3D-Analyse medizinischer Volumendaten unter Nutzung automatisch generierter Transferfunktionen

Manfred Hinz, Regina Pohle, Thomas Hübner, Klaus D.Tönnies

Institut für Simulation und Graphik
Otto-von Guericke-Universität Magdeburg, 39106 Magdeburg
Email: mhinz@isg.cs.uni-magdeburg.de

Zusammenfassung. In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur nutzergeführten 3D-Visualisierung von Strukturen innerhalb medizinischer Volumendatensätze vorgestellt. Das Verfahren nutzt das a-priori-Wissen des Anwenders über die Lage der interessierenden Struktur und berechnet davon ausgehend automatisch eine initiale Transferfunktion für die direkte Volumenvisualisierung mittels Volume Rendering. Dabei wird ein adaptives Regionenwachstum zur Schätzung des Grauwertintervalles für die gesuchte Struktur eingesetzt. Es wird eine Beispielimplementierung beschrieben, die es erlaubt, durch eine intuitive Steuerung der Darstellungsparameter für das Volume Rendering, eine interaktive 3D-Analyse der interessierenden Struktur zu ermöglichen.

1 Einleitung

Verfahren der medizinischen Bildgebung wie Computertomographie und Magnetresonanztomographie liefern Datensätze, die als 3-dimensionales Feld von Skalarwerten aufgefaßt werden können. Von besonderem Interesse für den Mediziner bei der Interpretation dieser Daten sind bestimmte anatomische Strukturen und ihre mögliche pathologische Veränderung. Die Interpretation dieser Datensätze erfolgt in der klinischen Praxis in der Regel auf der 2-D Schichtdarstellung, wobei 3-D Informationen auf dem Wege der mentalen Rekonstruktion des Mediziners abgeleitet werden.

Mit zunehmender Entwicklung der Medizintechnik, stetig steigender Auflösung und damit auch Anzahl von Schichtbildern, wird es in Zukunft nötig sein, andere Wege bei der Interpretation dieser Daten zu gehen. Ein Zugang zu den enthaltenen 3-D Informationen führt über eine Interpretation von dreidimensional dargestellten Strukturen. Hierbei ist eine Visualisierung notwendig, die wiederum eine 2-D Projektion dieser Daten erzeugt. Unsere visuelle Wahrnehmung ist darauf trainiert, aus zweidimensionalen Ansichten 3-D Informationen zu rekonstruieren und es sollte möglich sein, diese Fähigkeiten bei der Analyse zu nutzen. Da eine 3D-Visualisierung immer auch mit einer Informationsreduktion verbunden ist, kommt es darauf an, daß Visualisierungsmethoden gefunden werden, die bei der Projektion der 3-D Daten auf eine 2-D Ansicht, ein Bild erzeugen, das mit den Alltagserfahrungen bei der visuellen Wahrnehmung richtig interpretiert werden kann. Für eine nutzergesteuerte

Datenanalyse müssen darüber hinaus Interaktionsmethoden gefunden werden, die es erlauben, den Analyseprozess zielorientiert zu steuern. Dabei sollte der Nutzer einerseits sein a-priori Wissen optimal in den Analyseprozess einbringen und andererseits auf intuitiv bedienbare Interaktionswerkzeuge zurückgreifen können.

Unserer Ansicht nach können Verfahren der direkten Volumenvisualisierung diese Vorgaben erfüllen. Im Gegensatz zu oberflächenbasierten Verfahren bieten Volume Rendering Verfahren erweiterte Möglichkeiten bei der 3D-Bildanalyse. Bei der direkten Volumenvisualisierung ist es möglich Oberflächen darzustellen, gleichzeitig aber auch transparent sichtbar zu machen und so den Blick auf tiefer gelegene Strukturen freizugeben. Durch entsprechende Definition der Transferfunktion (d.h. der Abbildung der Funktionswerte auf Farbe und Durchsichtigkeit) können Teilstrukturen in ihrer Umgebung dargestellt werden. Arbeiten auf dem Gebiet der Spezifikation von Transferfunktionen [1] haben gezeigt daß es möglich ist, die Parameter der Darstellung interaktiv zu steuern und damit eine Exploration der Daten zuzulassen. Zudem müssen Objekte nicht vollständig extrahiert sein, um visualisiert werden zu können. Damit bieten diese Verfahren die Möglichkeit besonders interessierende Informationen schrittweise „herauszuarbeiten".

