

Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der Servicerobotik

Bericht über die erste internationale Feld- und Servicerobotik-Konferenz in Canberra und den Besuch ausgewählter Robotik-Institute in Südost-Australien, Dezember 1997

Rainer Bischoff

Serviceroboter sind weltweit weiter auf dem Vormarsch. Ihnen wird ein noch größeres Marktpotential vorhergesagt als den Industrierobotern. Sie sollen den Menschen in vielen Bereichen des täglichen Lebens bei unterschiedlichen Handhabungs-, Transport und Bearbeitungsaufgaben unterstützen. Zur Entwicklung von Servicerobotern sind Kenntnisse und Erfahrungen in verschiedenen Ingenieurwissenschaften und der Informatik gefordert. Dementsprechend vielfältig sind die Gebiete, mit denen sich Wissenschaftlergruppen auseinandersetzen müssen.

International Conference on Field and Service Robotics

Die weltweit erste internationale Konferenz, die sich ausschließlich diesem neuen und aufstrebenden Zweig der Robotik widmete, war die „International Conference on Field and Service Robotics“ in Canberra, Australien (<http://www.syseng.anu.edu.au/~fsr97>). Sie war zugleich die erste Robotik-Konferenz auf dem australischen Kontinent seit mehr als 10 Jahren. Trotz des hohen Anteils an australischen Beiträgen war es eine hochkarätig besetzte *internationale* Konferenz mit insgesamt 140 Teilnehmern aus 15 Ländern. Das Interesse an der Konferenz war so groß, daß von der ursprünglich einreihig geplanten dreitägigen Konferenz der dritte Tag in drei parallele Sitzungsreihen aufgespalten und trotzdem noch über 40% der eingereichten Beiträge abgelehnt werden mußten. Die Qualität der zumeist von Nachwuchswissenschaftlern vorgetragenen Beiträge war durchweg gut. Höhepunkte der Konferenz waren *sieben* eingeladene Vorträge anerkannter Wissenschaftler auf dem Gebiet der Robotik. Sie waren gleichmäßig über die drei Konferenztage verteilt und gaben einen guten Überblick über die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten und Zukunftsaussichten von Servicerobotern. In den Pausen zwischen den einzelnen Sitzungen blieb genügend Zeit, um im kleineren Kreis ausführlicher zu diskutieren und wertvolle Kontakte zu knüpfen. Insgesamt gesehen hob sich diese Konferenz wohlthuend von anderen Robotik-Konferenzen ab. Die nächste FSR wird an der Carnegie-Mellon University, August 29, 30, 31 1999 in Pittsburgh stattfinden. Es gibt zwar noch keine Webseite, aber es wird von der letzten Konferenz-Webseite aus einen Link dorthin geben (<http://www.syseng.anu.edu.au/~fsr97>). Organisiert wird die Konferenz von Dr. John Bares und Dr. Howie Choset von der CMU.

Im Vorfeld der Konferenz fand ein Telerobotik-Workshop statt, der von der University of Western Australia (UWA), Perth, ausgerichtet wurde. Im Anschluß an die Konferenz hatte ich Gelegenheit, mich vor Ort über einige Robotik-Institute im Südosten Australiens (Canberra, Melbourne, Wollongong, Sydney und Toowoomba) zu informieren. Der hier folgende Bericht gibt einen ausführlichen Überblick über die Konferenz und stellt kurz die besuchten Institute vor. Ausführlichere Informationen (auch zum Telerobotik-Workshop) enthält ein längerer Bericht, der unter <http://www.rz.unibw-muenchen.de/~l61brai/> abgerufen werden kann.

Eingeladene Vorträge

Eröffnet wurde die Konferenz von **Prof. Hugh Durrant-White** von der Sydney University mit dem ersten der insgesamt sieben eingeladenen Vorträge. Durrant-White ist Leiter des Australian Field Robotics Center AFRC, das seit zwei Jahren an der Sydney University besteht (<http://mecharea.me.su.oz.au/>). Mit seiner Erklärung, die Robotik-Forschung hätte sich in den letzten 15 Jahren kaum bewegt, stand er nicht alleine da. Es müsse nun endlich gelingen, Roboter aus dem Labor heraus für wirkliche Anwendungen vorzubereiten. Nur in der Praxis können Probleme erkannt und behoben werden, um Roboter zuverlässiger zu machen und letztendlich einsetzen zu können. Er bemängelte, daß diese praktische Vorgehensweise in der Robotik-Gemeinde noch immer nicht hinreichend gewürdigt werde. Angewandte Forschung mache es schwierig, viele Veröffentlichungen zu schreiben, die für eine Karriere als Wissenschaftler aber erforderlich seien. Ein großes nach wie vor ungelöstes Problem stelle die Sicherheit der Feld-

