



Hans-Arthur Marsiske

Autonome Vorhut

Neue Techniken bei Rettungsrobotern

In der simulierten Katastrophengestalt Disaster City konnten Hersteller und Forscher ihre Modelle unter realen Einsatzbedingungen testen und für den Ernstfall trainieren.

Das schwere Erdbeben in Japan hat den Mangel an einsatzbereiten Rettungsrobotern schmerzhaft spürbar gemacht. Die Entwicklung von Robotern für den Einsatz nach Katastrophen ist bislang nämlich vor allem auf die Bedürfnisse von Militär und Polizei ausgerichtet. Maschinen, die bei der Suche nach Überlebenden in den Trümmern eingestürzter Gebäude oder nach Massenkarambolagen helfen könnten, werden dadurch nicht erfasst. Trotz schwacher Nachfrage und geringer Forschungsmittel gibt es aber auch in diesem Bereich vielversprechende Entwicklungen.

Als nach dem Tohoku-Erdbeben vom 11. März 2011 und der anschließenden Reaktorkatastrophe von Fukushima keine Ro-

boter bei den Rettungsarbeiten zu sehen waren, wussten einige Kommentatoren sehr schnell, woran das lag. Die Japaner könnten halt hübsche Spielzeuge bauen, aber keine Maschinen für den Ernstfall, war in den Zeitungen zu lesen. Manche Wissenschaftler boten sogar großzügig an, die eigenen Roboter zur Verfügung zu stellen. Die japanischen Kollegen müssten nur anrufen und „bitte“ sagen.

Doch jetzt ist die Ehre der japanischen Robotik wiederhergestellt. Wenn Satoshi Tadokoro, Mitbegründer und Präsident des International Rescue System Institute und Professor an der Tohoku University, Videoaufnahmen aus dem Inneren der Reaktorgebäude in Fukushima vorführt, spottet niemand

mehr. Tatsächlich gelang es nur dem japanischen Roboter Quince, in die oberen Stockwerke der Kraftwerksruine vorzudringen, dort Messungen vorzunehmen und HD-Bilder zu übermitteln. In der Königsklasse der Rettungsroboter – eine Person allein reicht zum Tragen – dürfte es derzeit weltweit keinen besseren als den 27 Kilogramm schweren Quince geben.

Der Militärroboter PackBot dagegen, von dem die US-Firma iRobot zwei Exemplare nach Fukushima geschickt hatte, scheiterte an den Treppen. Das lag zum einen an der unterschiedlichen Hardwarekonfiguration: Während Quince vorne und hinten jeweils ein Paar beweglicher Raupenantriebe (Flipper) hat, verfügt PackBot nur vorne über ein Paar. Noch wichtiger ist aber, dass diese Flipper bei Quince ihre Winkelstellung automatisch dem Untergrund anpassen. Der Kontakt mit dem Boden wird durch Messung der Leistungsaufnahme der Flippermotoren festgestellt; daneben messen PSD-(Position Sensitive Device-)Sensoren vorne und hinten den Abstand zum Boden. Möglich ist auch der Einsatz von zwei Laserscannern, die die Struktur des Geländes erfassen. Der Operator muss dann nur noch die Richtung vorgeben, die jeweils optimale Stellung der Flipper zur Überquerung unebenen Untergrunds ermittelt der Roboter selbst.

Wie schwierig es dagegen war, den PackBot Treppen hinauf zu steuern, beschrieb ein japanischer Operator Ende April 2011 in einem anonymen Blog. Ein paar Stufen konnte er im Training noch bewältigen, doch die Treppen in den Reaktorgebäuden waren größer und stark beschädigt. „Hinzu kommt, dass die Roboter mit einem Arm ausgestattet sind, der zu Beginn und am Ende des Aufstiegs bewegt werden muss, um den Schwerpunkt des Roboters anzupassen und ein Umkippen zu verhindern.“ Die Bewältigung dieser Aufgabe mit einem an Computerspielkonsolen angelehnten Steuerpult erwies sich als außerordentlich schwierig. „Es ist eine Qual, jedes Mal zwischen dem Fahrmodus und dem Armsteuermodus wechseln zu müssen (und das auch noch inmitten instabiler Aufgaben wie Treppensteigen)“, klagte der Operator, von dem nur die Initialen S. H. bekannt sind.

S. H. berichtete bis Anfang Juli täglich von seinen Erfahrungen in der Ruine. Als der Blog dann mehr Aufmerksamkeit fand, wurde er gelöscht. Die US-Zeitschrift IEEE Spectrum hatte ihn jedoch zuvor kopiert und veröffentlichte eine englische Übersetzung. Dies sei „Pflichtlektüre für alle Firmen und Forscher, die Roboter für Notfallsituationen entwickeln“, schreibt der Redakteur Erico Guizzo in seiner Einleitung.

