

**6. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
24.-25. März 2006 in Rostock-  
Warnemünde**



**„Möglichkeiten zur Integration von visueller Rückkopplung  
in robot-gestützter orthopädischer Chirurgie“**

Andrea Ranftl, Jos Vander Sloten, Herman Bruyninckx, Joris De Schutter  
Department of Mechanical Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgien  
E-Mail: [Andrea.Ranftl@mech.kuleuven.be](mailto:Andrea.Ranftl@mech.kuleuven.be)

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006  
Editors: T. Ellerbrock  
ISBN: 3-86009-296-0  
Pages: 32-33

## Möglichkeiten zur Integration von visueller Rückkopplung in robot-gestützter orthopädischer Chirurgie

Andrea Ranftl, Jos Vander Sloten, Herman Bruyninckx und Joris De Schutter  
Department of Mechanical Engineering, Katholieke Universiteit Leuven  
B-3001 Leuven, Belgium

Andrea.Ranftl@mech.kuleuven.be

### EINLEITUNG

Der Einsatz von Robotern in der orthopädischen Chirurgie dient vor allem dazu, die Knochenoberflächen für eine gute Befestigung von Prothesen vorzubereiten. Der Vorteil liegt in der größeren Genauigkeit in Bezug auf Lage und Beschaffenheit der gefrästen Oberfläche in Vergleich zu konventionellen Schneideverfahren, die u.a. mit oszillierenden Sägen durchgeführt werden. Die meisten entwickelten chirurgischen Roboter, die in der Orthopädie eingesetzt werden, sind aktive Systeme. Diese führen autonom die geplanten Bewegungen aus, ohne dass der Chirurg direkt Einfluss auf den Ablauf nehmen kann. Eine andere Klasse, die semi-aktiven Systeme werden mit Hilfe des Chirurgen gesteuert [Davies2000]. Er bewegt direkt die Fräse, die am Endeffektor des Roboterarms eingespannt ist und führt damit den Bearbeitungsvorgang mit einem hochentwickelten Werkzeug durch. Dieses leistet unter anderem Hilfestellung bei der exakten Positionierung und Wahl der Fräsparametern. Nachteil bei Eingriffen mit Robotern ist das invasive Einspannen, des anatomischen Objektes durch Knochenschrauben. Dies ist notwendig, um die Registrierung der Roboterposition in Bezug auf die geplante Bearbeitungsfläche beizubehalten. Nur so ist eine genaue Durchführung des operativen Eingriffes mit Hilfe eines Roboters gegeben. Ferner ist zu beachten,

dass komplexere Strukturen nicht auf einfache Weise starr fixiert werden können.

### METHODE

Mit *dynamischer Registrierung* werden die unerwarteten Bewegungen einer nicht invasiv fixierten Extremität kompensiert und damit die starre Befestigung mit Hilfe invasiver Schrauben umgangen. Ein visueller Sensor nimmt die Bewegungen auf, und setzt diese in Roboterbefehle um, sodass die Position automatisiert angepasst wird. Dieses entspricht der Anwendung einer visuellen Servoregelung [Hutchinson1996].

Als Grundlage dient ein semi-aktives Robotersystem, das eine hybride Kraft/Schnellheitsregelung aufweist [Denis2005]. Kräfte, die der Chirurg auf den Endeffektor ausübt, werden in Schnellheiten umgesetzt. Ein kommerzielles System stellt dabei der Acrobot Roboter dar, der im Imperial College von London entwickelt wurde [Jakopec2003]. Außerdem werden auf die Bewegungsrichtungen, mit denen die geplante Bearbeitungsfläche verlassen wird, starre Beschränkungen auferlegt. So wird die Sicherheit des Systems erhöht.

