

## **2.9. AG Eingebettete Systeme und Robotik (RESY)**

### **2.9.1. Personelle Zusammensetzung**

#### **Leiter**

Prof. Dr. Dominik Henrich

#### **Wissenschaftliche Mitarbeiter**

Dipl.-Inform. Jürgen Acker ab 1. Sept. 2001

Dipl.-Wi.-Ing. Dirk Ebert

Dipl.-Phys. Björn Kahl

Dipl.-Inform. Antoine Schlechter ab 1. Juni 2001

Dipl.-Inform. Thorsten W. Schmidt ab 1. Sept. 2001

Dipl.-Inform. Sergej Timm ab 15. Okt. 2001

#### **Gäste**

Prof. Shigang Yue (Alexander-von-Humboldt-Stiftung)

#### **Sekretariat**

Karin Scheffler

### **2.9.2. Kurzbeschreibung der Arbeitsgruppe**

Die Arbeitsgruppe Eingebettete Systeme und Robotik (RESY) befasst sich mit informationsverarbeitenden Systemen, deren wesentliche Eigenschaft ist, Teil eines umfassenderen Gesamtsystems zu sein. Es sind also die speziellen Anforderungen und Einflussfaktoren des Gesamtsystems an das eingebettete System zu berücksichtigen.

Dieses Teilgebiet der Informatik wird in der AG-RESY beispielhaft vor allem für Robotik-Anwendungen betrachtet. An einen Roboter als informationsverarbeitendes Teilsystem seiner Arbeitsumgebung werden Anforderungen ge-

stellt, wie zum Beispiel die Fähigkeit der Umwelterfassung, der Umweltbeeinflussung, der Echtzeitverarbeitung, der Fehlertoleranz, der Robustheit und/oder der Autonomie. In der AG-RESY werden für diese Systeme insbesondere Entwurf, Modellierung, Implementierung, Programmierung, Test, Wartung und Anwendung betrachtet.

Die Forschungsschwerpunkte der AG-RESY umfassen folgende Gebiete:

- Automatische Bewegungsplanung
- Kollisionserkennung und -vermeidung
- Robotersimulation und -programmierung,
- Handhabungsfähigkeiten für Roboter,
- Kraft- und Sicht-basierte Manipulation,
- Handhabung deformierbarer Objekte sowie
- Robotergestützte Chirurgie.

### **2.9.3. Forschungsvorhaben**

#### **Roboterbasierte Manipulation deformierbarer linearer Objekte (RODEO)**

In dem DFG-Projekt RODEO wird die Programmierung von Robotern zur Manipulation von deformierbaren linearen Werkstücken, wie z.B. Kabel, Schläuche, Leitungen, Seile, Schnüre, Stangen usw., untersucht. Problematisch sind hierbei die sich verändernde Werkstückform durch Schwer- bzw. Kontaktkräfte, die kaum beeinflussbare inhärente Nachgiebigkeit und die Toleranzen. Zur Lösung dieser Aufgabe werden zwei Ansätze verfolgt und kombiniert: Zum einen wird eine Programmiermethode basierend auf einer Bibliothek von sensorgestützten Grundoperationen entwickelt. Die Grundoperationen realisieren Übergänge in einem vollständigen Kontaktzustandsmodell und können daher für verschiedene Anwendungsdomänen wiederverwendet werden. Zum anderen wird diese Programmiermethode durch eine physikalische Modellierung des Werkstücks unterstützt. Dabei kann entweder aus der Greiferbewegung die Werkstückbewegung berechnet werden oder umgekehrt. (Videos unter <http://resy.informatik.uni-kl.de/projects/RODEO/>)

#### **Virtuelle Roboterprogrammierung (VIROP)**

In dem VIROP-Projekt wird die Programmierung von Industrieroboter in einer virtuellen Umwelt untersucht. Dazu wird die reale Roboterzelle (ohne Roboter)

in einem graphischen Simulationssystem modelliert. Der Benutzer kann über ein kraftrückkoppelndes 6-DOF-Eingabegerät die Werkstücke intuitiv und ohne Rücksicht auf die Eigenschaften des realen Roboters manipulieren. Das Simulationssystem zerlegt die Objektbewegungen in einzelne, sensorgestützt ausführbare Montagemakros und berechnet daraus ein roboterspezifisches reales Programm. Als Anwendungsbeispiel dient die Handhabung von deformierbaren, linearen Objekten wie von Kabeln oder Schläuchen, deren Handhabung mit klassischen, festprogrammierten Systemen wegen ihrer veränderlichen, nicht genau bekannten Form schwierig ist.

