LOCALITE Brain Navigator

Ein bildgestütztes Neuronavigationssystem für die interventionelle Kernspintomographie

Martin Bublat, Ralf Ratering, Harald Busse, Klaus Kansy, Arno Schmitgen

GMD Forschungszentrum Informationstechnik GmbH
FIT - Institut für Angewandte Informationstechnik
Schloß Birlinghoven, D-53754 Sankt Augustin
Email: bublat@gmd.de

Zusammenfassung. Der LOCALITE Brain Navigator ist ein bildgestütztes Navigationssystem, das minimalinvasive neurochirurgische Eingriffe an interventionellen Kernspintomographen unterstützt, indem es Nachteile bestehender Systeme – die fehlende Integration einer Operationsplanung sowie die langsame Bildwiederholungsrate von ca. 0,3 Hz, und schlechte Bildqualität der MR-Realzeitbilder – kompensiert. Basis für diese Verbesserungen sind intraoperativ gewonnene MR-Volumendatensätze mit deren Hilfe zunächst eine Operationsplanung durchgeführt wird. Während des Eingriffs werden mit ca. 5 – 10 Hz dem Realzeitbild entsprechende Schnittbilder mit deutlich gesteigerter Qualität aus diesen Volumendatensätzen berechnet. Das Auffinden des Operationskanals wird durch eine speziell entwickelte Navigationsszene deutlich beschleunigt.

Schlüsselwörter:, Neurochirurgie, Navigationssystem, intraoperative Bildgebung, interventionelle Kernspintomographie, minimalinvasive Chirurgie

1 Einleitung

Minimalinvasive Eingriffe gewinnen in allen Bereichen der Medizin immer mehr an Bedeutung. In der Neurochirurgie werden sie zunehmend für verschiedene Lasertherapien, Teilresektionen oder einfache Biopsien eingesetzt [1,2]. Der direkte Blick auf den Operationsbereich ist bei minimalinvasiven Eingriffen häufig nicht möglich, so daß spezielle Bildgebungstechniken erforderlich sind, um Informationen über die interessanten Regionen zu erhalten. In Navigationssystemen werden für die Planung präoperativ erhobene Datensätze benutzt. Um diese Daten auf die Patientenposition im Operationssaal abzubilden, ist eine Registrierung notwendig. Klassisch ist hier der Einsatz von Stereotaxierahmen, die seit einiger Zeit zunehmend durch Navigationssysteme mit optischen Trackingsystemen ergänzt werden [3,4]. Nachteil aller Navigationssysteme, die mit präoperativen Bilddaten arbeiten, ist, daß die gesamte Planung zunichte gemacht wird, sobald es während des Eingriffs zu einer signifikanten Verlagerung der betreffenden Geweberegionen kommt. Besonders in der Neurochirurgie sind derartige Gewebeverschiebungen (*brain shift)* aber die Regel [2]. Hier kann intraoperative Bildgebung eingesetzt werden, um derartige Gewebe-

Abb. 1: Interventioneller Kernspintomograph Signa SP von General Electric

verschiebungen wahrzunehmen und Informationen über die neue Situation zu gewinnen.

2 Das bestehende System

In der Neuroradiologie ist die Kernspintomographie die bevorzugte Bildgebung. Seit einigen Jahren gibt es Kernspintomographen, die für die intraoperative Bildgebung, die sogenannte interventionelle Kernspintomographie (iMRI), geeignet sind. Beim offenen Kernspintomographen Signa SP von General Electric, siehe Abb. 1, steht der Chirurg zwischen dem Spulenpaar des Kernspintomographen und kann während der Operation auf einem LCD-Display Bilddaten abrufen. In das System ist ein optisches Trackingsystem, IGT Flashpoint 5000, integriert, das Positionsdaten von Operationswerkzeugen an das Computersystem weiterleitet. Der Tomograph kann nun Schichtbilder scannen, die sogenannten Realzeitbilder, die mit Position und Orientierung des Operationswerkzeugs korreliert sind. Der Chirurg kann so während eines Eingriffs den Vorstoß und die endgültige Positionierung des Operationswerkzeugs kontrollieren. Die Realzeitbilder werden hier also als Navigationssystem genutzt.

