



Bild: Jan Birtakies

Die Autonomen räumen auf

Roboter und selbststeuernde Fahrzeuge für menschenfeindliche Umgebungen

Mit Sensoren und einem Steuerrechner nachgerüstete Serienfahrzeuge können autonom eingreifen, wo Menschen sich in Gefahr bringen würden. Unterstützung bieten Flugdrohnen und in unwegsamem Gelände eignen sich Roboter auf Beinen.

Von Arne Grävemeyer und Hans-Arthur Marsiske

Unter den Experten für autonome Roboter gilt die Nuklearkatastrophe von Fukushima im Frühjahr 2011 als ein wichtiges Negativbeispiel mit Aha-Effekt. In

der Branche kursieren diverse Geschichten von gescheiterten ferngesteuerten und unausgereiften autonomen Fahrzeugen und Robotern, die in den Trümmern des Unglücksortes ein schnelles Ende fanden. Die Einsatzleitung sei gezwungen gewesen, etliche Roboter mit sehr langer Kabelverbindung loszuschicken, da Funkverbindungen durch dicke Betonwände und unter starker radioaktiver Strahlung kaum zu halten waren. Misserfolge reiheten sich aneinander, man hatte schlicht keine einsatzbereiten Systeme zur Verfügung.

Einsatzfall Celle, Niedersachsen, im September 2019: Neben einem Zug liegen zwei Fässer mit Gefahrstoff-Symbolen im Gras. Eine Drohne kartiert das Gelände im autonomen Überflug. Kurz darauf star-

tet ein serienüblicher Kleinbagger, fährt selbsttätig zu den Fässern und nimmt mit Kameras und 3D-Laserscannern auf dem Dach die nähere Umgebung auf. Ein Traktor in der Nähe, ebenso wie der Bagger nachträglich mit Kameras, Laserscannern und GPS-Modul ausgestattet, greift sich eine Palette mit Wechselwerkzeugen und fährt autonom zum Einsatzort. Der Bagger hebt Erde aus und legt sie in eine Transportbox am Traktor. Anschließend nimmt er selbstständig einen Werkzeugwechsel vor, greift eines der Fässer und legt es in eine zweite Transportkiste. Schließlich fährt der Traktor mit Werkzeugen und Boxen zum Rückkehrpunkt, der Bagger macht sich ebenso auf den Weg – ohne dass die Fahrzeuge für all das Befehle benötigen.

Mit dem geschilderten Einsatz auf dem Technik- und Trainingszentrum Celle-Scheuen der niedersächsischen Akademie für Brand- und Katastrophenschutz bewältigten die beteiligten Fahrzeuge die Abschlussdemonstration des Forschungsprojektes AKIT (Autonomie-Kit für seriennahe Arbeitsfahrzeuge). Die Wissenschaftler im nahen Leitstand haben ständig die Live-Kamerabilder auf dem Schirm, können Aktionen starten und abbrechen – sie können die Fahrzeuge aber auch selbstständig einen durchgeplanten Einsatz ausführen lassen.

Kein Fahrer erforderlich

Autonome Spezialmaschinen sind bisweilen die beste Lösung, wenn sich Helfer nach einem Chemieunfall, bei Explosionsgefahr oder nach einem Erdbeben nicht selbst in den Gefahrenbereich trauen. Die Idee hinter AKIT: Anstatt immer wieder komplett neue, teure autonome Spezialfahrzeuge zu bauen, haben die Forscher ein Nachrüstsystem entwickelt, das sich auf dem Dach eines Fahrzeugs installieren lässt. „Um ein Spezialfahrzeug mit dem AKIT ausrüsten zu können, muss sich dieses nur elektronisch ansteuern lassen“, erläutert Projektleiter Andreas Wenzel vom Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB). Beispielsweise nutzen die Ingenieure dafür den bei allen modernen Fahrzeugen verbreiteten CAN-Bus (Controller Area Network). Im Projekt haben die Wissenschaftler des IOSB-Standorts Ilmenau in Zusammenarbeit mit Traktor-Hersteller Claas die Basisschnittstelle zum Fahrzeug in weniger als zwei Monaten geschaffen. Bei zukünftigen Umrüstungen könne man nach diesen Vorarbeiten deutlich schneller sein. Die Forscher planen, ihr Nachrüst-Kit auch für Nutzfahrzeuge anderer Hersteller anzupassen.

