

Ein System zur Verarbeitung und Visualisierung von Voxeldaten

Andreas Beck

becka-gi@acs.uni-duesseldorf.de



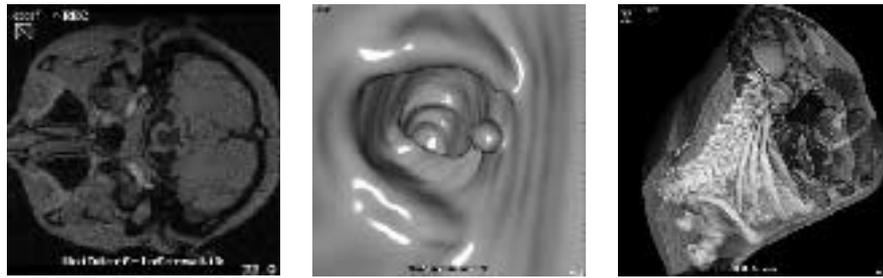
Abstract: Ein flexibles und umfangreiches Visualisierungs- und Segmentierungssystem für Voxeldaten (*ECCET*) wurde entwickelt, das in verschiedenen Anwendungsbereichen Einsatz findet.

1 Motivation

Moderne bildgebende Verfahren wie die Computertomographie und die Magnetresonanztomographie ermöglichen heute einen hochauflösenden Blick in das Innere komplexer dreidimensionaler Strukturen.

Mit der steigenden Datenmenge (inzwischen typisch um 300MB für übliche Aufnahmen) wächst auch die Forderung nach Visualisierungssystemen, die in der Lage sind, diese Daten schnell und arbeitserleichternd anzuzeigen, zu bearbeiten und zu analysieren.

Eine manuelle Auswertung auf Schichtebene (typisch 600 Einzelschichten) wird zunehmend unrealistischer.



a) 2D-Schnittrekonstruktion mit Segmentierungsmarkierungen

b) 3D-Isosurfacedarstellung auf entrauschten Daten

c) Komplexe Szene im Voxelrendering Modus

Abbildung 1: Visualisierungssystem

2 Das Visualisierungssystem

Um Vorverarbeitungsschritte und Segmentierungsalgorithmen auswählen und geeignet anwenden zu können, benötigt man zunächst Visualisierungswerkzeuge, mit denen die Originaldaten, aber auch Zwischenergebnisse oder Vergleichsdaten schnell und effizient dargestellt werden können.

ECCET enthält daher ein Visualisierungssystem, das mit Hilfe verschiedener selbst entwickelter Rendermodule (Plugins) in der Lage ist, Daten in verschiedenen Bearbeitungszuständen anzuzeigen.

Der Funktionsumfang reicht von einfachen Schichtschnittdarstellungen über verschiedene Voxelrendering-Verfahren bis hin zu interpolierten Isosurface-Renderern. Abbildung 1 zeigt einige der unterstützten Darstellungsverfahren.

Alle Teilsysteme sind jederzeit frei miteinander kombinierbar und lassen sich zu Arbeitsoberflächen für bestimmte Aufgaben zusammenstellen.

Im Gegensatz zu vielen anderen Ansätzen verwendet *ECCET* keine Hardwarebeschleunigung, sondern setzt allein auf optimierten C-Code, so dass man von jeder Verbesserung bei der CPU-Technologie sofort profitiert und keine mühevollen Anpassungen an neue Grafikarchitekturen fürchten muss.

Des Weiteren verwendet *ECCET* ausschließlich Volume-Rendering-Techniken, um zeitraubende Triangulationen zu vermeiden, die insbesondere während interaktiver Segmentierungen den Arbeitsfluss erheblich beeinträchtigen.

Multiprozessorsysteme werden sowohl bei der (idR trivial parallelisierbaren) Visualisierung, als auch bei den Vorverarbeitungs- und Segmentierungsschritten genutzt.



Flugpfad des Autopiloten relativ zum durchflogenen Dickdarm. Man beachte das problemlose Durchfliegen der Stenose (Verengung) etwas links oberhalb der Bildmitte

Gleichzeitige Darstellung von drei Schichtansichten mit darin eingeblendeter Lage und Position der 3D-Kamera.

Abbildung 2: Navigationshilfen

3 Navigationshilfen

Als die Visualisierungskomponenten von *ECCET* so weit implementiert und optimiert waren, dass schnelles interaktives Arbeiten möglich war, fiel auf, dass es oft recht schwierig ist, in komplexen dreidimensionalen Szenen zu navigieren. Das Durchfliegen eines menschlichen Dickdarmes erfordert trotz einer präzise und schnell reagierenden Steuerung, die 3D-Spielen nachempfunden wurde, erhebliches Geschick.

