



Volumenvisualisierung auf handelsüblicher Grafik-Hardware

Volume Rendering Techniques for General Purpose Graphics Hardware

Christof Rezk Salama, Universität Siegen

Zusammenfassung Techniken der Volumenvisualisierung werden zur räumlichen Darstellung dreidimensionaler Skalarfelder benötigt, wie sie beispielsweise in der Medizin in Form von tomografischen Daten entstehen. Diese Arbeit beschäftigt sich mit Ansätzen, hochqualitative Bilder solcher Volumendaten in Echtzeit mithilfe handelsüblicher Grafikkarten zu erzeugen.

Summary Volume rendering techniques are required for visualizing three-dimensional scalar fields, as they arise for example from tomography measurement in medicine. This work investigates approaches for generating high quality images of such volume data sets in real time on commodity graphics boards.

KEYWORDS 1.3 [Computer Graphics] Scientific Visualization, Volume Rendering, GPU Programming

Maler und Bildhauer stellen ihre persönliche Wahrnehmung der Realität in Bildern und Skulpturen dar, die ihre individuellen Eindrücke und Gefühle widerspiegeln. Ähnlich den bildenden Künsten stellt die wissenschaftliche Visualisierung Informationen dar, die einer persönlichen Interpretation bedürfen. Im Gegensatz zu subjektiven Sinesindrücken sind es hier wissenschaftliche Daten, die dem Darstellungsprozess zugrunde liegen. In

Die Promotion erfolgte an der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, die sie zum GI-Dissertationspreis 2002 vorschlug. Die Gutachter waren Prof. Dr. Günther Greiner (Lehrstuhl für Graphische Datenverarbeitung, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg) und Prof. Dr. Thomas Ertl (Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart). Die im Verlauf der Promotion entwickelte Volume Rendering Software steht als Open Source Projekt *OpenQVis* (openqvis.sourceforge.net) für nicht-kommerzielle Zwecke zur freien Verfügung und wurde im Rahmen der *Software Offensive Bayerns* mit einem Sonderpreis ausgezeichnet.

beiden Fällen jedoch sollten ästhetische Ansprüche niemals vernachlässigt werden.

Als eine Folge der rasanten technologischen Entwicklung umfassen wissenschaftliche Daten heutzutage weit mehr Information als es überhaupt möglich ist, in einem statischen Bild zu vermitteln. Die wissenschaftliche Visualisierung entwickelt sich daher zu einem kreativen und explorativen Prozess, innerhalb dessen die Strukturen und Zusammenhänge, die in den Daten verborgen sind, aufgedeckt werden.

Meine Arbeit beschäftigt sich mit der Visualisierung dreidimensionaler Skalarfelder. Solche Volumendaten werden beispielsweise in der Medizin durch Computer- und Kernspintomographie gewonnen. Sie entstehen aber auch bei der numerischen Simulation komplexer Vorgänge in Naturwissenschaft und Technik.

Da die Analyse wissenschaftlicher Volumendaten einen hohen

Grad an Benutzerinteraktion erfordert, benötigen wir schnelle Darstellungsverfahren. Bisher musste man dazu auf Speziallösungen oder sehr teure Grafik-Workstations zurückgreifen. Nur sehr wenige Forschungseinrichtungen können sich derartige Systeme leisten. Der Fokus meiner Arbeit liegt daher auf Verfahren, interaktive und hochqualitative Volumenvisualisierung auf handelsüblicher PC-Hardware sowie auf Notebooks gehobener Klasse zu ermöglichen. Dabei werden spezielle Eigenschaften herkömmlicher Grafikkarten ausgenutzt, die hauptsächlich für den Computerspielmarkt entwickelt werden.

Moderne Grafikkarten verfügen über spezielle Prozessoren (GPUs), die sehr effizient Berechnungen ausführen, die aus einer abstrakten, polygonalen Szenenbeschreibung ein zweidimensionales Rasterbild generieren. Will man den Grafikprozessor zur Darstellung volumetrischer Daten nutzen, muss das Volumen

demnach in eine hohe Anzahl polygonaler Schichten zerlegt werden, die anschließend rasterisiert und mit der entsprechenden Bildinformation texturiert werden.

Für die Visualisierung soll das darzustellende Skalarfeld als ein dreidimensionales, optisches Medium interpretiert werden, das die Ausbreitung von Licht beeinflusst. Die Bildsynthese basiert dabei auf einem vereinfachten, physikalischen Modell des Lichttransports, das nur die aktive Emission und Absorption berücksichtigt, nicht jedoch die Streuung des Lichts. In diesem Fall muss die Absorption und Emission der Lichtenergie entlang von Sehstrahlen berechnet werden. Der Grafikprozessor wird dabei verwendet, um eine numerische Lösung des physikalischen Modells zu approximieren. Da dieser Prozessor im Gegensatz zum Hauptprozessor speziell für die Berechnung hochgradig parallelisierbarer Aufgaben entworfen wurde, können wir Bildraten erreichen, die es dem Benutzer erlauben, die Darstellungsparameter in Echtzeit zu verändern.

