

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



**„Instrumentenorientierte Systemarchitektur für
Chirurgierobotersysteme“**

Helge Peters, Heinz Wörn
Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Deutschland
E-Mail: peters@ipr.uni-karlsruhe.de

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006
Editors: T. Ellerbrock
ISBN: 3-86009-296-0
Pages: 30-31

Instrumentenorientierte Systemarchitektur für Chirurgierobotersysteme

Helge Peters, Heinz Wörn
Universität Karlsruhe (TH)
76128 Karlsruhe

peters@ipr.uni-karlsruhe.de

EINLEITUNG

Existierende Chirurgieroboter sind hochintegrative Systeme bei denen meist alle Komponenten durch einen zentralen Rechner gesteuert werden. Diese monolithische Systemarchitektur führt dazu, dass Komponenten aus einem System nicht in einem anderen System wiederverwendet werden können. So muss heute eine Klinik, will sie eine neue robotergestützte Operationsmethode einführen, ein komplett neues System einkaufen, statt beispielsweise einfach das Werkzeug an einem vorhandenen Roboter auszutauschen.

Einige Systeme verwenden verteilte Architekturansätze, bei denen Teilsysteme wie Lokalisierungssysteme, Visualisierungssysteme und ein Roboter jeweils Komponenten darstellen. In der entsprechenden Softwarearchitektur werden diese Subsysteme so weit abstrahiert, dass sie sich gegen gleichartige Systeme austauschen lassen. Dies ermöglicht die Entwicklung der einzelnen Subsysteme unabhängig voneinander, wobei allerdings austauschbare Subsysteme identische Funktionalität aufweisen müssen.

Der Roboter und das daran angebrachte chirurgische Instrument, das in diesem Zusammenhang als Endeffektor bezeichnet wird, bilden heute jedoch auch bei solchen Ansätzen ein monolithisches System. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass in einem solchen System lediglich der Endeffektor direkt mit einem bestimmten chirurgischen Eingriff verknüpft ist. Alle anderen Komponenten sind in der Regel nicht spezialisiert und könnten bei unterschiedlichen Operationsarten eingesetzt werden. Außerdem können bei existierenden verteilten Architekturansätzen Subsysteme nur durch solche ersetzt werden, die die identische Funktion erfüllen. Module mit zusätzlichen, eingeschränkten oder schlicht anderen Funktionen lassen sich nicht integrieren.

In dieser Arbeit wird untersucht, ob sich ein Robotersystem für die Chirurgie modular aufbauen lässt, so dass sich die für einen bestimmten Einsatz benötigten Subsysteme individuell zusammenschließen lassen. Insbesondere sollen hierbei der Endeffektor als eigentliches chirurgisches Instrument und der Roboter als separate Komponenten betrachtet werden (vgl. Abb.1).

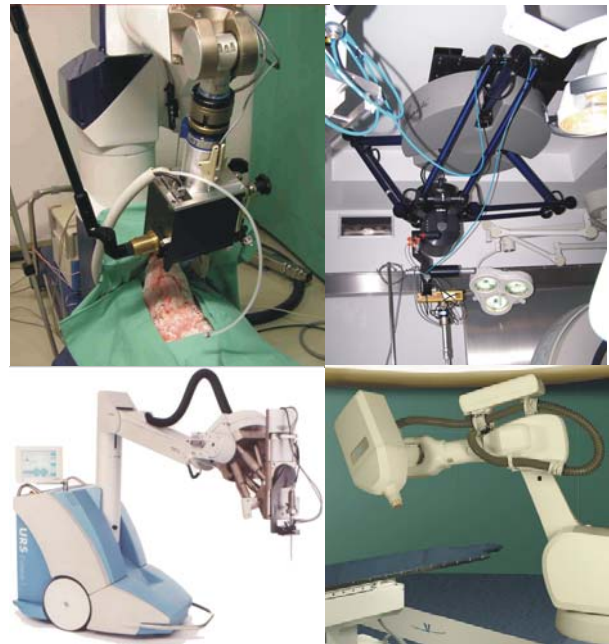


Abb. 1: Beispiele für Robotersysteme in der Medizin. Der Aufbau aus Roboter und Endeffektor ist deutlich erkennbar.

MATERIALIEN UND METHODEN

Die Komponenten eines chirurgischen Robotersystems sind häufig nicht netzwerkfähig und besitzen lediglich proprietäre Schnittstellen. Daher wird solchen Geräten ein Stellvertreterobjekt (Proxy) vorgeschaltet. Dieser Stellvertreter übernimmt die Kommunikation mit dem Netzwerk und abstrahiert die Geräteschnittstelle, so dass die spezifischen Eigenschaften einer Komponente für die anderen Komponenten transparent sind. Bei der hier verwendeten Systemarchitektur (s. Abb. 2) wird jede Systemkomponente durch einen Rechner repräsentiert. Diese bieten entsprechend ihrer Fähigkeiten und Funktionen den anderen Systemkomponenten über ein Netzwerk Dienste an. Da alle Rechner im Netz gleichberechtigt sind und ihre Betriebsmittel und die damit verbundenen Dienste anbieten und andererseits auch die Dienste von anderen Rechnern in Anspruch nehmen, spricht man von einem Peer-to-Peer Netzwerk. Im Unterschied zu allen bisher untersuchten

