

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



**„Ein multifunktionales Assistenzsystem für die MKG-
Chirurgie“**

A. Hein, T. Luth, M. Stien, M. Demirtas
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Fachgebiet Navigation und Robotik, Campus
Virchow-Klinikum, Charité, Berlin, Deutschland
E-Mail:andreas.hein@charite.de

ISBN: 318318317x
Pages: 52-53

Ein multifunktionales Assistenzsystem für die MKG-Chirurgie

A. Hein, T. Lüth, M. Stien und M. Demirtas

Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
 Fachgebiet Navigation und Robotik
 Prof. Dr. Tim C. Lüth

Charité - Campus Virchow-Klinikum • Augustenburger Platz 1 • 13353 Berlin
 andreas.hein@charite.de

Einleitung

In dieser Arbeit wird das Konzept und die erste Realisierungsstufe eines Robotersystems vorgestellt, das sich besonders durch seine leichte und intuitive Bedienbarkeit und Konfigurierbarkeit auszeichnen soll. Es wurde daher besonderes Augenmerk auf die Entwicklung der Mensch-Maschine Schnittstelle gelegt. Dieser Aspekt von chirurgischen Robotersystemen ist von großer Wichtigkeit, da nur so die Hemmschwellen vor der Benutzung dieser Systeme abgebaut werden können.

Stand der Technik

In den letzten Jahren wurden chirurgische Robotersysteme zur Lösung von einzelnen, klar abgegrenzten Teilaufgaben entwickelt und eingesetzt. Der erste medizinische Einsatz eines Robotersystems erfolgte in der Neurochirurgie zur Platzierung von Biopsienadeln [1]. Während bei diesem Einsatz der Roboter nur als passive Führungshilfe für den Chirurgen diente, arbeiten die Systeme in [2] und [3] automatisch, d. h. ohne Interaktionsmöglichkeiten mit dem Chirurgen. Diese Systeme werden zum Fräsen von Hüftknochen und zum Ausschaben der Prostata eingesetzt.

Interaktive bedienbare Systeme unterscheiden sich von anderen Systemen durch die Möglichkeit einer Kooperation zwischen Chirurg und Roboter. Kommerziell erhältliche Roboter für nicht-invasive Anwendungen – das Positionieren von Mikroskopen – sind das SurgiScope von Elekta und das MKM von Zeiss. In [4] ist das einzige bekannte interaktiv bedienbare und invasive Robotersystem beschrieben. Dieses System wurde zum Fräsen des Kniegelenkes konzipiert. Bisher ist nur ein Testsystem mit 2 Freiheitsgraden vorgestellt worden.

Für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie befinden sich drei Systeme in Entwicklung [5][6][7]. Bis auf das System der Autoren ist keines der Systeme für eine Kooperation zwischen Chirurg und Roboter ausgelegt.

Planungskonzept

Die Planung einer Operation mit Hilfe des Robotersystems besteht aus einer Eingriffsplanung anhand

von medizinischen Bilddaten und einer Ablaufplanung. In der Eingriffsplanung wird – unabhängig davon, wer den Eingriff ausführt (Chirurg manuell, Chirurg unterstützt von Navigationssystem, Roboter) – von medizinischer Seite festgelegt, wie z.B. der Knochen eines Patienten verändert werden soll. Das Ergebnis dieser Planungsstufe dient zur Ableitung des Ablaufes der Operation. Da die meisten chirurgischen Robotersysteme nur für eine Anwendung konzipiert wurden, ist eine Veränderung des Ablaufes nur begrenzt möglich.

Für den interaktiven Einsatz eines Robotersystems für verschiedene Klassen von chirurgischen Anwendungen ist es notwendig, die präoperativ ausgeführte Planung während der Operation modifizieren zu können bzw. auf eine Vorplanung zu verzichten. Um dies auf der Robotersteuerung ausführen zu können, wurde die folgende Architektur entwickelt (Abb. 1).

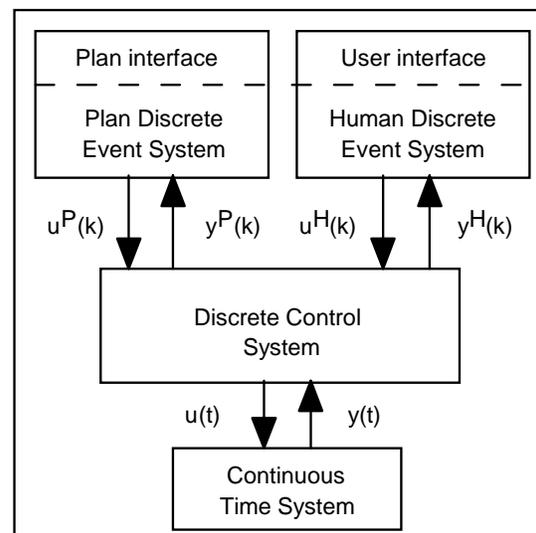


Abb. 1: Architektur einer interaktiven Robotersteuerung [8]

Das mechanische System (Manipulator) wird als Continuous Time System (CTS) angesehen, das durch ein Discrete Control System (DCS) gesteuert

wird. Der Zustand des DCS ist durch die Konfiguration der aktiven Elementaroperationen bestimmt. Diese Konfiguration wird durch das Plan Discrete Event System (PDES) kontrolliert. Der Ablauf der Operation wird entweder durch einen Plan, der über das Plan Interface eingelesen wird, oder durch direktes Auswählen der Elementaroperation durch den Chirurgen während der Operation festgelegt. Der Chirurg kann außerdem einzelne Parameter der Elementaroperationen (z.B. Geschwindigkeit oder Beschleunigung des Roboters) während der Operation durch das Human Discrete Event System (HDES) festlegen.