In Abb. 1 wird die, mit der visuellen Rückführung erweiterte kraft- und schnellheitskontrollierte Roboteransteuerung gezeigt. Der untere Regelkreis beinhaltet das Kontrollschema der klassischen Kraft- und Schnellheits-

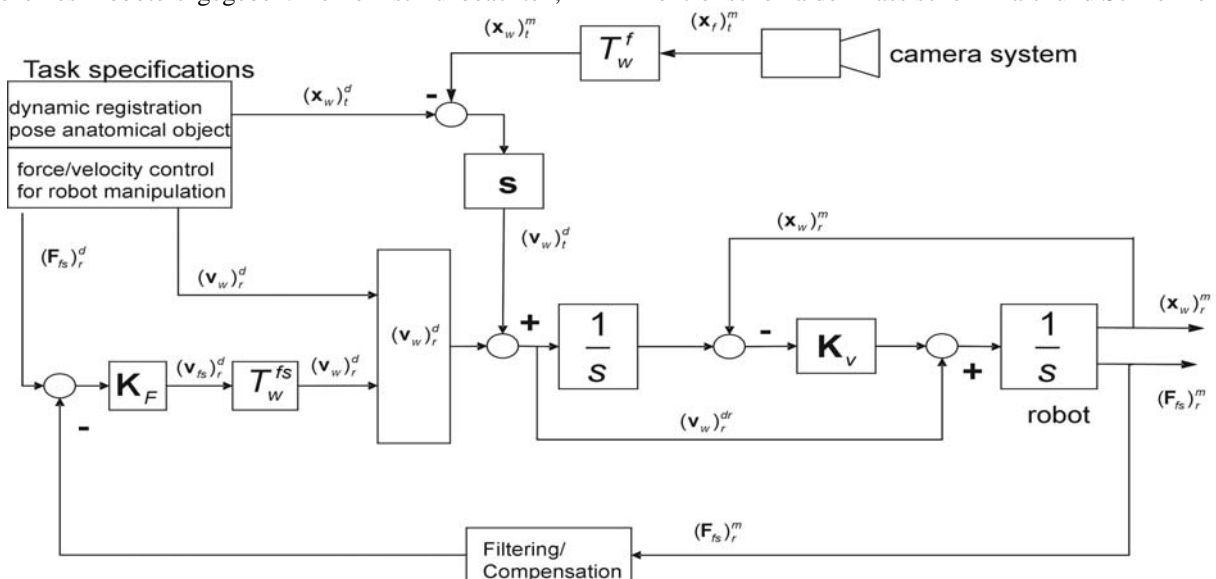


Abb. 1 Kontrol Schema der dynamische Registrierung

regelung. Die Positionsveränderungen des anatomischen Objektes werden in der oberen Regelschleife verarbeitet und als zusätzliche Größe eingefügt. Zu beachten ist, dass die „Task-Spezifizierung“ die jeweiligen Reverenzwerte (Kräfte, Schnellheiten und Positionen) und die Art der Regelungsstrategie für alle Richtungen festlegt.

## EXPERIMENTE UND ERGEBNISSE

Als Anwendungsbeispiel ist der Plateauschnitt der Tibia bei totaler Knieendoprothetik gewählt worden, da dieser ein Bearbeitungsvorgang einen zweidimensionalen Charakter hat.

Zwei vom Prinzip her unterschiedliche Systeme werden im Folgenden betrachtet. Das erste besteht aus einer industriellen Kamera von Philips, die mit Hilfe einer seriellen Schnittstelle in Kommunikation mit einem industriellen Stäubli Roboter steht. Die Kamera kann trotz Bildverarbeitungsprozessen eine notwendige Bandbreite von mindestens 10Hz erreichen, die für orthopädische Eingriffe ausreichend ist, da hier nur kleine niederfrequente Bewegungen vorliegen. Dagegen wird vom Roboter in das gesamte System eine große Totzeit eingeführt, die zur einer inakzeptablen Verzögerung von rund 180ms im Gesamtprozess leitet. Interne Kontrollprozesse, die unter anderem zur Trajektoriengenerierung und Sicherheitkontrollen notwendig sind, begründen diese unzureichende Dynamik. Der Roboter ist geeignet für einen orthopädischen Eingriff in Bezug auf die Genauigkeit eine bestimmte Position einzunehmen. Daher ist diese Art Robot als Grundlage für den CASPAR Roboter verwendet worden. Die einzige Möglichkeit, dieses System mit visueller Rückführung zu verwenden, wäre den Roboter „beizupassen“, also den industriellen Steuerungsschrank durch eine direkt Ansteuerung

