MeVisTo-Jaw

Ein Visualisierungstool für die kieferchirurgische OP-Planung

Patrick Neumann, Gabriele Faulkner, Klaus Haarbeck und Thomas Tolxdorff

Institut für Medizinische Statistik, Epidemiologie und Informatik
Universitätsklinikum Benjamin Franklin (UKBF)
Freie Universität Berlin, Hindenburgdamm 30, D-12200 Berlin
Email: neumann@medizin.fu-berlin.de

Zusammenfassung. Im folgenden soll ein, auf einer 3-D-Visualisierung basierendes, kieferchirurgisches Planungstool vorgestellt werden. Ausgehend von rekonstruierten Bildern aus CT-Volumendaten ist der Arzt in der Lage, eine computergestützte dreidimensionale Profilanalyse und Operationsplanung durchzuführen. Das von uns entwickelte Konzept für „Medical Visualization Tools“ (MeVisTo) bietet hierfür die Voraussetzungen. Neben einer einfachen Benutzerschnittstelle wurde dabei im besonderen eine hohe Geschwindigkeit und Qualität des Volumenrenderings für die Visualisierung angestrebt. Mit dem „Virtual Sphere Rendering“ (VSR) ist ein Verfahren integriert, das es durch Vorberechnung von Ansichten ermöglicht, eine Visualisierung der Daten in Echtzeit, also mit mehr als 25 Bildern pro Sekunden, zu erreichen.

Schlüsselwörter: Echtzeitvisualisierung, Volumenrendering, Operationsplanung, Client-Server System

1 Einleitung

Ziel unserer Forschung ist eine Unterstützung bei der Planung und Durchführung von kieferchirurgischen operativen Eingriffen. Derzeit werden für die Planung in diesem Bereich maßgeblich Gips- und Kunststoffmodelle eingesetzt, um ein Verständnis der räumlichen Anordnung von Knochen, Zähnen und Gelenken zu erhalten. Für die notwendige kephalometrische Analyse wird eine 2-D Planungssoftware eingesetzt.

Ein Projektziel ist die gewinnbringende Ergänzung der herkömmlichen Verfahren um eine schnelle und hochwertige 3-D Visualisierung [1] und Analyse.

2 Das MeVisTo-Konzept

Für die Visualisierung und Bearbeitung wird bei MeVisTo ein Client-Server-Ansatz verfolgt. Die mit hoher Rechenleistung und großem Hauptspeicher ausgestatteten Server übernehmen das Abarbeiten der Berechnungswünsche eines MeVisTo-Clients.

Mehrere Server sind in einem Cluster zusammengefaßt, wodurch eine hohe Gesamtrechenleistung zur Verfügung steht. Ein Dämon übernimmt die Verteilung der Bearbeitungswünsche im Cluster und sorgt für ein ausgewogenes Belastungsprofil.

Mit dem MeVisTo-Client erstellt und verändert der Benutzer die Bearbeitungsabläufe. Dem Client fällt zudem die Aufgabe zu, berechneten Ergebnisbilder vom Server anzuzeigen und Interaktionen des Benutzers zum Server weiterzuleiten.

Die Kommunikation zwischen Client, Dämon und Server erfolgt über TCP-IP. Nach dem Verbindungsaufbau von Client und Server (Abb. 1) werden die Daten in Skriptform ausgetauscht.

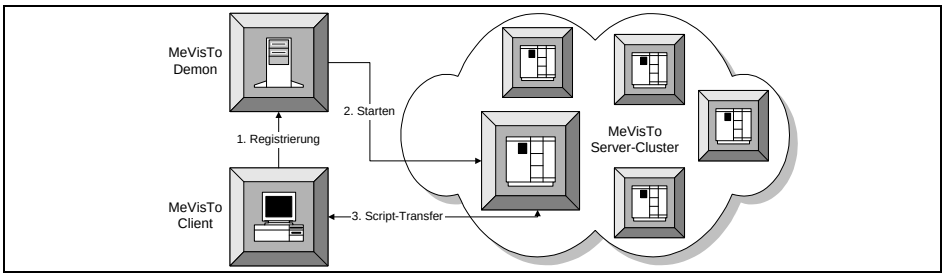


Abb. 1, Schritte für den Verbindungsaufbau zwischen MeVisTo-Client und -Server.

