Doktorarbeit über die Navigation eines intelligenten Gehhilferoboters schloss sie im Jahr 2008 ab. Sie war an der Entwicklung unterschiedlicher Generationen des Haushaltsroboters Care-O-bot sowie verschiedener Museumsroboter für den Einsatz im In-und Ausland beteiligt.

Fraunhofer IPA,
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart,
Tel. +49 711 970 1910,
E-Mail: birgit.graf@ipa.fraunhofer.de

DANKSAGUNG

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten wurden teilweise im Rahmen des Projekts ImRoNet [13] mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01MR06002 gefördert.

REFERENZEN

[1] IFR Statistical Department: World Robotics 2008 (http://www.worldrobotics.org; 1.2.2008)

[2] Graf, Birgit; Pfeiffer, Kai: "Mobile Robotics for Offshore Automation." In: Penders, Jacques (Ed.) u.a.: Robotics for Risky Interventions and Surveillance of the Environment: IARP/EURON International Workshop, January 7th-8th, 2008, Benicàssim, Castelló de la Plana, Spain, 2008

[3] Novint Falcon Product Page (home.novint.com/products/novint_falcon.php; 1.9.2009)

[4] Mesa Imaging Company Page (www.mesa-imaging.ch; 3.9.2009)

[5] Basca, C. A.; Talos, M.; Brad, R.: "Randomized Hough Transform for Ellipse Detection with Result Clustering." In: EUROCON 2005, pp 1397-1400, 2005

[6] Fischler, M. A.; Bolles, R. C.: "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography." In: Comm. of the ACM, Vol. 24, pp 381-395, 1981

[7] Taubin, G.: "Estimation Of Planar Curves, Surfaces And Nonplanar Space Curves Defined By Implicit Equations, With Applications To Edge And Range Image Segmentation." In: IEEE Trans. PAMI, Vol. 13, pp 1115-1138, 1991

[8] Bay, Herbert; Tuytelaars, Tinne; Van Gool, Luc: "SURF: Speeded Up Robust Features." In: Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, Springer Verlag, 2006

[9] Thrun, S.; Burgard, W.; Fox., D.: "Probabilistic Robotics." MIT Press, Cambridge, MA, 2005

[10] Open Source Haptics (www.h3-D.org; 1.9.2009)

[11] Graf, Birgit: Dependability of Mobile Robots in Direct Interaction with Humans. In: Prassler, Erwin (Ed.) u.a.: Advances in Human-Robot Interaction. Berlin u.a.: Springer, 2005, S. 223-239 (Springer Tracts in Advanced Robotics - STAR 14)

[12] Reiser, Ulrich; Volz, Rene; Geibel, Felix: ManIPA: A flexible Manipulation Framework for Collision Avoidance and Robot Control. In: International Federation of Robotics u.a.: ISR 2008: 39th International Symposium on Robotics, 15.-17. Oct. 2008, Seoul, Korea. Seoul, Korea, 2008, S. 407-411

[13] ImRoNet - Internetbasierte multimediale/multimodale Nutzerschnittstellen zur Teleoperation von Robotern (2007) (www.imronet.de; 8.11.2007)

automatisieren! by atp

Das schnelle Fachmedium für die kompakte Wissensvermittlung und den Informationsaustausch unter Fach- und Führungskräften in der Automatisierungsszene.

2 Hefte gratis zum Kennenlernen!

automatisieren! by atp erscheint in der Oldenbourg Industrieverlag GmbH, Rosenheimer Str. 145, 81671 München, GF: Hans-Joachim Jauch

www.atp-online.de

Gleich anfordern per Post oder per Fax: +49 (0) 931 / 4170 492

Ja, schicken Sie mir die nächsten beiden gedruckten Ausgaben des Fachmagazins automatisieren! by atp gratis zu.

Nur wenn ich überzeugt bin und nicht innerhalb von 14 Tagen nach Erhalt des zweiten Hefts schriftlich absage, bekomme ich automatisieren! by atp für zunächst ein Jahr (24 Ausgaben) zum Preis von € 72,- zzgl. Versand (Deutschland: € 36,- / Ausland: € 42,-) pro Halbjahr.

Vorzugspreis für Schüler und Studenten (gegen Nachweis) € 36,- zzgl. Versand pro Jahr.

Leserservice atp • Postfach 91 61 • 97091 Würzburg

Firma/Institution

Vorname, Name des Empfängers

Straße/Postfach, Nr.

Land, PLZ, Ort

Telefon Telefax

E-Mail

Branche/Wirtschaftszweig

✘

Datum, Unterschrift PAATPE0310

Garantie: Dieser Auftrag kann innerhalb von 14 Tagen beim Leserservice atp, Postfach 91 61, 97091 Würzburg schriftlich widerrufen werden. Die rechtzeitige Absendung der Mitteilung genügt. Nur wenn das Magazin nicht bis zwei Monate vor Ende des Bezugsjahres schriftlich gekündigt wird, verlängert sich der Bezug um ein Jahr. Für die Auftragsabwicklung und die Pflege der Kommunikation werden Ihre persönlichen Daten erfasst und gespeichert. Mit dieser Anforderung erkläre ich mich damit einverstanden, dass ich per Post, Telefon, Telefax oder E-Mail über interessante Verlagsange-