Daher wurde ein Autopilot entwickelt, der in mehreren Betriebsarten arbeiten kann und den Benutzer in verschiedenen Situationen unterstützen kann.

In der Grundbetriebsart, die für die virtuelle Endoskopie entwickelt wurde, folgt der Autopilot automatisch röhrenförmigen Strukturen, wobei er sich zusätzlich innerhalb der Röhre zentriert. Für verzweigende Röhrensysteme (z.B. Bronchien) existieren alternative Modi, bei denen die an Abzweigungen anzusteuernde Röhre vom Benutzer gewählt wird. Für komplexere Situationen kann der Autopilot auf ein Antikollisionssystem reduziert werden.

Hervorzuheben ist, dass der Autopilot jederzeit verzögerungsfrei aktivierbar ist (keine Pfadberechnung), bildbasiert arbeitet, kaum Rechenzeit in Anspruch nimmt und der Benutzer jederzeit in den gewählten Pfad eingreifen kann.

Als zusätzliche Orientierungs- und Bedienungshilfe ist es möglich, mehrere Ansichten desselben Volumens gleichzeitig aktiv zu haben, bei denen die Position und ggf. auch die Lage der Kamera eingeblendet wird. Diese zusätzlichen Ansichten sind ebenfalls voll beweglich, so dass ggf. auch eine für die Beurteilung der aktuellen Situation günstigere Lage gewählt werden kann.

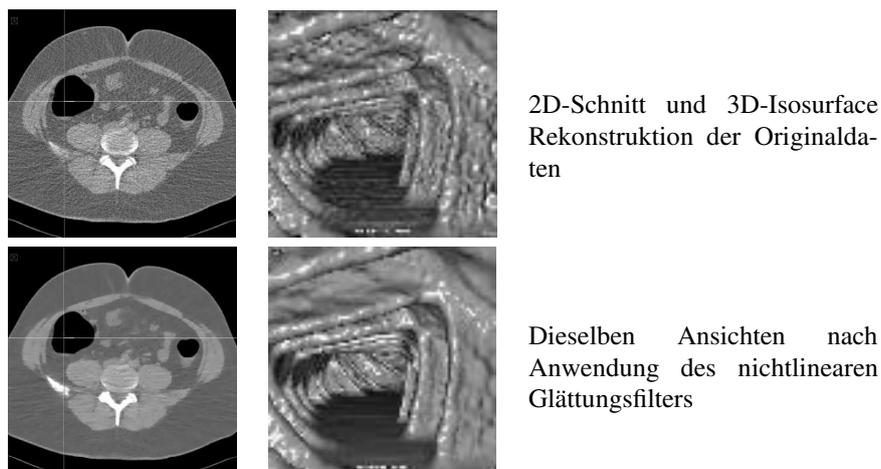


Abbildung 3: Vorverarbeitung

4 Vorverarbeitungs- und Segmentierungswerkzeuge

ECCET enthält eine große Zahl von Werkzeugen, die es ermöglichen, aus der Flut der Informationen in den Grauwertstapeln die interessantesten Bestandteile herauszufiltern und ggf. störende Effekte zu unterdrücken.

4.1 Vorverarbeitung

Insbesondere ist es bei vielen Anwendungen von Interesse, auch bei qualitativ schlechten Rohdaten noch brauchbare Visualisierungs- und Segmentierungsergebnisse zu erreichen. So ist es z.B. im medizinischen Bereich möglich, die Röntgendosis massiv zu verringern, wenn das Visualisierungsverfahren sich unproblematisch bezüglich des dadurch erhöhten Bildrauschens verhält. *ECCET* verwendet hierzu verschiedene kantenerhaltende Glättungstechniken (z.B. [Au98]/[AMG98]).

Eine Reihe von weiteren Filtern dient der Hervorhebung von bestimmten Strukturen, so dass die Segmentierung einfacher wird.

4.2 Segmentierung

ECCET enthält eine Reihe von (zum großen Teil neu entworfenen) Segmentierungswerkzeugen. Neben simplen Techniken wie Füllalgorithmen mit absoluten und relativen Schranken, Thresholds etc. sind einige ausgefeilte Algorithmen implementiert, die mit zum Teil



Abbildung 4: Löchertolerierender Füllalgorithmus

sehr kleinem manuellen Aufwand sehr gute Segmentierungsergebnisse liefern.

