

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



**„Bedienerinterface für die Telemanipulation in der
minimalinvasiven Chirurgie“**

H. Breitwieser, A. Weber
Institut für Angewandte Informatik, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland
E-Mail:Breitwieser@iai.fzk.de

ISBN: 318318317x
Pages: 62-63

Bedienerinterface für die Telemanipulation in der minimal invasiven Chirurgie

H. Breitwieser, A. Weber

Institut für Angewandte Informatik
Forschungszentrum Karlsruhe
76021 Karlsruhe
email: Breitwieser@iai.fzk.de

1. Einleitung

Telemanipulator-technologie spielt in der minimal invasiven Chirurgie (MIC), z.B. in der Laparoskopie und neuerdings in der Herzchirurgie eine zunehmend beachtete Rolle [1,2,3]. Generelle Zielsetzungen dabei sind: Weitgehende Herstellung der Bewegungsmöglichkeiten wie für offene Chirurgie, Wiederherstellung der wichtigsten sensorischen Fähigkeiten, insbesondere Sehsinn, Tast- und Kraftgefühl. Daneben sollen weitere durch die konventionelle MIC bedingte Nachteile für Chirurg und Assistenzpersonal beseitigt werden. Dazu gehört insbesondere das Bedienerinterface und eine ergonomische Arbeitshaltung. Darüber hinaus sind selbstverständlich generelle Randbedingungen, nicht zuletzt die der Wirtschaftlichkeit zu bedenken.

2. Systemkonzept

Unser grundlegender Ansatz dazu ist eine System- und insbesondere Steuerungssystemarchitektur, die es gestattet, Bedienerinterface mit Bedieneinheiten und Arbeitseinheiten modular zu entwerfen und untereinander austauschbar zu gestalten. Grundlage dazu ist die MONSUN-Steuerungsarchitektur [4]. Auch wenn die Artemis-Anlage ursprünglich als geschlossenes System erschien, so können doch graphische Monitoring Einheit (realisiert mit KISMET [5]), graphische Bedienoberfläche und Kameraführungssystem und nicht zuletzt die Bedienarme [3] beliebig getauscht werden.



Fig. 1: Artemis-Anlage

Neben dem Sichtsystem wichtigster Teil für den Chirurgen sind die Bedien- oder Steuerarme, die ja sein Interface für Bewegungsvorgabe und Kraftvermittlung darstellen. Das Universalmastersteuerungsprinzip geht davon aus, die Bewegungen des Bedienerhandgriffs (also der Bedienerhand) in einem standardisierten kartesischen Koordinatensystem zu beschreiben, und sinngemäß auf einen bestimmten Punkt der Arbeitseinheit, z.B. Spitze oder Mitte einer Faßzange zu übertragen. Für diese Vorwärtsrichtung im Steuerungsfluß ist u.a. eine arbeitseinheitenspezifische kinematische Rückwärts-transformation erforderlich.

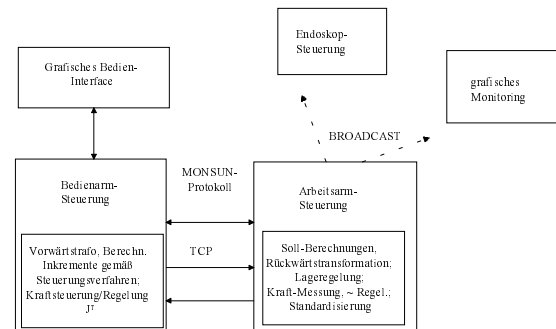


Fig. 2: Artemis/MONSUN-Architektur

Ähnlich ist für den Rückwärtszweig eine bedienarmspezifische Berechnung der transponierten Jacobi-Matrix J^T notwendig. Die chirurgischen Grundtechniken wie Gewebe betasten, Gewebe fassen, stumpf oder scharf trennen, können derzeit nicht mit einem einzigen Instrument durchgeführt werden. Allein was an Beweglichkeit gewünscht ist, macht die Verwendung verschiedener Instrumente erforderlich, ganz zu schweigen von Krafterückkopplung. Bei letzterem liegen die Probleme eindeutig auf Seiten der Sensorik: Robustheit, Miniaturisierung und Sterilisierbarkeit bereiten Probleme. So sind z.B. starre Taststäbe [6] durchaus realisierbar, Krafterückkopplung bei Nadelhaltern mit 6 DOF dagegen kaum. Steuerungstechnisch ergeben sich somit nach Werkzeug- bzw. Instrumentenwechsel verschiedene Arbeitseinheiten mit u.a. unterschiedlichen Arbeitsräumen. Daher bietet sich der Einsatz eines universellen Rückwärts-trafos wie ihn OSCAR [7] darstellt an.

3. OSCAR

OSCAR behandelt die Rückwärtstransformation als konfigurierbares Optimierungsproblem (nämlich Gelenkwinkeländerungen einstellen ($d\mathbf{q}$), um eine bestimmte kartesische Positionsänderung ($d\mathbf{x}$) einzunehmen) unter Beachtung von Randbedingungen, wie Gelenkwinkel, Maximalgeschwindigkeiten, maximale Beschleunigungen und zulässige Positionsabweichungen.

$$\min_{(d\mathbf{q}, d\mathbf{x})} Q = \sum_{i=1}^6 p_i \cdot (dx_{i,\text{target}} - dx_i)^2$$

$$\text{mit } [\underline{J}, \underline{J}_r] \cdot [d\mathbf{q}, d\mathbf{x}]^T = \underline{0} \text{ und} \\ [d\mathbf{q}_{\min}, d\mathbf{x} - \underline{\Delta}]^T \leq [d\mathbf{q}, d\mathbf{x}]^T \leq [d\mathbf{q}_{\max}, d\mathbf{x} + \underline{\Delta}]^T$$

\underline{J} : Jacobi-Matrix
 \underline{J}_r : Einheitsmatrix
 p_i : Gewichtungsfaktoren.

