

Illustrative Rendering-Techniken für die medizinische Ausbildung und Therapieplanung

Christian Tietjen¹, Tobias Isenberg^{1,2} und Bernhard Preim¹

¹Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

²Department of Computer Science, University of Calgary, Canada

Zusammenfassung. Illustrationen spielen eine wichtige Rolle in der medizinischen Ausbildung. In diesem Beitrag stellen wir Methoden vor, die auf der Basis von patientenindividuellen Daten die Kombination von Liniengraphiken mit Oberflächen- und Volumenvisualisierung erlauben. So ermöglichen wir die Betonung von Objektgrenzen durch Silhouetten und die Hervorhebung von Fokusobjekten. Als Anwendungsgebiete sehen wir die computergestützte Chirurgieausbildung und Therapieplanung. Wir stellen weiterhin die Ergebnisse einer Nutzerstudie sowohl mit Medizinern als auch medizinischen Laien vor, die Indizien für die Nützlichkeit der neuen Technik liefert.

1 Einleitung

In medizinischen Atlanten werden didaktisch aufbereitete Illustrationen genutzt, die komplexe Sachverhalte verständlich präsentieren. Die klare Abgrenzung von Objekten durch Silhouetten und die Veranschaulichung von Objektformen durch Schraffuren sind Beispiele für die erreichbaren Effekte. Illustrationstechniken machen es auch möglich, Strukturen mit besonderer Bedeutung (den Fokus) gegenüber anderen Objekten (dem Kontext) hervorzuheben.

Die konventionellen Verfahren zur 3D-Visualisierung von segmentierten Bilddaten sind nicht ausreichend, um (z. B. ein vom Benutzer selektiertes) Fokusobjekt und Kontext angemessen darzustellen. Im wesentlichen wird die Transparenz genutzt, um Fokusobjekte sichtbar zu machen. Dabei ist es allerdings schwierig, ein geeignetes Maß an Transparenz festzulegen. Entweder ist der Fokus kaum zu erkennen oder der Kontext ist so stark transparent, dass die Objektform kaum erkennbar ist. Typische Beispiele für Fokusobjekte sind Gefäßstrukturen und Tumoren; typische Kontextobjekte sind Organe.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Vorteile interaktiver 3D-Graphiken mit dem Potenzial von Illustrationen zu verknüpfen. Dabei sollen die illustrativen Rendering-Techniken, die verbreiteten Verfahren der medizinischen Visualisierung (Oberflächen- und Volumen-Visualisierung) ergänzen.

2 Stand der Forschung

In der Computergraphik werden seit 1990 linienhafte Darstellungen von 3D-Modellen generiert. Als wichtige Anwendung wurde auch die medizinische Illustration genannt. Es wurde allerdings nicht überprüft, ob damit ein Nutzen

für medizinische Anwendungen verbunden ist und ob der Nutzen den Aufwand rechtfertigt.

Rheingans et al. haben nicht-photorealistische Methoden für das Volumen-Rendering (von CT-Daten) vorgestellt [1]. So wurden z. B. Silhouetten an starken Gradienten bestimmt. Diese Techniken sind nur anwendbar, wenn starke Gradienten vorliegen, z.B. an der Luft-Haut-Grenze. Bessere Ergebnisse erreichten Kindlman et al., indem sie die Krümmung von Strukturen in den Volumendaten approximierten. Silhouetten wurden dabei genutzt, um Krümmungen zu veranschaulichen [2]. Eine flexible und zugleich sehr performante Realisierung von Liniengraphiken aus Volumendaten wurde in [3] vorgestellt. [4] nutzen hingegen Segmentierungsinformationen und ermöglichen die Kombination von linien- und flächenhafter Volumen-Darstellung in einem Volumen-Renderer. Allerdings werden Strukturen auch hier ausschließlich mittels Volumen-Rendering dargestellt. Die Vorteile der objektbasierten Liniengraphiken werden auch hier nicht genutzt.