### **Vibrationsarme Roboterbewegungen für deformierbare Werkstücke**

In dem AvH-Projekt wird die möglichst schwingungsfreie Handhabung von deformierbaren linearen Werkstücken durch Industrieroboter betrachtet. Dazu werden unterschiedliche Korrekturbewegungen untersucht, die an eine beliebige Transferbewegung angehängt werden können. Um die Dynamik der deformierbaren linearen Objekte zu beschreiben, werden die Objekte durch finite Elemente dargestellt und daraus die dynamischen Differenzialgleichungen abgeleitet. Genetische Algorithmen finden dann die optimale Korrekturbewegung. Außerdem wird ein Ansatz mit kraft- und bildgebenden Sensoren zur Berechnung der Korrekturbewegung verfolgt. (Videos unter <http://resy.informatik.uni-kl.de/projects/VibrationReduction/>)

### **Sicherheitsstrategien für Mensch-Roboter-Kooperation (SIMERO)**

In dem Projekt SIMERO werden Strategien für die sichere Mensch-Roboter-Kooperation untersucht. Bislang ist es aus Sicherheitsgründen nicht möglich, dass ein herkömmlicher Industrieroboter und ein Mensch gleichzeitig im selben Arbeitsraum arbeiten. Der Grund dafür ist, dass der Roboter den Menschen nicht wahrnehmen und auf seine Anwesenheit reagieren kann. Allerdings ist eine strikte Abschottung des Roboters von der Umwelt bei vielen Aufgaben nicht wünschenswert, denn Industrieroboter und Menschen haben unterschiedliche Stärken. Industrieroboter sind schnell, stark und positionsgenau. Menschen dagegen sind unerreicht geschickt bei komplizierten Montagevorgängen. Um diese Stärken optimal zu kombinieren, ist eine enge Zusammenarbeit zweckmäßig. Dazu überwachen mehrere Videokameras den gemeinsamen Arbeitsraum aus unterschiedlichen Richtungen. Für jede Kamera wird aus dem Differenzbild zum Arbeitsraum ohne dynamische Objekte ein Hindernisbild berechnet. Durch Rückprojektion der verschiedenen 2D-Hindernisbilder in den 3D-

Arbeitsraum oder den 6D-Konfigurationsraum des Roboters können die dynamischen Hindernisse (inkl. Mensch) detektiert werden. Basierend auf dieser Hindernisdetektion wird eine Kollisionserkennung, eine Kollisionsvermeidung und eine kollisionsfreie Bahnplanung in Echtzeit entwickelt.

### **Sichtbasiertes Kupfer-Recycling (VISREC)**

Das Ziel des europäischen Verbundprojekts VISREC ist die Entwicklung eines automatischen und flexiblen Verfahrens zur Entfernung von kleinen Verunreinigungen aus einem Granulat von sehr ähnlichen Materialien, um so zu einer Materialmischung mit höherem Reinheitsgrad zu gelangen. Die Verunreinigungen können sowohl metallisch als auch nicht-metallisch sein und haben eine Größe von ca.  $0,5 \text{ mm}^2$ . Dazu werden die Verunreinigungen anhand ihrer unterschiedliche Farbe mit einem hochauflösenden und hochgetaktetem Bildverarbeitungssystem erkannt und mit einer pneumatischen Saugmechanik aus dem Granulat entfernt.