Nachteile des bestehenden Systems ist die fehlende Integration einer Operationsplanung sowie die langsame Bildwiederholungsrate von ca. 0,3 Hz der Realzeitbilder. Zusätzlich besitzt das Realzeitbild eine kontrastarme, verrauschte Bildqualität und durch die Schichtdicke von 6 – 10 Millimetern wird über einen deutlich größeren Bereich gemittelt als es der Chirurg von den diagnostischen Bildern gewohnt ist. Hierdurch wird ein zielgenaues und schnelles Auffinden des geplanten Operationsweges und des Zielareals deutlich erschwert; eine gute Auge-Hand Koordination ist nicht möglich.

3 Konzeption des LOCALITE Brain Navigators

Der LOCALITE Brain Navigator erweitert das iMRI um ein Navigationssystem und unterstreicht den Nutzen der intraoperativen Bildgebung, indem dem Chirurgen ein simuliertes Realzeitbild zusammen mit dem gescannten Realzeitbild visualisiert werden kann. Eine Registrierung wie bei anderen Navigationssystemen entfällt, da der Patient zwischen der Erhebung des Volumendatensatzes und dem Eingriff fest fixiert ist, und die Koordinatensysteme von Trackingsystem und Volumendatensatz identisch sind.

Auf Basis eines intraoperativ gewonnenen MR-Volumendatensatzes wird eine einfache Planung durchgeführt. Die Planungsdaten werden als virtuelle Objekte dem Volumendatensatz hinzugefügt. Diese Planungsdaten werden in der Navigationsphase zusammen mit den Positionsdaten, die das Trackingsystem liefert, genutzt, um in

einer speziell konstruierten virtuellen Szene den geplanten Zugangsweg zu erreichen. Unabhängig von Planungs- und Navigationsphase wird, ebenfalls auf der Grundlage der Positionsdaten, die das Trackingsystem liefert, aus dem Volumendatensatz ein Schichtbild berechnet, das die gleiche Schicht darstellt wie das vom MR-Scanner generierte Realzeitbild. Die Bildwiederholungsrate beträgt hier ca. 5 – 10 Hz und die Bildqualität ist deutlich besser als bei den gescannten Realzeitbildern, siehe Abb. 4.

3.1 Visualisierungstechnik, Hard- und Software

Das LOCALITE System besteht aus einem PC mit 500MHz Pentium III Prozessor, 256 Mb Arbeitsspeicher und einer OpenGL-fähigen Grafikkarte. Dieser PC ist über ein Intranet und einen Videorouter mit dem bestehenden System verbunden. Die Software wurde unter Verwendung des Visualization Toolkit (VTK) [5] in C++ und Java entwickelt und läuft unter dem Betriebssytem Windows NT. Das VTK wurde hierzu durch einige neue C++-Klassen erweitert, die beliebig angulierte Schnittbilder aus dem Volumendatensatz durch trilineare Interpolation in Echtzeit berechnen und darstellen können. Die effiziente Darstellung der Schnittbilder in Kombination mit virtuellem Operationsinstrument und Planungsobjekten wurde durch die Verwendung texturierter Polygone erreicht, die die Lage des Schnittbildes im Raum wiedergeben.

3.2 Akquisition der Volumendatensätze

Zu Beginn einer Operation, unmittelbar nachdem der Patient im Tomographen fest positioniert wurde, wird ein Volumendatensatz generiert. Der Scan hierfür benötigt in Abhängigkeit von Schichtanzahl und Auflösung in der Ebene 2 – 8 Minuten. Der LOCALITE Brain Navigator arbeitet mit einer Kopie der Originaldaten, die durch einen 3 – 5-minütigen Transfer aus der Datenbank des Kernspintomographen gewonnen wird. Diese Vorgehensweise kann während des Eingriffs beliebig oft wiederholt werden, insbesondere dann, wenn es Hinweise gibt, daß es zu Veränderungen in der Lage der Zielareale gekommen ist.