Der Bausatz selbst besteht aus Kameras, GPS-Empfängern und dem sogenannten Lidar (Laser Detection and Ranging), einem 3D-Laserscanner zur optischen Abstandsmessung. Weitere Bestandteile sind Kommunikationskomponenten und eine Rechereinheit mit Softwaremodulen. Diese Algorithmen-Toolbox für autonome mobile Robotersysteme umfasst heute weit über einhundert Programmmodule von der Fahrzeugsteuerung über die Sensoranbindung bis zur Kartierung des Geländes und der Pfadplanung. Ebenso sind Funktionen für mobile Manipulationen wie Graben oder Greifen enthalten.

„An vielen dieser Module haben wir schon im Vorläuferprojekt gearbeitet“, berichtet Dr. Janko Petereit vom Fraunhofer IOSB in Karlsruhe. Bereits bei „Seneka“ (Sensornetzwerk mit mobilen Robotern für das Katastrophenmanagement) programmierten die beteiligten Wissenschaftler ab 2011 Softwaremodule für autonome radgetriebene Roboter. Seit dieser Zeit ist die Algorithmen-Toolbox am IOSB angewachsen.

Für das AKIT-Projekt ist insbesondere der Minibagger hinzugekommen. Dabei handelt es sich um ein Kettenfahrzeug des Herstellers Wacker-Neuson mit drehbarem Oberwagen. Die programmtechnische Umsetzung der neuen Bewegungsformen und Nutzfunktionen habe das IOSB-Team in Karlsruhe über einen erheblichen Teil der dreijährigen Projektlaufzeit beschäftigt, berichtet Petereit. Für diesen Bagger mussten die Forscher zusätzlich zum Ausrüstungs-Kit auf dem Dach auch eine Kamera unter dem Greifarm platzieren. Weitere Sensoren erkennen die Winkelstellung des Greifarms sowie die Greiferdrehung und -öffnung.

Bei der Vorführung auf dem Testgelände in Scheuen haben die eingesetzten Fahrzeuge nicht immer autonom, sondern zum Teil auch ferngelenkt gearbeitet, zum Beispiel bei der Feinpositionierung der Wechselwerkzeuge in Reichweite des Bag-

gers, weil man Beschädigungen an den teuren Gerätschaften vermeiden wollte. Die Maschinen hätten aber sämtliche Prozesse auch komplett eigenständig bewältigen können, betont Projektleiter Wenzel.

Fässer an der Form erkannt

Petereit macht darauf aufmerksam, dass zum Einsatzszenario auch die Identifizierung der Fässer und die Auswahl einer passenden Greifstrategie gehöre. Beim Werkzeugwechsel sind die Objekte anhand eines auffälligen Markers leicht auszumachen. Die Fässer hingegen musste der Bagger schlicht anhand ihrer Form erkennen und angepasst an deren Lage die Bergung durchführen. Bei der Vorführung bestand die Fernsteuerung durch die Leitstandbesatzung lediglich in einem Mausklick zur Auswahl des zu bergenden Fasses.

Als ein Folgeprojekt fördert das Bundesforschungsministerium mit zwölf Millionen Euro in den kommenden vier Jahren den Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums (A-DRZ) in Dortmund. In diesem Rahmen forscht Marius Schnaubelt von der TU Darmstadt an autonomen Assistenzfunktionen beim Greifen von Objekten. „Die für industrielle Anwendungen entwickelten Ansätze sind für Katastropheneinsätze untauglich“, sagt Schnaubelt auf dem Symposium „Safety, Security and Rescue Robotics“



Im Leitstand haben die Wissenschaftler alle Sensordaten auf dem Schirm. Sie können die autonomen Aktionen beobachten oder Aktionen auslösen.



