

Segmentierungsfreie Visualisierung des Gehirns für direktes Volume Rendering

Johanna Beyer¹, Markus Hadwiger¹, Stefan Wolfsberger², Christof Rezk-Salama³ und Katja Bühler¹

¹ VRVis Research Center

² Abteilung für Neurochirurgie, Medizinische Universität Wien

³ Computergraphik und Multimediasysteme, Universität Siegen

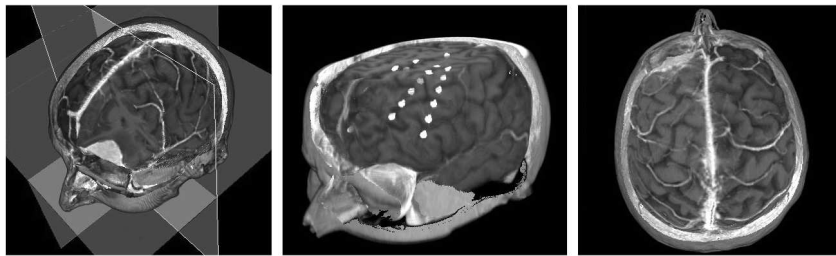


Abb. 1. Schnelle, segmentierungsfreie Visualisierung des Gehirns.

Zusammenfassung. Direktes Volume Rendering (DVR) ist eine wichtige Technik zur 3D Visualisierung medizinischer Volumendaten, wie etwa von MRT oder CT Scans. Eines der größten Probleme des direkten Volume Rendering ist dabei die Verdeckung von möglicherweise interessanten Bereichen durch davor liegende Strukturen mit demselben Intensitätsbereich. Um etwa ein Gehirn zu visualisieren, das in einem MRT Datensatz abgebildet ist, musste man bisher auf eine Vorsegmentierung (das sogenannte Skull Stripping) zurückgreifen. In der vorliegenden Arbeit wird eine schnelle und direkte Methode zur Volumsvisualisierung des Gehirns vorgestellt, die keine vorherige Segmentierung des Gehirns benötigt. Dafür wird die Methodik des vor kurzem präsentierten “Opacity Peeling” erweitert und angepasst um optimal den (Robustheits-) Anforderungen neurochirurgischer Anwendungen zu genügen.

1 Einleitung

In der heutigen klinischen Praxis wird direktes Volume Rendering (DVR) zur 3D Darstellung von Bilddaten bereits routinemäßig eingesetzt. Der Vorteil von DVR [1] gegenüber Oberflächenvisualisierungen ist der höhere Informationsgehalt der Bilder. Dabei bilden Transferfunktionen den Messwert der Originaldaten auf Farben und Opazitäten ab um möglichst aussagekräftige Bilder zu generieren. Bei räumlich getrennten Bereichen eines Datensatzes mit gleichem Intensitätswert ist eine unterschiedliche Darstellung durch Transferfunktionen jedoch

nicht möglich, und es kommt zur Verdeckung der hinterliegenden Strukturen. Ein Beispiel dafür sind MRT Datensätze des Kopfes, bei dem das Gehirn durch gleiche Messwerte stets von weiter aussen liegendem Gewebe verdeckt wird. Eine Möglichkeit zur Visualisierung des Gehirns bietet das Skull Stripping, eine Vorsegmentierung des Datensatzes. Dies ist allerdings im klinischen Alltag oft noch nicht in der benötigten Qualität und Robustheit verfügbar.

Diese Arbeit beschreibt einen segmentierungsfreien Ansatz, der darauf basiert, dass das Problem der Verdeckung von der Betrachtungsposition abhängig ist. Das kürzlich vorgestellte Opacity Peeling [2] nützt genau diese Eigenschaft um, basierend auf Opazitätswerten, äußere Strukturen zu überspringen und dadurch innere Strukturen sichtbar zu machen. Unsere Arbeit basiert auf diesem Verfahren, orientiert sich aber an den Anforderungen neurochirurgischer Anwendungen, das Gehirn aus einem MR Datensatz möglichst schnell, ohne Benutzerinteraktion, robust und in hoher Qualität darstellen zu können. Zusätzliche Anwendungen sind die Darstellung von implantierten Elektroden vor Epilepsieoperationen und Tumore an der Hirnoberfläche (siehe Abb. 1).