Eine Interpretation auf der Grundlage von räumlich visualisierten Daten scheitert in der Praxis oft an den aufwendigen Interaktionsschritten, z.B. bei der Bestimmung der Transferfunktion oder der Auswahl von Beleuchtungsmodellen, die als Eingabeparameter für die Visualisierungsverfahren benötigt werden. Dabei stellt sich speziell die histogrammbasierte Suche nach einer Transferfunktion für den Nutzer als Problem dar.

2 Strukturspezifikation

Man kann medizinische Volumendaten als Ansammlung unterschiedlicher Teilstrukturen auffassen. Wenn man von der Aufgabe ausgeht, ohne eine vorhergehende Segmentierung eine dieser Teilstrukturen zu visualisieren und zu analysieren, steht man vor dem Problem der Informationsreduktion.

In dem von uns implementierten System zur 3-D Datenanalyse wählt der Nutzer, in einem ersten Interaktionsschritt auf der ihm bekannten 2D-Schnittbilddarstellung des Volumendatensatzes eine Region aus, die die gesuchte Struktur enthält. Dabei wird durch Angabe eines Kreises ein kugelförmiger Volumenausschnitt als Region of Interest definiert. Die Definition einer solchen Region ist durch Angabe von Mittelpunkt und Punkt auf der Kugeloberfläche durch zwei einfache Mausklicks möglich und wurde deshalb dem herkömmlichen Setzen von Cropping-Planes zur Eingrenzung einer ROI vorgezogen. Des weiteren wird auf diese Weise optimal auf das a-priori Wissen des Mediziners zurückgegriffen, der, aufgrund seiner Kenntnisse über die Anatomie, sowohl einen Punkt im Zentrum einer darzustellenden Struktur als auch eine Regionengrenze markieren kann, von der er weiß, daß sie sich außerhalb der gesuchten Struktur befindet.

3 Generierung der Transferfunktion

Als zweiter Schritt muß eine Transferfunktion gefunden werden, die nur diese spezielle Struktur hervorhebt. Bisher bekannte Verfahren zur automatischen Generierung der Transferfunktion [2,3] basieren im wesentlichen auf der statistischen Auswertung der Grauwertverteilung im zu visualisierenden Volumen. Für die Bestimmung der Transferfunktion wurde ein Ansatz gefunden, der für eine zu visualisierende Struktur die räumliche Nachbarschaft der zugehörigen Volumenelemente ausnutzt und nicht auf der üblichen histogrammbasierten Suche beruht.

Für die zu visualisierende Struktur wird vorausgesetzt, daß sie sich durch Erfüllung eines Homogenitätskriteriums von ihrer Umgebung abgrenzen läßt. Das bedeutet in vielen Fällen, daß die Grauwerte, auf die die Struktur im aktuellen Datensatz abgebildet wird, in einem ganz bestimmten Intervall liegen. Genau die Grenzen dieses Intervalls benötigt man beim Volume Rendering für die Transferfunktion, um die Struktur darstellen zu können. Die exakten Grenzen dieses Intervalls lassen sich aus dem Histogramm des Datensatzes schwer abschätzen. Deshalb wird der Arzt bei unserem Verfahren dabei unterstützt, indem automatisch Schätzwerte für diese Grenzen ermittelt werden. Er muß dazu nur einen Punkt angeben, dessen nähere Umgebung innerhalb der gesuchten Struktur liegt. Von diesem Voxel aus wird ein adaptives Regionenwachstum gestartet, welches in [4] näher erläutert ist. Dieses Verfahren wurde für die Anwendung in 3-D Strukturen erweitert und zur Generierung der Transferfunktion eingesetzt. Dabei wird davon ausgegangen, daß für den Grauwert eines zu visualisierenden Objektes ein Erwartungswert existiert, der im realen Bildmaterial durch verschiedene Einflüsse wie Rauschen und Shading gestört ist.

