

Robotik an der Carl-Friedrich-Gauß-Fakultät

Friedrich M. Wahl

Institut für Robotik & Prozessinformatik
f.wahl@tu-bs.de

1 Wie alles begann

Intelligente Maschinen zu bauen ist ein alter Wunschtraum der Menschheit. Bereits “Ingenieure“ des Altertums zerbrachen sich die Köpfe, wie Maschinen gebaut werden können, die Fähigkeiten von Lebewesen (teilweise) nachbilden. Aus der Zeit der Renaissance kennen wir die genialen “Roboterkonstruktionen“ eines Leonardo da Vinci, Vorläufer der beeindruckenden mechanischen Automatenkonstruktionen der Barockzeit. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts begann die rasante Entwicklung der Industrierobotik, die bis heute zusammen mit neueren Aktivitäten, beispielsweise auf den Gebieten der assistierenden und humanoiden Robotersysteme, die internationale Robotikforschung prägt.

Vielleicht hat u.a. dies die Informatik-Professoren der Carolo-Wilhelmina Anfang der 80er Jahre bewogen, ein Robotikinstitut in ihrem Fachgebiet zu planen. Aus den Plänen wurde Wirklichkeit: Mit nachhaltiger Unterstützung der Universitätsleitung und des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur wurde im August 1986 das Institut für Robotik und Prozessinformatik (iRP) gegründet. Der Autor dieses Beitrags wurde auf die entsprechend ausgeschriebene Professur berufen. Es gelang, das iRP in relativ kurzer Zeit in einem alten Industriekomplex abseits des Uni-Campus in der Hamburger Straße im Norden Braunschweigs arbeitsfähig zu machen. Neben der damals noch sehr teuren Rechnerinfrastruktur wurden gut ausgerüstete Mechanik- und Elektroniklabore sowie ein hervorragend ausgestattetes Roboterexperimentierfeld aufgebaut. Bereits nach kurzer Zeit konnte das iRP auf wissenschaftlichem Boden reüssieren. Die ersten Promotionen wurden 1991 abgeschlossen. Seit Anbeginn wurden die Forschungsanstrengungen des iRP maßgeblich mit Mitteln des Landes, der Industrie und der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.

Das Jahr 2001 war ein Schlüsseljahr für die Informatik der TU Braunschweig: Die einzelnen Institute, die bis dato an unterschiedlichen Standorten untergebracht waren, bezogen das neu errichtete Informatikzentrum. Für das iRP bedeutete dies u.a. auch eine Ergänzung der gerätetechnischen Infrastruktur. Einen kleinen Einblick in das heutige Roboterexperimentierfeld zeigt Abbildung 1.



Abbildung 1: Ein Blick in das Experimentierfeld des iRP

Robotikforschung ist ein interdisziplinäres Wissenschaftsgebiet, in dem traditionellerweise der Maschinenbau (konstruktive Ausgestaltung robotischer Systeme), die Elektrotechnik (u.a. Regelungstechnik und elektrische Antriebe) und die Informatik (Programmierung, Konzepte zur Nutzung sensorischer Information zur intelligenten situationsadaptiven Steuerung, etc.) zusammen wirken. In diesem Sinne war es erfreulich, dass die o.g. Fachgebiete zusammen mit dem DLR-Braunschweig im Jahre 2000 den Sonderforschungsbereich “Robotersysteme für Handhabung und Montage“ (SFB 562, <https://www.tu-braunschweig.de/sfb562>) etablieren konnten, als dessen Sprecher der Autor dieses Beitrags auserkoren wurde. Der SFB 562, der 2010 sehr erfolgreich abgeschlossen werden konnte, bildete u.a. eine hervorragende integrative Klammer auf diesem interdisziplinären Fachgebiet über die Fakultätsgrenzen unserer Carolo-Wilhelmina hinweg.