Ein weiterer Schwerpunkt bei diesem Projekt ist das Erstellen eines Kontrollsystems mit vorausschauender Wartung. Die Maschine beobachtet ihr eigenes Verhalten anhand von internen Sensoren und trifft daraus Entscheidungen über mögliches Fehlverhalten und Ausfälle. So wird dem Endbenutzer der Maschine die Möglichkeit zur Wartung gegeben, ohne dass dieser genaue Kenntnisse über das Zusammenspiel und die Funktionsweise der einzelnen Komponenten der Maschine hat. Die vorausschauende Wartung führt im Dauerbetrieb zu geringeren Standzeiten und einer höheren Effizienz der Maschine.

### **Robotergestützte Navigation zum Fräsen an der lateralen Schädelbasis (RONAF)**

Das Ziel des DFG-Projekts RONAF ist die Entwicklung und Untersuchung eines Systems zur Navigation an der lateralen Schädelbasis, welches einen Roboter bei operativen Eingriffen interaktiv überwachen kann. Dabei kommen lokale und globale Navigationsverfahren zum Einsatz. Zur globalen Navigation wird der Eingriff präoperativ anhand eines dreidimensionalen CT- und MRT-Datensatzes geplant und der Roboter inkl. Instrument relativ zu diesem Datensatz bewegt. Zur lokalen Navigation erfolgt eine intraoperative, online-Rückkopplung der Sensorik (Navigation, Kraft, Drehmoment, Temperatur, Ultraschall, Elektrophysiologie) an den Roboter. Durch die automatisierte Auswertung sämtlicher Sensordaten ist eine Detektion der zu schonenden Strukturen gewährleistet. Als Anwendungsbeispiele für den Einsatz des Systems im Bereich der lateralen

Schädelbasis werden das Fräsen eines Implantatlagere (z.B. für Cochlea-Implantate oder Hörgeräte) und das Ausfräsen des Warzenfortsatzes (Mastoi- dektomie) betrachtet. Diese Eingriffe erfordern von dem Operateur extreme Präzision (z.T. im Submillimeterbereich) bei gleichzeitiger Notwendigkeit mit Kraftaufwand entsprechend größere Knochenmengen manuell mit dem Fräser abzutragen. (Videos unter <http://resy.informatik.uni-kl.de/projects/RONAF/>)

## **2.9.4. Veröffentlichungen**

### **Zeitschriftenbeiträge**

Yue, Shigang; Henrich, Dominik; Xu, W. L.; Tso, S. K: "Trajectory Planning in joint space for flexible robots with kinematics redundancy". In ROBOTICA, 2001

Yue, Shigang; Henrich, Dominik: „Manipulating Deformable Linear Objects: At- tachable Adjustment-Motion for Vibration Reduction". In: Journal of Robotic Systems, vol 18, no 7, July 2001, pp 375-389.

Wurll, Christian; Henrich, Dominik: "Point-to-Point and Multi-Goal Path Planning for Industrial Robots". In: Special Issue on Motion Planning of the Journal of Robotic Systems, 2001, Wiley & Sons Inc.

### **Konferenzbeiträge**

Yue, Shigang; Henrich, Dominik; Xu, W. L.; Tso, S. K. "Trajectory Planning in joint space for flexible robots with kinematics redundancy". In: The IASTED In- ternational Conference: Modelling, Identification and control; February 19-22, 2001; Innsbruck, Austria

Schmidt, T., Henrich, D. "Manipulating deformable linear objects: robot motions in single and multiple contact points". In: 2001 Int. Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP'01); Fukuoka; Japan, May 2001.

Schlechter, A., Henrich, D.: "Manipulating deformable linear objects: Character- istics in force signals for detecting contact state transitions". In: 2001 IEEE Int.

Conf. On Advanced Robotics (ICAR'01), Budapest, Hungary,  
August 2001.

Yue, S., Henrich, D.: "Manipulating deformable linear objects: force/torque sensor-based adjustment-motions for vibration elimination". In: 2001 IEEE Int. Conf. On Advanced Robotics (ICAR'01), Budapest, Hungary, August 2001.

Yue, S., Henrich, D.: "Manipulating deformable linear objects: Model-Based Adjustment-Motion for Vibration Reduction". In: 2001 IEEE Int. Conf. On Advanced Robotics (ICAR'01), Budapest, Hungary, August 2001.

