Ergebnisse der klinischen Erprobung der Operationszugangsplanung mit NeurOPS

Udo Jendrysiak und Klaus Resch*

ConVis Medizinische Datenverarbeitung GmbH & Co. KG
Vogelsbergstr. 47, 55129 Mainz
*Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie
Klinikum der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55101 Mainz
Email: jendrysiak@convis.de

Zusammenfassung: Bildgebende Systeme liefern dem Neurochirurgen eine Fülle von Bildmaterial mit ständig steigender Qualität, deren praktischer Nutzen für die Operation und deren Planung nur selten hinterfragt wird [5]. Der klinische Einsatz einer computergestützten Planung wird vor allem durch den notwendigen Zeitaufwand zur Rekonstruktion, weniger bei der Planung selbst, behindert. Das Programm NeurOPS wurde speziell für die Planung patientenindividueller Zugangswege für einen minimalinvasiven Eingriff in enger Zusammenarbeit mit Neuroradiologen und Neurochirurgen entwickelt. 1998 wurde abschließend eine umfangreiche klinische Erprobung durchgeführt.

Schlüsselwörter: Teilautomatische Segmentierung, strukturspezifische Rekonstruktion, Volume-Rendering, virtuelle Zugangsplanung

1 Einleitung

NeurOPS verarbeitet CT- und MRT-Volumenbilddaten und unterstützt eine schnelle, teilautomatische Segmentierung relevanter Organstrukturen sowie eine 3D-Darstellung mit einer virtuellen Kamera, die auch eine endoskopische Sicht nachahmt. Ab 1994 erfolgte die Entwicklung mit Förderung der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation, die auch den klinischen Test umfaßt, der 1998 abgeschlossen wurde. Über die gesamte Zeit erfolgte die Entwicklung in enger Zusammenarbeit von Informatikern und Anwendern (Neuroradiologie, Neurochirurgie). Das Programm wurde unter UNIX und dem X-Window-System mit Motif Widget-Set entwickelt. Für die Gestaltung der Benutzeroberfläche wurde 1993 eine Benutzerbefragung durchgeführt, in deren Rahmen eine Reihe von Funktionsprototypen erstellt und von den Benutzern bewertet wurde [1].

NeurOPS unterstützt drei Verarbeitungsschritte: die Objektsegmentierung, die Überlagerung von zwei Volumendatensätzen und die Planung von Zugangswegen. Ziel des Projektes war es, durch eine teilautomatische Segmentierung die Vorverarbeitungszeit soweit zu reduzieren, das eine patientenindividuelle Operationszugangsplanung in der klinischen Routine möglich wird. Der klinische Test sollte zeigen, ob und wieweit diese Ziele erreicht wurden.

2. NeurOPS – Segmentierung und Zugangsplanung

Vor allem Gefäße, aber auch Tumoren sind für die Zugangsplanung besonders wichtig. Von Interesse sind aber auch Hohlräume, wie die Seitenventrikel im Kopf, die dem Neurochirurgen einen Zugang ohne Gewebeschnitte erlauben. Gefäße, Gehirngewebe und vor allem die Hirnnerven sind Risikostrukturen, die bei der Zugangsplanung berücksichtigt und daher zuvor segmentiert werden müssen.

2. 1 Teilautomatische Segmentierung

Alle Verfahren erfordern lediglich die Angabe eines Startpunktes oder im Falle der Textursegmentierung die Vorgabe einer Region [2,3].

Für die Segmentierung von Blutgefäßen wurden mehrere Verfahren entwickelt, die auf unterschiedliche Weise eine Segmentierung erlauben und eine Übersegmentierung automatisch vermeiden. Sie arbeiten häufig noch zu „konservativ", d.h. die Segmentierung der Gefäßbäume ist meist unvollständig und muß daher wiederholt an verschiedenen Stellen erneut gestartet werden.