2011 feierte das Institut sein 25-jähriges Bestehen, bei dem wir Gelegenheit hatten, allen unseren Freunden, Förderern und Kooperationspartnern im Rahmen eines festlichen Kolloquiums unseren Dank für ihre langjährige Unterstützung auszusprechen. In den folgenden Abschnitten soll nun versucht werden, einige ‘Highlights‘ unserer Forschung zu beschreiben (detaillierte Informationen findet der interessierte Leser auf den Internetseiten <http://www.rob.cs.tu-bs.de/research/> bzw. über die Publikationsliste <http://www.rob.cs.tu-bs.de/research/publications/> des iRP).

2 Industrie-Robotik

Bereits in den frühen Jahren wurden vom iRP schwierige theoretische Fragestellungen aufgegriffen und gelöst: Beispielsweise generiert das in den 80er Jahren entwickelte System SKIP (Symbolic Kinematic Inversion Programm) auf der Basis der kinematischen Beschreibung serieller Strukturen automatisch die inversen kinematischen Gleichungen zahlreicher Roboterklassen. Gleichzeitig entstand mit engagierter



Abbildung 2 links: Roboter spielt Jenga; rechts: Automatisch generierter Montagebaum

studentischer Unterstützung eines der ersten PC-basierten Robotermodellier- und Simulationssysteme zur offline-Programmierung von Robotern, das 1991 mit dem deutschen Hochschul-Software-Preis ausgezeichnet wurde.

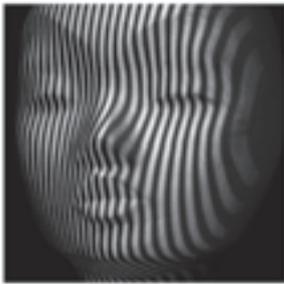
Wie alle international renommierten Robotik Institute hatte auch das iRP eigene Sprachentwicklungen vorangetrieben: ZERO, später ZERO++, ist eine in C/C++ eingebettete Roboterprogrammierungsumgebung, die bis heute der Vermittlung grundlegender und zukunftsweisender Konzepte der Roboterprogrammierung in der Lehre dient. Auf Grund der beschränkten Leistungsfähigkeit kommerzieller Robotersteuerungen erfolgte am iRP frühzeitig eine kontinuierliche Entwicklung von Robotersteuerungsarchitekturen. Zusammen mit dem am iRP neu entwickelten Programmierparadigma "Manipulationsprimitive" konnten Systeme realisiert werden, die Anwendern u.a. eine einfache Sensorintegration in ihren Roboteranwendungen ermöglichen. Auf der Hannover Messe 2005 wurde anhand eines Jenga spielenden Roboters die Leistungsfähigkeit dieser Konzepte demonstriert (Abbildung 2 links); es freut uns, dass führende Roboterhersteller diese Konzepte aufgreifen.

Eine Vision der internationalen Robotik-Community seit den frühen 70er Jahren ist die vollständig automatisierte Programmierung von Roboteranwendungen. Im Bereich der Montage sind am iRP grundlegende Konzepte der Montageplanung, basierend auf dem 'assembly by disassembly' Paradigma, entwickelt worden. Hierbei werden im Virtuellen Baugruppen schrittweise zerlegt und durch eine Vielzahl sogenannter AND-OR-Bäume repräsentiert (siehe Beispiel in Abbildung 2 rechts). Bei Umkehrung der Zeitachse können hierdurch Zusammenbaufolgen generiert werden. Durch geeignete Heuristiken ist es weitgehend gelungen, die inhärente kombinatorische Vielfalt in den Griff zu bekommen und optimale Montagebäume bezüglich benutzerdefinierter Kriterien zu selektieren.

