Visualisierung und Attributierung von gefäßartigen Strukturen zur Diagnostik und Therapieplanung

Tobias Kunert, Matthias Thorn, Hans-Peter Meinzer

Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. MBI / H0100
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
Email: T.Kunert@dkfz.de

Zusammenfassung. Für viele medizinische Fragestellungen sind Untersuchungen am Gefäßsystem oder an ähnlichen Strukturen erforderlich. In der Regel gewinnt der Arzt dazu zweidimensionale Sichten auf das Untersuchungsgebiet. Die dreidimensionale Visualisierung erleichtert dabei die Interpretation der Bildaufnahmen. Die rechnergestützte Auswertung setzt oftmals eine Differenzierung der funktionellen oder der anatomischen Einheiten voraus. Um diese Einheiten interaktiv zu attributieren, stellen wir zwei Visualisierungsstrategien vor und vergleichen diese miteinander. Die erste verwendet ein Oberflächenmodell der Strukturen, das mittels OpenGL-Hardware sehr schnell dargestellt werden kann. Die zweite Strategie verfolgt die direkte Volumenvisualisierung, die zwar aufwendiger zu berechnen ist, aber auch realitätsgetreuere Bilder liefert. Die Bedeutung der Volumenvisualisierung wird somit weiter zunehmen.

1 Einleitung

Die Untersuchung von gefäßartigen Strukturen spielt eine zentrale Rolle in den medizinischen Gebieten der Neurologie, Kardiologie und Chirurgie. Mit Hilfe von Bildaufnahmetechniken wie der Angiographie (Röntgen, CT, MR) oder der Sonographie gewinnt der Arzt zweidimensionale Sichten auf das Untersuchungsgebiet. Die Interpretation der Schichtbildserien setzt ein hohes Maß an Erfahrung voraus. Eine dreidimensionale Visualisierung kann die Aufgabe wesentlich erleichtern und zu einer Verbesserung der Qualität für die Diagnostik und Therapieplanung führen (z.B. [1]). Sie vermittelt dem Arzt einen realistischen Eindruck und erleichtert zugleich die räumliche Orientierung, da der Blickwinkel frei gewählt werden kann. Für eine rechnergestützte Auswertung wird oftmals ein Mechanismus benötigt, um die funktionellen oder die anatomischen Einheiten interaktiv zu attributieren.

2 Stand der Forschung

Rechnergestützte Systeme wie beispielsweise [2,3] legen den Schwerpunkt vor allem auf die Darstellung der Gefäße. Dazu sind verschiedene Visualisierungsansätze möglich. Das *Surface Rendering* erlaubt die Nutzung leistungsfähiger

Graphik-Hardware, setzt aber eine geeignete Modellierung der Strukturen (z.B. [4]) voraus. Das *Volume Rendering* kommt zwar ohne diesen Verarbeitungsschritt aus, ist aber trotzdem sehr aufwendig, sofern spezielle Graphik-Hardware [5,6,7] nicht zur Verfügung steht. Eine Interaktion mit den individuellen Teilstrukturen ist nach unserem Kenntnisstand in den existierenden Systemen nicht möglich.

Für die Resektionsplanung in der Leberchirurgie [8] wird in unserer Abteilung ein Softwaremodul eingesetzt, das dem Chirurgen eine interaktive Nachbearbeitung des portalvenösen Gefäßbaums erlaubt [9]. Zur Zeit wird in dem Modul der erste von den beiden Visualisierungsansätzen verwendet, die im folgenden vorgestellt und miteinander verglichen werden sollen.

3 Material und Methoden

Für die Untersuchung von gefäßartigen Strukturen werden im allgemeinen kontrastmittelverstärkte Bildaufnahmen erstellt. Je nach Fragestellung können die Strukturen bereits anhand eines Schwellwertes vom umliegenden Gewebe getrennt werden. Darauf aufbauend lassen sich die Strukturen skelettieren und als gerichteter Graph symbolisch beschreiben [10]. Ein solcher Graph wird von beiden Visualisierungsstrategien als Datenstruktur verwendet, um die Attribute (z.B. für eine Zuordnung zu venösem oder arteriellen Gefäßsystem) der einzelnen Äste des Skeletts festzuhalten.

