ECCET: Ein System zur 3D-Visualisierung von Volumendaten mit Echtzeitnavigation

Volker Aurich und Andreas Beck

Abteilung für Informatik, Mathematisches Institut
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Email: aurich|becka@cs.uni-duesseldorf.de

Zusammenfassung. ECCET ist ein Software-Paket zur Vorverarbeitung, Segmentierung und Echtzeit-Visualisierung von Volumendaten, das auf handelsüblichen PCs ohne Spezialhardware läuft. Hauptmerkmal ist die enge Verknüpfung von unterschiedlichen Visualisierungsarten und Verarbeitungsalgorithmen. Mehrere virtuelle Kameras können mit der Maus oder einem Autopiloten in Echtzeit durch das Volumen bewegt werden und liefern dabei von den segmentierten Objekten verzögerungsfrei mehrere Bilder pro Sekunde. Damit gekoppelt ist eine Mehr-Ebenen-Darstellung der Volumendaten, mit der die Kameras ebenfalls gesteuert werden können. Zur Dokumentation können räumliche Entfernungen in den Kamerabildern interaktiv vermessen werden und Filme oder hochaufgelöste Standbilder erzeugt werden.

1 Prinzipieller Aufbau von ECCET

Das System ist modular aufgebaut; im wesentlichen besteht es aus den zwei Programmpaketen `Voxren` und `Planeview`, die jeweils auf einem eigenen Rechner laufen, aber über TCP/IP gekoppelt sind. `Voxren` enthält die Vorverarbeitungs- und Segmentieralgorithmen sowie virtuelle Kameras, die interaktiv durch das Volumen bewegt werden können und dabei verzögerungsfrei Bilder liefern. Sie beherrschen mehrere, sehr unterschiedliche Rendermodi und dienen nicht nur zur perspektivischen Darstellung von segmentierten Objekten, sondern auch zur Kontrolle von Verarbeitungsschritten. `Planeview` beinhaltet eine Drei-Ebenen-Darstellung der Volumendaten und außerdem eine virtuelle Kamera für hochaufgelöste Standbilder.

ECCET läuft unter dem Betriebssystem LINUX auf handelsüblichen PCs. Spezielle Grafikhardware wird nicht benötigt; die Rechner sollten aber über 1 GByte RAM verfügen. Alle zeitkritischen oder zeitaufwendigen Programmteile sind mit Threads parallelisiert und laufen auf Rechnern mit zwei Prozessoren nahezu doppelt so schnell.

2 Algorithmen

Entrauschung: Um Rauschen auf den Volumendaten entfernen zu können, ist das kantenerhaltende Glättungsverfahren nach [1] integriert. Eine optimale Parameterwahl nach [2] erlaubt reproduzierbare Ergebnisse ohne Interaktion. Damit lassen sich auch stark verrauschte Niedrig-Dosis-CT-Daten (10mAs) aufbereiten (siehe auch [3]).

Segmentierung: Die Segmentierung kann zum einen durch einfache Schwellwertentscheidungen erfolgen, die oft überraschend gut funktionieren, wenn die Daten vorher entrauscht wurden. Zum anderen gibt es einen mehrstufigen 3D-Multiskalen-Füllalgorithmus [3], mit dem z.B. Lumina von Hohlorganen markiert werden können. Er kann visuell kontrolliert werden, indem eine virtuellen Kamera benutzt wird, um den Füllzustand in einer Schnittebene anzuzeigen, die verzögerungsfrei mit Maus oder Tasten durch den Raum geschoben und gedreht werden kann. Die segmentierten Objekte können mit unterschiedlichen Attributen wie Farbe und Sichtbarkeit für das Rendering etikettiert werden. Siehe Abb. 1 und Abb. 2.

