Interaktive stereoskopische 3D Visualisierung medizinischer Bilddaten mittels Standard-PC-Hardware

Kay Melzer, Hans Gerd Lipinski

Abteilung Medizinische Informatik
Fachhochschule Dortmund, 44139 Dortmund
Email: kaymelzer@web.de, lipinski@fh-dortmund.de

Zusammenfassung. Mit zunehmendem Fortschritt in der Computertechnologie läßt sich auch die Qualität der 3D-Visualisierung medizinischer Bilddaten ständig weiter verbessern. Dazu gehört auch die *stereoskopische Darstellung* der Bildinformationen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, verschiedene PC Hard- und Software daraufhin zu testen (bzw. neu zu entwickeln), inwieweit eine qualitativ und quantitativ akzeptable stereoskopische 3D-Ansicht für medizinische Anwendungszwecke erzeugt werden kann. Neben den Visualisierungstechniken stellt sich die Frage nach *Interaktionsmöglichkeiten* direkt im dreidimensionalen Raum. Interessant dabei auch die Frage nach dem zu treibenden Hard- und Softwareaufwand.

Nachfolgende ausführliche Vorstellung liefert einen Überblick über den derzeitigen Stand des Projekts. Als Basis steht eine eigens *hierfür entwickelte Anwendung* zur Verfügung.

1 Einleitung

Seit Einführung der Computertomographie und dem Visible-Human-Project [2,3] ist der Bereich der computergestützten Visualisierung medizinischer Bilddaten ein schier unerschöpfliches Feld. Betrachtet man den Bereich der medizinischen 3D-Rekonstruktion, wird viel von virtuellen Patienten und Operationssimulationen gesprochen. In diesem Zusammenhang stellt sich dann aber doch die Frage, was Simulation oder Arbeiten am virtuellen Patienten heute wirklich bedeutet. Bei genauerer Betrachtung einiger Produkte und Projekte reduziert sich die Simulation lediglich auf eine 3D-Rekonstruktion am Monitor. Zu einer echten Simulation gehört genau genommen auch das Arbeiten im virtuellen Raum und ein direkter Zusammenhang zwischen Interaktion an zweidimensionalen Ursprungsbildern und der dreidimensionalen Ansicht. Ein wirkliches Arbeiten im dreidimensionalen virtuellen Raum ist dann aber ohne zusätzlichen Hardware- und Softwareaufwand nicht möglich.

Ein dreidimensionales Gerüst verliert durch die zweidimensionale Projektion auf die Bildschirmebene wichtige Tiefeninformation, so daß dem Benutzer - insbesondere dem nicht geschulten Auge - das Arbeiten erschwert, oft sogar

unmöglich gemacht wird. So ist beispielsweise die Lokalisation eines bestimmten Bereiches in einer komplexen Gesamtheit fast unmöglich, selbst wenn zuvor anhand der zweidimensionalen Daten eine Lokalisation und Markierung geschieht. Mit den üblichen 3D-Verfahren wird vom Anwender daher ein überdurchschnittliches dreidimensionales Vorstellungsvermögen abverlangt.

Die Stereoskopie kann die bei einer Simulation behafteten Orientierungsprobleme wesentlich verringern. Welcher Hardwareaufwand allerdings betrieben werden muß und welche vorhandene Software genutzt werden kann, ergibt sich aber erst aus einer Umsetzung als Soft- und Hardwarelösung und ihrer Anwendung unter realen Bedingungen. Viele vorhandene Produkte setzen auf professionelle Software- und Hardwarelösungen. Je nach Verwendung stereoskopischer Hilfsmittel werden höhere Anforderungen an Hardware und Software gestellt. Spricht man von Verwendbarkeit bzw. Einsatz solcher Systeme, gehört neben einer stereoskopischen Visualisierung auch eine entsprechende ergonomische Umsetzung.