3.1 Modellbasierte Visualisierung

Die erste Strategie baut auf Informationen über Länge und Durchmesser der einzelnen Kanten auf, die während der Skelettierung gewonnen werden. Indem die Kanten als Zylinder verschiedener Größe modelliert werden, gelangen wir zu einem einfachen Modell der interessierenden Strukturen, welches mit der Graphikbibliothek *OpenGL* auf einfache Weise dargestellt werden kann. Für die Interaktion (z.B. Selektion, Attributierung) ist es wichtig, möglichst schnell auf die zugehörige Kante des Graphen zurückschließen zu können. Um dies zu erreichen, wird auf die Konzepte von OpenGL (Picking, Display Lists) zurückgegriffen. Die einzelnen Zylinder sind durch die ID ihrer Display List direkt mit der jeweiligen Kante des Graphen verknüpft.

3.2 Voxelbasierte Visualisierung

Die zweite Strategie verwendet mit dem *Heidelberg Raytracing Model* (HRM) [11] einen Ansatz für die direkte Volumenvisualisierung. Die segmentierten Daten werden dabei in zwei Schritten dargestellt: Zunächst werden mit dem HRM ein Graustufen- und ein ID-Bild generiert. Das Graustufen-Bild stellt das Ergebnis der Volumenvisualisierung dar, das ID-Bild hingegen verknüpft jedes Pixel mit einer Kante des Graphen. Das Graustufen-Bild wird nun Pixel für Pixel entsprechend den zugehörigen Kanten und deren Attributen eingefärbt. Nach einer Änderung der Attribute ist es ausreichend, die Pixel der betroffenen Kanten neu einzufärben.

4 Ergebnisse

Die beiden Visualisierungsstrategien werden anhand des portalvenösen Gefäßsystems der Leber demonstriert (Abb. 1). Der Vergleich der Ergebnisbilder zeigt, daß dieselben Gefäße sich in Länge und Durchmesser voneinander unterscheiden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß diese Maße für die Modellerstellung nur approximiert werden. Die Volumenvisualisierung liefert erwartungsgemäß ein detailgetreues Abbild der Gefäße. Durch den realistischeren Eindruck gewinnt der Arzt ein größeres Vertrauen in die Visualisierung. Beide Strategien erlauben auf einfache Weise eine Interaktion mit den abgebildeten Strukturen. Auch die anschließende Aktualisierung der Ansicht ist bei beiden verzögerungsfrei möglich. Die freie Navigation ist allerdings nur mit der ersten Strategie zufriedenstellend, da die Berechnung eines Bildes mit dem HRM-Modell mehrere Sekunden benötigt. Es muß allerdings hinzugefügt werden, daß verschiedene Optimierungstechniken (z.B. [12]) noch nicht berücksichtigt sind. Ein wichtiger Vorteil der Volumenvisualisierung ist aber, daß auch Teilstrukturen, die beim Aufbau des Graphen nicht erfaßt wurden, trotzdem dargestellt werden können. Damit ist es möglich, den Graphen zu validieren und gegebenenfalls manuell zu korrigieren.