Durch ein randomisiert gesteuertes Wachstum der Region um den Startpunkt herum wird eine Schätzung des Grauwertintervalls erzeugt, das das Objekt kennzeichnet. Das Regionenwachstum wird abgebrochen, wenn eine ausreichende Anzahl Voxel zum Objekt gehören und sich die Schätzung für die Schwellwerte nicht mehr signifikant verändert. In Tabelle 1 sind die Schätzwerte für ausgewählte Wachstumsschritte einer Region dargestellt.

Regionengröße	**Mittelwert**	**untere Abweichung**	**obere Abweichung**
54 Voxel	131	25.27	4.21
108 Voxel	127	17.62	5.95
216 Voxel	130	14.76	4.19
432 Voxel	131	12.61	3.81
864 Voxel	129	10.05	4.90
1728 Voxel	127	8.08	5.82
3456 Voxel	127	7.20	5.60
6912 Voxel	127	6.54	5.24
13824 Voxel	127	6.21	5.55

Tabelle 1 Anpassung der Werte bei Vergrößerung der Region

Um die räumliche Ausdehnung der Region zu verdeutlichen, zeigt Abb.1 verschiedene Zwischenschritte beim Wachstum des Bereiches, aus dem die Schätzwerte ermittelt werden.

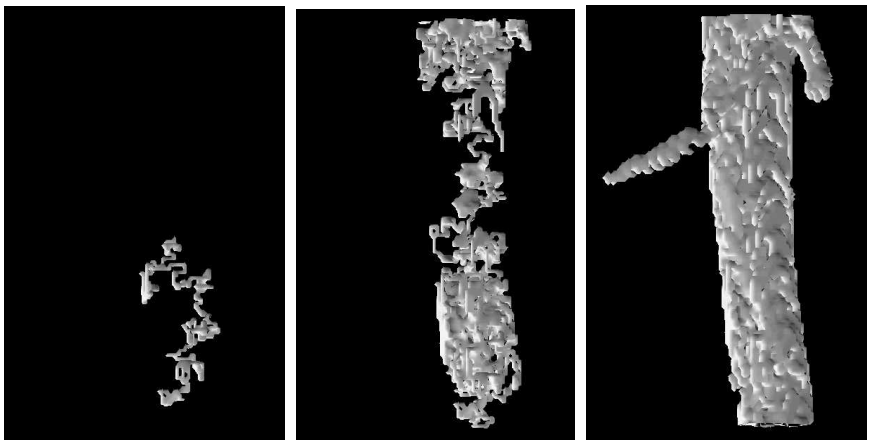

Abb. 1 Zwischenschritte beim Wachstum der 3D-Region (432, 6912, 27648 Voxel) zur Schätzung des Grauwertintervalles einer Struktur

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, das hierbei das Regionenwachstum nicht zur Segmentierung, sondern nur zur Schätzung von Parametern für eine direkte Volumenvisualisierung eingesetzt wird.

Das gefundene Grauwertintervall wird auf drei unterschiedliche Formen der Opazitätsfunktion für die direkte Volumenvisualisierung abgebildet. Hierbei wird auf solche Verläufe der Transferfunktion zurückgegriffen, die es erlauben, unterschiedliche Eigenschaften des Objektes zu analysieren. Die Abbildung der Grauwerte auf die Transparenz erfolgt dabei konstant innerhalb des gefundenen Grauwertintervalls (a), linear ansteigend mit dem Maximum am Erwartungswert (b) und linear ansteigend zwischen unterer und oberer Intervallgrenze.

