Interaktives Trennen von Gefäßbäumen am Beispiel der Leber

Matthias Thorn[1], Marcus Vetter[1], Carlos Cardenas[1], Peter Hassenpflug[1],
Lars Fischer[2], Lars Grenacher[3],
G. M. Richter[3],Wolfram Lamadé[2], Hans-Peter Meinzer[1]

1 Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
Abteilung Medizinische und Biologische Informatik, 69120 Heidelberg
2 Chirurgische Universitätsklinik
Abteilung für Allgemeine Chirurgie, 69120 Heidelberg
3 Abteilung für Radiologie
Chirurgische Universitätsklinik, 69120 Heidelberg
Email: M.Thorn@DKFZ.de

Zusammenfassung. Der vorliegende Beitrag stellt ein interaktives Verfahren zur Trennung und Einteilung von Gefäßen am Beispiel der Leberoperationsplanung vor. Die Gefäße werden aus kontrastmittelverstärkten CT- oder MR-Aufnahmen extrahiert und durch einen Graphen beschrieben. Dieser Graph wird mittels Open-GL visualisiert, so dass eine direkte Manipulation der Teilsegmente des Graphen möglich wird. Auf diese Weise lassen sich Gefäßstrukturen trennen bzw. klassifizieren, so dass z.B. die intrahepatischen Gefäßstrukturen der Leber in Vena Porta und Vena Hepatica aufgeteilt und schließlich die Äste der Vena Porta zu den von ihnen versorgenden Segmenten eingeteilt werden können.

1 Einleitung

In der Medizin ist die Kenntnis des individuellen anatomischen Aufbaus eines zu operierenden Organs von zentraler Bedeutung. Im Normalfall stehen dem Arzt zur Beurteilung der Operabilität eines Patienten kontrastmittelverstärkte CT- bzw. MR-Aufnahmen zur Verfügung, die es ihm beispielsweise erlauben die Lage und Ausmaße eines im Zielorgan befindlichen Tumors grob zu lokalisieren. Für eine genaue und anatomisch korrekte Einteilung und Bemessung eines Organs wie der Leber, Niere oder Lunge in ihre Funktionseinheiten ist eine sichere Segmentierung und Rekonstruktion der gefäßartigen Strukturen notwendig.

Bei der Leber geht das portalvenöse Kapillarsystem in die Lebervenen über, so dass sich Kontrastmittel während der Datenaufnahme meist nicht nur im Portalbaum befindet, sondern bereits in Teile des venösen Gefäßsystems geflossen ist. Die anschließende Segmentierung dieser Daten liefert einen portalvenösen Gefäßbaum der an den Enden bereits Teile des venösen Gefäßsystems besitzt, da einige der Blutgefäße der beiden Gefäßbäume so nah beieinander liegen, dass durch die beschränkte räumliche Auflösung der aufnehmenden Modalität diese als miteinander verbunden dargestellt werden.

Dadurch ergeben sich Probleme bei der Ermittlung der korrekten Verzweigungsstruktur der Pfortader und einer darauf basierenden Segmenteinteilung der Leber bzw. der Berechnung gefäßabhängigen Leberparenchyms.

2 Stand der Technik

Zur Analyse von Gefäßstrukturen existieren bereits verschiedene Verfahren, die von mehreren Gruppen entwickelt wurden [1, 2, 3]. Diese Verfahren haben zum Ziel die Gefäßstrukturen vollautomatisch zu erkennen und zu klassifizieren bzw. zu trennen. Dazu werden entweder Informationen über die Anatomie des zu untersuchenden Gefäßsystems zugrunde gelegt oder die Gefäße über graphentheoretische Methoden untersucht. Ein solches Verfahren wurde bereits in unserer Abteilung erfolgreich entwickelt und eingesetzt.

Für die Akzeptanz eines solchen Algorithmus in der klinischen Routine ist es jedoch notwendig sämtliche Entscheidungen über die Korrektheit einer Gefäßzuteilung dem Arzt bzw. dem klinischen Anwender zu überlassen. Dies macht es notwendig eine interaktive Komponente zu entwickeln, die es dem Anwender ermöglicht die Trennung der Gefäße sowie eine Zuordnung der Gefäßäste zu Funktionseinheiten eigenständig durchzuführen. Daher wurde von uns ein Verfahren entwikkelt, das es erlaubt dies interaktiv durchzuführen.