Neben immer zu verwendenden Grundfunktionalitäten bei der Bearbeitung gibt es für die verschiedenen denkbaren Einsatzgebiete von MeVisTo sehr spezielle Anforderungen. MeVisTo trägt dem durch sein offenes Konzept Rechnung, indem beliebige Bearbeitungsabfolgen in Skripten zusammengestellt und übertragen werden.

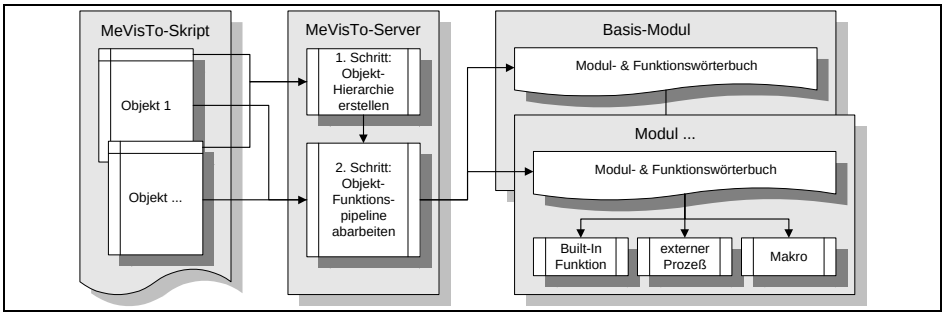
Ein Bearbeitungsskript besteht aus einem oder mehreren Bearbeitungsobjekten. Jedes dieser Objekte ist in einer Objekthierarchie eingebunden, aus der hervorgeht, von welchem anderen Ergebnis eines Bearbeitungsobjektes das Objekt abstammt beziehungsweise welche anderen Objekte fertig berechnet sein müssen, um mit der eigenen Berechnung beginnen zu können.

In jedem Objekt gibt es einen Bearbeitungsteil, der eine Aneinanderreihung von Funktionen enthält. Diese sind entsprechend einem Pipelinekonzept abzuarbeiten, was bedeutet, daß jeweils das Ergebnis einer Funktion die Eingabe für die nächste Funktion bildet. Die Funktionen werden in einem Funktionswörterbuch definiert, welches als Wörterbuchskript ebenfalls wieder zwischen Client und Server ausgetauscht wird. Funktionen können sich selbständig verteilen, indem sie entsprechende Skripte erzeugen und dem Dämon schicken.

Sowohl der Objektstatus als auch die Bearbeitungszustände der einzelnen Funktionen in der Pipeline werden bei jeder Veränderung dem Client gesandt, wodurch der Benutzer zu jedem Zeitpunkt über die Fortschritte bei der Bearbeitung des Skriptes informiert ist. Wird in der Pipeline vom Benutzer eine interaktive Eingabe erwartet, sei es numerisch oder über ein graphisches Eingabedevice im Bild, so stoppt die Abarbeitung des entsprechenden Objektes. Wenn möglich wird mit der Pipeline eines anderen Objektes im Skript fortgesetzt.

Nach dem Starten eines MeVisTo-Servers durch den Dämon beginnt die Bearbeitung des übermittelten Skriptes in zwei Schritten (Abb. 2). Die Bilddaten werden mittels DICOM von einem, im Haus entwickelten, DICOM-Server [2] zum MeVisTo-Server übermittelt. Im DICOM-Format werden anschließend auch wieder die Berechnungs- und Planungsergebnisse für eine spätere Verwendung abgelegt.

Abb. 2: Auswertung eines MeVisTo-Skripts durch den Server in zwei Schritten.



3 Die Visualisierung

Jedes Objekt in einem MeVisTo-Skript erzeugt bei seiner Bearbeitung durch den Server ein Ergebnisbild, das dem Client zum Darstellen zugesandt wird.

Der Kern für die Beschleunigung der 3-D-Visualisierung ist das „Virtual Sphere Rendering“ (VSR) [3]. VSR visualisiert medizinische Volumendaten in Echtzeit durch Vorberechnung von Ansichten.

Auf einer imaginären Sichtkugel, die den Datenwürfel aus Volumendaten umschließt, werden 5000 Blickrichtungen auf das Objekt entlang der Längen- und Breitengrade ausgewählt (Abb. 3). Alle korrespondierenden Ansichten werden offline durch den Einsatz eines prinzipiell beliebigen Volumenrendering Verfahrens berechnet und zum Client übertragen. Die Reihenfolge, in der die Ansichten berechnet werden, ergibt sich nach einer Heuristik, die versucht das Benutzerverhalten abzubilden.