Ein Problem, mit dem alle Roboterteams in Fukushima zu kämpfen hatten, war die Fernsteuerung. Funkverbindungen waren in den stark abgeschirmten Gebäuden nur auf Sicht stabil. Beim Einsatz der PackBots wurde daher auf das Prinzip von führendem und unterstützendem Roboter zurückgegriffen: Der Unterstützungsroboter ist dabei über ein Kabel mit der Kontrollstation verbunden und hat den Führungsroboter im Blick. So kann er nicht nur als Kommunikationsrelais dienen, sondern auch die Wahrnehmung der Situation verbessern, indem er Beobachtungen aus einer zweiten Perspektive ermöglicht, die die unmittelbare Umgebung des führenden Roboters zeigt.

Warum der Quince zunächst alleine ins Reaktorgebäude gefahren wurde, ist unklar. Möglicherweise hatte die Häme in ausländischen Medien für einen zu großen Erfolgsdruck und damit für übereilte Aktionen gesorgt. Zur Verbesserung der Situationswahrnehmung hat der Roboter zwar eine „birds eye camera“. Sie konnte jedoch nicht verhindern, dass das Verbindungskabel am 20. Oktober bei der Rückkehr in den dritten Stock brach und der Quince verloren ging. Bei einem erneuten Versuch soll auf jeden Fall mit zwei Robotern gearbeitet werden, sagt Tadokoro.

Brennpunkte der Roboterentwicklung

Quince entstand in einer Kooperation von fünf japanischen Universitäten, zwei nationalen Forschungsinstituten und drei Firmen. Das Vorläufermodell Kenaf hatte bei der RoboCup-Weltmeisterschaft für Rettungs-



Einen Tag vor dem Erdbeben erprobt Satoshi Tadokoro zwei Quince-Roboter in Disaster City.

Bild: TEEX

roboter im Jahr 2007 den ersten Platz in der Kategorie „Mobilität“ und den zweiten Platz in der Gesamtwertung erreicht. Außerdem ist Tadokoro mit diesen und anderen Robotern ein regelmäßiger Gast in Disaster City, einem großen Übungsgelände für Rettungskräfte in College Station, Texas. Hier entstand auch das Foto, das ihn selbst auf einem Holzhaufen zeigt, während er mit einer Videokamera zwei Quince-Roboter beobachtet. Er weiß noch genau, wann es aufgenommen wurde: „Das war am 9. März 2011, zwei Tage vor dem Erdbeben oder genauer gesagt, einen Tag: Nach texanischer Zeit begann es bereits am späten Abend des 10. März.“

Normalerweise trainieren in Disaster City Rettungshelfer mit ihren Hunden die Suche nach Überlebenden in Trümmerhaufen oder den Zugang zu Gebäuden und verunglückten Eisenbahnwagen. Doch zusammen mit den RoboCup-Wettbewerben ist dieses Gelände in den letzten Jahren auch zu einem Brennpunkt für die Entwicklung von Rettungsrobotern geworden. Im Mittelpunkt steht dabei die Entwicklung standardisierter Testverfahren, mit denen die Anforderungen an Roboter genau definiert und ihre Leistungen vergleichbar gemacht werden können.

Sowohl beim RoboCup als auch bei den jährlichen „Response Robot Evaluation Exer-

cises“ in Disaster City werden dafür Arenen errichtet, in denen sich die Roboter verschiedenen Aufgaben stellen müssen. Wichtig ist, dass die Arenen exakt reproduzierbar sind. Sie stellen daher keine naturalistischen Nachbildungen von Unglücken dar, sondern sind eher abstrakte Installationen, mit denen Mobilität, Kraft, Ausdauer oder Sensorik der Roboter gemessen werden. Manche dieser Tests sind vom US-amerikanischen National Institute for Standards and Technology (NIST), das diese Entwicklungen maßgeblich vorantreibt, bereits als Standards akzeptiert worden. Andere sind noch in der Erprobung.

Noch kein Standard, aber schon recht weit gediehen ist etwa der „Pan-Tilt-Zoom“-Test, bei dem es um die Steuerung der Roboterkamera geht. Kann der Operator auch unter widrigen Umständen ohne große Mühe den Blick auf feine Details in einem Raum richten? Kann er Risse in der Wand erkennen, die Hinweise auf die Einsturzgefahr eines Gebäudes geben könnten? Um das zu ermitteln, wird der Roboter in einem verdunkelbaren Raum auf eine schräge Rampe gestellt. Von dort aus muss der Operator farbige Kugeln erkennen, die in unterschiedlichen Entfernungen an Fäden aufgezogen sind, mal mit zusätzlichem Licht, mal nur mit eigenen Lichtquellen. Der Operator muss in Dreier-



Adam Jacoff erläutert die Testarenen für die Response Robot Evaluation Exercise. In dieser Arena müssen die Roboter auf unebenem Untergrund und in Schräglage in möglichst kurzer Zeit zehnmal einen achtförmigen Kurs um die beiden rotweißen Säulen fahren.