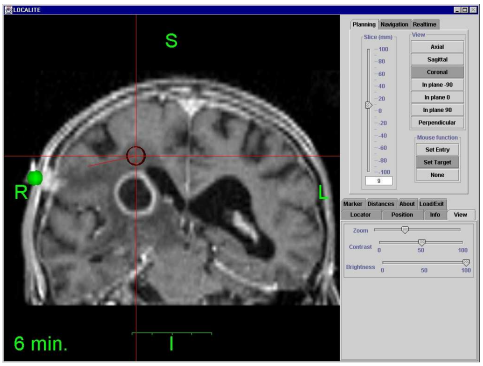

Abb. 2: GUI des LOCALITE Brain Navigators in der Planungsphase

3.3 Operationsplanung

In der Planungsphase, siehe Abb. 2, werden Start- und Zielpunkt als virtuelle Objekte dem dreidimensionalen Datensatz hinzugefügt. Hierzu kann das Volumen in drei verschiedenen Ebenen – axial, coronar oder sagittal – millimeterweise Schicht für Schicht visualisiert werden. Der

jeweilige Operationskanal, der sich aus dem gesetzten Punktepaar ergibt, kann in verschiedenen Perspektiven evaluiert werden.

Die Planung muß nach jedem Volumenscan neu vorgenommen werden, wobei alte Punktepaare als Positionierungsgrundlage dienen können. Sind aus den diagnostischen präoperativen Bilddaten die Operationsziele bekannt, benötigt die Planung nur wenige Minuten.

3.4 Navigationsphase

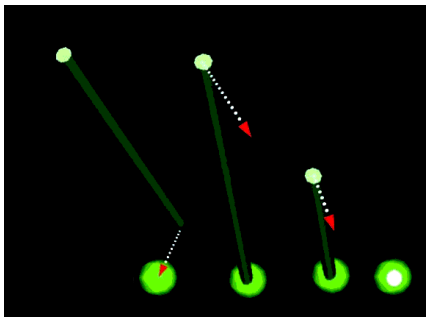

Abb. 3: Navigationsphase; hier wird in vier Schritten von links nach rechts schematisch ein Positionierungsvorgang dargestellt

Auf Basis der integrierten Planungsdaten kann nun eine gezielte Navigation erfolgen. Hierzu wurde eine spezielle Szene entwickelt, bei der die visuellen Informationen bewußt auf ein Minimum reduziert wurden. In Abb. 3 sind vier zeitlich aufeinander folgende Schritte der Positionierung dargestellt. Der grüne Punkt stellt den Operationskanal dar. Der Chirurg blickt also senkrecht in diesen Kanal. Der weiß-graue Stift ist das stilisierte Operationswerkzeug. Eine Positionierung erfolgt nun, indem zunächst der Eintrittspunkt mit der Spitze des Operationswerkzeugs angesteuert wird. Ist dies erreicht muß das Werkzeug aufgerichtet werden bis es parallel zur Orientierung des geplanten Operationsweges steht. Die Positionsdaten des Operationswerkzeugs liefert das optische Trackingsystem.