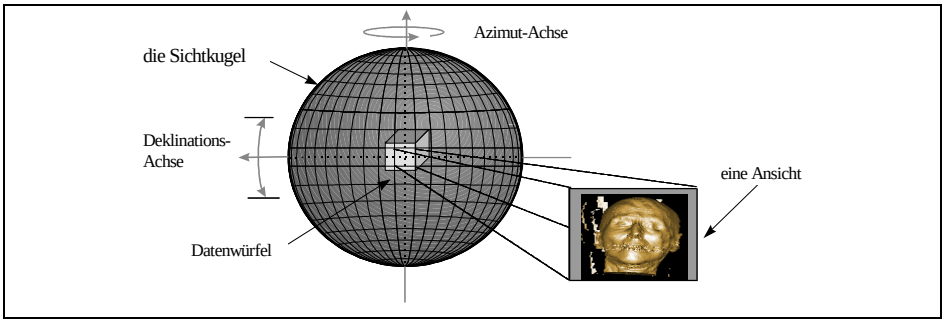
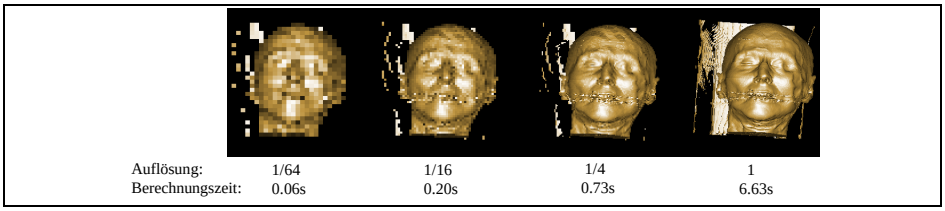


Abb. 3: Die virtuelle Sichtkugel mit den vorzuberechnenden Ansichten.

Je nach Objektgröße liegt das berechnete Datenvolumen dabei zwischen 20 und 400 Megabyte. Bei einer Berechnungszeit von einigen Sekunden für eine hochwertige Ansicht ergibt sich eine Gesamtzeit von mehreren Stunden für die Sichtkugel. Die Berechnung der Ansichten kann auf den Servern im Cluster verteilt werden.

Wünscht der Benutzer die Betrachtung einer noch nicht berechnete Ansicht, kann diese vom Server durch eine schrittweisen Verbesserung der Bildqualität sehr schnell in einer zunächst schlechten Qualität berechnet und übertragen werden (Abb. 4).

Abb. 4: Schnelle online Visualisierung durch schrittweise Verbesserung der Bildqualität.



4 Das Benutzerschnittstelle

Voraussetzung für die Akzeptanz der Planungssoftware beim Arzt ist neben einer hohen Geschwindigkeit insbesondere eine einfache und intuitive Benutzerschnittstelle. Diese soll plattformunabhängig als Java-Client implementiert werden, um auch auf low-cost-Rechnern zur Verfügung zu stehen. Da die Ausführungsgeschwindigkeit von Java zur Zeit noch nicht ausreicht, um Bilder in Echtzeit auszugeben, erfolgt deren Ausgabe momentan in einem eigenen X-Windows-Fenster.

Java ist für die Darstellung und Manipulation der hierarchischen Baumstruktur mit den jeweils aktuellen Verarbeitungszuständen der Objekte verantwortlich. In ihr hat der Arzt die Möglichkeit Objekte zu erzeugen, anzuordnen und zu manipulieren.

Interaktionen des Benutzers in der Objektstruktur werden mit der Skriptsprache aufgezeichnet und sofort zum Berechnungskern von MeVisTo weitergereicht.

5 Das MeVisTo-Jaw Modul

Zu den Anforderungen einer kieferchirurgischen Planung zählt neben dem Verschieben von Knochensegmenten eine kephalometrische Profilanalyse. Gegenüber der herkömmlichen Analyse, basierend auf einem Fernröntgenseitbild, bietet die 3-D Visualisierung aus CT-Daten deutlich mehr Informationen. Mit ihr können auch Asymmetrien der beiden Gesichtshälften gut erfaßt werden.