2 Ergebnisse

Als Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist eine Software entstanden, die ein stereoskopisches Arbeiten im virtuellen Raum ermöglicht. Um eine breite und individuelle Anwendbarkeit bei dennoch einfacher Nutzung zu gewährleisten, wurden verschiedene Möglichkeiten eingebunden. Die hier möglichen Funktionalitäten stehen exemplarisch für eine umfassende Simulationsumgebung:

1. Die Anwendung basiert zum Teil auf Microsoft Visual6 C++ mit MFC/MDI-Architektur und zusätzlich reiner C++ Codebasis [4], sodaß ein gewohnte und möglichst ergonomischer Benutzung geboten wird [5].
2. Als Grafikbibliothek wird OpenGL mit den zusätzlichen, frei erhältlichen Toolkits, GLUT und GLUI benutzt [1,6-8].
3. Benutzereingaben und Navigation erfolgen beliebig mit Tastatur, Maus, bel. USB-Gameport-Device (z.B. Sidewinder-3D-Dual-Strike), Joystickport-Device (z.B. Gamepad), Spezialeingabegeräten (Spaceball) oder kompatiblen Geräten. Eine Steuerung per Sprache ist mit entsprechendem Programm ebenfalls möglich [9,10].

Neben zahlreichen Import-[11], Export- und Bearbeitungsmöglichkeiten an den zweidimensionalen Daten lag das Hauptaugenmerk bei den 3D-Programmfunktionen und der engen Verknüpfung von 2D- und 3D-Aktionen:

1. Auswahl *verschiedener Stereoskopischer-Ansichtsmodi* (Anaglyph, Chromatek, Pageflipping, Interlaced D4D) mit Berücksichtigung der Benutzerparameter (Augenabstand u.ä.) [12-17].
2. Auswahl *verschiedener Fenstermodi* für verschiedenste Anforderungen (z.B. Mehrbildschirmbetrieb, Systembeschränkungen - das Benutzerinterface ist daran individuell anpaßbar).

3. Rekonstruktion mittels *modifiziertem Marching-Cube-Algorithmus* (direkt ohne jegliche Vorverarbeitung, wie Binärisierung).
4. *Interaktive* (Beleuchtung, Objektbearbeitung, Lokalisation, Navigation) *Visualisierung* im dreidimensionalen Raum.
5. Zur Orientierung im dreidimensionalen Raum bestehen verschiedene *Zusatz-Zeichenfunktionen*, wie Oberflächengitter und Flächennormalen.
6. *Export der Vektordaten* (wahlweise stereoskopisch oder normal, z.B. für Webpads als mobile digitale 3D-Akte) [18,19].

Um Aussagen über die Leistungsfähigkeit und Qualität (unter konkretem Einsatz) von derzeit auf dem Markt erhältlicher Hardware und Software in Verbindung mit der Anwendung machen zu können und Optimierungen durchführen zu können, wurden verschiedene Systeme getestet und mittels eingebauter Testfunktionen verglichen.

Die gewählten Systeme decken ein breites Spektrum an möglichen Systemen ab, die in dieser Art zur Zeit Anwendung finden[20-24]:

1. Pentium I-100 ohne 3D-Grafikkarte, IDE-System,64MB RAM
2. AMD-K6-2-333, 3D-Grafikkarte ohne T&L, IDE, 64MB RAM
3. Pentium II-600, 3D-Grafikkarte ohne T&L, IDE, 128 MB RAM
4. Pentium II-600, 3D-Grafikkarte mit T&L, IDE, 256MB RAM
5. Pentium III-800 DUAL, OPENGL-GRAFIKKARTE, SCSI, 2GB RAM

Verwendete Betriebssysteme sind Windows 95/98/ME, Windows NT4/2000.

Zur Stereo-3D-Ausstattung zählen exemplarisch: Dresden 3D-Display (D4D), Elsa-Revelator-Shutter-Brillen (stellvertretend für die Pageflipping Technik), Anaglyph-Brillen, Chromatek-Brillen.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild:

1. Eine Visualisierung vorbereiteter Objekte und Selektionen basierend auf der Rekonstruktion mittels Marching-Cube ist bereits auf einem Pentium der ersten Generation möglich.
2. Bearbeiten in 3D insbesondere größerer Objekte sind auf ~300Mhz-Systemen mit Standard-3D-Beschleunigerkarte möglich.
3. Zusätzliche Verarbeitung von Echtzeitdaten (z.B. von Meßsonden) in 3D erfordert je nach Aufwand eine bessere Systemkonfiguration (als in 1& 2).