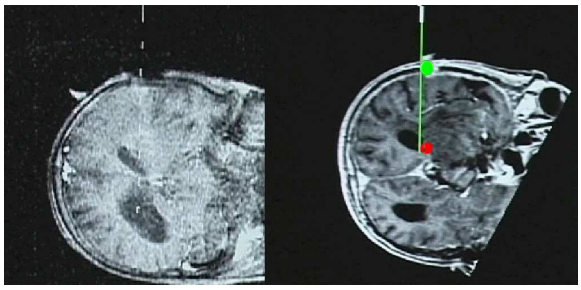

Abb. 4: Realzeitbilder; links: das gescannte Realzeitbild, rechts: das korrespondierende berechnete Schichtbild aus dem Volumendatensatz

3.5 Realzeitphase

In der Realzeitphase wird aus dem Volumendatensatz ein Schichtbild berechnet, das die gleiche Schicht darstellt wie das vom MR-Scanner generierte Realzeitbild. Die Bildwiederholungsrate und die Bildqualität sind deutlich besser als bei den gescannten Realzeitbildern. Maßgeblich für die endgültige Kontrolle der Positionierung sind die gescannten Realzeitbilder, da nur sie die aktuelle Situation darstellen.

4 Entwicklungsstand des Systems

Der LOCALITE Brain Navigator wurde in den vergangenen zwei Jahren in Zusammenarbeit mit dem Klinikum Krefeld entwickelt [6]. Derzeit durchläuft das System die letzten Tests, die für eine Zertifizierung nach dem Medizin-Produkte-Gesetz notwendig sind. Neben zahlreichen Tests an Phantomen und Evaluationen an einem Trainingssystem, wurden in der Entwicklungsphase des Systems 5 Operationen, vornehmlich an Gehirntumoren, assistierend unterstützt. Dabei konnte in zwei Fällen die geplante Orientierung in sehr kurzer Zeit, weniger als zwei Minuten, erreicht werden. In einem Fall kam es durch den Bohrvorgang zu einer starken Patientenbewegung, wodurch die zu Beginn der Operation gemachten Volumendaten nicht weiter benutzt werden konnten. Bei einer nicht minimalinvasiven Teilresektion konnte unser System durch die schnelle simulierte Realzeitbilddarstellung wertvolle Orientierungshinweise liefern. Für eine quantitative Analyse der Zeitersparnis und den Einfluß auf die Therapieergebnisse muß auf den Routineeinsatz des Systems, der im März 2000 beginnen soll, gewartet werden.

5 Ausblick

Mit dem zertifizierten System kann die Plazierung von Biopsienadeln oder Hüllkathetern navigiert werden. Besonders wertvoll ist das iMRI bereits bei der Resektionskontrolle. Unser Ziel ist es spezielle Therapien in Planung und Kontrolle wie zum Beispiel die laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT) oder die Kryotherapie in das System zu integrieren. Andere Aspekte der Weiterentwicklung des Systems ist die Integration anderer, präoperativer Bildmodalitäten, wie zum Beispiel CT oder funktionelle Bildgebungen, PET oder fMRI, oder die Erweiterung auf andere Körperregionen, wie die Bauchchirurgie oder des spinalen Bereichs.

6 Literatur

1. Antonio De Salles, Robert Lufkin (eds) (1997) Minimally Invasive Therapy of the Brain. Thieme, New York, Stuttgart.
2. Ferenc A Jolesz (1997) Image-guided procedures and the operating room of the future. Radiology 204:601-612
3. E Grimson et al. (1998) Clinical Experience with a High Precision Image- Guided Neurosurgery System. In: Wells WM, Colchester A (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI '98. Springer-Verlag Berlin (1998) pp. 63-73
4. D G T Thomas et al. (1997) Clinical Experiences with the EasyGuide Navigation System. In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K (eds) Proceedings CAR '97. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 757-760. ISBN 0-444-82756-0
5. Will Schroeder and Ken Martin and Bill Lorensen (1998), The Visualization Toolkit: An Object-Oriented Approach to 3D Graphics, Prentice Hall, 2nd edition
6. Klaus Kansy et al. (1999) LOCALITE - a Frameless Neuronavigation System for Interventional Resonance Imaging Systems. In: Taylor, C., Colchester, A. (Eds.) Medical Image Computing and Assisted Intervention-MICCAI'99. Berlin: Springer, ISBN 3-540-66503-X, pp. 832-841