und Serviceroboter dar, mit der sich seine Gruppe neben Navigations-, Modellierungs- und Steuerungsproblemen beschäftige. In der Diskussion am Ende des Vortrags merkte Prof. Brooks an, daß das Sicherheitsproblem ein unfaires Problem sei, da man Menschen Fehler zugestehen dürfe, Robotern dagegen nie.

Der zweite eingeladene Vortrag wurde von **Prof. Rodney A. Brooks** vom AI Laboratory des MIT, Boston, gehalten (<http://www.ai.mit.edu/>). Er beschäftigte sich in seinem Vortrag mit der Zukunft der Robotik und berichtete von einigen Projekten am MIT und von seiner Firma ISRobotics (<http://www.isr.com/>). Er vertrat die Auffassung, daß zur Akquirierung von Industrie-Projekten hochrangige Manager überzeugt werden müßten, aber vor allen Dingen Unterstützung aus der Politik kommen müßte. Einige seiner Projekte seien letztendlich an fehlenden politischen Rahmenbedingungen gescheitert und nicht etwa, weil die Technik nicht ausgereift war. Damit Roboter in Zukunft erfolgreich sein könnten, müßten sie schnell, preiswert und verhaltensbasiert sein. Sie müßten aus zuverlässigen Standardkomponenten bestehen, die von unterschiedlichen Herstellern produziert werden und untereinander austauschbar sein müßten. Die Zukunft der Robotik sieht er für Anwendungen im Bereich der autonomen Straßenfahrzeuge, in der Landwirtschaft und im Bergbau sowie in der Unterhaltungsindustrie. Laufenden und humanoiden Robotern sowie Mikro- und Nanomaschinen räumt er ebenfalls gute Chancen ein. Gleichzeitig bemängelt er, daß sich die Robotik zur Zeit nur sehr langsam entwickle (Evolution statt Revolution), weil es keine Applikation gebe, die die Robotik so nachhaltig beeinflussen könne wie beispielsweise der PC die Informationstechnologie.

Weiterhin ungelöst sei das Problem, wie Roboter ihre Umwelt wahrnehmen können. Brooks behauptete, daß erst die Lösung dieses Problems Roboter mit intelligentem Verhalten ermöglichen werde. Er fügte hinzu, daß sich mit reiner Rechenleistung dieses Problem nicht lösen lasse.

Im dritten eingeladenen Vortrag berichtete **Dr. Chuck Thorpe** von der Carnegie Mellon University (CMU), Pittsburgh, über die Arbeiten des Robotics Institute (<http://www.ri.cmu.edu/ri-home/projects.html>) an Feld-Robotik-Applikationen und insbesondere über „seine“ Familie von mittlerweile 10 autonomen Straßenfahrzeugen (NavLab). Am Robotics Institute werden seit Mitte der 80er Jahre Roboter für „realistische“ Einsatzumgebungen entwickelt. Dr. Thorpe stellte die neuesten Entwicklungen, den autonomen Mähdrescher „Demeter“, den autonomen Hubschrauber „Heli“ und den geländegängigen mobilen Roboter „Nomad“ vor, die alle verschiedene Sensortechniken (u.a. GPS und maschinelles Sehen) zur erfolgreichen Navigation einsetzen. Anschließend präsentierte er die jüngsten Ergebnisse, die während einer 4-tägigen Demonstration mit fünf Fahrzeugen der NavLab-Familie erzielt worden sind, wobei insgesamt über 4200 Passagiere befördert wurden. Die Fahrzeuge sind in der Lage, im manuellen Modus den Fahrer zu warnen, falls er sich dem Fahrbahnrand näherte oder nachfolgende Fahrzeuge sich zu schnell näherten. Im autonomen Fahrbetrieb können die Fahrzeuge die Spur halten und wechseln, Hindernisse entdecken und ihnen ausweichen und langsamere vorausfahrende Fahrzeuge überholen. Auch können sich die Fahrzeuge über Funk verständigen und Kolonnenfahrten mit reduziertem Abstand durchführen. Als einen wichtigen Punkt betrachtet Dr. Thorpe die Einbeziehung des menschlichen Faktors in die Überlegungen zur Realisierung automatisierter Fahrzeuge, da solche Fahrzeuge von Menschen ohne spezielle Robotik-Vorkenntnisse, z.B. von Bauern (beim Mähdrescher), von Mietwagenkunden (bei Straßenfahrzeugen) und oder von Naturwissenschaftlern (bei geländegängigen Erkundungsfahrzeugen), bedient werden. Wie Brooks sieht Thorpe es als sehr wichtig an, die Öffentlichkeit im allgemeinen und Politiker im besonderen in die Diskussion miteinzubeziehen, um die Förderung und Umsetzbarkeit solcher Großprojekte sicherzustellen.