Roboter beim Sehtest: Die Schräglage konnte der Telemax-Roboter von Telerob beim „Pan-Tilt-Zoom“-Test mit Hilfe seiner Flipper problemlos ausgleichen. Das war zulässig.



gruppen von oben nach unten die Farben der Kugeln nennen und sagen, welche der jeweils drei Kugeln die kleinste ist – wobei der Größenunterschied zu den anderen nur 20 Prozent beträgt. Die Schrägstellung des Roboters erschwert die Bedienung der Kamera, die auf die Kugeln ausgerichtet und zugleich an sie heranzoomt werden muss.

Bei der siebten Response Robot Evaluation Exercise im vergangenen November erwies sich insbesondere die Größenschätzung auf eine Entfernung von mehreren Metern als sehr schwierig. Von den neun verwendeten Farben wurden zumeist drei bis sechs richtig erkannt.

Bei anderen Tests müssen die Roboter auf unterschiedlich gestalteten Untergründen möglichst schnell in Form einer Acht um zwei Pfeiler herumfahren, auf schiefen Ebenen vorgegebenen Linien folgen oder auf unterschiedlich gut haftenden Untergründen Gewichte ziehen. Besonders schwierig ist ein aus Holzplatten errichtetes Labyrinth, in dem möglichst viele Objekte gefunden und beschrieben werden müssen. Anders als beim RoboCup liegt dieses Labyrinth in Disaster

City in fast völliger Dunkelheit. Ohne eine automatische Kartenerstellung durch den Roboter verliert ein Operator hier rasch die Orientierung und riskiert, im Kreis zu fahren.

Spontane Experimente

Während beim RoboCup hauptsächlich Universitätssteams teilnehmen und die Erprobung neuer Konzepte im Vordergrund steht, wollen die Veranstaltungen in Disaster City insbesondere den Austausch zwischen Roboterentwicklern und Anwendern fördern. Die Teilnehmer sind ausdrücklich aufgefordert, neben den Standardtests das Übungsgelände auch für spontane Experimente zu nutzen.

Bei der November-Übung zeigten sich anwesende Rettungshelfer besonders interessiert an einer aus 18 Segmenten bestehenden Roboterschlange, die am Biorobotics Lab der Carnegie Mellon University entwickelt wird. Der Roboter verfügt bereits über mehrere Fortbewegungsarten und kann unter anderem auch dünne Pfeiler oder Baumstämme hinaufklettern. Gesteuert wird

er über ein 20 Meter langes Kabel, an dem er notfalls zurückgezogen werden kann, falls er nicht mehr reagiert oder feststeckt. Für Rettungseinsätze nach Erdbeben oder Gebäudeinstürzen reicht das aus, eine größere Eindringtiefe ist selten erforderlich.

Interessant ist auch die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit Rettungshunden. Ein erster Test verlief sehr vielversprechend: Hierfür wurde die Roboterschlange in einen kleinen Beutel gepackt, der dem Hund umgehängt wurde. Sobald der Hund anschlug, löste sich der Beutel, die Schlange fiel herunter und konnte vom Operator weiter gesteuert werden.

Ein solches System ist zwar noch einige Jahre von der Anwendungsreife entfernt, weist aber in die richtige Richtung. Schlangenartige Roboter wären ideal für das Erkunden kleiner Räume und enger Durchgänge. Experten wie Tadokoro oder Adam Jacoff vom NIST, der die Übungen in Disaster City und den Rettungswettbewerb beim RoboCup organisiert, halten das übereinstimmend für die am dringlichsten erforderliche Fähigkeit von Rettungsrobotern. Es ist allerdings eine Fähigkeit, die von den Anwendern bei Militär und Polizei, den derzeitigen Haupttreibern der Technologie, nicht nachgefragt wird.

So nahmen denn bei der diesjährigen Roboterübung in Disaster City fast ausschließlich Roboter teil, mit denen verdächtige Gegenstände untersucht, Bomben entschärft und nach Unfällen mit Gefahrstoffen Proben gesammelt und Messungen vorgenommen werden können. Für die Suche nach Überlebenden in den Trümmern eingestürzter Gebäude sind sie aber durchweg ungeeignet. Die meisten sind dafür schlicht zu groß und zu schwer. Und kleine, werfbare Roboter wie der nur 2,3 Kilogramm wiegende „First Look“ von iRobot sind für andere Szenarien optimiert. Sie sollen durch Fenster in ein Gebäude geworfen werden, um Soldaten oder Polizisten einen Blick ins Innere zu ermöglichen. Wenn das Gebäude nicht mehr steht, sind



Ein Rettungshund trägt in einem Brustbeutel die Roboterschlange. Sobald er einen Menschen wittert und anschlügt, fällt sie herunter und kann vom Operator weiter unter die Trümmer gesteuert werden.