Um die Daten schließlich zu analysieren, muss der Benutzer die Möglichkeit haben, den Skalarwerten bestimmte optische Eigenschaften zuzuweisen. Dies wird durch eine Transferfunktion realisiert, die den skalaren Datenwert auf Emissions- und Absorptionskoeffizienten abbildet. Mit dem Einstellen der Transferfunktion (Klassifikation) bestimmt der Benutzer, welche Teilbereiche im Volumendatensatz ganz ausgeblendet werden sollen, welche Teile opak oder semi-transparent dargestellt werden und auch welche Farben die einzelnen Bereiche haben sollen. Bild 1 zeigt an einem Beispiel wie unterschiedliche Teilbereiche eines Datensatzes mit verschiedenen Einstellungen der Transferfunktion hervorgehoben oder ausgeblendet werden können. Die Transferfunktion wird üblicherweise anhand einer Farbtabelle spezifiziert und ist eines der wichtigsten Mittel zur Analyse des Datensatzes. Daher ist es notwen-

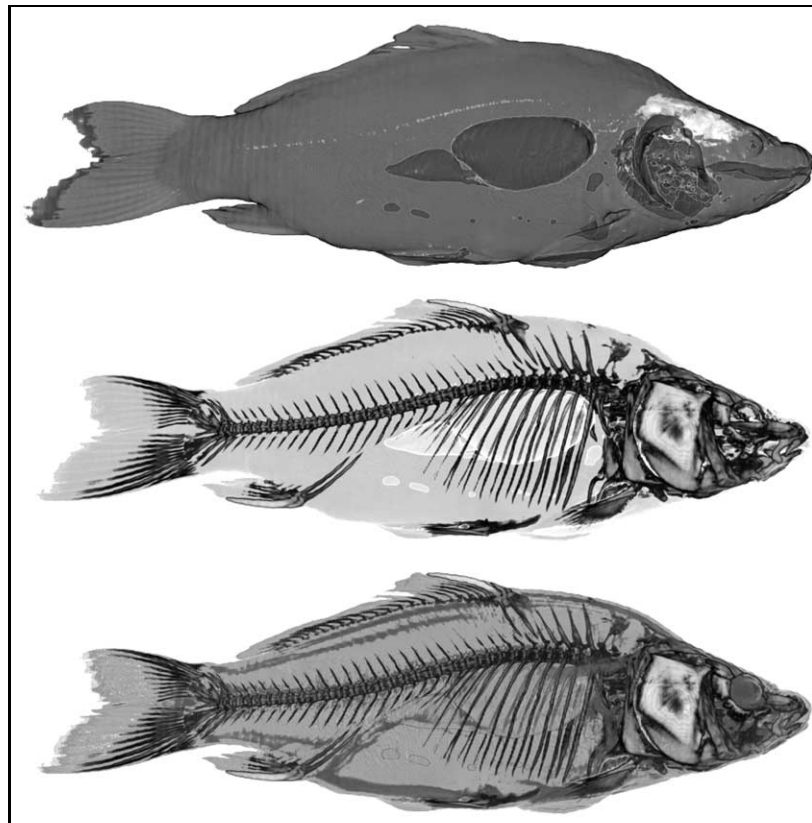


Bild 1 Die Wahl der Transferfunktion bestimmt die optischen Eigenschaften (z. B. Farbe und Transparenz) unterschiedlicher Bereiche im Datensatz. Beispiel Computertomographie eines Karpfens.