Ebert, D., Henrich, D.: "Safe Human-Robot-Cooperation: Problem Analysis, System Concept and Fast Sensor Fusion" In: IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI'01), Baden-Baden, Germany, August 2001

### **Diplomarbeiten**

Schmidt T.: "Manipulation deformierbarer linearer Objekte: Roboterbewegungen in Einzel- und Mehrpunktkontakten", Mai 2001

Torres Ivanov E.: "Manipulation deformierbarer linearer Objekte: Erkennung von Zustandsübergängen", Juni 2001

## **Projektarbeiten**

Waringo M.: Robotics in Otolaryngology Surgery (ROTOS): Planung von Fräsbahnen, Mai 2001

Stolka P.: Robotics in Otolaryngology Surgery (ROTOS): Voruntersuchungen zum Sensoreinsatz, Juni 2001

Gecks Th.: "SIMERO Software System Design", 2001.

Weis J. L.: "VIROP: Evaluation skill-basierter Roboterprogrammierung", 2001.

Diehl T: SIMERO: Verfahren zur Erzeugung stabiler Differenzbilder, Dezember 2001

## **2.9.5. Vorträge**

D. Henrich: "Activities of the Embedded Systems and Robotics Lab.", EURON-Sensors Workshop, Baden-Baden, 19. Aug. 2001

D. Henrich: "Robotergestütztes Fräsen an der lateralen Schädelbasis", Symposium Telemedizin und Robotik, HNO-Klinik, Homburg, 21.-22. Sept. 2001.

D. Henrich: "Roboterbasierte Manipulation deformierbarer linearer Objekte", Eingeladener Vortrag an dem Institut für Informatik der Universität Würzburg, 15. Nov. 2001.

## **2.9.6. Mitarbeit in Gremien**

D. Henrich:

- Mitglied der Gesellschaft für Informatik (GI)
- Mitglied im Fachausschuss 4.1 „Robotersysteme“ der GI
- Mitglied des Deutschen Hochschulverbandes
- Mitglied des European Robotics Research Network (EURON)

- Gründungsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboter-Assistierte Chirurgie e.V. (CURAC)
- Gutachter für das Europäischen Verbundprojekt "Telepresence simulation platform supporting civil works machines in remote dismantling, waste disposal and large scale demining operations" (TELEDIMOS)

## **2.9.7. Hardware-Ausstattung**

### **Rechenausstattung**

- Netzwerk aus NT-Workstations und -Server
- Flachbettscanner
- Farbtintenstrahldrucker
- SW-Laserdrucker

### **Robotikausstattung**

- Industrieroboter RX130 (6 Achsen, 135 cm Reichweite, 234 kg Eigengewicht, 12 kg Traglast, 278°/sec Geschwindigkeit, 0,3 mm Wiederholgenauigkeit)
- Tischroboter MoveMaster RM 501 (6 Achsen, 1,2 kg Traglast , 400 mm/sec Geschwindigkeit, 0,5 mm Wiederholgenauigkeit)
- Tischroboter MoveMaster (5 Achsen, 1,2 kg Traglast, 1000 mm/sec Geschwindigkeit, 0,3 mm Wiederholgenauigkeit)
- Fischertechnik-Bausatz „Computing: Industry Robots“
- Verschiedene Bildverarbeitungssysteme
- Kraft/Momenten-Sensorik (1,5 g Auflösung)
- Haptisches 6-DOF Eingabegerät „Phantom“ mit 3-DOF Kraftrückkopplung
- Robotersimulationssystem "RobCAD"

## **3.3. Praktika**

### **AG Eingebettete Systeme und Robotik (RESY)**

#### **Roboterpraktikum**

In dem Roboterpraktikum wird das Verständnis und die Programmierung von Robotern mit ihren Sensoren vertieft. Dazu werden derzeit folgende Versuche angeboten:

- Yo-Yo-spielender Roboter
- Auswerten von Kraftsensordaten
- Berechnung der schnellstmöglichen Bewegung
- Berechnung der kürzesten Bewegung
- Programmieren von Bewegungen im Hindernisparcours
- Modellierung der Robotergeometrie und Kinematik
- Planen von kollisionsfreien Bewegungen
- Sortieren von Klötzchen in Echtzeit