Viele Anwendungen erfordern mobile robotische Systeme (unbemannte Materialtransportsysteme, Serviceroboter etc.). Bereits 1990 begann das iRP im Rahmen eines Industrieprojekts Methoden zur optimalen Bahnplanung/Navigation für fahrerlose Transportsysteme zu entwickeln. Im Gegensatz zum Rest der Welt wurden hierbei mobile Plattformen und im Arbeitsraum verteilte Sensoren als integriertes Gesamtsystem betrachtet. Damit konnten Trajektorien mit minimalen Begegnungswahrscheinlichkeiten mit im Arbeitsraum befindlichen Hindernissen generiert werden. In neuerer Zeit lieferte das iRP bedeutende Beiträge zum sogenannten SLAM-Problem (‘simultaneous localisation and mapping’). Diverse Konzepte dieser Arbeiten fanden auch Eingang in Projekte zur Fahrerassistenz in Kooperation mit einem größeren Automobilhersteller der Region. Darüber hinaus gibt es derzeit mit diesem Konzern mehrere Projekte über fortgeschrittene Methoden der roboterbasierten Montage. In sämtlichen Projekten der Industrierobotik spielt leistungsfähige Sensorik eine außerordentlich wichtige Rolle, über die im folgenden Abschnitt kurz berichtet werden soll.

3 Computer-Vision

Seit Institutsgründung ist ein zentrales Forschungsthema die (visuelle) Gewinnung und Analyse von Tiefendaten. Zur Akquisition von Tiefendaten wurde der vom Autor vorgeschlagene Codierte Lichtansatz, der auf einer raum-zeitlichen Codierung der zu erfassenden Szenarien beruht, weiter entwickelt (z.B. robotische Auge-in-Hand-Systeme und deren Kalibrierung). Um die Akquisitionszeit zu reduzieren, wurden in der Folge sogenannte ‘single-shot’-Verfahren vorgeschlagen, mit deren Hilfe sehr schnell Oberflächennormalenbilder generiert werden können (Abbildung 3(a) zeigt eine typische Beleuchtungssituation). Die Oberflächennormalenbilder können bei Bedarf mittels 2D Integration in Tiefenbilder umgewandelt werden. Darüber hinaus wurden von Mitarbeitern des iRP neue Verfahren zur Tiefenbildgewinnung vorgeschlagen, bei denen durch Laser erzeugte Beleuchtungsebenen zum Schnitt mit Sehstrahlen von Kameras gebracht werden; dies führte zu Patenten und zur Ausgründung der Firma DAVID Vision Systems. Abbildungen 3(b) und 3(c) zeigen als Anwendung das klassische Griff-in-die-Kiste-Problem. Basierend auf der konzeptionellen Lösung des 3D Puzzle-Problems durch Winkelbach 2006 mit Hilfe eines probabilistischen Ansatzes werden hierbei einzelne Pleuelstangen erkannt und kollisionsfreie Greifposen für Roboter generiert. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten führten zu einem ersten Prototyp in der Industrie. Da das iRP auch diverse Kooperationen mit medizinischen Partnern pflegt, wurden u.a. verschiedene Ansätze zur Analyse tomografischer Daten erarbeitet: Abbildung 3(d) zeigt beispielsweise einen aus einem Tomogramm extrahierten Nasenraum, der sich aus robust segmentierten Schnittbildern (vergleiche Beispiel in Abbildung 3(e)) zusammensetzen lässt. Abbildung 3(f) zeigt als weiteres Beispiel eine Beckenfraktur mit automatisch detektierten Bruchflächen. Weitere Erläuterungen zu medizinischen Anwendungen nun im folgenden Abschnitt.



(a)



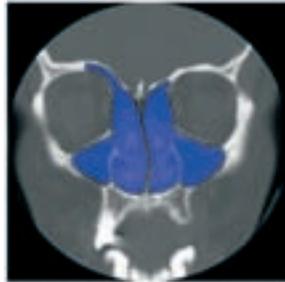
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Abbildung 3: Beispiele aus dem Vision-Labor des iRP (Erläuterungen siehe Text)