Viola et al. passen das Volumen-Rendering so an, dass die einzelnen Strukturen je nach Wichtigkeit bevorzugt dargestellt werden [5].

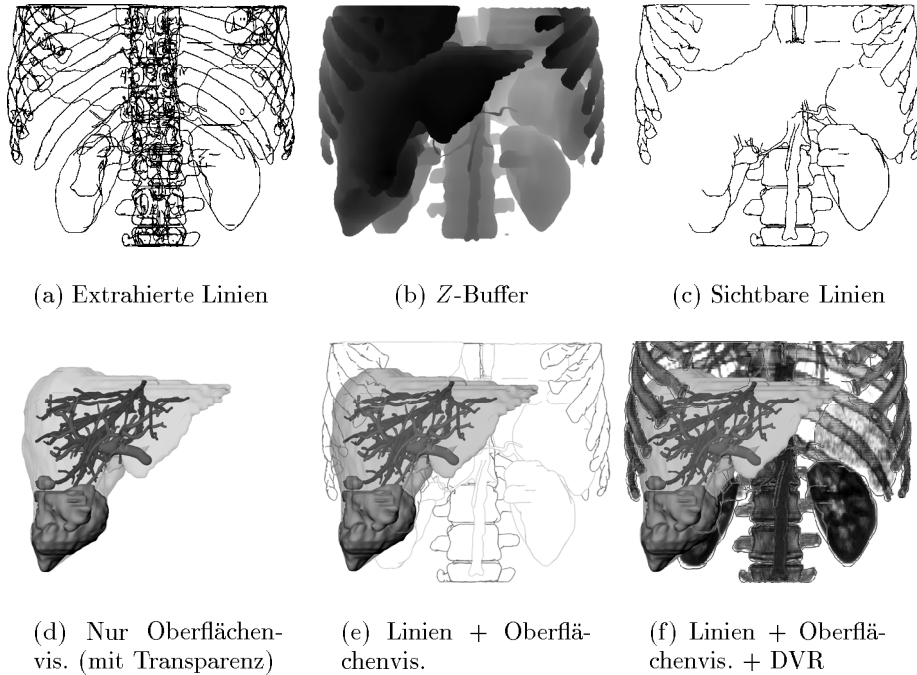
3 Kombination von Linien-, Oberflächen- und Volumenvisualisierung

In unserem System werden Liniengraphiken für die Darstellung patientenindividueller Daten erprobt. Liniengraphiken lassen sich objekt- oder bildbasiert generieren. Der bildbasierte Ansatz ist zwar wesentlich schneller, jedoch lassen sich die extrahierten Linien nicht parametrisieren und somit kaum für Illustrationszwecke einsetzen. Daher verwenden wir einen objektbasierten Ansatz. Dies ermöglicht sowohl eine Parametrisierung der extrahierten Linien als auch eine gesonderte Darstellung verdeckter Linien. Linien-, Oberflächen- und Volumen-Rendering werden dabei innerhalb eines Szenengraphen kombiniert. Dadurch lässt sich die Visualisierung der einzelnen Strukturen flexibel parametrisieren. Der objektbasierte Ansatz der Erstellung von Liniengraphiken erschwert jedoch auch die Kombination mit den anderen Rendering-Verfahren. Die Anordnung der Szenengraphenknotten muss daher sorgfältig gewählt werden, um eine korrekte Zeichenreihenfolge zu gewährleisten.

Die Silhouettengenerierung und deren Sichtbarkeitsbestimmung basiert auf der in [6] beschriebenen Methode. Dabei werden Silhouettenkanten eines polygonalen Modells als die Kanten bestimmt, die sichtbare und nicht sichtbare Polygone verbinden. Das Verfahren ist sehr effizient, so dass bei einer Rotation der Objekte sehr schnell deren Silhouetten neu berechnet werden. Zusätzlich werden sichtrichtungsunabhängige Merkmalslinien bestimmt, die dadurch charakterisiert sind, dass der Winkel zwischen den Normalen benachbarter Polygone einen Schwellwert überschreitet. Die Darstellung von Merkmalslinien dient der Betonung stark gekrümmter Bereiche. Die extrahierten Kanten werden anschließend zu langen, parametrisierbaren Linienzügen verbunden.

