

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



**„Ein experimentelles Robotersystem für die
craniomaxillofaciale Chirurgie“**

J. Raczkowsky, C. Burghart, H. Grabowski, J. Münchberg, H. Wörn
Institut für Prozessrechen-technik, Automation und Robotik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe,
Deutschland
E-Mail:rkowsky@ira.uka.de

S. Hassfeld
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universität Heidelberg, Heidelberg,
Deutschland

ISBN: 318318317x
Pages: 54-55

Ein experimentelles Robotersystem für die craniomaxillofaciale Chirurgie

J. Raczkowsky, C. Burghart, H. Grabowski, J. Münchenberg, H. Wörn, S. Hassfeld*

Institut für Prozessrechenstechnik, Automation und Robotik (IPR)
Universität Karlsruhe
Postfach 6980
76128 Karlsruhe
email: rkowsky@ira.uka.de

*Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (MKG), Universität Heidelberg

Einleitung

Ein Robotersystem für die craniomaxillofaciale Chirurgie stellt im Gegensatz zu bisher im orthopädischen und neurochirurgischen Bereich eingesetzten Robotern höhere Anforderungen an die Konzeption des Systems. Die zu bearbeitenden Knochenstrukturen sind komplexer und es befinden sich ungleich mehr vitale Strukturen, wie Nerven, Blutgefäße etc. im Situsbereich.

Zentrale Voraussetzung für einen erfolgreichen Eingriff mit einem Robotersystem ist ein angepasstes Patientenmodell, das alle relevanten Informationen enthält. Die Basis bilden die Daten aus bildgebenden Verfahren; aus ihnen lassen sich die individuellen geometrischen und topologischen Merkmale des Patienten bestimmen. Das Patientenmodell enthält verschiedene Submodelle [1], beispielsweise Oberflächenmodelle für die Visualisierung und Planung von Schnitten oder Volumenmodelle für die Kollisionsvermeidung gefährdeter Strukturen.

Die Planung des Eingriffs mit einem Rechnersystem als interaktives Vorgehen ermöglicht dem Chirurgen, einen optimalen Operationsverlauf festzulegen, dessen Verifikation von einer Simulation der Operation unterstützt wird. Für den Roboter generiert ein solches Operationsplanungssystem attributierte Schnitttrajektorien sowie weitere Ablaufunterstützung [2].

Das chirurgische Robotersystem des IPR wird als kooperativer Assistent vom Chirurgen eingesetzt. Zum einen leitet der Chirurg das Werkzeug an der Roboterspitze zum Situs und kann auch dort den knochenbearbeitenden Vorgang selbst führen, zum anderen kann der Roboter vom Chirurgen prä/intraoperativ definierte Handhabungsvorgänge autonom ausführen.

Patientenmodell

Da der Situs jedes Patienten individuelle Unterschiede aufweist, die häufig durch pathologische Veränderungen (bis in Extrema) verstärkt werden, ist eine umfangreiche Datenakquisition notwendig. Insbesondere rekonstruierte 3D-Modelle aus Tomographie-daten bilden die primäre Datenquelle. Am

IPR wurde hierfür ein 3D-Volumenformat entwickelt: das tomocube-Format. Es eignet sich aber nur bedingt für Anwendungen in der Chirurgie.

Die wesentlichen Submodelle für die Anwendung eines Roboters in der Chirurgie sind dreidimensionale Oberflächenmodelle, da die Schnitte auf den Knochenoberflächen festgelegt werden. Mit einer variablen, oberflächenstrukturabhängigen Approximation kann eine wesentliche Datenreduzierung erreicht werden. Mit Hilfe einer Delauney-Triangulation wird ein Tetraedernetz erzeugt [3], daß mit Dreiecken die Knochenoberfläche des Situs hinreichend beschreibt. Die initialen Tomographie-daten kommen aus einer oder mehreren, auch unterschiedlichen, Modalitäten. Zur Fusion der Daten wurde ein rigides Matchingverfahren [4] entwickelt, daß durch ein darauf aufbauendes elastisches Verfahren [5] in der nächsten Zukunft ergänzt werden soll.

Gefährdete Bereiche müssen in einer dreidimensionalen Volumenbeschreibung vorliegen, denn nur so können sie nach Definition einer Schnitttrajektorie auf Kollision getestet werden.

Des Weiteren ist es für die Optimierung der Rechenzeiten günstig, die geometrischen Daten von Patienten für quantitative Berechnungen in relative Formate umzuwandeln. Hierfür werden aus den geometrischen Modellen Distanzkarten erstellt, die eine besonders schnelle Abstandsberechnung ermöglichen.

Die verschiedenen Formate bilden zusammen das Patientenmodell, dessen Umfang von der Applikation abhängt.

Operationsplanung

Komplexe Operationen, die nicht akut ausgeführt werden müssen, können präoperativ geplant und optimiert werden. Dies bedeutet einerseits die Festlegung des besten Operationsablaufes und andererseits die Überwachung der Einhaltung der Vorgaben. Für die Beschreibung der Operationspläne werden Ablaufgraphen eingesetzt. Sie lassen sich sowohl in der Grobplanung des Gesamtablaufes als

auch in der Feinplanung einzelner Arbeitsschritte mit Alternativen einsetzen.

