

**2. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
25. bis 26. Feb. 1999 in
Darmstadt**



**„Einsatz von Robotern zur Erhöhung der Präzision
chirurgischer Eingriffe“**

Jürgen Wahrburg
Institut für Regelungs- und Steuerungstechnik und ZESS, Universität Siegen, Siegen,
Deutschland
E-Mail:wahrburg@zess.uni-siegen.de

ISBN: 318318317x
Pages: 58-59

Einsatz von Robotern zur Erhöhung der Präzision chirurgischer Eingriffe

Jürgen Wahrburg

Universität Siegen
 Institut für Regelungs- und Steuerungstechnik
 und ZESS (Zentrum für Sensorsysteme)
 Hölderlinstr. 3
 57068 Siegen
 wahrburg@zess.uni-siegen.de

Fridun Kerschbaumer

Orthopädische Universitätsklinik Frankfurt
 Abt. für Rheumaorthopädie
 Marienburgstr. 2
 60528 Frankfurt
 kerschbaumer@em.uni-frankfurt.de

Einleitung

Eine wesentliche Schwierigkeit für die ausführenden Chirurgen besteht bei vielen Eingriffen darin, sicherzustellen, dass die manuell geführten Instrumente mit der gewünschten Orientierung exakt zu den vorbestimmten Zielpunkten gebracht werden. Insbesondere bei neueren, minimal invasiven Operationstechniken liegen die Hauptursachen hierfür darin, daß keine ausreichende visuelle Information über das Operationsgebiet und die momentane Position der Instrumente gewonnen werden kann, sowie in der Problematik, ohne technische Hilfsmittel bei der Instrumentenführung die gewünschte Präzision und Reproduzierbarkeit zu erreichen. Als Beitrag zur Lösung dieser Problematik wird ein neues Konzept für ein Werkzeugsystem zur Unterstützung chirurgischer Eingriffe vorgestellt. Es beruht auf der Kombination von einem 3D-Digitalisiersystem auf mechanischer oder optischer Basis und einem Roboter.

Stand der Technik und Zielsetzung dieser Arbeit

Im Forschungsbereich sind bereits zahlreiche Publikationen erschienen, die sich mit dem Einsatz von Robotersystemen in verschiedenen chirurgischen Disziplinen beschäftigen (siehe z.B. [1]). Demgegenüber ist die Zahl der bislang im klinischen Bereich installierten Systeme noch relativ gering. Neben noch ungelösten Sicherheitsanforderungen ist dies auch darauf zurückzuführen, daß die robotergestützten Verfahren im Vergleich zu konventionellen chirurgischen Verfahren häufig eine aufwendige präoperative Planung erfordern sowie zu einer zeitaufwendigeren intraoperativen Prozedur führen. Die diesem Beitrag zugrunde liegenden Forschungsarbeiten versuchen daher, den Robotereinsatz ohne Nachteile im Vergleich zu konventioneller Operationstechnik zu konzipieren. Es werden folgende wesentliche Zielsetzungen verfolgt:

- Erzielung einer präziseren Chirurgie mit reproduzierbaren Ergebnissen,
- Anwendung weniger oder minimal invasiver Operationstechniken, wo dies möglich ist,
- einfache, für die Abläufe in einem Operationsaal geeignete Bedienung der Systeme.

Kombination von Roboter- und Digitalisierungssystem

Das Konzept des ausgewählten, in Fig. 1 illustrierten Lösungsansatzes beruht darauf, einen Chirurgieroboter in effizienter Weise mit einem 3D-Digitalisierungssystem zu kombinieren. Dabei werden die Vorteile eines passiven und eines aktiven Systems zusammengefaßt.

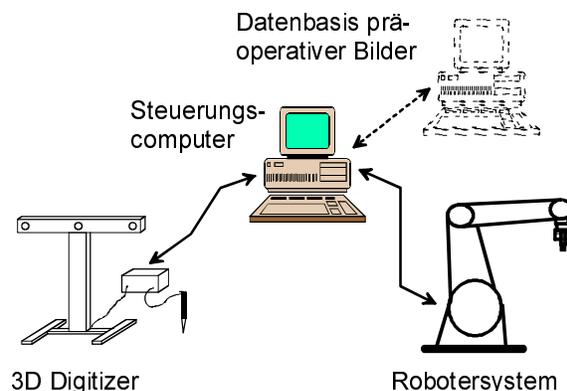


Fig. 1: Einsatz von Digitalisierungssystem und Roboter

Die manuelle Führung der Zeigerspitze eines 3D-Digitalisierungssystems (passive Komponente) ermöglicht dem Chirurgen eine schnelle, nicht sicherheitskritische Aufnahme von Referenzpunkten oder -flächen am Körper des Patienten. Aus diesen Daten werden – gegebenenfalls unter Berücksichtigung weiterer Daten aus präoperativen Aufnahmen – die gewünschten Positionen und Orientierungen der chirurgischen Werkzeuge berechnet. Im zweiten Schritt wird der Roboter dazu verwendet, die chirurgischen Werkzeuge mit entsprechend hoher Genauigkeit zum Zielgebiet zu bewegen.