Bei unserem objektbasierten Ansatz wird die Szene in zwei Schritten gerendert. Zunächst wird die Tiefeninformation der gesamten Szene in einen gesonder-

Abb. 1. Rendern hybrider Graphiken. Im ersten Schritt werden Linien extrahiert (a) und dann mit Hilfe des z -Buffers (b) deren Sichtbarkeit bestimmt (c). Danach erfolgt die Oberflächenvisualisierung (d), die vorher bestimmten Linien werden darüber gezeichnet (e) und abschließend das direkte Volumenrendering (DVR) hinzugefügt (f).



ten Speicher (z -Buffer) gerendert, um die Sichtbarkeit der extrahierten Linien zu bestimmen (Abb. 2(a)–2(c)). Anschließend wird die Szene normal gerendert (Abb. 2(d)) und mit den extrahierten Linien angereichert ((Abb. 2(e)). Die Implementierung erfolgte auf der Basis von OpenNPAR [7]. Für das abschließende Volumen-Rendering wurde MeVisLab [8] genutzt (Abb. 2(f)).

Für verschiedene Kategorien anatomischer und pathologischer Strukturen (z. B. Organe, Gefäßsysteme und pathologische Veränderungen) wurden vordefinierte Visualisierungsparameter empirisch bestimmt, um den Interaktionsaufwand zu reduzieren und die Reproduzierbarkeit zu verbessern.

4 Evaluierung

Um die Akzeptanz und die Nützlichkeit der vorgestellten Methoden zu testen, wurde eine informelle Evaluierung durchgeführt. Dabei wurden Szenarien und Bilder aus der Entwicklung des LiverSurgeryTrainers genutzt [9]. Die Evaluierung basierte auf einem Vergleich einer Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen von Renderingparametern. Unter anderem wurden die Bilder aus Abb. 2

Abb. 2. Auswahl von Visualisierungen, die mit dem System erzeugt wurden. In allen Fällen befindet sich die Leber mit einem Tumor im Fokus und verwendet Oberflächenvisualisierung. Fokusnahe und Kontextobjekte werden mit Hilfe verschiedener Kombinationen von teilweise farbigen Linien, Oberflächenvisualisierung und direktem Volumen-Rending dargestellt.



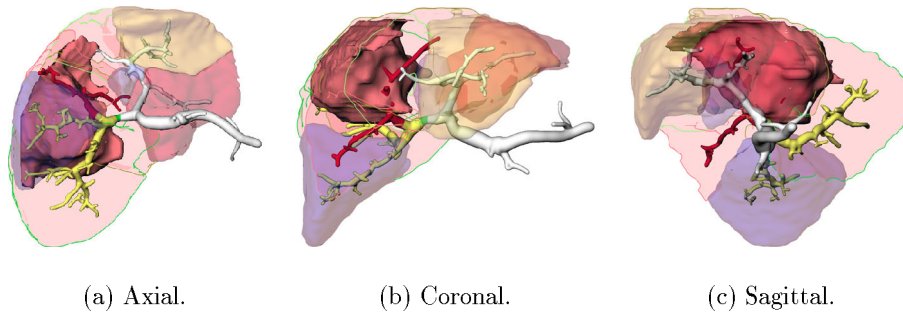
und 3 verwendet. 8 Chirurgen und 25 Laien wurden dabei befragt und die Ergebnisse getrennt nach diesen Gruppen ausgewertet.