Der Schlangenroboter von der Carnegie Mellon University untersucht die Unterseite einer Holzplatte. Bei diesem Test zeigen die Roboter, wie gut sie versteckte Bomben unter Fahrzeugen erkennen können.

Der Quadrocopter von AirRobot stieß in Disaster City auf großes Interesse. Flugroboter könnten bei Rettungsarbeiten schon bald eingesetzt werden.

diese Roboter nutzlos. First Look kam auf einem realen Schutthaufen keinen Zentimeter voran. Die hier auftretenden Steigungen sind für Roboter dieser Bauart nicht einmal ansatzweise zu bewältigen.

Rettung aus der Luft

Auf größeres Interesse stießen bei den Rettungskräften neben der Roboterschlange insbesondere Flugroboter. Thomas Meyer, der US-Repräsentant der Firma AirRobot, war rasch von Zuschauern umringt, als er mit einem großen Rucksack auf das Übungsgelände kam, seinen Quadrocopter auspackte, zusammensetzte und innerhalb weniger Minuten in der Luft hatte. Leichte Transportierbarkeit in standardisierten Kisten und rasche Inbetriebnahme sind grundlegende Anforderungen an Rettungsroboter.

Daneben fordern Rettungsorganisationen wie das Technische Hilfswerk (THW) leichte Bedienbarkeit und eine stabile Fluglage bis Windstärke sechs. Er habe den Quadrocopter schon bei Windgeschwindigkeiten von 34 km/h geflogen, sagte Meyer. Das entspricht immerhin Windstärke fünf. Als Nutzlast kann der AR 100-B Tageslichtkamera oder Thermokamera transportieren, auch Radarsensoren stehen zur Verfügung. Sören Schwertfeger, der gegenwärtig am NIST arbeitet, stellte Software zur automatischen 2D-Kartenerstellung und zur Detektion von Bewegungen am Boden vor, die an der International University Bremen entwickelt und mit dem Quadrocopter erprobt wurde.

Mit einem Durchmesser von einem Meter ist das Fluggerät von AirRobot allerdings recht groß. Bei Außeneinsätzen ist das kein Problem. Das Eindringen in Gebäude dürfte damit jedoch sehr schwierig sein, zumal in Innenräumen auch die Navigation mit Hilfe von GPS-Signalen nicht mehr gut funktioniert. Auf den Höhenmesser, der sich am Luftdruck orientiert, ist dann ebenfalls kein Verlass mehr: Es reicht, dass jemand eine Tür öffnet, um den Quadrocopter an die Decke schnellen zu lassen. Zudem dürfte ein Systempreis von mehreren zehntausend Euro für die meisten zivilen Rettungsorganisationen unerschwinglich sein.

Forscher der kanadischen Ryerson University in Toronto hatten in Disaster City einen kleineren Hexakopter dabei, der mit einer Tragfähigkeit von einem Kilogramm fünfmal so viel Nutzlast heben kann wie der AR 100-B. Das würde 3D-Modellierungen mit Hilfe des Kinect-Sensors ermöglichen. Allerdings ist die Flugzeit gegenwärtig noch auf acht Minuten begrenzt. AirRobot bleibt dagegen mindestens zwanzig Minuten in der Luft.

Für Außeneinsätze bei starkem Wind könnten kabelgebundene Systeme eine Al-



ternative darstellen. Die Firma Festo hat unter dem Titel CyberKite bereits einen rechnergesteuerten Fesseldrachen entwickelt. Es scheint aber bislang keine Forschungen zu geben, um so ein System bei Rettungsarbeiten zu nutzen.

Roboter als Teamplayer

Ein großes Thema ist derzeit die Kombination von fliegenden Systemen mit Robotern am Boden. „Es gibt keinen Roboter, der wie ein Schweizer Messer alles kann“, fasst Marc Looze vom belgischen Zivilschutz seine Eindrücke von der Roboterübung in Disaster City zusammen. „Wir brauchen Roboter-teams, die mit Menschen und Hunden kooperieren können.“

Tadokoro zeigte ein Video von Quince, der einen Pelican-Quadrocopter transportiert. Als eine Durchfahrt für den Bodenroboter zu eng ist, startet der Quadrocopter, um den dahinter liegenden Raum zu erkunden. Das ist jedoch zunächst nicht viel mehr als die Illustration der grundsätzlichen Idee. Tado-

koro ließ offen, ob der Quadrocopter dabei autonom flog oder manuell und auf Sicht gesteuert wurde.