4 Medizin-Robotik

Seit 2002 arbeiten Unfallchirurgen der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) eng mit Mitarbeitern des iRP an der Entwicklung robotischer Assistenzsysteme in der Medizin zusammen. Ein erstes zentrales Thema war und ist die roboterassistierte Reponierung von Frakturen. Es konnte gezeigt werden, dass hierdurch erhebliche Verbesserungen der Reponiergenauigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung der Strahlenbelastung von Patient und Personal erreicht wird. Die entsprechenden robotischen Techniken werden jeweils am iRP entwickelt und dort anhand von Modellen erprobt. Die resultierenden Ergebnisse/Methoden werden anschließend in die Laborumgebung der MHH (siehe Abbildung 4) transferiert und dort anhand von Präparaten evaluiert. Die Zielposen der frakturierten Knochenteile werden hierbei durch die o.g. methodischen Ansätze des 3D Puzzle-Problems generiert. Neuere Arbeiten in Kooperation mit der MHH beschäftigen sich mit der reduzierten Invasivität bei robotischen Frakturereponierungen und mit roboterassistierten Umstellungsosteotomien.



Abbildung 4: Ein Blick in das gemeinsam aufgebaute Medizin-Robotik-Lab an der MHH

Ein weiteres sehr anspruchsvolles Thema wird in enger Kooperation mit der HNO-Klinik der Universität Bonn durchgeführt. Roboter sollen hierbei Chirurgen bei endonasalen Operationen durch eine automatische Endoskopführung unterstützen. Dies ermöglicht dem Chirurgen eine simultane beidhändige Führung der Operationswerkzeuge. Die großen robotischen Herausforderungen ergeben sich durch den engen Eintritt des Endoskops und der Instrumente in den Nasenraum durch die Nasenöffnung sowie durch die leicht verletzbaren Strukturen im und in unmittelbarer Nachbarschaft des Nasenraums (Augenhöhle, Schädelbasis). Die Führung des Endoskops erfolgt auf Basis von aus Computertomogrammen extrahierten Arbeitsraumbeschreibungen (siehe Abbildung 3d) unter Einbeziehung von am Endoskop gemessenen Kräften und Drehmomenten (hervorgerufen durch Kontakte mit Weichteilen) sowie auf Basis visueller Informationen (automatische Fokussierung auf das Zentrum des Operationsgebietes). Abbildung 5 vermittelt eine grobe Anschauung der hierzu geschaffenen experimentellen Umgebung. Die entwickelten methodischen Ansätze werden in Bonn medizinisch evaluiert und bewertet.

Im Niedersächsischen Verbundprojekt “Gestaltung altersgerechter Lebenswelten“ (GAL) werden am iRP kamerabasierte Verfahren zur Sturzerkennung in Wohnräumen älterer (oft allein lebender) Menschen entwickelt, um in Notsituationen automatisiert Notrufe abzusetzen. Ebenfalls werden im GAL-Projekt sichtbasierte Ansätze erforscht, die es ermöglichen, Verhaltensmuster unüberwacht zu analysieren, um dadurch Krankheitsbilder, wie Demenz, Parkinson, etc. frühzeitig automatisch zu erkennen.