Zwei Beispiele:

4.2.1 Löchertolerierender Füllalgorithmus

Damit ist es möglich, schlecht berandete Gebiete zu füllen, ohne in den Außenraum auszulaufen. Er ist über eine Reihe von Parametern auf viele Einsatzgebiete anpassbar. So verwenden wir ihn z.B. bei der Segmentierung des Dickdarms, der Leber, des Gehirns, usw.

4.2.2 Verzweigungsfinder

Gelegentlich kommt es vor, dass verschiedene Objekte nach einem Segmentierungsschritt zusammenhängen. Die Punkte, an denen sich die Objekte berühren, sind aber oftmals nur schwer auszumachen. Mit Hilfe des Verzweigungsfinders können diese Stellen oft leicht und schnell gefunden werden.

4.3 Korrekturwerkzeuge

Oft liefern automatische Verfahren suboptimale Ergebnisse. Z.B. erscheinen bei durch Kontrastmittel angefärbten Gefäßen bisweilen auch stark durchblutete Organe (Nieren) in der Segmentierung. Durch Einsatz interaktiver Korrekturwerkzeuge (manueller Schnitt per Maus, halbautomatischer umlaufender Schnitt, Ummarkieren von Zusammenhangskomponenten, Auffüllen von „Löchern“ in Oberflächen durch „Umkringeln“ mit der Maus und Auswahl eines Befehls) können diese Segmentierungsdefekte oft schnell und problemlos behoben werden.

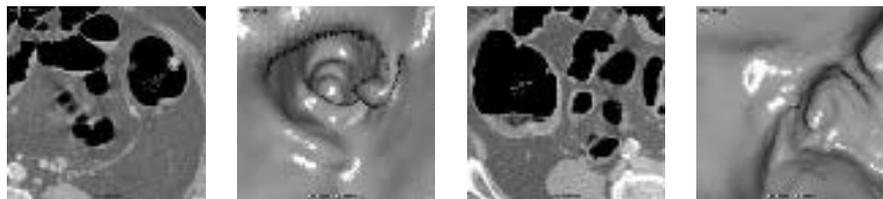


Abbildung 5: Polypendetektor am Beispiel eines großen und eines sehr kleinen Polypen

5 Analysewerkzeuge

Mit einer guten Darstellung der zu untersuchenden Daten ist es aber oft nicht getan. Selbst bei Beschränkung auf die interessanten Teile ergibt sich oft noch ein für die Praxis zu hoher Arbeitsaufwand.

CCCET enthält daher eine Reihe von Analysewerkzeugen, die es ermöglichen, interessierende Teilstrukturen bzw. Anomalien automatisiert zu finden und den Benutzer gezielt auf diese Bereiche hinzuweisen.

Ein Beispiel für diese Funktionalität ist der Polypendetektor.

CCCET wird an der Uniklinik Düsseldorf im Rahmen einer Studie bei der virtuellen Niedrigstdosis-CT-Coloskopie (Darmspiegelung) eingesetzt. Ziel dieser Untersuchungsmethode ist unter anderem das Aufspüren von Dickdarmpolypen, die eine Vorstufe von Darmkrebs darstellen können.

Dabei kann aufgrund der Rauschunterdrückungsalgorithmen in *CCCET* die notwendige Röntgendosis massiv reduziert werden (Röhrenstrom konnte von von 150mAs auf 10 mAs gesenkt werden). Für Polypen ab 5 mm Größe wurden Sensivitäten und Spezifitäten von über 90% im Vergleich zur hochauflösenden Videoendoskopie erreicht.

Der Polypendetektor hilft dabei dem begutachtenden Mediziner, indem er polypoide Strukturen markiert, so dass ein Übersehen von Polypen unwahrscheinlicher wird. Zusätzlich sorgt ein zweites Erkennungssystem für die Unterscheidung von bei Multislice-CTs typischen Strahlenartefakten.

Manche Fragestellungen erfordern die Erfassung quantitativer Daten. Z.B. ist die Größe eines Polypen für die Diagnostik von erheblicher Bedeutung. *CCCET* erlaubt daher ebenfalls die Vermessung von Strecken mit wenigen Mausklicks und die Bestimmung von Volumina.

Auch einige interne Fragestellungen, wie eine Schätzung des Bildrauschens, können mit den internen Bildanalysewerkzeugen geklärt werden. Die integrierte Scriptsprache erlaubt dabei, die Ergebnisse solcher Abfragen direkt z.B. in Glättungsalgorithmen als Parameter zu übernehmen.