Der vierte eingeladene Vortrag wurde von **Prof. Shin'ichi Yuta** vom Intelligent Robot Laboratory von der Universität Tsukuba gehalten (<http://www.roboken.esys.tsukuba.ac.jp/>). Seiner Meinung nach gehören zu den Schlüsseltechnologien, die für einen erfolgreichen Einsatz von Servicerobotern

notwendig sind, die Sensortechnologie und Sensordateninterpretation, die es Robotern ermöglichen, sich an unterschiedlich große, komplexe und dynamisch veränderliche Einsatzumgebungen anzupassen. Anhand von drei bereits im Einsatz befindlichen Robotern gab er Beispiele für die erfolgreiche Umsetzung dieser Schlüsseltechnologien an: ein autonomes Transportfahrzeug mit Manipulator, das zum automatischen Transport von Waferplatten in einer Halbleiterfabrik eingesetzt wird, einen autonomen Staubsauger, der Flughallenbereiche säubert und einen Sicherheitsroboter, der mit verschiedenen Sensoren ausgestattet ist und Bürogebäude bewachen kann.

Im fünften eingeladenen Vortrag stellte **Prof. Oussama Khatib** vom Robotics Laboratory an der Stanford University (<http://robotics.stanford.edu/groups/manips/>) verschiedene Steuerungstechniken für (mehrere kooperierende) mobile Manipulatoren vor. Ein mobiler Manipulator wird dabei als Makro-/Mini-Struktur angesehen, wobei der Manipulator (Mini-Struktur) eine sehr große Dynamik aufweisen muß, um die geringe Dynamik der mobilen Basis (Makro-Struktur) kompensieren zu können. Der Steuerung liegt ein exaktes kinematisches Modell des mobilen Manipulators zu Grunde. Prof. Khatib machte deutlich, daß mobile Manipulatoren der Schlüssel für viele neue Applikationen im Bereich der Servicerobotik sind. Verschiedene Sensoren, insbesondere Kraft-Momentensensoren, und ein dezentral organisiertes Mehrprozessorsystem ermöglichen seinen Robotern, Tafeln oder Tische zu wischen und gemeinsam mit Menschen Lasten zu tragen und zu transportieren.

Im sechsten eingeladenen Vortrag berichtete **Dr. Mandyam Srinivasan** von der Research School of Biological Sciences der Australian National University in Canberra (<http://biology.anu.edu.au/>) über seine Arbeiten im Bereich der Roboternavigation, die eng angelehnt sind an seine experimentellen Erkenntnisse aus dem Bereich des Sehens von Insekten. Dr. Srinivasan ermittelte in verschiedenen Experimenten, welche visuellen Hinweise Insekten zur Navigation oder Futterplatzsuche verwenden. Beispielsweise verwenden Bienen eine Art visuelle Odometrie, um Futterplätze wiederzufinden, und indem sie laterale Bildgeschwindigkeiten ausgleichen, gelingt es ihnen, einen Kurs zu halten und Hindernissen auszuweichen. Auch wenn noch nicht bekannt ist, wie Insekten letzten Endes sehen, genügen die gefundenen Hinweise, um Roboter mit einem vergleichbaren Navigationssystem auszustatten.