2 Stand der Forschung und wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag

Seit der Publikation von direktem Volume Rendering (DVR) 1988 [1] wurden viele verschiedene Ansätze für DVR beschrieben. Seit dem Aufkommen programmierbarer Grafikkarten (GPUs) wurden schnellere, hardware-basierte Lösungen entwickelt, wie etwa GPU-basiertes Raycasting [3].

Um das Gehirn aus MRT Daten in hoher Qualität zu rendern, musste bisher auf Segmentierung zurückgegriffen werden. Die Komplexität des Skull Stripping erkennt man jedoch bereits an der Anzahl der existierenden Methoden. In [4,5] werden verschiedene Ansätze beschrieben und ihre Performance evaluiert.

Opacity Peeling [2] wurde kürzlich präsentiert und ist eine DVR Methode basierend auf Raycasting zur Visualisierung verdeckter Strukturen. Sobald die akkumulierte Opazität eines Strahls einen Schwellwert T_1 übersteigt, werden Farb- und Opazitätswert gespeichert und dann zurückgesetzt. Erst wenn der Opazitätswert des aktuellen Samples unter einen Schwellwert T_2 sinkt, wird mit der Akkumulierung fortgefahren. So können verschiedene Schichten des Datensatzes in einem Renderdurchlauf berechnet und anschließend dargestellt werden. Confocal Volume Rendering [6] ist eine positionsabhängige Methode zur Visualisierung tiefer liegender Strukturen, bei der erst ab einer gewissen Tiefe und nur für eine benutzerdefinierte Länge das Volumen dargestellt wird. Bruckner et al. [7] haben illustratives kontexterhaltendes DVR vorgestellt, bei dem eine Funktion aus Shading, Gradientenbetrag, Distanz zum Augpunkt und akkumulierte Opazität die Transparenz in gewissen Bereichen erhöht.

Bei all diesen Methoden zur selektiven Darstellung von verdeckten Strukturen ist jedoch das Ergebnis der Visualisierung kaum vorhersagbar oder kontrollierbar. So kann sich die Größe des Gehirns durch kleine Schwellwertänderungen

gravierend ändern, was speziell im medizinischen Bereich gefährlich ist. Diese Problematik wird durch die hier vorgestellte Methode behoben.

Unser Ansatz ist für die Neurochirurgie entwickelt und stellt schnell und ohne komplizierte Benutzereingaben das Gehirn aus MR Daten dar. Die beschriebene Methode basiert auf der Idee des Opacity Peeling, verwendet aber zusätzliche Informationen aus einem registrierten CT Volumen. In vielen neurochirurgischen Fällen stellt dies keinen erhöhten Akquisitionsaufwand dar, da ein CT schon für die intraoperative Navigation vorhanden ist. Durch dieses Zusatzvolumen fallen die Benutzereingaben des herkömmlichen Opacity Peelings weg, wodurch die Qualität und Sicherheit der Visualisierung erhöht wird. Die Größe des Gehirns kann also durch veränderte Schwellwerte nicht mehr variieren. Zusätzlich können implantierte Elektroden zur Epilepsiediagnose aus registrierten CTs ebenfalls in Echtzeit visualisiert werden. Zur Operationsplanung kann ein operativen Zugang zum Gehirn simuliert werden, indem nur ein Teil des Gehirns freigelegt wird.