6 Endanwendertauglichkeit

*ECCE*T wurde in enger Zusammenarbeit mit Anwendern aus der Medizin entwickelt. Daher war die Entwicklung einer Oberfläche, die für Nichtexperten bedienbar ist, zwingend notwendig.

6.1 Scriptsprache

*ECCE*T verfügt inzwischen über eine aufwändige Scriptsprache, die es sowohl ermöglicht, Sequenzen von Kommandos so zusammenzufassen, dass Vorverarbeitungsschritte oder gängige Anforderungen vom Benutzer mit einem Befehl bzw. Mausklick aufgerufen werden können, als auch die Bedienoberfläche von *ECCE*T beinahe beliebig anzupassen.

Die in der Syntax an C und PHP angelehnte Sprache beherrscht Variablen, automatische Typwandlungen, ein Scope-Konzept für Variablen, ein Hierarchiekonzept für Variablen und Funktionen, Funktionsaufrufe mit optionalen Parametern und Defaultmechanismus, Rückgabewerte mit komplexen Typen (Structs, Arrays), Rekursion, einfache Schleifenkonzepte etc.

Als Demonstration für die Mächtigkeit der Sprache existiert eine dreidimensional animierte Lösung des „Türme-von-Hanoi“-Problems. Die Verarbeitung von Benutzereingaben bleibt aktiv, so dass, während das Problem gelöst und die Lösung animiert wird, der Nutzer die Darstellung beliebig beeinflussen kann (Darstellungsart, Blickwinkel etc.).

Auch viele interne Funktionen, wie das Sortieren von Volumina nach Name, sind in der Scriptsprache realisiert.

6.2 GUI

Das GUI (das übrigens auch selbst entwickelt wurde, um eine optimale Integration in die bereits verwendete Grafikkbibliothek zu erreichen) kann über Konfigurationsdateien beinahe beliebig für verschiedene Anwendungen angepasst werden. Die gemeinsame darunterliegende Rendering- und Eingabebibliothek sorgt dennoch für eine konsistente Bedienbarkeit der verschiedenen so erzeugbaren Applikationen.

So benutzen die drei bisher existenten *ECCE*T-Applikationen ColoTux, PlaneView und Voxren trotz extrem unterschiedlicher Anforderungen alle denselben Systemkern und unterscheiden sich lediglich in der durch Startup-Scripte aufgebauten GUI.

6.3 Integration in das Arbeitsumfeld

Zur Integration in das medizinische Arbeitsumfeld war es notwendig, bestimmte Ein-/Ausgabeformate (DICOM) zu implementieren und auch einfache Schnittstellen (Dateitransfer via PACS) zu schaffen, die sich nahtlos in gewohnte Szenarien einfügen. Hierzu wurden einerseits eigene Konverterprogramme geschaffen und andererseits bestehende Systeme (OFFIS) in *€CC€T* integriert.

7 Ausblick

€CC€T wird weiterhin aktiv an unserem Institut entwickelt und in zahlreichen Kooperationen, vorwiegend mit Unikliniken (Düsseldorf, Essen, Tübingen, Wuppertal), eingesetzt.

Aktuell laufen Projekte zur semiautomatischen Segmentierung der Leber mit dem Ziel ein präoperatives Planungswerkzeug für verschiedene Operationstechniken zu entwickeln, zur Auswertung von zeitaufgelösten Fluoreszenzmikroskopiedaten zur Erforschung der Thrombogenese, zur automatischen Segmentierung der Lunge etc.

Des Weiteren arbeiten wir auf eine Zulassung von *€CC€T* als Medizinprodukt hin, um die Einschränkung des Einsatzes auf das Forschungsumfeld zu beenden. Zu diesem Zweck prüfen wir die Gründung einer entsprechenden Firma, da die Universität dies u.a. aus haftungsrechtlichen Gründen nicht leisten kann.