Abhängig vom aktuellen Prozeßzustand wird es nicht immer möglich sein, alle Elementaroperationen auszuführen. Es ist daher notwendig, zu jeder Elementaroperation Vorbedingungen zu definieren, die vor deren Start erfüllt sein müssen.

Realisierung

In einer ersten Realisierungsstufe wurden das Zusammenspiel von Elementaroperationen für einen speziellen Einsatz des Roboters – das Bohren von Löchern im Schädel zur Befestigung von Ohreprothesen – analysiert und die dazugehörigen Vorbedingungen wurden bestimmt. Es wurde ein Ablaufplan definiert, der zunächst als statisch während der Operation belassen wurde.

Aus der Analyse der Anforderungen für die Anwendung ergab sich eine Liste von Elementaroperationen:

- Initialisierung des Manipulators,
- Definition/Abfahren von Pfaden,
- Definition/Anfahren von Punkten,
- Registrierung,
- Bohren,
- Gewinde schneiden und
- Implantat eindrehen.

Die Vorbedingungen zu jeder der Elementaroperationen wurden in Sicherheitsstufen und spezifische Vorbedingungen unterteilt.

Als Sicherheitsstufen werden globale Zustände des Systems verstanden, die unterschiedliche Mengen von Sicherheits- und Überwachungstasks erfordern. So kann z.B. das Robotersystem nach dem Registrieren unterscheiden, ob es sich in der Nähe des Patienten befindet oder nicht. Eine entsprechende Task wird gestartet, die dies überwacht. Bei der Bewegung des Roboters in die Nähe des Patienten wird eine neue Sicherheitsstufe erreicht und die entsprechenden Tasks, z.B. Konsistenztests der beiden Positionsmesssysteme und Bestimmung der Knochendicke in Arbeitsrichtung, werden gestartet. Jede Elementaroperation überprüft während ihrer Ausführung, ob die zur Sicherheitsstufe gehörenden Tasks noch aktiv sind.

Spezifische Vorbedingungen sind z.B. das

Vorhandensein von Bilddaten und Markerpositionen für das Registrieren oder die erfolgte Definition von Punkten oder Pfaden bevor diese An- bzw. Abgefahren werden können.

Zusammenfassung

Das in dieser Arbeit vorgestellte Architektur- und Planungskonzept für den Einsatz eines interaktiven Robotersystems für verschiedene Anwendungen in der Chirurgie erlaubt es, ein vorhandenes System durch die Definition von neuen Elementaroperationen mit den dazugehörigen Sicherheitsstufen und Vorbedingungen leicht um neue Anwendungen zu erweitern, ohne die Sicherheit des existierenden Systems zu verändern. Zum anderen erlaubt das vorgestellte Konzept das schnelle und unkomplizierte Umschalten des Systems zwischen verschiedenen Anwendungen. So wird es möglich, das System für verschiedene Assistenzaufgaben (Bohren, Haken halten, Katheter führen) während einer Operation zu verwenden.

Referenzen

- [1] Kwok, Y. S., *et al.*: A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic surgery. Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 35, No. 2 (1988), pp. 153-161.
- [2] Taylor, R. H., *et al.*: An Image-Directed Robotic System for Precise Orthopaedic Surgery. IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.10, No.3 (1994), pp. 261-275.
- [3] Davies, B.L., *et al.*: A clinically applied robot for Prostatectomies. In Taylor, R. H., S. Lavallee, G. C. Burdea, R. Mösges (Ed.), Computer-Integrated Surgery, Technology and clinical Applications, MIT Press, 1996, pp. 593-601.
- [4] Ho, S. C., *et al.*: Force control for robotic surgery. ICAR IEEE Int'l. Conf. on Advanced Robotics, 1995, pp. 21-31.
- [5] Cutting, C., *et al.*: Applications of simulation, morphometrics and robotics in craniofacial surgery. In Taylor, R. H., S. Lavallee, G. C. Burdea, R. Mösges (Ed.), Computer-integrated surgery: technology and clinical applications, MIT Press, 1996, pp. 641-662.
- [6] Böhner, P., *et al.*: Operation planning in craniomaxillo-facial surgery. Medicine Meets Virtual Reality 4 (MMVR4'96), San Diego, California, 1996.
- [7] Lueth, T.C., *et al.*: A Surgical Robot System for Maxillofacial Surgery. IEEE Int. Conf. on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (IECON), Aachen, Germany, Aug. 31-Sep. 4, 1998, pp. 2470-2475.
- [8] Hein, A. and T.C. Lueth: Sensing and Control in Interactive Surgical Robot Systems. IFAC World Automation Congress, Beijing, China, 5-9 July, 1999, in print.