Autonom statt ferngesteuert: Ein Minibagger erkennt ein Fass, entwickelt eine Greifstrategie und übergibt es an einen kooperierenden Traktor. Ein zusätzlicher Transportwagen in der Mitte dient dem Leitstand als drittes Auge.

(SSRR) Anfang September in Würzburg. Die Gestalt und Ausrichtung der zu greifenden Gegenstände an Unglücksorten seien nun einmal nicht im Voraus bekannt.

Schnaubelts Forschungsteam hat daher ein Verfahren entwickelt, bei dem der Operator zunächst einen Bereich auswählt, der ihm interessant erscheint. Den erfasst der Roboter daraufhin aus verschiedenen Perspektiven mit einer RGB-D-Kamera (D wie Depth), die ihm mittels eines zusätzlichen Infrarotsensors zusätzliche Tiefeninformationen liefert. Mit den erweiterten Bilddaten errechnet der Roboter ein segmentiertes Modell, in dem die verschiedenen Objekte voneinander abgehoben sind. Wenn der Operator nun ein Objekt auswählt, das gegriffen werden soll, errechnet der Roboter die möglichen

Griffe und wählt den am besten geeigneten aus.

Im Vergleich mit anderen Verfahren hat sich der Darmstädter Ansatz als robuster erwiesen bei Verwendung verrauschter Kamerabilder. Vor allem aber ist er um mehr als eine Größenordnung schneller: Die Errechnung des segmentierten Modells erfolgte in 100 Millisekunden, erklärte Schnaubelt, während die beiden anderen getesteten Methoden (Region Growing Approach, SD Mask R-CNN Segmentation) weit über eine Sekunde Rechenzeit benötigten. Für die Ausführung des Griffs seien 10 bis 20 Sekunden erforderlich. Es könne den gesamten Prozess weiter beschleunigen, mehrere Kameras zu verwenden, während Lernverfahren und geschlossene Regelkreise die Verfahren robuster machen können.



Ein Schreitbagger im unstrukturierten Gelände: Im Projekt Robdekon wird der Bagger so automatisiert, dass Fortbewegung und Manipulation autonom erfolgen kann.

Wichtig für den Einsatz bei Unfällen und Katastrophen sei aber, dass die Lösung der Darmstädter kein spezielles Training für den Operator erfordere.

Der gemeinsame Überblick

Die Kommunikation ist ein zentrales Element im Katastrophenmanagement. Ein AKIT-Projektpartner ist die Kerntechnische Hilfsdienste GmbH (KHG), ein von den Betreibern deutscher Kernkraftwerke getragener Dienstleister, der die Notfallvorsorge bündelt. Das KHG stellte auf dem Testgelände in Celle-Scheuen nicht nur den Leitstand, sondern zudem die Flugdrohne samt Software und einen ferngesteuerten niedrigen Wagen, eingesetzt als modulares Trägersystem (MTS). Das MTS kann beispielsweise mit einem Bojenleger-Modul ausgerüstet 5G-Repeater im Einsatzgebiet verteilen und so ein Kommunikationsnetz aufbauen. Außerdem dient es als Begleitfahrzeug und drittes Auge für die Leitstandbesetzung.

Die Flugdrohne überquerte das Einsatzgebiet im autonomen Kartierungsmodus. Im Beispielfall schoss sie binnen 5:40 Minuten aus einer Höhe von 48 Meter insgesamt 98 Aufnahmen auf einer Fläche von 205 Meter × 130 Meter. Daraus erstellte ein Rechner in der Leitzentrale per Photogrammetrie eine 2,5-D-Karte mit einer Pixelgröße von zwei Zentimeter. „Auf dieser Karte können die Beobachter sogar Bodenneigungen erkennen und auch exakte Längenmessungen vornehmen, beispielsweise um zu überprüfen, ob im Einzelfall ein Fahrzeug zum Einsatzort durchkommen kann“, erklärt Dirk Dix als KHG-Projektleiter.