8 Über den Autor

Nach frühen Kontakten mit den ersten breit verfügbaren Heimcomputern gründete ich 1991 die Firma Beck Datentechnik, die bis heute besteht und verschiedene IT-Dienstleistungen, insbesondere im Bereich Netzwerke, IT-Sicherheit und Programmentwicklung anbietet. Nach dem Abitur 1992 leistete ich meinen Grundwehrdienst ab, wobei ich in der Programmentwicklung für den logistischen Support fliegender Waffensysteme tätig war. Anschließend begann ich ein Studium der Physik, in dem die Informatik sowohl als Nebenfach, als auch in Form der Entwicklung von Steuerprogrammen für Messapparaturen und Simulations- und Auswertesoftware eine nicht ganz unwichtige Rolle spielte. Nach dessen Abschluss (Diplom, 1999) begann ich mit einem Promotionsstudium der Informatik, in dem ich mich zunächst mit Bildkompression beschäftigte, um dann mit der Entwicklung von *€CC€T* zu beginnen. Seit Abschluss meiner Dissertation ([Be03]) 2003 bin ich weiterhin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf tätig. Des Weiteren wird zurzeit die Möglichkeit einer Ausgründung zur Verwertung von *€CC€T* geprüft.

Literatur

- [AMG98] Aurich, V.; Mühlhaus, E.; Grundmann, S.: *Kantenerhaltende Glättung von Volumendaten bei sehr geringem Signal-Rausch-Verhältnis*, Zweiter Aachener Workshop über Bildverarbeitung in der Medizin, 1998
- [Au98] Aurich, V.; Winkler, G.; Hahn, K.; Martin, A.; Rodenacker, K.: *Noise Reduction in Images: Some Recent Edge-Preserving Methods*, Pattern Recognition and Image Analysis, Vol.9, No. 4, 1999, 749-766. Auch als Preprint des Instituts für Biomathematik and Biometrie, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, Germany, 1998. <http://www.gsf.de/ibb>
- [Au02] V. Aurich, A. Beck, M. Cohnen, C. Vogt, *Automatische Detektion von Polypen und Divertikeln bei der CT-Kolonographie*, Fortschr Röntgenstr 2002; 174:267
- [BA04] Beck, A.; Aurich, V.: *ECCT Webseiten und Handbuch*, <http://www.ecct.de/>
- [Be03] Beck, A.: *Ein System zur Verarbeitung und Visualisierung von Voxeldaten*, Dissertation, Düsseldorf 2003, <http://diss.ub.uni-duesseldorf.de/ebib/diss/show?dissid=540>
- [Co02a] Cohnen, M.; Vogt, C.; Aurich, V.; Beck, A.; Häussinger, D.; Mödder, U.: *Multi-Slice CT-Colonography in Low Dose Technique - Preliminary Results*, Fortschr Röntgenstr 2002; 174:835-838
- [Co02b] Cohnen, M.; Vogt, C.; Aurich, V.; Beck, A.; Häussinger, D.; Mödder, U.: *Low-Dose Multi-Slice CT-Colonography: First Results*, Radiology (Suppl) 2002; 225(P):584
- [Co04] Cohnen, M.; Vogt, C.; Beck, A.; Andersen, K.; Heinen, W.; vom Dahl, S.; Aurich, V.; Mödder, U.; Häussinger, D.: *Feasibility of Multi-Slice CT-Colonography in Ultra-Low-Dose Technique in the Detection of Colorectal Lesions: Comparison with High-Resolution Video Colonoscopy*, Am. J. Roentgenol. 2004 (in press)
- [Ri04a] Richter, S.; Matthies, K.; Ohde, T.; Dimitrova, A.; Gizewski, E.; Aurich, V.; Beck, A.; Timmann, D.: *Stimulus-response vs. stimulus-stimulus-response learning in cerebellar patients*, Exp. Brain Res. (in press)
- [Ri04b] Richter, S.; Kaiser, O.; Hein-Kropp, C.; Dimitrova, A.; Gizewski, E.; Aurich, V.; Beck, A.; Ziegler, W.; Timmann, D.: *Preserved verb generation in patients with cerebellar atrophy*, Neuropsychologia (in press)
- [Vo03] Vogt, C.; Cohnen, M.; Beck, A.; Aurich, V.; Mödder, U.; Häussinger, D.: *Virtual Colonography*, Med. Klin. (Munich). 2003 Dec 15; 98(12):700-11.
- [Vo04a] Vogt, C.; Cohnen, M.; Beck, A.; vom Dahl, S.; Aurich, V.; Mödder, U.; Häussinger, D.: *Detection of colorectal polyps by multi-slice CT-colonography in ultra-low-dose technique: comparison with high resolution video-colonoscopy*, Gastrointestinal Endoscopy 2004 (in press)
- [Vo04b] Vogt, C.; Cohnen, M.; Beck, A.; Aurich, V.; Mödder, U.; Häussinger, D.: *Virtuelle Kolographie: Aktueller Stand in der Diagnostik kolorektaler Läsionen*. Coloproctology 2004, 1: 40-44.