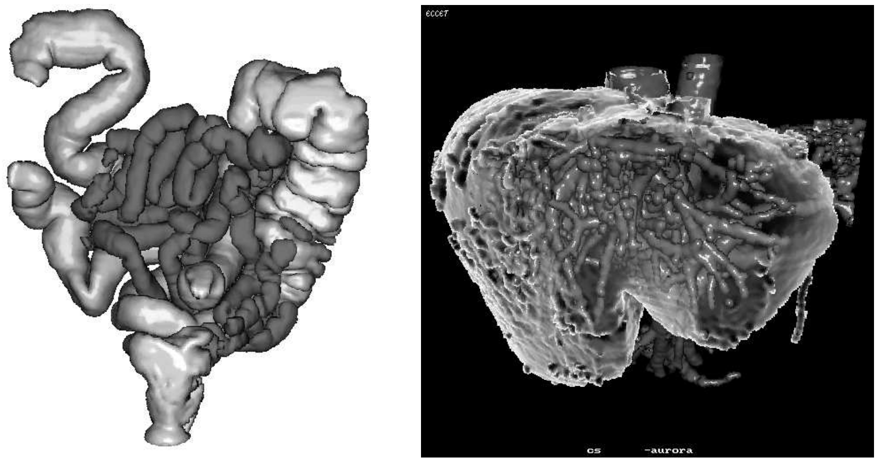


Abb. 1. Lumina von Dick- und Dünndarm (teilweise kollabiert) und Leber mit Gefäßen

Polypendetektion: Polypen und Divertikel können in dem segmentierten Darmlumen mit dem Algorithmus aus [3] innerhalb einer Minute automatisch gefunden und markiert werden.

Echtzeit-Rendering: Die virtuellen Kameras bilden die segmentierten Objekte durch Ray-Casting vermöge einer Zentralprojektion ab. Zur Geschwindigkeitssteigerung werden u.a. die Oberflächennormalen in den Randvoxeln und eine Distanzabbildung im Außenraum vorberechnet und in den Volumendaten abgespeichert. Dadurch können auf einem schnellen PC (Pentium 4 mit 1.5 GHz oder zwei Pentium 3 mit 1 GHz) 10 bis 15 Bilder der Größe 256×256 pro Sekunde berechnet werden. Bei größeren Bildern nimmt die Bildrate entsprechend ab. Es ist abzusehen, daß demnächst PCs zur Verfügung stehen, mit denen etwa 8 Bilder der Größe 512×512 pro Sekunde berechnet werden können.

Rendermodi: Es stehen diverse Rendermodi zur Verfügung. Die Darstellung der einzelnen Voxel werden durch ihnen zugeordnete Attribute beeinflußt.

So können z.B. mit MEG gefundene Aktivitätsbereiche im Gehirn als Objekte innerhalb der semitransparenten Gehirnoberfläche dargestellt werden. Außerdem können Markierungen eingeblendet werden, die die Positionen der anderen Kameras oder Entfernungen angeben. Siehe Abb. 2.