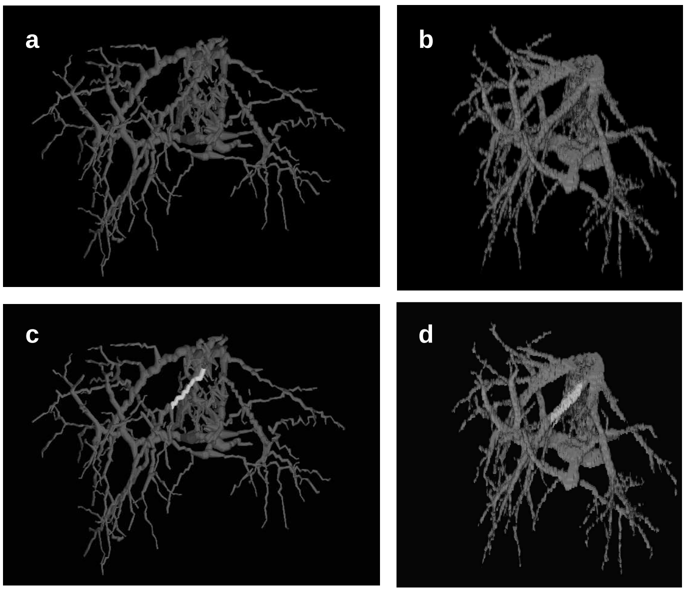

Abb. 1. Gefäßsystem der Leber. Die Gefäße sind basierend auf der symbolischen Beschreibung (a) und den Volumendaten (b) dargestellt. Nach Auswahl eines Gefäßastes wird die Darstellung bei beiden Strategien unverzüglich aktualisiert (c–d), so daß der ausgewählte Ast hervorgehoben erscheint.

5 Zusammenfassung

Anwendungen in der Diagnostik und der Therapieplanung benötigen einen zufriedenstellenden Kompromiß zwischen einer genauen Visualisierung und einer interaktiven Handhabbarkeit. Weder die vorgestellte Oberflächen- noch die Volumenvisualisierung erfüllen zur Zeit beide Anforderungen. Mit dem technischen Fortschritt wird wird die Volumenvisualisierung jedoch weiter an Bedeutung gewinnen.

6 Danksagung

Diese Arbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 414 „Informationstechnik in der Medizin – Rechner- und sensorgestützte Chirurgie" und weiterhin von dem Tumorzentrum Heidelberg/Mannheim innerhalb des Projektes „Navigation in der Leberchirurgie" gefördert.

Literatur

1. Lamadé W, Glombitza G, Fischer L, et al.: The Impact of 3-Dimensional Reconstructions on Operation Planning in Liver Surgery. Arch Surg 135(11):1256-1261, 2000.
2. Blankensteijn JD: Imaging Techniques for Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysms. Medica Mundi 44(2):18-26, 2000.
3. Hastreiter P, Rezk-Salama C, Tomandl B, et al.: Fast Analysis of Intracranial Aneurysms based on Interactive Direct Volume Rendering and CT-Angiography,. Procs MICCAI 98:660-669, 1998.
4. Puig A: Cerebral Blood Vessels Modelling. Technical Report LSI-98-21-R, Polytechnical University of Catalunya, Spain, 1998.
5. Rezk-Salama C, Engel K, Bauer M, et al.: Interactive Volume Rendering on Standard PC Graphics Hardware Using Multi-Textures and Multi-Stage Rasterization. Proc. SIGGRAPH/Eurographics Graphics Hardware Workshop 00:135-141, 2000.
6. Pfister H, Hardenbergh J, Knittel J, et al.: VolumePro Real-Time Ray-Casting System, Procs SIGGRAPH 99:251-260, 1999.
7. Zuiderveld KJ, van Ooijen PMA, Chin-A-Woeng JWC, et al.: Interactive Rendering of Medical Volumetric Data Using Texture Mapping Hardware. Procs 2nd Annual Conf of the Advanced School for Computing and Imaging 96:319-324, 1996.
8. Glombitza G, Cardenas S. CE, Thorn M, et al.: Ein radiologisches Softwaremodul für die computergestützte Operationsplanung in der onkologischen Leberchirurgie. Procs BVM 00:244-248, 2000.
9. Thorn M, Vetter M, Cardenas C, et al.: Interaktives Trennen von Gefäßbäumen am Beispiel der Leber. Procs BVM 01:147-151, 2001.
10. Zahlten C, Jürgens H, Peitgen HO: Reconstruction of Branching Blood Vessels from CT-Data. Visualization in Scientific Computing 95:41-52, 1995.
11. Meinzer HP, Meetz K, Scheppelmann D, et al.: The Heidelberg Raytracing Model. IEEE Computer Graphics & Applications 11(6):34-43, 1991.
12. Yagel R, Shi Z: Accelerating Volume Animation by Space-Leaping. Procs Visualization 93:62-69, 1993.