In Europa kümmert sich derzeit das EU-Projekt NIFTI darum, Roboter zu guten Teammitgliedern zu machen. Zentraler Bezugspunkt ist dabei der „Faktor Mensch“. Auf ihn und insbesondere das menschliche Verhalten unter Stress müsse ein Roboter sich einstellen können, heißt es in der Projektbeschreibung. Teamarbeit bedeute auch, dass ein Roboter nicht von einem Menschen allein gesteuert wird. Menschen und Roboter könnten vielmehr unterschiedliche Rollen übernehmen und auch wechseln, die wiederum die Kommunikation im Team strukturieren. Dabei sei es sehr wichtig, warum jemand etwas sagt oder sagen sollte.

Das Forschungsprojekt strebt an, die Autonomie der Roboter Schritt für Schritt zu erhöhen. Als nächstes sollen sie in der Lage sein, selbstständig in ein Auto zu schauen und um ein Auto herumzufahren. Bodenfahrzeuge und Flugroboter sollen ihre Sensordaten zu einer Karte der Umgebung zusammensetzen können, sowohl in zwei als auch in drei Dimensionen.

Den Flugroboter haben sich die Forscher auf Grundlage des Open-Source-Systems Mikrocopter selbst gebaut. Die beiden Bodenroboter wurden nach genauen Spezifikationen von der Schweizer Firma BlueBotics gefertigt und im vergangenen Sommer fertiggestellt. Sie seien „das Beste, was es derzeit weltweit gibt“, sagte Geert-Jan Kruijff, der das Forschungsprojekt am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken leitet, in einem Interview.

Das Anfang 2010 gestartete und auf vier Jahre angelegte Projekt sieht eine alljährliche Übung mit Rettungskräften vor, bei dem die bisher geleistete Arbeit getestet und die Ziele für das kommende Jahr formuliert werden. Kurz vor dem zweiten Evaluation Event haben wir mit Geert-Jan Kruijff ausführlich über NIFTI gesprochen. Das Interview mit ihm finden sie auf den folgenden Seiten. (dab)



Ein Andros-F6A-Roboter von Remotec untersucht eine Puppe, die einen Selbstmordattentäter darstellt. Militärische und polizeiliche Interessen dominieren derzeit noch die Entwicklung von Rettungsrobotern.



Photo: Axel Gaud
 www.fotothek.de
 www.fotothek.de

Hans-Arthur Marsiske

Volles Verständnis

Teamfähige Roboter sollen Rettungskräfte unterstützen

In Einsätzen müssen Rettungsroboter und Menschen miteinander kooperieren. Dazu müssen Roboter nicht nur Sprachbefehle verstehen, sondern auch Situationen einschätzen können. Andersherum müssen Rettungskräfte das Verhalten der Roboter verstehen lernen.

Das EU-Projekt NIFTi entwickelt und erprobt Roboter, die Einsatzkräften etwa bei Unfällen und Katastrophen helfen sollen. Die besondere Herausforderung dabei ist die kooperative Kommunikation zwischen Mensch und Maschine. Geert-Jan Kruijff, Leiter des Projekts, erklärt im Gespräch mit c't die Hintergründe.

c't: Herr Kruijff, Sie bereiten gerade die jährliche Übung vor, bei der die bisherigen Ergebnisse des Forschungsprojekts NIFTi (www.nifti.eu) praktisch erprobt werden. Worum geht es da genau?

Geert-Jan Kruijff: Wir haben einen Verkehrsunfall in einem Tunnel aufgebaut. Von der Ladefläche eines Transporters sind mehrere Teile gefallen und drei oder vier Autos sind damit kollidiert. Es gibt Rauch, aber kein Feuer. Die Aufgabe besteht darin, Unfallopfer zu finden. Dabei kommt es auf die Kooperation zwischen Menschen und Robotern an. Es gibt einen Missionskommandanten, einen Piloten für das Führungsfahrzeug und einen Piloten für das Unterstützungsfahrzeug in einem abseits errichteten Kontrollstand. An der Unfallstelle selbst ist außerdem ein Pilot für das unbemannte Fluggerät (UAV), um es mit direktem Sichtkontakt zu steuern. Zehn Feuerwehrleute sollen nacheinander die Steuerung des Führungsfahrzeugs übernehmen, das bis zu einem gewissen Grad autonom agiert. Es kann navigieren, Karten erstellen, beobachten und folgt dabei einem zur Laufzeit erstellten Plan.



Geert-Jan Kruijff, Leiter des EU-Projekts NIFTi, im Feldversuch

c't: Wie sieht dieser Plan aus? Kommen sie von beiden Seiten des Tunnels?