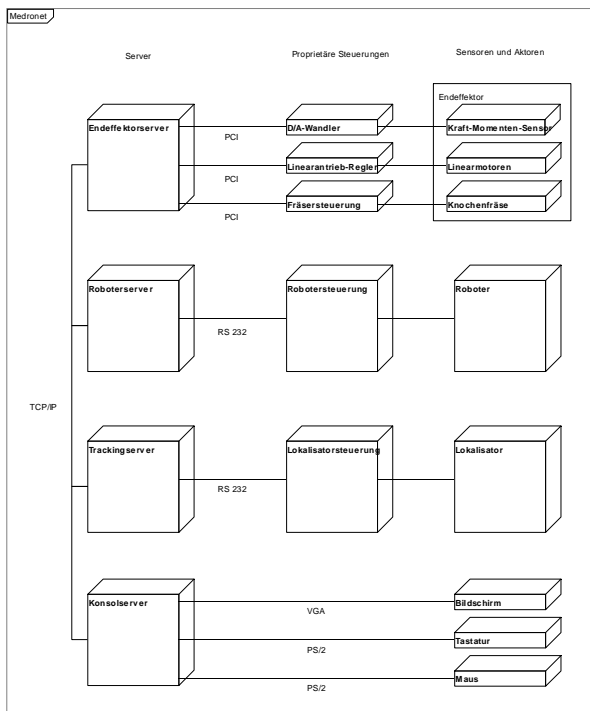


Abb. 2: In dem Peer-to-Peer Netzwerk ist jedem Gerät ein Stellvertreterobjekt vorgelagert, um proprietäre Eigenschaften zu verstecken und die Kommunikation über einheitliche Schnittstellen zu ermöglichen.

verteilten Systemarchitekturen für chirurgische Robotersysteme (vgl. [Bzostek00], [Pernozzoli02]) werden Roboter und Endeffektor hierbei als zwei separate Komponenten behandelt. Weitere Komponenten können beispielsweise Überwachungssysteme, Benutzerschnittstellen und Operationsplanungssysteme sein. Aber auch der Patient wird durch einen Rechner im Netzwerk repräsentiert. Dabei ist jede Komponente eigenverantwortlich für:

- die Sicherheit: Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten, bspw. von Kräften und Temperaturen
- die Konfiguration der Aktoren und Sensoren
- die Kalibration der Sensoren
- die Kommunikation mit den anderen Systemkomponenten und dem Benutzer

Je nach ihrer Rolle in einer konkreten Situation als Dienstanbieter oder Dienstbenutzer wird eine Komponente als Server oder als Client bezeichnet, obwohl er beide Rollen gleichzeitig einnehmen kann. Die Dienste werden mittels Remote Procedure Calls (RPC) aufgerufen. Alle Komponenten verwenden dabei die gleiche Schnittstelle. Sie beschreibt die Aufrufe jedes vorgesehenen Dienstes. Jede Komponente kann eine oder mehrere dieser Dienste implementieren.

Alle Geräte in einem chirurgischen Robotersystem müssen sich auf ein gemeinsames Koordinatensystem verständigen. Da es in einer OP nur einen Patienten gibt, dient er in diesem System als Referenz, um dieses globale Koordinatensystem zu definieren. Alle anderen Geräte müssen in diesem System registriert werden, d.h. die Transformation zwischen ihrem Systemeigenen Koordinatensystem und dem globalen

Koordinatensystem muss bestimmt werden. Werden zwischen den Komponenten Koordinaten oder Transformationen übertragen, so wird hierzu ein spezieller Datentyp verwendet, das neben der eigentlichen Transformation auch die Angabe über das Basiskoordinatensystem, auf das sich die Koordinaten beziehen, enthält. Dies kann das globale Koordinatensystem sein, das lokale oder komponenteneigene Koordinatensystem, eine reine Transformation oder keine Koordinatensystem.

ERGEBNISSE

Für diese Untersuchungen wurde ein Robotersystem zur Osteotomie am Schädel aufgebaut. Der medizinische Hintergrund ist, dass beispielsweise bei kleinen Kindern frühzeitige Verknöcherungen der Schädelnähte (Osteosynostosen) auftreten können, die das Schädelwachstum behindern, was wiederum zu einer Einschränkung des Gehirnwachstums bis hin zum Tod führen kann. Bei diesen Patienten werden sogenannte Umstellungsosteotomien durchgeführt, bei denen Schädelsegmente ausgefräst, und in großzügigerer Anordnung wieder eingesetzt werden.

Sowohl ein interaktiver, kraft geregelter Modus, in dem ein Regelkreis zwischen Endeffektor und Roboter über das Netzwerk hinweg gebildet wird als auch ein automatischer Modus zum Fräsen eines Schnittes zwischen zwei vorgegebenen Punkten entlang der Schädelkontur konnte realisiert werden.

DISKUSSION

Die vorgeschlagene Architektur ermöglicht es, verschiedene chirurgische Werkzeuge mit verschiedenen Robotern zu kombinieren. Hierzu ist eine gewisse Abstraktion der Komponenten notwendig, was Einschränkungen für die Optimierung des Zusammenspiels von Endeffektor und Roboter mit sich bringt. Da sich keine Komponente voll auf die Funktion der anderen verlassen kann und das Netzwerk grundsätzlich als unzuverlässig betrachtet werden muss, sind für jedes Subsystem jeweils eigene Sicherheitsmechanismen nötig, was insgesamt zu einer Erhöhung der Sicherheit des Gesamtsystems führt.

LITERATURHINWEISE

[Bzostek00]

Bzostek A. , Kumar R., Hata N. et al.: Distributed Modular Computer-Integrated Surgical Robotic Systems: Implementation using Modular Software and Networked Systems; *Proc. of Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions*, Pittsburgh, PA, USA, 2000

[Pernozzoli02]

Pernozzoli, Arno: Entwurf einer komponentenbasierten Softwarearchitektur für die computergest. kraniofaziale Chirurgie; Diss. Univ. Heidelberg, GCA-Verlag, Herdecke, 2002