Der siebente und letzte eingeladene Vortrag von **Prof. Ray Jarvis** von der Monash University in Melbourne ([\[monash.edu.au/\]\(http://monash.edu.au/\)\) beschrieb den derzeitigen Stand der Robotik und versuchte einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen zu geben. Prof. Jarvis sprach mehrere Probleme an, die immer noch nicht gelöst sind: die Wahrnehmung, die Repräsentation dessen, was wahrgenommen wird, die Suche im Repräsentationsraum, beispielsweise nach kollisionsfreien Pfaden, die Datenfusion und die Ausnutzung redundanter Sensorinformationen, die richtige Balance zwischen reaktivem und intelligent gesteuertem Verhalten \(reaction vs. reasoning\). Prof. Jarvis schlußfolgerte, daß wir noch sehr weit von Robotern entfernt seien, die sich an alle Einsatzumgebungen anpassen und vielfältige Aufgaben erfüllen können. Auf dem Weg zu diesem Ziel werden noch einige Generationen von Robotern entstehen, die jeweils in immer höheren Maße die vielfältigen Anforderungen an Funktionalität, Zuverlässigkeit und Sicherheit auf der einen und Kosten, Größe, Gewicht sowie Energieverbrauch auf der anderen Seite erfüllen.](http://www.ecse.</p>
</div>
<div data-bbox=)

Zusammenfassung der Sitzungen der Konferenz

Im folgenden kann nur ein Teil der interessanten Sitzungen und Beiträge der Konferenz kurz zusammengefaßt wiedergegeben werden. Eine ausführlichere Zusammenfassung kann der geneigte Leser den Proceedings bzw. einem Buch über die Konferenz entnehmen, das noch in diesem Jahr im Springer-Verlag erscheinen wird.

In der ersten Sitzung der Konferenz wurden hauptsächlich **australische Robotik-Projekte** vorgestellt. Der Schwerpunkt lag auf Feld-Robotik-Anwendungen wie der Steuerung von Baumaschinen und Minenlastwagen, sowie auf geeigneten Sensortechniken für Bergbau-Anwendungen. Der Einsatz von Stereosichtsystemen und Laserscannern für Navigation und Objekterkennung hat sich hierbei bewährt.

Die zweite Sitzung beschäftigte sich mit der Entwicklung und dem Einsatz **geländegängiger Roboter**, die zur Exploration von Vulkanen (DANTE II), Wüsten (NOMAD) oder planetenähnlichen Oberflächen (u.a. Ames Marsokhod) eingesetzt wurden und werden. Beeindruckend war die Vielzahl an Konzepten, die solche Roboter geländegängig machen können (Laufmaschinen und diverse Radkonzepte). Der Trend geht hin zu Robotern, die durch den Einsatz vielfältiger Sensorik immer selbständiger werden und so für die Bediener – in der Regel keine Robotik-Experten – einfacher zu handhaben sind. Zur Navigation verwenden die meisten Maschinen Stereosehen, das sich als leistungsfähigste Sensorik herausgestellt hat.

Für den fernbedienten Betrieb sind Kameras ohnehin notwendig, damit der Bediener einen Eindruck von der zu explorierenden Umgebung erhält.

Die dritte Sitzung behandelte **Mensch-Maschine-Schnittstellen** und die Fernbedienung von Robotern. Im ersten Beitrag wurde die Übergabe von Objekten von einem Bediener zum Roboter und umgekehrt behandelt. Der Einsatz eines Kraftsensors in der Roboterhand zur Bestimmung des Zeitpunktes der möglichen Übernahme sowie die Projektion von simulierten Roboterbewegungen vor den eigentlichen Bewegungen geben dem Bediener ein besseres Verständnis für die vom Roboter geplanten Aktionen und erleichtern die Übergabe. Ein weiterer Beitrag stellte eine beeindruckende virtuelle Schnittstelle zur Programmierung komplexer (kooperativer) Manipulationsaufgaben vor. Die Benutzer des Systems können mit wenigen "Handgriffen" in der virtuellen Welt Ablaufpläne für komplexe Manipulationsaufgaben erstellen, wie sie z.B. in Weltall-Laboratorien zur Durchführung von Experimenten notwendig sind. Das Programm führt dann anschließend die Projektion dieser virtuell durchgeführten Tätigkeiten auf das real existierende Robotersystem aus.