Da die komplette Neuplanung einer Operation sehr aufwendig ist, soll soweit als möglich für die Planung eines Eingriffes eine für den Operationstyp relevante Operationsvorlage benutzt werden. Im Idealfall muß sie nur noch in Teilschritten, etwa dem individuell angepaßten Verlauf von Schnitttrajektorien modifiziert werden. Es lassen sich aber auch Teilschritte bzw. ganze bereits vorgeplante Arbeitspakete hinzufügen bzw. löschen.

Der auf Konsistenz geprüfte Ablaufgraph mit seinen Untergraphen, Alternativen und Parametern wird in einer Datenbank abgespeichert und steht somit für die intraoperative Phase zur Verfügung.

Das chirurgische Robotersystem

Das experimentelle chirurgische Robotersystem am IPR besteht aus verschiedenen Komponenten:

- Roboter Unimation RX90 mit Steuerrechner
- Endeffektor, bestehend aus Knochensäge/-fräse, Kraftmeßdose, Rigid body und Überlastschutz
- Infrarotnavigationssystem
- Koordinationsrechner für die Sensordaten
- Planungs- und Simulationsrechner

Am Kopf des Patienten selbst werden als Teil des Infrarotnavigationssystems Leuchtdioden angebracht. Sie sitzen auf Titanschrauben, die vor der Vermessung des Situs mit einem CT in den Schädel implantiert werden und als künstliche Landmarken dienen. Vorteilhaft ist, daß die Lage des Schädels online registriert werden kann, d.h. er kann während der Operation verlagert werden und muß nicht in einem stereotaktischen Rahmen fixiert bleiben.

In einer umfangreichen Genauigkeitsanalyse wurde die Vermessung der Position des Roboters mit dem Infrarotnavigationssystem untersucht [6]. Das wesentliche Ergebnis war, daß sich eine solche Konfiguration sehr gut dazu eignet, als redundantes externes Sensorsystem die Trajektorie des Roboters zu überwachen.

Für die Planung einer Robotertrajektorie reicht das Patientenmodell nicht aus. Auch die weitere Umwelt muß modelliert werden. Um die Echtzeitrandbedingungen einzuhalten, muß das Umweltmodell des Roboters stark vereinfacht sein. Der Zugang zur Wunde des Patienten wird über die Wundhaken beschrieben. Ihre Position wird momentan über die Registrierung mit einem manuellen Infrarot-Pointer festgestellt; später sollen sie mit Infrarotdioden bestückt eine automatische Registrierung erlauben.

Da der Chirurg direkt im Arbeitsraum des Roboters arbeitet und mit ihm kooperieren soll, sind die Kollisionsvermeidungsalgorithmen auf dynamische Hindernisse auszulegen. An der Konzeption einer solchen Kooperationschnittstelle mit umfangreicher Sensorik und sehr schnellen Algorithmen wird gearbeitet.

Versuche

Zur Verifikation der entwickelten Systemmodule unter Praxisbedingungen wurde eine Versuchsreihe mit Experimentalschweinen im Großtierlabor der Herzchirurgie an der Universität Heidelberg durchgeführt. Die Versuchszeit betrug jeweils einen Tag. Vom Kopf eines Versuchsschweins wurde, nach der Implantation von Markerschrauben, ein CT mit geringen Schichtabständen angefertigt. Nach einer Formatierung der Daten im Rechnerlabor der MKG-Chirurgie und Versenden der Daten an das IPR erfolgte dort die Rekonstruktion und Segmentierung der Daten sowie die Erstellung eines geeigneten Oberflächenmodells des Schweineschädels. Auf diesem erfolgte die dreidimensionale Schnittplanung unter Zuhilfenahme eines 6-dimensionalen haptischen Eingabegerätes. Die Daten des Oberflächenmodells sowie die Planungsdaten wurden an das Großtierlabor gesendet und in die Robotersteuerung geladen, um die Sägeschnitte auszuführen.

Danksagung

Die geschilderten Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 414 gefördert.

Literatur

- [1] J. Raczowsky, H. Grabowski, J. Münchenberg, C. Burghart, U. Rembold, H. Wörn: Integriertes Patientenmodell für chirurgische Eingriffe, 28. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, S.77-86, September, 1998, Magdeburg, Germany
- [2] J. Münchenberg, J. Brief, S. Hassfeld, J. Raczowsky, U. Rembold, H. Wörn: Expert Supported Operation Planning in the Maxillofacial Surgery (1998), Proceedings of Computer Assisted Radiology and Surgery (CAR'98), June, 1998, Tokyo, Japan
- [3] H. Grabowski, J. Raczowsky, S. Hassfeld, J. Brief, R. Krempien, H. Wörn, U. Rembold: Elastic registration of medical images using deformable models. Computer-Aided Surgery, Medical Robotics, and Medical Imaging. Memorial Symposium Series ISRACAS'98, Technion City, Haifa, Israel, May, 1998
- [4] Pokrandt, P.: Automatische Überlagerung medizinischer Bilddatensätze, VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 10, Nr. 464, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
- [5] H. Grabowski, C. Burghart: Generating finite element meshes from volumetric medical images. IARP, 2nd Workshop on medical Robotics, Heidelberg, November, 1997, pp. 203-212
- [6] C. Burghart, D. Frey, J. Raczowsky, U. Rembold, H. Wörn: Accuracy Tests and Sensor Fusion Using a Surgical Robot and an Optical Tracking System, IAS-5, Japan, June 1998.