3 Material und Methoden

3.1 Erzeugung des Graphen

Dieses Verfahren besteht aus mehreren aufeinander aufbauenden Methoden zur Segmentierung und Analyse von Gefäßstrukturen in Volumendaten. Nach einer adaptiven Grauwertfilterung der Originaldaten werden alle intrahepatischen Blutgefäße durch ein Schwellwertverfahren segmentiert. Der eigentliche Trennalgorithmus basiert nicht auf den so gefundenen voxelbasierten Gefäßbäumen, sondern auf ihrer symbolischen Beschreibung. Hierzu werden die Voxel ausgehend von einem Saatpunkt, der interaktiv in der Leberpforte gesetzt wird, durchlaufen und alle Verzweigungs- und Endpunkte des Gefäßbaumes als Knoten in einem Graphen gespeichert.

3.2 Darstellung des Graphen

Ziel ist es nun, den so ermittelten Graphen auf die Darstellung des portalvenösen Gefäßbaums einzuschränken. Dazu wird der gesamte Graph mit Hilfe der Graphikbibliothek OpenGL so visualisiert, dass die Teilsegmente, die zwischen den Verzweigungs- und Endknoten liegen, als Kegelstümpfe dargestellt werden. Der obere und untere Radius des jeweiligen Kegelstumpfes ergibt sich dabei aus dem durchschnittlichen Durchmesser des Gefäßes an der entsprechenden Stelle. Somit entsteht für den Benutzer die vereinfachte Darstellung des gesamten Gefäßbaumes der Leber, innerhalb der er seinen Blickpunkt und seine Blickrichtung frei im Raum wählen und nach Verbindungsstellen zwischen portalem und venösem Gefäßbaum suchen kann. Unterstützt wird er dabei durch die folgenden Interaktionsmechanismen:

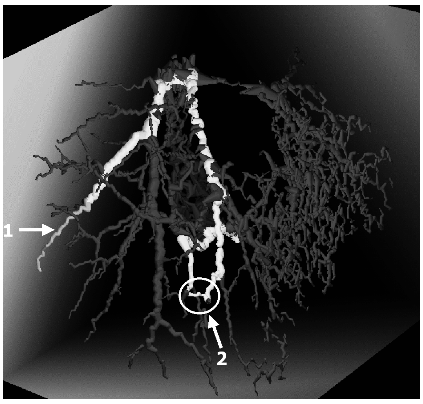

Abb. 1 Rückverfolgung der Gefäße (aktiviertes Teilsegment (1), Übergang von Vena Hepatica in Vena Porta (2))

- Ein- und Ausblenden der verschiedenen Hierarchiestufen der Verästelungsstruktur des Graphen
- Verfolgung der Gefäße von einem Teilsegment zurück zur Wurzel des Graphen bzw. in entgegengesetzter Richtung zur Betrachtung des von einem Teilsegment abhängigen Gefäßbaumes (siehe Abb. 1 und Abb. 2).

3.3 Interaktion mit dem Graphen

Zur Trennung des Gefäßbaumes wählt der Benutzer mit Hilfe eines 2D-Eingabegerätes ein Teilsegment des Graphen aus. Hierbei wird der Picking-Mechanismus von OpenGL ausgenutzt, um auf das angeklickte Teilsegment, das in Form einer OpenGL-Displayliste dargestellt wird, zurückschließen zu können. Für die Trennung des Gefäßbaumes stehen zwei unterschiedliche Strategien zur Verfügung.

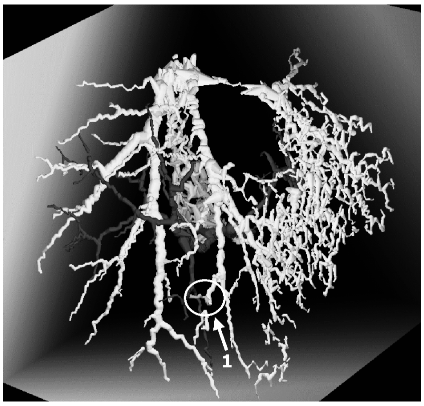

Abb. 2 Anzeigen des abhängigen Gefäßbaumes. (1) aktiviertes Teilsegment

So kann zum einen durch das ausgewählte Teilsegment eine zyklische Abhängigkeit innerhalb des Graphen aufgelöst werden und zum anderen der nach diesem Teilsegment anhängende Gefäßbaum vom portalvenösen Baum abgetrennt werden. Diese Strukturveränderungen können jederzeit rückgängig gemacht werden, so dass die ideale Trennung zwischen dem portalvenösen Gefäßbaum und den venösen Gefäßteilen gefunden werden kann. Der Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass die bereits entwickelten

Verfahren zur automatischen Gefäßtrennung auf dem anfangs berechneten Graphen durchgeführt und dem Anwender als Trennungvorschlag präsentiert werden können.