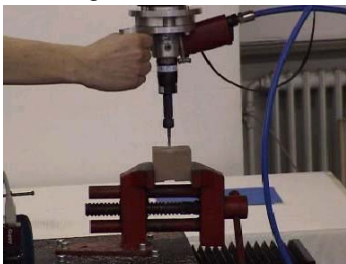


Abb. 2 Aktueller Versuchsaufbau mit KUKA Roboter

erung der Gelenke zu ersetzen. Damit würden ungewünschte Totzeiten eliminiert werden.

Das zweite System weist als visuellen Sensor ein 6D Messsystem auf. Dieses steht mit einer Echtzeit-Ethernetverbindung in Kommunikation mit einem KUKA-Roboter, der mit einem OpenSource Robotersoftware bedient wird und damit die industrielle Steuerung umgeht. Die Gelenkmotoren werden direkt angesteuert. Damit sind die Systemprozesse alle in Echtzeit und die Verzögerungen wie im rein industriellen System sind nicht gegeben. Auffällig ist, dass das visuelle System,

die Position von aktiven LEDs im dreidimensionalen Raum in Micrometer Bereich bestimmen kann.

In Abb. 2 wird der Versuchsaufbau für den KUKA Roboter gezeigt. Derzeitige Experimente verbinden eine FireWire Kamera mit dem mechanischen Echtzeitsystem. Sowohl die Ergebnisse in Hinblick auf die Dynamik als auch auf die Positonsgenauigkeit sind vielsprechend. So dass die Verbindung digitaler Kamera mit einem beigepassten Roboter die technischen Anforderungen an ein chirurgisches Robotersystem in der Orthopädie erfüllen würde.

## SCHLUSSFOLGERUNG

Mit Hilfe von dynamischer Registrierung sollen unerwartete Bewegungen während eines chirurgischen Eingriffes in der Chirurgie ausgeglichen werden. Für die vorgestellten Systeme gilt, dass der industrielle Roboter für eine Anwendung bei Echtzeitbedingungen nicht geeignet ist. Dagegen können sowohl die digitalen Kamerasysteme, das 6D Messsystem und das beigepasste Robotersystem zur Kompensierung der Bewegungen verwendet werden. Die Ergebnisse decken sich mit der Forderung im chirurgischen Bereich nur anwendungsspezifische Roboter zu verwenden und nicht allgemeine Systeme einzuführen.

Momentan sind Versuche unter Laborbedingungen im Gange, die das Fräsen von Oberflächen simulieren. Bereits erste qualitative Ergebnisse geben einen guten Eindruck, dass es für den Chirurgen nicht störend ist, wenn der Roboter bei Bewegungen aus Kompensationsgründen gegensteuert.

## DANKSAGUNG

Der Fond für wissenschaftliche Forschung Flandern (F.W.O.) wird für die finanzielle Unterstützung von diesem Projekt bedankt. Außerdem Dank an Ruben Smit für die Programmierung des Echtzeitsystems.

## LITERATURHINWEISE

[Davies2000]

B.L. Davies, *A review of robotics in surgery*. Proc. Inst. Mech. Eng[H], 214(1)129-40, 2000

[Denis2005]

K. Denis, *Robot-Assistance in Total Knee Arthroplasty: Procedure, Registration and Estimation of local Bone Density*. PhD Thesis, Leuven 2005

[Jakopec2003]

M. Jakopec, F. R. y Baena, S.J. Harris, P.Gomes, J. Cobb, B.L. Davies. *The hands-on orthopaedic robot: „Acrobot“: Early clinical trials of total knee replacement surgery*. IEEE Trans. Rob. and Aut. 19(5):902-911, oct. 2003

[Hutchinson1996]

S. Hutchinson, G. Hager, P.I. Corke. *A Tutorial on Visual Servo Control*. IEEE Trans. Rob.and Aut. 12(5):651-670, oct. 1996