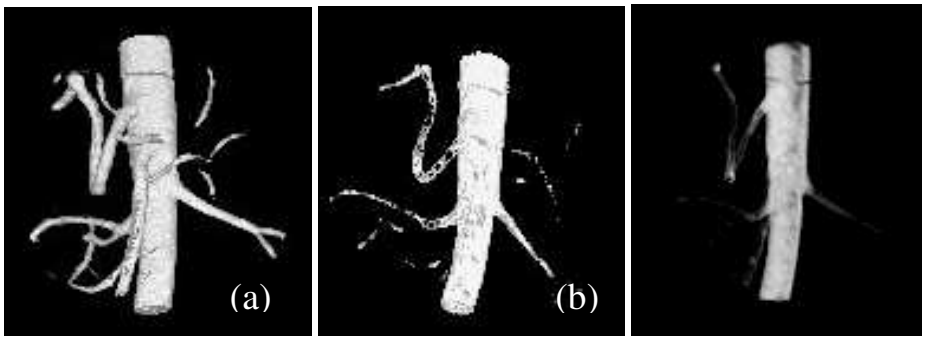

Abb. 2 Unterschiedliche Darstellungen der Aorta abdominalis durch Variation der Transferfunktion

In Abb.2 links wurde das Intervall mit einer konstant niedrigen Transparenz visualisiert, womit die Oberflächen der Struktur besonders hervorgehoben werden. Wenn die Randbereiche des Intervalls durchsichtiger eingestellt werden, ergeben sich Darstellungen wie Abb. 2 Mitte, die auf sicher zur Struktur gehörende Werte schließen lassen. Abb 2 rechts zeigt eine halbtransparente Darstellung aller Werte und erzeugt somit eine Darstellung, auf der dichte und weniger dichte Bereiche innerhalb der Struktur erkennbar sind. Diese 3 Darstellungen werden in dem von uns implementierten System standardmäßig erzeugt und geben unserer Meinung nach charakteristische Gewebeeigenschaften einer Struktur wieder. Zusätzlich hat der Nutzer die Möglichkeit, den Verlauf der Transferfunktion in vorgegebenen Grenzen zu verändern, wobei aber die jeweils charakteristische Form beibehalten wird.

4 Ergebnisse und Ausblick

Mit Hilfe des adaptiven Regionenwachstums ist es möglich, ausgehend von der Definition einer Region of Interest und eines Startpunktes, automatisch eine Initialisierung der Transferfunktion für die direkte Volumenvisualisierung zu erzeugen.

In unserer Beispielimplementation ist es dem ungeübten Anwender möglich mit wenigen, intuitiven Interaktionsschritten unterschiedliche Gewebeeigenschaften herauszuarbeiten und die gesuchte Struktur zu analysieren, wobei bei Rotation und Skalierung des Objektes interaktive Bildwiederholraten erreicht werden.

Die Methode wurde bei MRT-Datensätzen angewendet, um Blutversorgungssysteme und Läsionen im Gehirnbereich zu visualisieren. Dabei konnte festgestellt werden, daß damit, in Verbindung mit der Markierung einer Region of Interest, eine nutzergesteuerte Exploration der entsprechenden Strukturen möglich ist.

Weitere Arbeiten auf diesem Gebiet werden die gleichzeitige Analyse von mehreren Teilstrukturen und die hierfür erforderliche Integration von Visualisierungsparametern in die Datenrepräsentation betreffen.

5 Literatur

1. Castro S, König A, Löffelmann H, Gröller E: Transfer Function Specification for Visualization of Medical Data: TU-Wien, Technical Report TR-186-2-98-12, März 1998.
2. Fang S, Biddlecome T, Tuceryan M, Image-Based Transfer Function Design for Data Exploration in Volume Visualization , Proc. IEEE Visualization'98, S. 319-326, 1997.
3. Kindlmann G, Semi-Automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering: IEEE 1998 Symposium on Volume Visualization, S. 79-86.
4. Pohle R, Tönnies K,: Einsatz eines adaptiven Regionenwachstunsverfahrens zur semiautomatischen und automatischen Segmentierung von medizinischen Bilddaten. Bildverarbeitung für die Medizin 2001, Lübeck, angenommener Beitrag