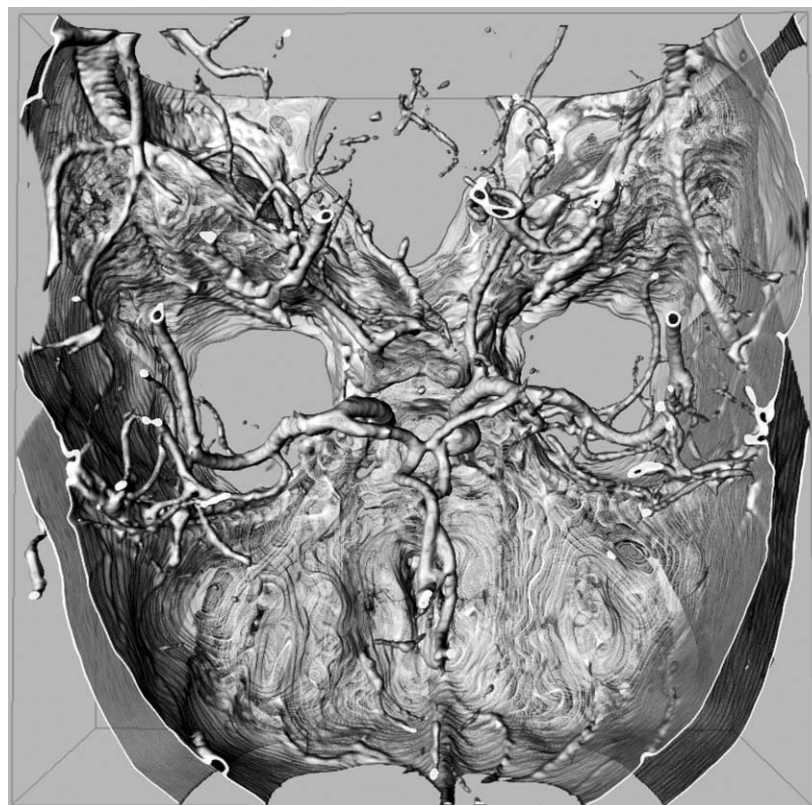


Bild 2 Volumenvisualisierung der Blutgefäße im menschlichen Gehirn (CT Angiographie, Daten der Abteilung für Neuroradiologie der Universitätsklinik Erlangen).



dig, dem Benutzer die Möglichkeit zu bieten, auch die Transferfunktion in Echtzeit zu modifizieren und das Ergebnis seiner Änderung unmittelbar auf dem Bildschirm zu betrachten. In meiner Arbeit habe ich unterschiedliche Möglichkeiten der Implementierung untersucht.

Für die Bildqualität ist es von entscheidender Bedeutung an welcher Stelle innerhalb der Verarbeitungskette die Klassifikation angewendet wird. Unter Präklassifikation versteht man die Anwendung der Transferfunktion vor der Rasterisierung. Die Implementierung ist denkbar einfach, es werden allerdings deutliche Bildfehler sichtbar, die dadurch entstehen, dass hohe Frequenzen in der Transferfunktion nicht korrekt abgebildet werden können. Die bessere Alternative ist daher die Anwendung der Transferfunktion nach der Rasterisierung, wenn bereits bekannt ist, welche Auflösung das Ergebnisbild haben wird (Postklassifikation). Die effiziente Implementierung der Postklassifikation ist aufwändig, da vorhan-

dene Mechanismen der Grafikkarte genutzt werden müssen, um die Abbildung der Skalarwerte innerhalb der Verarbeitungskette der Hardware zu realisieren.

Die entwickelten echtzeitfähigen Techniken ermöglichen die Visualisierung von Volumendaten auf kostengünstiger Hardware. Neben dem breiten Anwendungsgebiet Medizin (Bild 2) hat die erhöhte Verfügbarkeit der Verfahren bereits erfolgreich neue Anwendungsfelder erschlossen, beispielsweise in der angewandten Geologie bei der Darstellung deformierter Gesteinsschichten, in der Archäologie zur Analyse des Herstellungsprozesses wertvoller Einzelstücke oder auch in der Informatik bei der Visualisierung der Entropie von Pseudo-Zufallszahlen.

Literatur

- [1] Christof Rezk Salama: Volume Rendering Techniques for General Purpose Graphics Hardware, Dissertation. Arbeitsberichte des Instituts für Informatik, Friedrich Alexander Universität Erlangen-

Nürnberg. Band 35, Nummer 5, September 2002.



Dr.-Ing. Christof Rezk Salama hat an der Universität Erlangen-Nürnberg Informatik studiert und als Stipendiat im Graduiertenkolleg „3D Bildanalyse und Synthese“ promoviert. Für seine Arbeit wurde er mit dem Dissertationspreis der Städtler-Stiftung ausgezeichnet. Nach der Promotion arbeitete er als Entwicklungsingenieur bei der Firma Siemens im Bereich Medical Solutions. Seit Oktober 2003 ist er als Dozent und Wissenschaftler in der Fachgruppe für Computergraphik und Multimediasysteme der Universität Siegen tätig.

Adresse: Universität Siegen, FG Computergraphik und Multimediasysteme, Hölderlinstraße 3, 57068 Siegen, Tel.: +49-(271)/740-2826, E-Mail: rezk@fb12.uni-siegen.de, <http://www.cg.informatik.uni-siegen.de/People/Rezk>