Durch einfache Umparametrierung kann OSCAR auf Instrumentenwechsel reagieren. Nebenbei kann das bei kartesischem Steuern häufig auftretende Problem Durchfahren von Handachsensingularitäten gelöst werden, wenn z.B. geringfügige Abweichungen bei Orientierungs- und Positionsvorgabe toleriert werden. Aus Sicht des Bedieners wichtig ist auch die Vermittlung von Informationen die OSCAR liefert, daß sich die Arbeitseinheit an der Grenze ihres Bewegungsbereichs oder ihres Beschleunigungsvermögens befindet. Beides kann der Bediener intuitiv über kraftvermittelnde Bedienarme spüren.

4. Erfahrungen

Für gute Arbeitsergebnisse sind zunächst beste Sichtverhältnisse einschließlich tiefeninformation erforderlich. Dies wird durch 3D-Endoskopsysteme möglich. Für diese sind allerdings optimierte Führungssysteme unter Einbeziehung automatischen Effektortrackings wegen eingeschränkter Tiefenschärfe/Konvergenzbereich wünschenswert. Als Steuermodus für komplizierte Bewegungsabläufe wie sie z.B. beim Nähen notwendig sind, steht Positionssteuerverfahren für ein intuitiv zu bedienendes Bedienerinterface außer Frage. Dies setzt allerdings voraus, daß die Arbeitseinheit hinsichtlich ihrer Zeitkonstanten entsprechend ausgelegt ist. Danach ergibt sich durch Steuerung in Bildschirmkoordinaten eine wesentliche Verbesserung der Hand-Auge-Koordination gegenüber konventioneller MIC. Dies erfordert auch Skalierungsmöglichkeiten zumindest für die Positionierungsvorgaben sowie Indexing für ergonomische Hand-Armstellungen des Bedieners, wobei für das Orientierungsindexing nur ein kleiner Bereich in Frage kommt. Daher sind Hilfsmittel wie z.B. automatisches Einhalten einer ähnlichen Orientierung wünschenswert. Dies ist z.B. mit einem ange-

triebenen Bedienarm mit Antrieben auch für die Handachsen möglich. Insbesondere bei Indexing und/oder kartesischer Steuerung ist eine intuitive Vermittlung des Bewegungsbereichsendes als auch eine prompt Rückführung des Bedienarms in die zulässige Region sehr hilfreich, was sich am besten wieder mit einem angetriebenen Bedienarm, möglichst für 6 DOF, realisieren läßt. Für echte Kraftreflexion oder gar tastsinnvermittlung (wie das mit raststäben erfaßt werden kann) sind kleinere Bedieneinheiten [8] mit minimalen Zeit konstanten besser geeignet als konventionelle Steuerarme. Allerdings ergeben sich für solche Bedienarme wieder Nachteile, was die Gestaltungsmöglichkeiten für Handachsen und Handgriff anbelangt. Die für die Stimulation des tastsinns erforderlichen Steuerungszyklusraten bis 1 kHz lassen sich heute auch über die bei MONSUN genutzten Kommunikationstransportdienste mit LAN's erzielen.

Es bleibt festzuhalten, daß eine intuitive Bedienbarkeit eines medizinischen telemanipulatorsystems keineswegs allein eine Sache des Bedienerinterface ist, sondern indirekt wesentlich von den Fähigkeiten der Arbeitseinheit geprägt wird. Z.B. wirken sich allein schon langsame Effektorschließzeiten als sehr störend aus. Unter Einbeziehung von OSCAR sowie einem breitgefächerten Angebot von Steuerungsverfahren und Skalierungsmöglichkeiten ergeben sich jedoch reichhaltige Anpassungsmöglichkeiten für die Bedienarme eines Bedienerinterface.

Wenn heute noch kein optimales Bedienerinterface im Sinne des Wunschzettels des Chirurgen angeboten werden kann, so gestattet das skizzierte Systemkonzept jedoch die Auswahl und Anpassung mit dem jeweils bestmöglichen bzw. wirtschaftlichsten Bedienerinterface, ohne das gesamte System von Grund auf neu gestalten zu müssen.

Literatur

- [1] www.intusurg.com
- [2] www.computermotion.com
- [3] Voges, U. et al.: "Evaluation of ARTEMIS, the Advanced Robotics and Telem manipulator System for Minimally Invasive Surgery", in: IARP 2nd Workshop on Medical Robotics. Heidelberg, Forschungszentrum Karlsruhe, 1997
- [4] Breitwieser, H., and Weber, W., "MONSUN A Distributed Manipulator Control System Utilizing Network Technology", In: Kopacek, P. (Ed.) Human-Oriented Design of Advanced Robotics Systems, Pergamon, Oxford 1996, pp. 159-167
- [5] KISMET-homepage: <http://iregt1.iai.fzk.de/>
- [6] Fischer, H.: Sensor-Aktorsysteme für den Einsatz in der laparoskopischen Chirurgie. Wissenschaftl. Berichte FZKA 5898, Forschungszentrum Karlsruhe
- [7] A. Weber, J. Benner and H. Haffner, "OSCAR - Optimization Strategy for Control of Redundant Articulated Robots", RI/SME Fifth World Conference on Robotics Research, Cambridge, Mass., USA, Sept.27-29,1994
- [8] www.sensable.com