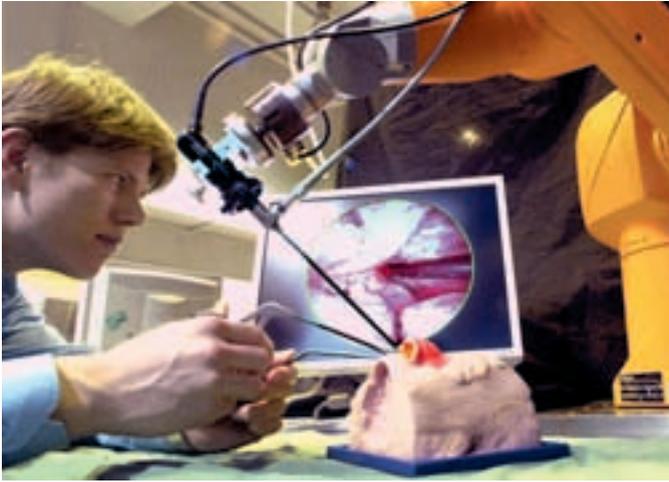


Abbildung 5: Experimenteller Setup zur roboterassistierten Nasenraumchirurgie

5 Anmerkungen zur Prozessinformatik

Der Name des Instituts benennt im zweiten Teil das Fachgebiet Prozessinformatik. Wie aus obigen Ausführungen hervorgeht, lösen wir im iRP nicht nur offene theoretische Fragestellungen, sondern sind stets bemüht, die Ergebnisse unserer Forschungen durch Simulationen und experimentelle Evaluierungen zu validieren. Eine der großen Herausforderungen bei der Implementierung von Verfahren sind hierbei die harten Realzeitanforderungen an robotische Systeme. Für die prototypische Erstellung von Steuerungsarchitekturen wurde 2001 die modulare und verteilte, nachrichtenbasierte Middleware MiRPA (Middleware for Robotic and Process Control Applications) konzipiert. Die schlanke, jedoch höchst performante Middleware wurde insbesondere für das Betriebssystem QNX entwickelt; Portierungen sind aber auch für Windows- und UNIX-Derivate erfolgt. Eingesetzt wurde MiRPA auch im Rahmen einer Industriekooperation mit der regionalen Automobilindustrie als Kommunikationsbasis für diverse Steuergeräte. MiRPA ist mittlerweile über die Ausgründung der Reflexxes GmbH auch kommerziell für allgemeine Automatisierungsaufgaben verfügbar.

6 Last, not least: Die Lehre

Obwohl die Lehrveranstaltungen des iRP bei den Studierenden als sehr schwierig und “matrizig“ empfunden werden, waren und sind die Vorlesungen zur Robotik, zur Digitalen Bildverarbeitung und des 3D Computer-Sehens, der Prozessinformatik und neuerdings der Medizin-Robotik stets gut besucht. Als technisch orientiertes Institut oblag dem iRP darüber hinaus die Informatikausbildung für Ingenieure - insbesondere für Elektrotechniker. Obwohl Studierende der Informatik die Hauptklientel der Zuhörerschaft bilden, freut es uns, dass Veranstaltungen auch von Studierenden der Informa-

tions-Systemtechnik, der Elektrotechnik, des Maschinenbaus u.a. besucht werden. In den vom Institut aufgebauten Praktika zur Robotik und Bildverarbeitung bieten wir den Studierenden die Robotik im wahrsten Sinne des Wortes zu “begreifen“ (siehe Abbildung 6). Interdisziplinäre Seminare und die Möglichkeiten unter qualifizierter Anleitung studentische Arbeiten auszuführen runden das Lehrangebot ab.



Abbildung 6: Studierende machen im Rahmen eines Teamprojekts kleine Humanoide fit

7 Bilanz und Ausblick

Zweifelsohne hat sich das iRP in den letzten 26 Jahren zu einem der führenden Robotik-institute im deutschsprachigen Raum entwickelt. Dies wird belegt durch die kontinuierliche Präsenz der Forschungsergebnisse des iRP bei international führenden Konferenzen und in hochrangigen internationalen Fachzeitschriften. Viele Arbeiten des iRP wurden mit Preisen ausgezeichnet. Auch für die vom iRP durchgeführten Workshops und Konferenzen wurden uns stets hohe Anerkennungen zuteil. Befruchtet wurden die wissenschaftlichen Entwicklungen auch durch zahlreiche Gastwissenschaftler, gefördert durch die Humboldt-Stiftung, die Deutsche Forschungsgemeinschaft, den DAAD usw.

Der Autor dieses Beitrags nutzt die Gelegenheit, allen zum Erfolg des iRP Beitragenden seinen herzlichen Dank auszusprechen. In wenigen Jahren wird ein Wechsel der Institutsleitung mit Aufbruch zu neuen Ufern anstehen. Wie der bekannte britische Historiker Paul Kennedy in seinem bahnbrechenden Werk “Preparing for the twenty-first century“ vermerkte, ist und bleibt die Robotik in Anbetracht der demographischen Entwicklung eine der vier wichtigsten Zukunftsdisziplinen, um die auf die Gesellschaft zukommenden Probleme des 21. Jahrhunderts in den Griff zu bekommen.