Zur Segmentierung der Seitenventrikel des Kopfes wurde ein spezieller Algorithmus implementiert, der ein „Auslaufen" der Segmentierung in dünne Liquorkanäle durch ständige Prüfung der lokalen Objektgröße und statistischer Maße des Objektes vermeidet [4].

Die Tumorsegmentierung wurde mit einem texturbasierten Verfahren realisiert, das in der Mehrzahl der Fälle gute Ergebnisse liefert, gelegentlich aber korrigiert werden muß und im Randbereich häufig noch nicht zufriedenstellend arbeitet [4].

Für Nerven oder andere Strukturen, die nicht mit einem der oben genannten oder einem Standardverfahren rekonstruiert werden können, wurde ein virtueller 3D-Rekonstruktionsstift entwickelt, der manuell in einer 2D-Ansicht geführt wird, und eine Markierung einer Struktur im Raum ermöglicht.

2. 2 Zugangsplanung

Bis zu vier unabhängige Zugangswege können in 2D-Schnitten des Datensatzes beliebig definiert und manipuliert werden. Eine virtuelle Kamera kann nun einfach entlang eines so definierten Zugangsweges vor- und zurückbewegt werden, um den Zugangsweg sowohl zwei- als auch dreidimensional zu inspizieren. Zwei virtuelle Kameras erzeugen eine perspektivische Darstellung mit einem Ray-Tracing-Verfahren (Volume-Rendering). Dabei liefert die eine Kamera das Bild eines virtuellen Mikroskops resp. Endoskops, die andere Kamera zeigt mit etwas Abstand eine Übersicht der Szene und beobachtet quasi die erste Kamera. Damit erhält der Benutzer die notwendige Orientierungshilfe [2].

3. Klinischer Test

Der klinische Test wurde von einem Facharzt für Neurochirurgie mit langjähriger neurochirurgischer Erfahrung durchgeführt. Nach einer mehrwöchigen Schulungs- und

Einarbeitungsphase erfolgte der Test in den Monaten Juni bis September 1998. In dieser Zeit wurden über 30 Patientendatensätze rekonstruiert, knapp die Hälfte davon präoperativ. Hinzu kamen postmortale Inspektionen. Die virtuelle Planung wurde mit den Ergebnissen der konventionellen Planung verglichen. Am klinischen Test waren das Institut für Neuroradiologie, die Klinik für Neurochirurgie und das Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation beteiligt.

Für jeden einzelnen Fall erfolgte eine Dokumentation, wobei zunächst das jeweilige Ziel des Programmeinsatzes, dann die erfolgte Tätigkeit und abschließend eine Bewertung der Ergebnisse genannt werden. Zu jedem Fall gehören eine Anzahl von Photographien vom Bildschirm, weiterhin Bildschirmschnappschüsse, die auf CD-ROM gespeichert und teilweise ausgedruckt wurden.

3. 1Ergebnisse

Die Zeit für die Bearbeitung eines Patientendatensatzes addiert sich aus den Zeiten, einen Datensatz aus dem digitalen Archiv zu holen, in einen Volumensatz umzuwandeln (ca. 5 Minuten), die relevanten Strukturen zu segmentieren (zwischen 0,5 und 3 Stunden) und der Zugangsplanung (15 Minuten). Im Folgenden zitiere ich aus dem Abschlußbericht des klinischen Tests

3.2 Praktischer Nutzen im klinischen Alltag

> „Mit dem NeurOPS-Programm lassen sich für die OP-Planung relevante Ergebnisse in einer Zeit von 3-4 Stunden erzielen. Besondere Vorteile bietet der direkte Vergleich von bis zu 4 Zugangswegen, die nach der Segmentierung vom Benutzer in wenigen Minuten angelegt sind. Bei folgenden Diagnosen wurde NeurOPS untersucht: 13 Gefäßpathologien, 4 Hirntumoren, 4 cystische Läsionen, 2 Hypophysentumoren, 2 HWS Dislokationen, 2 Aquäductstenosen, 1 Hirnblutung, 1 Trigeminusneuralgie und 1 Vergleichsdatensatz eines Probanden [6].“