3 Methoden

3.1 Basis-Algorithmus

Unser Algorithmus basiert auf GPU-basiertem Raycasting [8], wobei MRT und CT Datensatz gleichzeitig geladen werden. Der Algorithmus akkumuliert Farb- und Opazitätswerte des MRTs. Zusätzlich wird bei jedem Abtastwert der Strahls auch der Wert aus dem registrierten CT bestimmt. Übersteigt dieser den Schwellwert für den Knochen, wird das Sample als Knochen gewertet. Nach Verlassen der ersten aufgefundenen Knochenschicht werden nun Farb- und Opazitätswerte des Strahls zurückgesetzt und neu akkumuliert, wodurch das Gehirn sichtbar wird. Dieser Basis-Algorithmus funktioniert gut für Fälle bei denen das Gehirn von Knochen umgeben ist. Der Ansatz ist frei von Benutzereingaben und löst somit das Problem des original Opacity Peelings, bei dem die Schwellwerte Auswirkungen auf die sichtbare Größe des Gehirns haben. Ist das Volumen allerdings durch Clipping angeschnitten, treten Probleme auf. Da alle Bereiche vor dem Knochen quasi übersprungen werden, werden nur Strukturen hinter dem ersten Auftreten von Knochen dargestellt. Falls das Gehirn jedoch von keinem Knochen mehr umgeben ist (z.B. durch Clipping), wird es übersprungen und erst das Gewebe ausserhalb des Schädels wieder angezeigt (siehe Abb. 2, Mitte). Die Lösung dieses Problems wird im nächsten Abschnitt behandelt.

3.2 Clipping

Damit bei geclippten Volumen, ohne Knochen vor dem Gehirn, nicht das ganze Gehirn übersprungen wird, erweitern wir den Algorithmus. Dazu wird der erste Treffpunkt des Strahls mit dem zu rendernden Volumen gespeichert. Wenn nun innerhalb eines bestimmten Abstandes zu diesem Punkt der Strahl nicht auf Knochen trifft, wird standard DVR durchgeführt. Dies führt zu einem korrekten Rendering bei geclippten Volumen (siehe Abb. 2, Rechts).

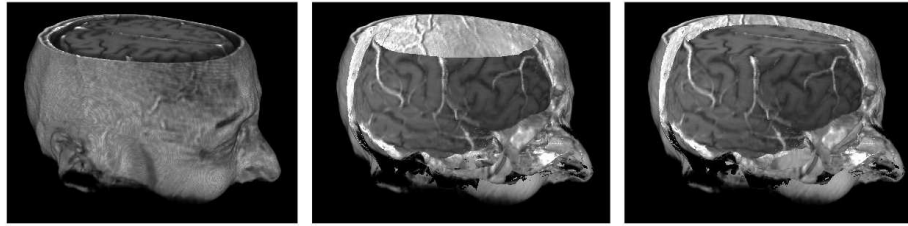


Abb. 2. Links: Original Rendering. Mitte: Problem des Clippings. Rechts: Korrekt geclipptes Volumen.

3.3 Visualisierung von Elektroden

Für die Visualisierung von invasiven Elektroden, zur Lokalisierung von epileptischen Anfällen, werden diese mittels Schwellwertsegmentierung markiert. Da die implantierten Elektroden oft etwas in die Hirnoberfläche einsinken, wird die ausreichende Sichtbarkeit der Elektroden gewährleistet, indem Farb- und Opazitätswerte des Strahls bei dem ersten Auftreffen auf eine Elektrode zurückgesetzt werden, sofern der Opazitätswert nicht schon maximal ist (siehe Abb. 3, Mitte).

3.4 Simulation von Zugängen zum Gehirn

Für die Planung neurochirurgischer Zugänge wird der beschriebene Algorithmus nur auf einem benutzerdefinierten Bereich angewandt. Der Benutzer positioniert dabei eine kreisrunde Öffnung beliebigen Durchmessers, wodurch das Öffnen der Schädeldecke an der individuellen Anatomie simuliert wird (siehe Abb. 3, Rechts).