Eine wichtige Voraussetzung zur Kombination von Roboter und Digitalisierungssystem liegt in der Ermittlung der Beziehung zwischen ihren Koordinatensystemen, die durch eine homogene Transformationsmatrix ${}^{rob}T_{dig}$ ausgedrückt wird. Diese Matrix beschreibt Lage und Orientierung des Koordinaten-

systems des Digitalisiersystems bezogen auf ein Koordinatensystem des Roboters. Sie kann durch Antasten bekannter Punkte im Roboterkoordinatensystem ermittelt werden und transformiert mit dem Digitalisiersystem aufgenommene Punkte ${}^{dig}P$ in das Robotersystem:

$${}^{rob}P = {}^{rob}T_{dig} {}^{dig}P$$

Aus den am Patienten aufgenommenen Punkten wird im Steuerungscomputer (siehe Fig. 1) die Trajektorie für die Roboterbewegung generiert. Dabei können zusätzlich Daten aus präoperativen Aufnahmen einbezogen werden, wenn dies zur genaueren Bestimmung der Zielpositionen des Roboters nötig ist. In diesem Fall muss durch geeignete Matching-Prozeduren zusätzlich eine Transformationsmatrix zwischen den Koordinatensystem der präoperativen Aufnahmen und dem Digitalisiersystem bestimmt werden.

Anwendungsbeispiel: Einsetzen der Pfanne bei Hüftendoprothesen

Das korrekte Einsetzen der künstlichen Hüftpfanne in der gewünschten optimalen Orientierung ist von wesentlicher Bedeutung für die Langzeitstabilität von Hüftendoprothesen. Um das Risiko von Revisionen aufgrund vorzeitiger Lockerungen zu minimieren, sollten die als Anteversion und Inklination bezeichneten Winkel der Pfannenebene zur frontalen und transversalen Ebene des Körpers möglichst den für eine optimale Kraftübertragung erforderlichen Werten entsprechen. Bei der heute üblichen manuellen Operationstechnik hängt das Ergebnis in hohem Maße vom dreidimensionalen Vorstellungsvermögen, dem Geschick und der Erfahrung des ausführenden Chirurgen ab.

Zur Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten einer neuen, robotergestützten Operationstechnik ist in unserem Labor ein aus einem Industrieroboter und einem optischen 3D-Digitalisiersystem bestehendes Versuchssystem aufgebaut worden. Dabei führt der Roboter ein Werkzeug, welches gleich oder ähnlich dem bei manueller Operationstechnik verwendeten System ist. Gemäß der Skizze in Fig. 2 wird es auf einem Linearschlitten befestigt, vom Roboter mit vorausberechneter Orientierung in die Zielposition gebracht und vom Chirurgen manuell durch Bewegung des Schlittens zum Operationsgebiet geführt. Die eingestellte optimale Orientierung des Werkzeuges ändert sich dabei nicht. Nach der Präparation des Acetabulums wird anstelle des Raspel- oder Fräswerkzeuges das Pfannenimplantat am Wellenende des Systems befestigt und in das Acetabulum eingebracht.

Als Alternative zu diesem Ansatz ist es auch möglich, den Roboter mit einem speziellen Werkzeug auszustatten und wesentliche Teile der Operation automatisch auszuführen. Dabei müssen jedoch wesentlich höhere Sicherheitsanforderungen erfüllt werden, es muß mittels geeigneter Planungssoftware eine Bewegungstrajektorie ermittelt werden, die die Werkzeugschulter exakt auf der berechneten Oberfläche führt, und die Reaktion auf mögliche Patientenbewegungen während der Operation gestaltet sich wesentlich schwieriger. Dieses Konzept wird von uns derzeit nicht weiter verfolgt.

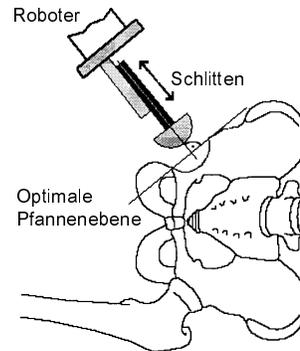


Fig. 2: Werkzeugpositionierung durch den Roboter

Die Berechnung der optimalen Pfannenebene erfolgt zunächst auf Basis intraoperativer Daten, die durch Abtasten von Punkten und Flächen am Acetabulum aufgenommen werden. Die darauf aufbauenden Berechnungen liefern eine Transformationsmatrix ${}^{dig}T_{hip}$, die Lage und Orientierung eines der optimalen Pfannenebene zugeordneten Koordinatensystems bezogen auf das Koordinatensystem des 3D-Digitalisiersystems angibt. Bei Multiplikation dieser Matrix mit der oben beschriebenen Matrix ${}^{rob}T_{dig}$ kann die Matrix ermittelt werden, die zur Berechnung der Roboterbewegung erforderlich ist:

$${}^{rob}T_{hip} = {}^{rob}T_{dig} {}^{dig}T_{hip}$$

Erste Ergebnisse der an Hüftpräparaten durchgeführten Versuche berechtigen zu der Annahme, daß sich die gestellten Zielsetzungen mit dem vorgeschlagenen Ansatz erfüllen lassen. Unsere weiteren Arbeiten werden sich mit der Einbeziehung präoperativer Aufnahmen in die Berechnung der optimalen Pfannenebene sowie der Entwicklung von Konzepten zur automatischen Anpassung an Patientenbewegungen beschäftigen.

Schrifttum

- [1] P. Dario, E. Guglielmelli, B. Allotta and M. Carrozza, "Robotics for medical applications," IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 3, no. 3, Sept. 1996, pp. 44-56