> ***„Der praktische Nutzen im klinischen Alltag*** ist nach den vorliegenden Erfahrungen an unumstößliche Bedingungen geknüpft, die nur zum Teil erfüllt sind. Erfüllt ist ein interessantes und relevantes Spektrum von Manipulationsmöglichkeiten der Datensätze. Nicht erfüllt ist die Praktikabilität bezüglich der Geschwindigkeit des Rechners, Stabilität des Systems und Bedienerfreundlichkeit ... [6].“

3.3 Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Zur Erstellung eines exemplarischen anatomischen Atlas-Datensatzes wurden in 24 Stunden, auf 5 Tage verteilt, insgesamt 30 verschiedene Objektstrukturen rekonstruiert, dabei sämtliche Hirnnerven, Hirnstamm, und die wichtigsten Stammganglien, das limbische System, Marklager, und die spezifischen cortikalen Zentren nach Yasargil, sowie die großen Arterien und der venöse Sinus.

„Das System ist je nach Wunsch noch wesentlich verfeinerbar, insbesondere die Faserbahnen betreffend, aber bei der Arbeit mit diesem Baukasten entsteht ein anschaulicher Eindruck der räumlichen Verhältnisse. ... Die Farbcodierung mit nur 10 Farben gerät dabei an Grenzen, ... Dieses System ist für beliebige Anwendungen effektiv einsetzbar, wie Unterricht, Zugangsbeschreibung etc. [6].“

3.4 Systemeigenschaften

Die Bewertung der Systemeigenschaften untersucht die Anwendbarkeit der einzelnen Programmfunktionalitäten. Hier ist nur eine Auswahl herausgegriffen:

„Insgesamt ist das System für die OP-Planung zu langsam und in Teilen der Bedienung zu umständlich gewesen, andererseits gibt es sehr interessante Anwendungsmöglichkeiten, so daß die Entwicklung einer besseren Bedienerfreundlichkeit lohnend wäre. Das System ist noch zu instabil und stürzte zu oft ab, ...
Die Funktionen im Segmentierungsmodus sind für die ***automatisierten Manipulationen*** wie Segmentation nach gut differenten Dichtewerten oder Zugangspfadbestimmungen ausgereift und erwiesen sich als praktikabel. ***Die manuellen Funktionen***, die sowieso zeitraubend sind, erwiesen sich als träge und umständlich, so z.B. die Segmentierungskorrektur mit der Funktion „Select“. Die automatischen ***Segmentationsfunktionen nach Formtyp*** (Skin, Ventricle, Vessel, Tumor) zeigten keine Vorteile und waren verzichtbar. ...Besonders wirkungsvoll und vielen anderen Systemen fehlend, sind *die **Mal-und Zeichenfunktionen*** in 2D und 3D, weil damit tatsächlich individuelle Objektveränderungen präzise durchgeführt werden können, ... Vier Zugangspfade sind wählbar, ... Der Zugangskanal hat quadratischen Querschnitt und die Kantenlänge ist wählbar. Diese Funktion erwies sich als sehr praktikabel, insbesondere auch, weil man definieren kann durch welche Objekte der Kanal geht bzw. nicht, so daß tief gelegene Strukturen ohne Stanzdefekt im Kanal sichtbar werden [6].“

4. Diskussion

Obwohl sich das System auf wenige spezielle Eigenschaften konzentrieren sollte, zeigte es sich, daß die praktische, klinische Anwendbarkeit von der Erfüllung vieler weiterer, eher allgemeinerer Programmeigenschaften abhängt, da sonst die gesamte Bearbeitungszeit für einen Patienten zu groß ist oder die Akzeptanz aus anderen Gründen leidet. Hierzu gehören Schnittstellen zu Modalitäten bzw. digitalen Archiven gemäß DICOM, aber auch viele Standardfunktionen eines radiologischen Befundungsprogrammes. Diese wurden daher z.T. ebenfalls implementiert, wofür relativ viel personelle Ressourcen benötigt wurden. Dennoch zeigt der klinische Test, daß hier noch mehr hätte getan werden müssen.