Die Definition von Standardwerten für die Darstellung von Organen, Gefäßen, Knochen und Tumoren basiert auf dieser Befragung. Dabei hat sich gezeigt, dass Silhouettenlinien, die sich in ihrer Darstellung nicht an die Tiefe anpassen, als flach empfunden werden und daher als alleinige Rendering-Technik ungünstig sind. Die Kombination von stark transparenten (beleuchteten) Oberflächen mit Silhouetten ist günstig für größere Objekte, die den Kontext darstellen (Organe, Knochen). Die Darstellung von Fokusobjekten kann verbessert werden, wenn die Merkmalslinien ebenfalls dargestellt werden (Abb. 3).

Bei der Befragung von Nichtmediziner hat die Verwendung von illustrativen Techniken sehr gute Ergebnisse erzielt. Die Testpersonen sollten dabei Bilder vergleichen und ihre Präferenz ausdrücken. 18 der 25 Befragten wählten ein Bild, in dem Liniengraphiken mit anderen Darstellungstechniken kombiniert waren.

5 Diskussion

Die beschriebenen Visualisierungstechniken sind breit anwendbar. Sie wurden vorrangig für die medizinische Lehre entwickelt, wobei patientenindividuelle klinische Daten verwendet werden. Die Visualisierungstechniken sind aber auch für die Operationsplanung und für die Patientenaufklärung sinnvoll nutzbar.

Abb. 3. Visualisierung Tumor-infiltrierter Gebiete einer Leber durch farbige Linien.

Silhouetten- und Merkmalslinien haben sich bei der Darstellung von stark transparenten Kontextobjekten als sinnvoll erwiesen.

Da der Schichtabstand medizinischer Volumendaten meist größer ist als die Auflösung in den Schichten, entstehen Aliasing-Artefakte bei der Generierung der polygonalen Modelle aus den Segmentierungsergebnissen mit dem Marching Cubes-Algorithmus. Diese Artefakte werden durch Silhouetten betont. Um diese störenden Effekte zu beseitigen, ist die Interpolation von Zwischenschichten oder eine Oberflächengenerierung mit einer Interpolationsfunktion höherer Ordnung nötig.

Literaturverzeichnis

1. Rheingans P, Ebert D. Volume Illustration: Nonphotorealistic Rendering of Volume Models. *IEEE Trans Vis Comp Graph* 2001;7(3)(3):253–264.
2. Kindlmann G, Whitaker R, Tasdizen T, Moeller T. Curvature-Based Transfer Functions for Direct Volume Rendering: Methods and Applications. In: *Procs IEEE Visualization*. IEEE; 2003. p. 513–520.
3. Nagy Z, Schneider J, Westermann R. Interactive Volume Illustration. In: *Procs Vision, Modelling and Visualization*; 2002. p. 497–504.
4. Hadwiger M, Berger C, Hauser H. High-Quality Two-Level Volume Rendering of Segmented Data Sets on Consumer Graphics Hardware. In: *Procs IEEE Visualization*. IEEE; 2003. p. 301–308.
5. Viola I, Kanitsar A, Gröller ME. Importance-Driven Volume Rendering. In: *Proc. IEEE Visualization 2004*. IEEE; 2004. p. 139–145.
6. Isenberg T, Halper N, Strothotte T. Stylizing Silhouettes at Interactive Rates: From Silhouette Edges to Silhouette Strokes. *Computer Graphics Forum* 2002;21(3)(3):249–258.
7. Halper N, Isenberg T, Ritter F, Freudenberg B, Meruvia O, et al. OpenNPAR: A System for Developing, Programming, and Designing Non-Photorealistic Animation and Rendering. In: *Proc. Pacific Graphics*. IEEE; 2003. p. 424–428.
8. Hahn HK, Link F, Peitgen HO. Concepts for Rapid Application Prototyping in Medical Image Analysis and Visualization. In: *Simulation und Visualisierung*. SCS; 2003. p. 283–298.
9. Bade R, Mirschel S, Oldhafer KJ, Preim B. Ein fallbasiertes Lernsystem für die Behandlung von Lebertumoren. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*. Informatik aktuell. Springer-Verlag; 2004. p. 438–442.