In einer weiteren Sitzung wurden **sichtgesteuerte mobile Roboter** vorgestellt. Der erste Beitrag beschäftigte sich mit der Navigation eines Roboters durch ein Netzwerk von Korridoren. Das Verfahren basiert auf dem Aufnehmen und „Abspielen“ (Matchen) einer Sequenz von Bildern, während die gewünschte Trajektorie abgefahren wird. Es ermöglicht dem Roboter, durch einen Korridor zu navigieren und abzubiegen. Außerdem wurden zwei kooperierende mobile Roboter vorgestellt. Während der erste Roboter verteilt liegenden Schmutz zusammenkehrt, saugt der zweite Roboter die entstandenen Schmutzhaufen auf. Beide Roboter weisen eine homogene Softwarearchitektur auf, die robuste Navigationsplanung, Kooperation, Kommunikation und reaktives Verhalten aufweisen. Desweiteren wurde ein Roboter beschrieben, der Türen öffnen und schließen kann. Dabei wird mit Hilfe von Bildverarbeitung die zu öffnende/schließende Tür erkannt, der Türknopf sichtgesteuert angefahren und gegriffen und anschließend mit einer vorprogrammierten Bewegung die Tür geöffnet/geschlossen.

Unterwasser-Applikationen, die für die teilweise noch unerforschten Küstenregionen Australiens von besonderem Interesse sind, waren Gegenstand einer weiteren Sitzung. An der Sydney University wird an einem autonomen Unterwasser-Fahrzeug gearbeitet, dessen Aufbau und eingesetzte

Sensorik (Ultraschall und Inertialsensoren) erläutert wurden. Für das Unterwasserroboter-Projekt des MIT wurde ein neues Verfahren zur gleichzeitigen Kartenerstellung und Navigation basierend auf Ultraschall-Sensordaten entwickelt. Während der Navigation werden Hypothesen über mögliche Positionen des Roboters und von Umweltmerkmalen aufgestellt, die erst dann verworfen werden, wenn sie unter einen bestimmten Wahrscheinlichkeitswert gefallen sind. Dieses Verfahren ist prinzipiell für alle Arten von mobilen Robotern geeignet. Abgeschlossen wurde diese Sitzung mit einem sehr unterhaltsamen Vortrag über ferngesteuerte Unterwasserroboter, die für Filme und TV-Produktionen entwickelt und produziert wurden und auch in anderen Unterhaltungsbranchen eingesetzt werden.

Weitere Beiträge beschäftigten sich mit dem **modularen Aufbau von Robotern** im allgemeinen und **mobilen Manipulatoren** im besonderen. So stellte ich das anthropomorphe Gesamtkonzept und die Realisierung des Serviceroboters *HERMES* vor, der omnidirektionale Mobilität mit der Fähigkeit zur (zweiarmigen) Manipulation verbindet. *HERMES* zeichnet sich durch einen modularen und flexiblen Aufbau aus und eignet sich damit zur experimentellen Überprüfung der an unserem Institut entwickelten verhaltensbasierten Steuerungskonzepte. Als Hauptsensormodalität wird das maschinelle (Stereo-) Sehen eingesetzt, das sich für Navigations- und Manipulationsaufgaben bewährt hat. Eine vergleichbare Entwicklungsrichtung wird an der Nanyang Technological University (Singapur) verfolgt. Dort wurde ebenfalls ein modular aufgebauter mobiler Roboter mit zwei Armen entwickelt, dessen kinematisches Modell vorgestellt wurde. Ein weiterer Beitrag analysierte das kinematische Modell eines 6 DOF Manipulators auf einem nichtholonomen Fahrzeug und stellte Simulationsergebnisse einer Steuerung für kontinuierliche Endeffektor-Trajektorien vor. Am Dartmouth College (Hanover, NH, USA) wird an Robotern gearbeitet, die nicht nur modular aufgebaut sind, sondern sich auch selbst konfigurieren können. Damit soll es den Robotern möglich sein, sich an unstrukturierte und anfangs unbekannte Umgebungen selbständig anpassen zu können. Die Simulationsergebnisse und ersten praktischen Resultate lassen eine vielversprechende Entwicklung erahnen.

Podiumsdiskussion

In der abschließenden Podiumsdiskussion ging es um die zukünftigen kommerziellen Aussichten für Serviceroboter ("Commercial Prospects for Field and Service Robotics.