Die angegebenen Zeiten von 3-4 Stunden pro Patient sind zum Teil durch die verwendete Hardware (3 Jahre altes SUN UltraSparc10 System), zum größeren Teil aber

durch die Geschwindigkeit der Segmentierung- und Darstellungsfunktionen begründet. Sie sind um den Faktor 5 langsamer als die bereits 1993 in der Benutzerbefragung erkannte Obergrenze von max. 30 Minuten. Die Qualität der graphischen Benutzeroberfläche wird an mehreren Stellen bemängelt, obwohl diese in Abstimmung und nach den Wünschen der klinischen Partner gestaltet wurde. Hier zeigt sich, das Designkriterien aus den Jahren 1993-1994 trotz Anpassungen durch die rasante Entwicklung der PC-Systeme und einer Erwartungshaltung, die von MS-Windows geprägt wird, teilweise überholt wurden. Kritikpunkte wie nicht vorhandene Konfigurationsmöglichkeiten (z.B. Bedienleiste auf der rechten Bildschirmhälfte statt links) zeigen, daß die unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten untergeordneten Eigenschaften bei der Akzeptanz eines Systems eine prominente Rolle spielen können.

> „Zusammenfassend kann hervorgehoben werden, daß die computerassistierte OP-Planung sich in eine bis zum extrem ausgelastete Logistik einzufügen hatte... Die Testbedingungen waren absolut hart und es wurde keine Rücksicht auf die Studie genommen. Nicht zuletzt war die zeitliche ... Vorgabe eine entscheidende Limitation [6].“

Für die Entwickler war es überraschend, daß die teilautomatischen Segmentierungsfunktionen nur wenig benutzt wurden. Noch überraschender war, daß statt den automatisch kontrollierten Zugangspfaden (deren Stabilität und Funktionsweise positiv bewertet wurde, s.o.) eine manuelle Gestaltung von Zugangswegen mit dem 3D-Malstift vorgezogen wurde.

5. Literatur

1. Helmut Brunzlow: Entwurf einer graphischen Benutzeroberfläche für ein System zur Neurochirurgischen Operationsplanung – Evaluation der Benutzerwünsche und Realisierung unter X-Windows. Diplomarbeit im Fachbereich Informatik der FH Wiesbaden, 1993.
2. U. Jendrysiak, S. Gregg, J. Weinert: Virtual access planning for neurosurgery with ´NeurOPS´. In: H.U. Lehmke, M.W. Vannier, K. Inamura. Proceedings CAR´ 97 p. 761-6
3. U. Jendrysiak, S. Gregg, J. Weinert: Strukturspezifische Segmentierung mit NeurOPS für die computergestützte Operationsplanung. Digitale Bildverarbeitung in der Medizin, Tagungsband Workshop Univ. Freiburg 1997
4. Dirk Kübast: Teilautomatische Segmentierungsroutinen für ausgewählte Ventrikel und Tumorformen auf dreidimensionalen NMR-Bilddaten des Kopfes. Diplomarbeit im Fachbereich Informatik der FH Wiesbaden, 1994.
5. K.D.M. Resch, M. Mazánek, A. Perneczky, P. Stoeter: Grenzen der 3D-CT Planung in der Endoneurochirurgie. Endoskopie heute 1/1997
6. K.D.M. Resch, J. Weinert, S. Boor, U. Jendrysiak, K. Darabi, J. Michaelis, P. Stoeter: Computerassistierte 3D-Bildverarbeitung zur neurochirurgischen OP-Planung (NeurOPS). Evaluation von 30 Fällen aus neurochirurgischer Sicht. Abschlußbericht, Mainz 1998.