Nach der Definition einer lateralen Bezugsebene werden die Profilpunkte durch den Benutzer positioniert. Funktionen für eine Auswertung der Winkel und Distanzen zwischen den Punkten bilden zusammen eine vollständige 3-D Profilanalyse.

Das VSR Verfahren wird für die kieferchirurgischen Anforderungen so angepaßt, daß die erforderlichen Genauigkeiten von unter einem Millimeter erreicht werden.

6 Ergebnisse und Ausblick

Neben der Realisierung des Client-Server Mechanismus mit Dämon, Kommunikation über TCP-IP und des Server-Clusters wurde die VSR-Visualisierung vollständig und der Skriptmechanismus in wesentlichen Teilen verwirklicht. Für die graphische Benutzerschnittstelle existiert ein Prototyp.

Es wurde ein einfaches, schwellwertbasiertes Verfahren für die Berechnung der Objektoberflächen implementiert (Abb. 5a). Das Verfahren ist geeignet um Knochen

vollständig opaque darzustellen. Weiterhin wurde das Transparenzrendering nach Levoy implementiert [4]. Bei diesem Ansatz werden die Gewebegrenzschichten über den Gradienten ermittelt und Anhand einer am Grauwert orientierten Funktion gewichtet. Diese Verfahren ist sehr gut geeignet um sowohl Knochen, als auch Weichteilgewebe darzustellen (Abb. 5b). Zusätzlich wurden auch die Maximum- (Abb. 5c), die Summen- (Abb. 5d), und eine Art Textur-Projektion (Abb. 5e) implementiert und vom Arzt als gewinnbringend eingestuft. Bei der Textur-Projektion wird die Textur einer Objektoberfläche direkt ohne Beleuchtung dargestellt.

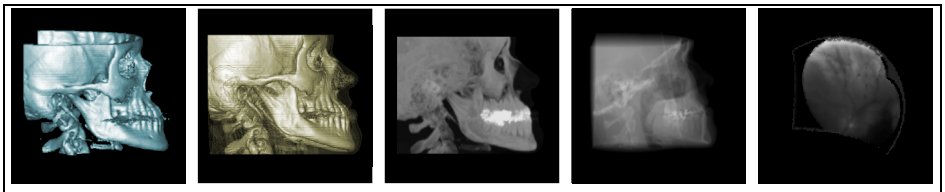


Abb. 5: (a) Schwellwertrendering, (b) Transparenzrendering, (c) Maximumprojektion, (d) Summenprojektion eines Kopfes, (e) Texturprojektion einer sphärischen Fundusaufnahme.

Zukünftig soll die Visualisierung von MeVisTo mit verschiedenen Eingabe- (3-D Trackingsystem) und Ausgabedevices („see through" Displays) gekoppelt werden.

Die Darstellung der Planung intraoperativ soll neben der Operationskontrolle auch zu Lehrzwecken eingesetzt werden. Durch die Benutzung eines 3-D-Ausgabegerätes soll es dem Studenten möglich sein, eine Darstellung von Planung und Operation nachvollziehen zu können, ohne dieser persönlich beiwohnen zu müssen.

7 Danksagung

Das Forschungsprojekt „Intraoperative Navigationsunterstützung" wird von der DFG und dem UKBF gefördert. Dank für die Unterstützung gilt auch der Klinik für Kieferchirurgie und Plastischen Gesichtschirurgie des UKBF.

8 Literatur

1. Faulkner G, Tolxdorff T: Einsatz von „Virtual Reality" Techniken in der Medizin. Arnolds B, Müller H, Saupe D, Tolxdorff T (Eds.): 5. Workshop Digitale Bildverarbeitung in der Medizin, 37-42, 1997.
2. Thiel A, Bernarding J, Hohmann J, Cosics D, Tolxdorff T: Security concepts in clinical applications using DICOM, SPIE's International Symposium Medical Imaging 1998, Vol. 3339, im Druck, 1998.
3. Neumann P: Interaktive dreidimensionale Visualisierung von medizinischen Volumendaten durch Vorberechnung von Ansichten. Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Computer Graphics, 1996.
4. Levoy M: Display of Surfaces from Volume Data, IEEE Computer Graphics & Applications, Vol. 8, Nr. 3, 29-37, 1988.