What next?"). In seiner Eröffnungsansprache zeigte Michael Kassler (Consultant) auf, daß Wunsch und Realität bei der Entwicklung von Servicerobotern weit auseinanderliegen. Die einzige Firma, die es wirklich geschafft habe, Serviceroboter weltweit und in größeren Stückzahlen zu verkaufen, sei Engelbergers Firma "Helpmate Robotics" (<http://www.ntplx.net/~helpmate/>) gewesen. Doch sie mußte am 3. August 1997 Konkurs anmelden.

Rodney Brooks machte deutlich, daß es in den nächsten Jahren (Jahrzehnten?) keine Haushaltsroboter geben werde, die alltägliche Routinearbeiten verrichten könnten. Stattdessen würden Haushaltsgeräte immer mehr Robotik-Komponenten enthalten und damit von der Forschung auf den verschiedenen Gebieten der Robotik profitieren. Entscheidend für das zukünftige Vorankommen der Robotik-Gemeinde werde es jedoch sein, die Roboter aus dem Labor herauszuführen und in wirklichen Anwendungen einzusetzen. Seiner Meinung nach werde eine einzige erfolgreiche Applikation die psychologische Barriere brechen und den Markt für Serviceroboter öffnen.

Auch Jim Slater (Nomadic Technologies, <http://www.robots.com/>) sieht in naher Zukunft keine Möglichkeiten, einen für alle Aufgaben und Situationen geeigneten Serviceroboter auf den Markt zu bringen. Zunächst werden Roboter vor allen Dingen für Hol- und Bringdienste, Reinigung und Überwachung in einigermaßen strukturierten Umgebungen eingesetzt werden. Maschinelles Sehen stellt für ihn dabei die wichtigste Sensortechnik dar, die sich in den kommenden Jahren allein durch die erhöhte Rechenleistung (nicht durch algorithmische Verbesserungen) durchsetzen wird. Bis es soweit ist, wird auf einen Bediener zur Überwachung der Aufgaben nicht verzichtet werden können.

John Billingsley (University of Southern Queensland) machte hingegen deutlich, daß es keinen Bedarf für Haushaltsroboter gebe. Diejenigen, die einen Haushaltsroboter benötigten, könnten sich für viel weniger Geld eine Haushaltshilfe leisten, die flexibler und vielseitiger sei und anfallende Aufgaben besser und schneller erledigen könne als jeder Roboter. Einen Massenmarkt für Roboter sieht er lediglich im Spielzeugsbereich.

Es wird ein Buch über die Servicerobotik-Konferenz erscheinen, das eine zusammengefaßte Version der Proceedings ist, mit dem Titel „Field & Service Robotics“, Springer, Engineering Series, June 1998, ISBN 1 85233 039 2, Herausgeber ist Alexander Zelinsky (der Konferenz-Vorsitzende).

Informationsreise zu ausgewählten Robotik-Instituten in Südost-Australien

Die australische Forschung ist (neben der US amerikanischen) führend im Bereich der Feld-Robotik, da dort u.a. in der Automatisierung der Landwirtschaft und des Bergbaus ein großes Wachstumspotential liegt. In anderen Bereichen erzielte Ergebnisse brauchen den Vergleich mit international anerkannten Instituten nicht zu scheuen. Die folgenden Beschreibungen einzelner Institute können nur die Tendenzen und einige Highlights der jeweiligen Robotik-Institute aufzeigen. Ein guter Startpunkt für eigene Recherchen ist:

<http://www.cat.csiro.au/dmt/programs/autom/pic/aus-robot-research.htm>.

Research School of Information Sciences and Engineering, Australian National University, Canberra

Das Robotic Systems Lab der RSISE von Dr. Alexander Zelinsky (<http://wwwsyseng.anu.edu.au/rsl/>) konzentriert sich auf die Bereiche Navigation von mobilen Robotern, Manipulation, kooperierende Roboter, aktives Sehen und Unterwasserfahrzeuge. Als Forschungsplattformen stehen u.a. zwei mobile Roboter der „Yamabico“-Familie, ein Manipulator der Fa. Barrett Technologies und ein Stereo-Sichtsystem zur Verfügung. Am interessantesten waren die Demonstrationen der beiden mobilen Roboter: Der erste Roboter ist in der Lage, mit Hilfe von Fühlern Wänden zu folgen und mittels Videoauswertung Objekten auszuweichen. Der zweite Roboter navigiert mit Hilfe von Ultraschallsensoren, deren Signale mittels neuronaler Netze auf Robotertrajektorien abgebildet werden. Der Roboter lernt innerhalb weniger Minuten die für diese Abbildungen notwendigen Karten selbständig und kann so Veränderungen an den Sensoren und partielle Sensorausfälle kompensieren. In Kooperation konnten beide Roboter den Boden säubern.