4 Ergebnisse

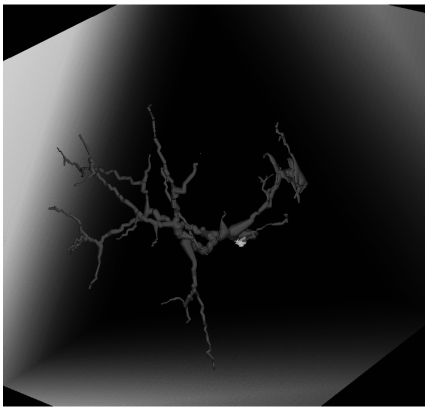

Abb. 3 Vena Porta nach Trennung

Das so entstandene Programm stellt ein einfach und intuitiv bedienbares Werkzeug zur Verfügung, das beim klinischen Anwender auf hohe Akzeptanz gestoßen ist. Der Vorteil besteht dabei darin, dass der klinische Anwender durch die Interaktion mit den gefundenen Gefäßen in seiner Kompetenz unterstützt wird, ohne dabei das Gefühl vermittelt zu bekommen einem Algorithmus vertrauen zu müssen. Zusätzlich verbessert die präoperative Auseinandersetzung des Chirurgen mit dem dreidimensional präsentierten Gefäßbaum die räumliche Vorstellung über die anatomische Struktur der Gefäße sowie der Lagebeziehung des Tumors bzw. der Tumore zu den Gefäßen [5].

5 Ausblick

Im weiteren ist vorgesehen dieses Tool in den Operationssaal zu integrieren. Das ist notwendig, da während des chirurgischen Eingriffs durch Entdeckung neuer Tumore oder aufgrund der Unter- oder Überschätzung der Tumore durch das CT die geplante Operationsstrategie intraoperativ verändert wird. In einem solchen Fall könnten Gefäße, die durch die Strategieänderung betroffen sind, in der Operationsplanung berücksichtigt werden [4], so dass während der Operation der präoperativ berechnete Operationsvorschlag an die gegebene Situation angepasst wird.

Die Flexibilität dieses Werkzeugs läßt auch eine Erweiterung auf Segmentierung und Analyse anderer Organe zu, bei denen die Gefäßversorgung eine ähnlich wichtige Rolle wie bei der Leber einnehmen.

6 Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Tumorzentrum Heidelberg/Mannheim innerhalb des Forschungsschwerpunktes „Tumorzellheterogenität, Metastasierung und Resistenz“ gefördert.

7 Literatur

1. Zahlten C, Jürgens H, Peitgen HO. Reconstruction of Branching Blood Vessels from CT-Data. In: Göbel M, Müller H, Urban B (Hrsg.). Visualization in Scientific Computing. Springer Verlag Wien, S 41 - 52, 1995.
2. Göpfert M, Glombitza G, Demiris AM, Lamadé W, Meinzer HP. Trennung von Gefäßbäumen in medizinischen Schichtbildserien am Beispiel der Leber. In: Lehmann T, Metzler V, Spitzer K, Tolxdorf T (Eds.). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 1998 - Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. S. 264-268, 1998.
3. Daniel Rinck, Udo Jendrysiak: Ermittlung der Verlaufsinformationen von Gefäßen in Volumendaten. In: Evers H, Glombitza G, Lehmann T, Meinzer HP (Hrsg.). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 1999 Algorithmen - Systeme - Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. S. 107-111, 1999
4. Glombitza G, Cardenas C, Thorn M, et al. Ein radiologisches Softwaremodul für die computergestützte Operationsplanung in der onkologischen Leberchirurgie. In: Horsch A, Lehmann T (Hrsg.). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 2000 Algorithmen - Systeme - Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. S. 244-248, 2000.
5. Lamadé W, Glombitza G, Fischer L, Chiu P, Cardenas CE Sr, Thorn M, Meinzer HP, Grenacher L, Bauer H, Lehnert T, Herfarth C. The impact of 3-dimensional reconstructions on operation planning in liver surgery. Arch Surg. 2000 Nov;135(11):1256-61.