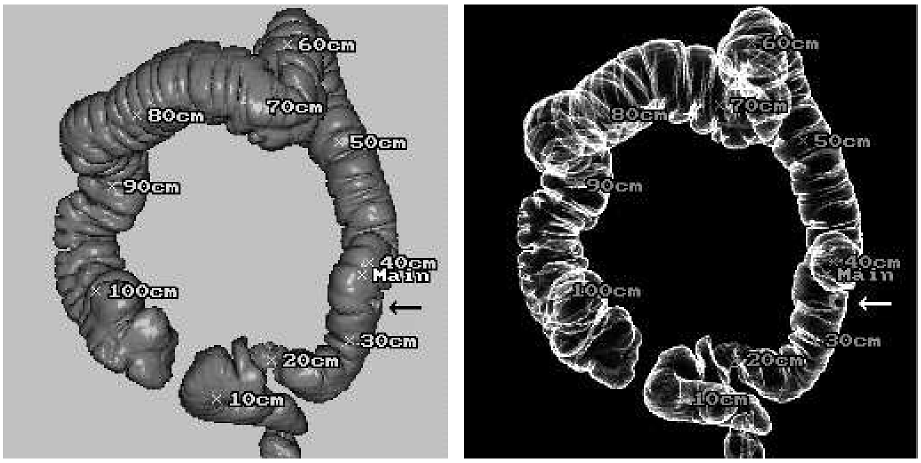


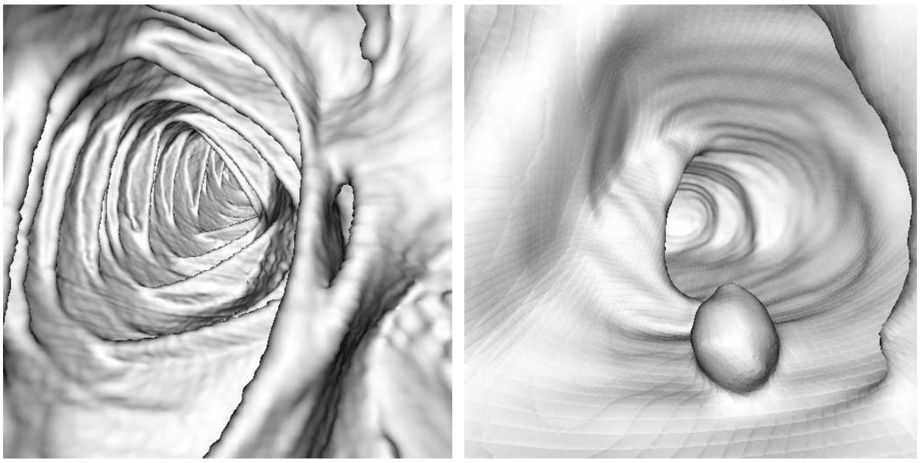
Abb. 2. Kolon in opaker und in Doppelkontrastdarstellung mit Entfernungen ab ano. Der Pfeil zeigt auf einen Polypen, der im rechten Bild der Abb. 3 aus Sicht einer virtuellen Kamera innerhalb des Darms abgebildet ist.

Standbild-Rendering: Zur Dokumentation in Befunden können hochaufgelöste Standbilder mit glatten Objektoberflächen erzeugt werden, in die Riffelungen eingeblendet werden können, um die räumliche Struktur deutlicher zu machen. Siehe rechtes Bild in der Abb. 3.

Navigation der Kameras, Autopilot: Die virtuellen Kameras können mit Maus oder Tasten frei bewegt werden. Sehr hilfreich zur Examinierung von Läsionen z.B. der Darmwand ist die Möglichkeit, für Drehungen unterschiedliche Drehpunkte wählen zu können. Das Durchfliegen von röhrenförmigen Objekten wie dem Darm wird ganz wesentlich durch einen Autopiloten erleichtert, der selbständig seinen Weg findet. Er orientiert sich an der Tiefeninformation der Kameras und kann in weniger als einer Minute durch den Dickdarm fliegen und dabei den Flugpfad aufzeichnen.

Berechnung von Filmen: Die Bildsequenz einer virtuellen Kamera kann synchron zu ihrer Erzeugung auf der Festplatte abgespeichert werden; allerdings verringert sich dabei die Bildrate deutlich. Ein Ausweg ist, nur die Folge der Kamerapositionen abzuspeichern, was ohne nennenswerten Zeitverlust möglich ist, und dann anschließend off-line den Pfad nochmals zu durchlaufen und dabei die Bildsequenz zu berechnen und im MPEG-Format zu speichern. Beispiele siehe [4].

Abb. 3. Linkes Bild: Blick aus dem Blinddarm in den Dickdarm, rechts ist der Dünndarmausgang zu sehen. Rechtes Bild: Ein Polyp im Kolon.



3 Praktische Erfahrungen

Das System wird an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf zur Visualisierung von MEG-Daten und für virtuelle Koloskopie basierend auf Niedrig-Dosis-CT-Aufnahmen (10-20 mAs) eingesetzt. Beide Anwendungen waren mit den bisher vorhandenen Visualisierungssystemen nicht möglich. Die Ärzte konnten das System nach kurzer Zeit handhaben und völlig selbständig damit arbeiten. Änderungs- und Erweiterungswünsche, die sich aus dem praktischen Gebrauch ergaben, wurden eingearbeitet. Den Patienten wird auf Wunsch ein Flug durch ihr Kolon als Film im MPEG-Format mitgegeben.

Literatur

1. Aurich, V., Mühlhaus, E., Grundmann, S.: Kantenerhaltende Glättung von Volumendaten bei sehr geringem Signal-Rausch-Verhältnis. Zweiter Aachener Workshop über Bildverarbeitung für die Medizin, Springer 1998, 49-53.
2. Winkler G., Hahn, K., Aurich, V., Martin, A., Rodenacker, K.: Noise Reduction in Images: Some Recent Edge-Preserving Methods. Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 9 (1999), 749-766.
3. Aurich V., Beck A.: Segmentierung von Hohlkörperlumina in verrauschten CT-Daten und automatische Detektion von Polypen und Divertikeln. BVM 2002.
4. `www.eccet.de`