Die exakte Karte der Einsatzumgebung wird über die Leitstelle mit den beteiligten Einsatzfahrzeugen geteilt. Die wiederum bauen mit ihren Sensorsystemen eigene Umgebungskarten auf und gleichen die mit der Gesamtkarte ab. Es ist für autonome Fahrzeuge, denen kein Mensch zu Hilfe kommen kann, von entscheidender Bedeutung, nicht versehentlich auf einer Hanglage umzukippen oder sich an einem Hindernis festzufahren.

Dekontamination

Nicht nur Havarien und Katastrophen beschäftigen die Forschung an autonomen Robotern und Spezialfahrzeugen. Im Juni 2018 startete das Projekt Robdekon, das „Robotersysteme für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen“ zum Ziel hat. Drei Anwendungssze-

narien stehen im Mittelpunkt: der Rückbau von nukleartechnischen Anlagen, die Dekontaminierung von Kraftwerkskomponenten sowie die Verarbeitung von Abfall und der Rückbau von Mülldeponien. Für die Belastungen von Menschen gilt bei diesen Aufgaben das ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable); sie sind also so weit zu minimieren, wie es mit vertretbarem Aufwand zu erreichen ist.

Für den Rückbau nuklearer Anlagen und den Umgang mit radioaktivem Material kommen derzeit überwiegend Systeme zum Einsatz, die speziell für die jeweilige Anlage konstruiert wurden. Diese Roboter sind bei Weitem nicht so zuverlässig wie ihre Kollegen im exakt getakteten industriellen Einsatz. Sie werden fast ausschließlich ferngesteuert, was eine große Belastung und intensives Training für die Operatoren bedeutet. Daher sehen die Forscher ein wichtiges Ziel darin, die Autonomie gerade derjenigen Roboter zu erhöhen, die mit radioaktiv oder chemisch belastetem Material umgehen, beispielsweise beim Sortieren von Abfällen.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die sichere Fortbewegung im unstrukturierten Gelände. Zugleich müssen die mobilen Plattformen auch in der Lage sein, erforderliche Manipulationen durchzuführen, etwa graben und schaufeln, Bodenproben nehmen oder Hindernisse aus dem Weg räumen. Ein Beispiel für die Ansätze in diesem Bereich ist ein laufender Bagger, der am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) entwickelt worden ist.

Wer hinfällt, muss auch wieder aufstehen

Selbst humanoide Roboter kommen infrage, da diese sich mit ihrem menschenähnlichen Körperbau theoretisch besonders flexibel auf unterschiedliche Mobilitäts- und Manipulationsanforderungen einstellen können. Die praktischen Optionen dieses Ansatzes untersuchen Forscher derzeit in Frankreich in Zusammenarbeit mit Airbus im Rahmen des Projektes Comanoid. Die Herausforderungen sind erheblich, wie Abderrahmane Kheddar von der französischen Forschungsorganisation CNRS bei der Konferenz Humanoids Mitte Oktober in Toronto erläuterte: Unerlässlich für den Einsatz humanoider Roboter in der Praxis sei die Fähigkeit, Stürze unbeschadet zu überstehen, wieder aufzustehen und weiterzumachen.

Humanoide Roboter wie der Armar des Karlsruher KIT sind ausgesprochen vielseitig, stellen aber für den autonomen Einsatz einige Herausforderungen dar.