Kruijff: Wir nähern uns der Unglücksstelle von einer Seite und versuchen, Stück für Stück einen Überblick über das Geschehen zu bekommen. Dafür gibt der Operator dem Roboter Positionen vor, die er ansteuern soll. Das geht entweder im gesprochenen Dialog oder über eine grafische Bedienschnittstelle. Der Monitor zeigt dann die vom Roboter erstellten 2D- und 3D-Karten, auf denen Wegpunkte markiert werden können. Der Operator kann aber auch auf die Panoramakamera des Roboters zugreifen und einzelne Bereiche heranzoomen.

c't: Wie sieht die Arbeitsteilung zwischen dem führenden und dem unterstützenden Roboter aus?

Kruijff: Diese Aufteilung hat sich bei der Erkundung der Reaktorgebäude in Fukushima bewährt. Der Unterstützungsroboter liefert Bilder vom Führungsroboter und dessen Umgebung und verbessert dadurch die Wahrnehmung der Situation.

c't: Steuern Sie Ihre Roboter über Kabel oder per Funk?

Kruijff: Wir haben ein WiFi-Netzwerk eingerichtet, das genügend Bandbreite für drei Roboter und die von ihnen übertragenen Sensordaten zur Verfügung stellt. Im Tunnel, wo relativ wenige Hindernisse stören, sollte das gut funktionieren. Bei einem Einsatz in einer großen Fabrik oder einem Kernkraftwerk würden wir mit Kabeln oder Relaisstationen arbeiten müssen.

c't: Welche Rolle spielt das UAV in Ihrem Szenario?

Kruijff: Die Bodenfahrzeuge liefern derzeit Bilder aus einer Höhe von etwa 30 bis 40 Zentimetern. Für viele Situationen reicht das nicht aus, etwa wenn wir in ein Auto hineinsehen wollen. Wir arbeiten an einem Roboterarm, der eine Kamera 120 bis 130 Zentimeter hoch heben kann. Doch solange wir den nicht haben, ist das UAV die einzige Möglichkeit, Bilder aus beliebigen Höhen aufzunehmen. Das UAV wird dabei über direkten Sichtkontakt gesteuert, denn die Situation bei so einem Unglück ist für die Sensorik nicht gerade günstig. Laserimpulse etwa

werden gestreut oder absorbiert. Das erschwert so etwas wie Hindernisvermeidung oder Selbstlokalisierung ganz erheblich.

c't: Das Projekt NIFTi will Roboter realisieren, die nicht nur ein Verständnis für die Situation, sondern auch für die teilnehmenden Menschen und deren Stärken und Schwächen haben. Glauben Sie wirklich, dass das in lediglich vier Jahren Laufzeit gelingen kann?

Kruijff: Das ist ehrgeizig, keine Frage. Wir werden sicherlich nicht jedes damit verbundene Problem lösen können. Gleichwohl ist es notwendig, in diese Richtung zu forschen. Das Verhalten von Menschen ändert sich unter Stress, sie handeln anders, konzentrieren sich anders, kommunizieren anders. Roboter, die sich solchen Situationen anpassen können, können die Rettungsrobotik entscheidend voranbringen. Satoshi Tadokoro hat angeregt, das Kürzel AI nicht für „artificial intelligence“ (künstliche Intelligenz) zu verwenden, sondern für „accepted intelligence“ – eine Intelligenz, die für den Nutzer akzeptierbar ist. Sein Forschungsteam hatte beobachtet, dass die Nutzer autonomes Verhalten von Robotern nicht mögen. Für viele Entwickler, die seit Jahren auf mehr Autonomie drängen, war das überraschend. Der Grund für die Ablehnung liegt in der fehlenden Transparenz des Roboterhaltens. Den Anwendern war nicht klar, was der Roboter als Nächstes tun würde und warum.

c't: Beruht die Kommunikation hauptsächlich auf gesprochenem Dialog?

Kruijff: Die Sprachbefehle können mit der grafischen Oberfläche kombiniert werden. Der Nutzer kann zum Beispiel sagen „Geh dorthin“ und auf dem Bildschirm die Stelle markieren.

c't: Mir scheint, in Ihrem Projekt geht es nicht nur um die Entwicklung neuer Technologien, sondern auch um die Integration von Verfahren, die bislang getrennt voneinander entwickelt wurden. Die Interaktion von Menschen und Robotern hat in der Rettungsrobotik ja bisher noch keine große Rolle gespielt, sondern wurde vor allem im Zusammenhang mit Servicerobotern für Haushalt oder Gewerbe erforscht.