Intelligent Robotics Research Center, Monash University, Melbourne

Prof. Ray Jarvis veranstaltete für interessierte Wissenschaftler zum besseren Kennenlernen einen informellen Robotik-Workshop im Anschluß an die FSR-Konferenz. Bei diesem Workshop hatten die Teilnehmer Gelegenheit, in ausführlicherer Form als es auf der Konferenz möglich war, Ihre Forschungsgebiete zu präsentieren. Serguei Matrossov und Alexei Bogatchev (Science & Technics Rover Company Ltd., St. Petersburg, Rußland) stellten in einem sehr informativen Beitrag die sowjetische/rus-

sische Forschung auf dem Gebiet der (Planeten-)Erkundungsfahrzeuge vor. Mittlerweile ist dieser Zweig der russischen Raumfahrt privatisiert, und die Leistungsfähigkeit auf dem Gebiet der Konstruktion komplexer und robuster Erkundungsfahrzeuge konnte anhand von Videos eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden. Lindsay Kleeman (Monash University) berichtete über seine Arbeiten zur ultraschall-basierten Navigation von mobilen Robotern. Das besondere an seiner Vorgehensweise ist, daß er statt eines Ultraschallringes nur einen einzigen um die Vertikalachse steuerbaren Sensor verwendet. Dieser Sensor besteht aus einem Transceiver und mehreren in einer bestimmten Weise angeordneten Transducern. Damit lassen sich eine Winkelauflösung $< 0.1^\circ$ und bei einer Entfernung von bis zu 8 m eine Entfernungsmessung mit einem Fehler < 1 mm erreichen, was u.a. an einer sicheren Türdurchfahrt gezeigt wurde. Höhepunkt des Workshops war die Führung durch die Laborräume des Intelligent Robotics Research Center (<http://www.ecse.monash.edu.au/>), in dem mehrere Dutzend Roboter aller Art zu begutachten waren. Auch wenn die meisten Roboter bereits ausrangiert waren oder „nur“ fernbedient werden konnten, war die Vielfalt der vorgestellten Fahrzeuge beeindruckend: mobile Roboter für Gelände (u.a. ein Planetary Rover) und Büroumgebungen, (Modell-)(U-)Boote, ein Zeppelin und ein Luftkissenfahrzeug. Ziel der Arbeiten von Prof. Jarvis Gruppe ist es, diese sehr unterschiedlichen Roboter mit geeigneten Sensorsystemen und Steuerungstechniken auszustatten, damit sie autonom navigieren können.

Centre for Industrial Automation Research and Intelligent Robotics Laboratory, University of Wollongong

Das Institut für Industrielle Automatisierung (<http://www.elec.uow.edu.au/ciar/>) an der Universität von Wollongong (ca. 100 km südlich von Sydney) beschäftigt sich hauptsächlich mit der Konstruktion und Regelung mechatronischer Systeme. Beeindruckend war das Engagement des Leiters des Instituts (Prof. C. Cook) für die automatische Entdeckung von Landminen. Für diesen Zweck ist an seinem Institut ein Roboterarm gebaut worden, der die derzeit verwendete manuelle Entdeckungs- und Ausgrabungsmethode imitiert. Mit Hilfe eines Bajonetts wird die Erde durchstoßen, und die Analyse der Variation in der Nachgiebigkeit des Bodens erlaubt Rückschlüsse auf das Vorhandensein von Landminen. Am Intelligent Robotics Laboratory von Prof. P. McKerrow (<http://www.uow.edu.au/>

[~phillip/robotics.html](http://www.monash.edu.au/~phillip/robotics.html)) wird, wie an der Monash University, ein eigens entwickeltes Sensor mit einer bestimmten Anordnung von Transceivern und Transducern verwendet, um ein preiswertes und hochgenaues Entfernung- und Winkelmeßgerät zu erhalten, das auch zur Objektidentifikation verwendet werden kann. Zum Einsatz kommen soll dieser Sensor auf einem mobilen Roboter, dessen Basisfahrzeug aus einem Rollstuhl besteht.

Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney

Prof. Durrant-Whites Gruppe (<http://mech.area.me.su.oz.au/>) beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit Servicerobotern für den Feldeinsatz in veränderlichen und menschenfeindlichen Umgebungen. Gerade in Australien gibt es viele Bereiche, in denen solche Roboter eingesetzt werden können, z.B. Bergbau, Land- und Forstwirtschaft, Bau, Container-Verladung und Unterwasser. Genau dort, d.h. auf kostenintensiven Fahrzeugen, rentiert sich der Einsatz von (teueren) Robotik-Komponenten wie z.B. Laserscannern, und nur dort können nach Ansicht von Prof. Durrant-White Servicerobotik-Projekte in den nächsten Jahren erfolgreich sein. Anhand solcher Projekte möchte er Navigationsmethoden und Modellierungsverfahren entwickeln, die sich später auf viele verschiedene Anwendungsgebiete übertragen lassen. Entscheidend bei der Arbeit der gesamten Gruppe ist, daß sämtliche Ergebnisse in der Praxis erzielt werden müssen, weil nur durch Testen unter wirklichen Einsatzbedingungen robuste Systeme entstehen können.

Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba

Prof. John Billingsley vom National Centre for Engineering in Agriculture (NCEA, <http://www.usq.edu.au/ncea/>) in Toowoomba (ca. 100 km westlich von Brisbane) sucht möglichst einfache und industriell verwertbare Lösungen hauptsächlich für Anwendungen in der Landwirtschaft, aber auch für den Bergbau. Beeindruckend ist das von ihm entwickelte und mittlerweile kommerziell erhältliche Sichtsystem, das Fahrer von landwirtschaftlichen Fahrzeugen von der ermüdenden Tätigkeit entlastet, parallel zu vorgegebenen „Linien“, z.B. dem Übergang zwischen gemähem und nicht gemähem Getreide, zu fahren. Ein weiteres Projekt ist ein von ihm entwickelter „Kuh-Roboter“

auf Basis eines Dreirad-Fahrzeugs. Er kann einfache gelernte Kurse beliebig oft wiederholen und eignet sich damit zum Trainieren von Pferden, die zum Einfangen von Kühen ausgebildet werden sollen. An Prof. Billingsleys Institut wurde an vielen weiteren Projekten deutlich, daß Systeme dann gut funktionieren, wenn sie von überschaubarer Komplexität sind und mit möglichst einfacher Hardware auskommen.

Die Zukunft der Servicerobotik

Nach Aussage vieler Fachleute ist es noch ein weiter Weg, bis vielseitig verwendbare Serviceroboter für verschiedene Alltagsauf-

gaben einer breiten Masse der Bevölkerung zur Verfügung stehen werden. Entscheidend für die Zukunft der Serviceroboter ist, Techniken, die für eine Vielzahl von Anwendungen von Relevanz sein können, in realistischen Einsatzumgebungen zu erproben. Nur solche Experimente erlauben die Validierung wissenschaftlicher Ergebnisse und ermöglichen Rückschlüsse auf die richtige Vorgehensweise. Deshalb ist ein pragmatischer Ansatz, der den Roboter möglichst schnell in Interaktion mit seiner späteren Einsatzumgebung bringt, einem zögerlichen und vorsichtigen Ansatz bei dessen Realisierung vorzuziehen. Sehr viele unterschiedliche Disziplinen der Ingenieurwissenschaften und der Informatik sind gefordert, um zuverlässige Aktorik, leistungsfähige Sensorik, einfache Mensch-Maschine-

Schnittstellen und intelligente Steuerungskonzepte zu entwickeln, zu produzieren und zusammenzuführen. Das Ziel der Entwicklung muß es sein, Basistechnologien für Serviceroboter zu entwickeln und zur Einsatzreife zu bringen, die sich beliebig auf andere Roboter portieren lassen. Erst wenn es gelingt, Roboter nach einem Baukastensystem zusammenzustellen, sowohl bei der Hardware als auch bei der Software, wie bei einem PC heute üblich, wird der Durchbruch für solche Roboter gelingen und sich ein Markt etablieren. Dies zu schaffen, kann nicht alleinige Aufgaben der Universitäten sein. Da Firmen das Risiko einer Entwicklung auf diesem Sektor (noch) zu hoch ist, müssen politische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die die Entwicklung solcher Hochtechnologie unterstützen.