4 Ergebnisse

Der Algorithmus wurde auf einem Pentium IV 3,2 GHz PC und einer ATI X1800 Grafikkarte implementiert. Ein MR T1 Datensatz der Größe 512x512x154 kann dabei mit einer Geschwindigkeit von 14 fps dargestellt werden, was die Interaktivität unseres Ansatzes verdeutlicht. Durch unsere Methode ist es möglich die Ausbreitung oberflächlicher Tumore und umliegende Gefäße gut darzustellen (siehe Abb. 3, Links). Implantierte Elektroden zur Lokalisation von Epilepsiezentren sind in Abb. 3, Mitte zu sehen. Die Anwendung wurde in eine Umgebung für die 3D Planung neurochirurgischer Eingriffe integriert und getestet. Die einfache Art der Visualisierung, die eine langwierige Segmentierung des Gehirns überflüssig macht, wurde von Ärzten begeistert aufgenommen, ebenso wie die gute Sichtbarkeit der Gefäße. Die hier beschriebene Visualisierung von oberflächlichen Tumoren und Elektroden wird nahezu täglich eingesetzt, eine systematische Evaluierung muss jedoch erst durchgeführt werden.

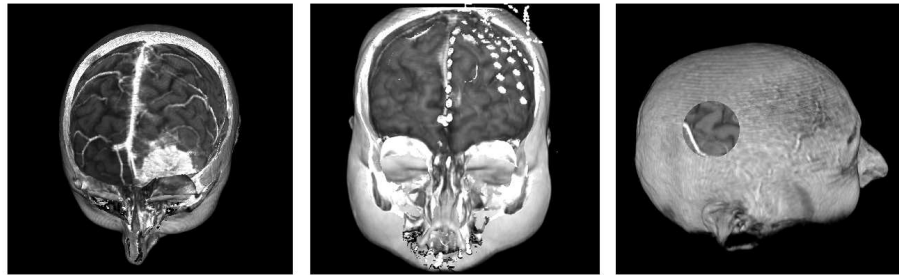


Abb. 3. Links: Tumor an der Hirnoberfläche. Mitte: Implantierte Elektroden. Rechts: Simulation eines Zugangs zum Gehirn.

5 Diskussion

Der vorgestellte Ansatz ist eine Methode zur schnellen, segmentierungsfreien Visualisierung des Gehirns aus MRTs. Eine Segmentierung des Gehirns wird dabei umgangen um mittels eines erweiterten Opacity Peelings verdeckte Strukturen zuverlässig anzuzeigen. Unsere Methode ist vor allem für zeitkritische Anwendungen gedacht, bei denen eine hochqualitative Segmentierung des Gehirns nicht möglich ist. Unser Ansatz ist nicht gänzlich frei von visuellen Artefakten (speziell im Bereich der Silhouette), eine Ausweitung des Verfahrens auf die Visualisierung anderer Strukturen, z.B. Gefäße innerhalb des Gehirns, ist jedoch denkbar.

Dieses Forschungsprojekt wurde durch das KPlus Projekt und AGFA Wien finanziert. Die Bilddaten stammen von der Abt. für Neurochirurgie der Med. Universität Wien.

Literaturverzeichnis

1. Levoy, M.: Display of surfaces from volume data. IEEE Comp. Graph. and Appl. **8** (1988) 29–37
2. Rezk-Salama, C., Kolb, A.: Opacity peeling for direct volume rendering. In: Proc. of Eurographics. (2006) 597–606
3. Krüger, J., Westermann, R.: Acceleration techniques for GPU-based volume rendering. In: Proc. of IEEE Visualization. (2003) 287–292
4. Atkins, M., Siu, K., Law, B., Orchard, J., Rosenbaum, W.: Difficulties of t1 brain mri segmentation techniques. In: Proc. of SPIE. Volume 4684. (2002) 1837–1844
5. Song, T., Angelini, E., Mensh, B., Laine, A.: Comparison study of clinical 3d mri brain segmentation evaluation. In: Proc. of IEEE EMBS. (2004) 1671–1674
6. Mullick, R., Bryan, R., Butman, J.: Confocal volume rendering: Fast segmentation-free visualization of internal structures. In: Proc. of SPIE. (2000) 144–154
7. Bruckner, S., Grimm, S., Kanitsar, A., Gröller, M.E.: Illustrative context-preserving volume rendering. In: Proc. of EuroVis. (2005) 69–76
8. Scharsach, H., Hadwiger, M., Neubauer, A., Wolfsberger, S., Bühler, K.: Perspective isosurface and direct volume rendering for virtual endoscopy applications. In: Proc. of EuroVis. (2006) 315–323