Kruijff: Das ist richtig beobachtet. Wir starten nicht mit einer leeren Tafel. Hier am DFKI in Saarbrücken arbeiten wir seit 2004 an Systemen, die im Büro oder in der Wohnung helfen können. Dazu gehört, dass diese Roboter ein semantisches Verständnis ihrer Umgebung entwickeln, das in die Dialoge mit dem Menschen und in die Planungen einfließt. Diese Erfahrungen, die wir zunächst für Innenräume gesammelt haben, wollen wir im Rahmen von NIFTi jetzt nach draußen übertragen. Dafür waren mehrere Verbesserungen nötig. Auf der Seite der Semantik haben wir uns auf funktionale Karten konzentriert. Der Roboter soll seine Umgebung nicht nur geometrisch korrekt abbilden, sondern auch verstehen, wo er sich wie positionieren muss, um eine be-

stimmte Aufgabe zu erfüllen. Beim Dialog mit Menschen ist es sehr viel schwieriger, deren Intentionen zu erfassen, etwa zu verstehen, auf welches Objekt sich der Mensch bezieht, weil die Umgebung sehr viel weniger strukturiert ist. Wir haben daher die Anwender gefragt, wie sie kommunizieren. Wie beschreiben sie denen, die weiter entfernt sind, eine Unglücksstätte? Auf dieser Grundlage entwickeln wir Modelle von Teamarbeit und Kommunikation im Team und arbeiten an Verfahren, Anzeichen von Stress zu erkennen und den weiteren Dialog darauf einzustellen.

c't: Die physische Umgebung mag bei Rettungseinsätzen extrem unstrukturiert sein. Aber ist dafür nicht wenigstens die Kommunikation der Rettungshelfer stärker strukturiert?

Kruijff: Das kommt darauf an, mit wem Sie reden. Es unterscheidet sich von Institution zu Institution. In Dortmund, wo wir mit der dortigen Feuerwehr geübt haben, folgte die Kommunikation einem strengen Protokoll, verlief sehr strukturiert und versuchte, jegliche Zweideutigkeiten zu vermeiden. Ähnliche Protokolle verwendet auch das Militär. Sobald man sich aber auf die Ebene des Teams begibt, wo die Mitglieder sich seit langem kennen, wird die Kommunikation deutlich informeller. Um diese Dialoge zu verstehen, braucht ein Roboter Modelle des Teams und seiner sozialen Dynamik, muss die Rollen der verschiedenen Teammitglieder einschätzen können. Nur die Worte zu verstehen reicht nicht aus. Der Kontext ist entscheidend.

c't: Könnte sich auch ein Roboter mit der Zeit immer besser in das Team einfügen?

Kruijff: Für gemischte Teams aus Menschen und Robotern gilt das Gleiche wie für reine Menschenteams: Sie trainieren und lernen sich dabei immer besser kennen. Es ist ein sozio-technisches System. Wir können nicht einfach einen Roboter hinstellen, schon gar keinen unbekanntes, und sagen: „Jetzt benutzt ihn.“ Das funktioniert nicht. Regelmäßiges Training ist essenziell.

c't: Arbeiten Sie mit einem Konzept gleitender Autonomie (sliding autonomy)?

Kruijff: Ja, das trifft ganz gut den Kern unseres Vorhabens. In unserem theoretischen Modell von der sozialen Struktur eines Teams gibt es verschiedene Rollen, die wiederum verschiedenen Aufgaben zugeordnet sind. Für jeden Agenten gibt es, abhängig von der Situation, aber auch Handlungsgrenzen, die wir „integrity limits“ nennen. Die können sich aus Beschränkungen der Hardware ergeben, etwa bei der Bandbreite der Funkkanäle oder bei der Sensorik, oder mit Unschärfen und Unsicherheiten bei den Daten zu tun haben. Je nachdem, wie der Roboter seine Möglichkeiten bei einer bestimmten Aufgabe einschätzt, kann er autonom handeln oder mehr Unterstützung vom Menschen anfordern. Er kann etwa fragen, ob es sich bei einem Objekt wirklich um ein

Auto handelt, oder mitteilen, dass er eine Aufgabe aus bestimmten Gründen nicht durchführen kann. Oder er informiert umgekehrt den Operator darüber, dass er jetzt autonom weitermachen kann. Das ist ein Kontinuum verschiedener Grade von Autonomie, das ständig neu austariert wird, allerdings nicht auf einer linearen Skala. Wir müssen insbesondere unterscheiden zwischen der Autonomie der Wahrnehmung und der des Verhaltens.

c't: NIFTi ist klar auf die Anwendung in Rettungsszenarien ausgerichtet, beschäftigt sich aber gleichzeitig mit Fragen der Grundlagenforschung. Wie bringen Sie diese verschiedenen Orientierungen ins Gleichgewicht?