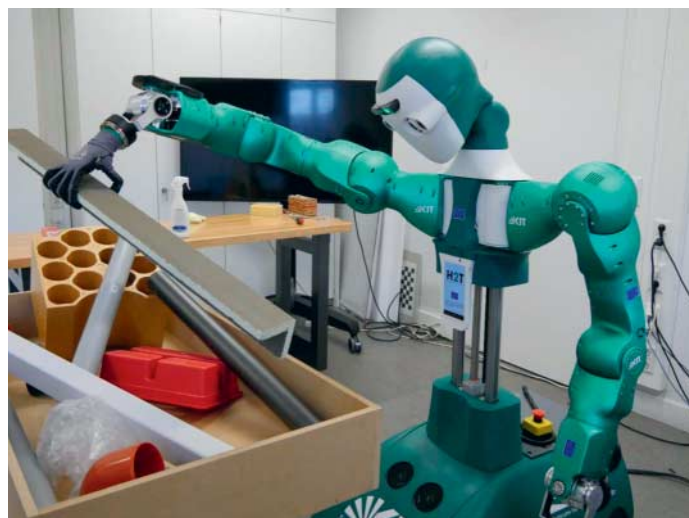


Bild: KIT

Aber ein humanoider Roboter muss nicht nur sicher laufen können. Die Bewegungsplanung und -kontrolle muss vielmehr den gesamten Körper umfassen, da der Roboter auch mit den Armen die Umgebung berührt und manipuliert. Als Beispiel nannte Kheddar die Schwierigkeit, die Kräfte zu kalkulieren, wenn sich der Roboter mit einem Arm abstützt, um mit dem anderen eine Schraube festzudrehen.

Da volle Autonomie nicht immer machbar ist, entwickeln Robdekon-Partner auch neue Formen der Teleoperation und Telepräsenz. Virtual-Reality-Verfahren können dem Operator ein Gefühl für die Umgebung des Roboters vermitteln. Dazu dient beispielsweise ein Holodeck am Karlsruher KIT (Karlsruher Institut für Technologie), das einen großen virtuellen Bewegungsraum zur Verfügung stellt. Eine derartige Fernsteuerungsschnittstelle lässt sich etwa durch ein omnidirektionales Laufband oder durch Bewegungskompression verwirklichen, ein Verfahren, das die Bewegungen des Roboters in der Zielumgebung auf die Bewegungen des Bedieners komprimiert. Das beschreibt ein unter anderem von Janko Peterer erarbeitetes Paper zu den Forschungsansätzen des Robdekon-Projekts. In einer Karlsruher Testanlage für Telepräsenz ist beispielsweise ein Holodeck mit den Abmessungen 5 Meter × 7 Meter entstanden, das die sogenannte Motion Compression umsetzt.

Die Forscher denken darüber nach, auch haptisches Feedback zu nutzen sowie Verfahren der Shared Autonomy, bei der der Roboter etwa die Hilfe vom Menschen anfordern kann.

Eine Zukunftsvision auch des A-DRZ in Dortmund ist es, dass bei künftigen Ret-

tungseinsätzen wenige Menschen viele unterschiedliche Roboter steuern können, sagte Ivana Kruijff-Korbayová (DFKI) beim SSRR-Symposium. Roboter sollen sich von mühsam zu bedienenden Werkzeugen zu aktiven Teammitgliedern wandeln. Dafür benötigten sie jedoch Missionswissen, das schwierig zu modellieren sei. Der Ansatz der DFKI-Entwickler sei es daher, das Wissen aus der Teamkommunikation bei Übungen und realen Einsätzen zu extrahieren. Sie wollen, dass Operatoren und Einsatzkräfte künftig mit Robotern und Fahrzeugen sprechen können.

Das kann aber noch ein langer Weg werden. Die Forscher setzen zwar auf gängige Verfahren zu akustischer Spracherkennung, für seine ehrgeizige Vision plant das Team am DFKI allerdings, das gesamte Missionswissen in einer sogenannten Ontologie zu speichern: Das ist hier ein Wissens-Repräsentationssystem, mit dessen Hilfe sich Befehle und auch Sensordaten sinnvoll interpretieren lassen. Eine solche Ontologie müsse modular aufgebaut sein, so Kruijff-Korbayová, und bestehe aus Sub-Ontologien etwa zu den Akteuren, den verschiedenen Einsatzszenarien oder den Einsatzumgebungen. Ein solches System könnte den Einsatzleiter der Zukunft bei der Koordination unterstützen, etwa durch eine grafische Darstellung der aktuellen Situation und die Präsentation von Handlungsoptionen.

Es liegt nahe, dass autonome Maschinen in allen Lebensbereichen an Bedeutung gewinnen. Um eine steigende Zahl an Rettungs- und Hilfsrobotern zu koordinieren, wird der Mensch auf intelligente Hilfsmittel angewiesen sein. Die gezeigten Projekte sind vielversprechende Ansätze dazu. (agr@ct.de) **ct**