Kruijff: Das Rettungsszenario haben wir sehr bewusst gewählt. Wir wollten heraus aus dem Labor. Um einen Beitrag zur wirklichen Welt zu leisten, muss man sich an der Wirklichkeit orientieren. Aber als wir mit Rettungshelfern sprachen und unseren Entwicklungszyklus starteten, bei dem wir uns regelmäßig des Feedbacks von den Experten versichern, stießen wir auf grundsätzliche Probleme. Wir machten die gleiche Beobachtung wie Sie jetzt: Es geht bei unserem Projekt nicht einfach um die Entwicklung eines Systems, sondern auch um Grundlagenforschung. Auf viele dieser grundlegenden Fragen wären wir aber gar nicht gekommen, wenn wir uns nicht den Anforderungen der Realität gestellt hätten. So etwas wie das Handeln unter Stress lässt sich nicht im Labor simulieren. Es ist faszinierend, wie dabei grundsätzliche Überzeugungen ins Wanken gerieten und neu formuliert werden mussten. Anfangs war das allerdings auch sehr schwierig. Bei unserem ersten Experiment mit Nutzern Anfang 2011 in Dortmund brannten jeden Tag an die 20 Sicherungen durch und aus einem Abstand von mehr als zwei oder drei Metern funktionierte nichts mehr. Der Leiter der Dortmunder Feuerwehr, Dirk Aschenbrenner, sagte danach der Presse, dass es zu seinen Lebzeiten wohl keine Roboter in Rettungsteams geben werde. Wir arbeiteten weiter an unseren Theorien und Systemen und waren ein halbes Jahr später wieder in Dortmund zu

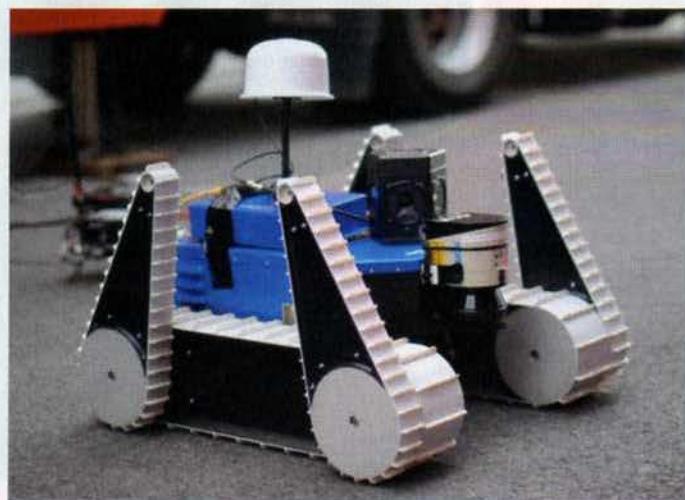
einer erneuten Übung. Diesmal ergab sich ein ganz anderes Bild. Die Rettungskräfte sahen, dass wir sie ernst nahmen und ihre Kommentare in die Systeme eingeflossen waren. Und für Aschenbrenner waren einsatzfähige Roboter jetzt nur noch fünf bis sieben Jahre entfernt.

c't: Halten Sie das für eine realistische Schätzung?

Kruijff: Ja. Schauen Sie sich nur an, was Satoshi Tadokoro in Fukushima erreicht hat. Der Roboter war ferngesteuert, verfügte aber bereits über unterstützende autonome Funktionen. Unter den Experten herrscht allgemein das Gefühl, das Roboter für Rettungsarbeiten kurz vor der Einsatzreife stehen. Es fehlen vielleicht noch ein oder zwei Jahre konzentrierter Forschung, dann könnten wir Roboter haben, die wirklich eine Hilfe sind, wenn es darum geht, Unglücksstätten zu untersuchen, Kommunikation mit eingeschlossenen Überlebenden zu ermöglichen oder Schäden in Gebäuden einzuschätzen. Es erfordert jedoch den engen Kontakt mit den Anwendern. So weit wir sehen, forscht derzeit nur eine Handvoll Leute in diese Richtung.

c't: Der Quince-Roboter, mit dem Satoshi Tadokoro ins Reaktorgebäude vorgedrungen ist, passt sich mit seinen beweglichen Flippern autonom dem Untergrund an. Kann Ihr Roboter das auch?

Kruijff: Unsere Plattform ist sogar noch etwas flexibler als Quince, weil die Hauptantriebsketten an den Seiten des Roboters mit einem Differenzial verbunden und dadurch auch beweglich sind. Es ist ein Prinzip, das bei Weltraumrobotern wie den Mars-Rovern der NASA erfolgreich angewendet wird und dem Fahrzeug eine große passive Anpassungsfähigkeit verleiht, die wir wiederum mit aktiv steuerbaren Flippern kombinieren. Die Kollegen in Rom arbeiten an Verfahren des maschinellen Lernens, die es dem Roboter ermöglichen sollen, sich selbstständig durch komplexes Gelände zu bewegen. Außer Quince gibt es derzeit wohl keinen Roboter, der mit unserem vergleichbar wäre. (dab) **ct**



Die NIFTi-Plattform kann bei Unfällen die Vorhut für die Retter übernehmen.