Durch die stereoskopische Ansicht sind je nach Modus und vorhandener Hardware Leistungseinbußen bis zu 50% im Vergleich zu einer normalen Ansicht zu erwarten. Die Stereomodi können - nach Leistung absteigend - grob differenziert werden :

1. Nicht-Stereo-Ansicht, 2. Chromatek, 3. Pageflipping, 4. Anaglyph, 5. D4D

Weitere Details, Bilder der Anwendung, Beispiel-Exportdatensätze und Tabellen mit Testergebnissen zum besseren Verständnis sind auf der Homepage zum Programm vorhanden [25].

3 Diskussion

Neben der 3D-Rekonstruktion treten weitere Probleme und Fragen durch die hier gezielte Verwendung von stereoskopischen Methoden auf. Viele Systeme, insbesondere solche zur direkten interaktiven Visualisierung, stecken noch in der Entwicklung bzw. sind nicht vorhanden. Zudem fehlten detaillierte Erfahrungen und direkte praxisorientierte Vergleiche vorhandener Hardware und Software.

Die gewählte Hard- und Software beschränkt unter Umständen die Möglichkeiten einer medizinischen Anwendung (Stereoansichten z.B. sind nur im Vollbild möglich, LCD-Displays und Beamer haben eine zu niedrige Wiederholfrequenz für ein Stereobild in der Pageflipping-Technik, OpenGL-Beschleunigung funktioniert nur unter bestimmten Bedingungen u.ä.).

Je nach gewähltem Stereomodus ergeben sich teils Detailverluste bzw. sind die Tiefenstrukturen im Vergleich zu anderen Stereoansichten nicht so klar erkennbar. Die besten Verfahren sind die Stereomodi, die die Stereoansicht nicht durch Filter erzeugen (Anaglyph). Bei Pageflipping-Verfahren flimmert jedoch je nach Hardware das Bild etwas. Durch das D4D(Interlaced)-Verfahren erscheint an harten Übergängen eine leicht grobe Rasterung. Das interessanteste stereoskopische Verfahren ist das Chromatek-Verfahren. Solange keine Multimodalen Bilddaten gleichzeitig visualisiert werden müssen oder Bereiche hervorgehoben werden sollen (Selektionen u.ä.), liefert dieses Verfahren ein leicht navigierbares und editierbares räumliches Gebilde ohne ergonomische Nachteile für das Auge. Die Kosten sind bei diesem Verfahren die niedrigsten und es werden keine besonderen Mindestanforderungen an die Hardware gestellt. So kann dieses Verfahren Beispielsweise bei Präsentationen auf Großleinwänden oder bei der Benutzung von Webbasierten Systemen, wie Webpads (z.B. als kleiner mobiler Krankenaktenersatz) genutzt werden.

Ein Arbeiten im dreidimensionalen Raum erfordert eine entsprechende Steuermöglichkeit, da hier primär Rückmeldungen über den Sehvorgang entstehen. Nicht jedes Gerät ist für jede Aktion geeignet. Geräte, die mit einer Hand und ohne Unterlage bedient werden können eignen sich sehr gut an Orten, an denen eine zusätzliche flache Arbeitsfläche nicht vorhanden ist. Es ist damit eine einfach-genaue Steuerung ohne hohe Konzentration möglich, allerdings sind Kombinationen aus verschiedenen Geräten bzw. spezielle Controller wiederum besser für aufwendige Interaktionen geeignet (z.B. genaueste Eingriffe in kleinste Strukuren).

Die stereoskopische Visualisierung erleichtert mittels verschiedenster Techniken die interaktive Rekonstruktion. Die verschiedenen Techniken ermöglichen die Nutzung verschiedenster Systemkonfigurationen. Durch immer aufwendigere Spiele steigt die Nachfrage nach entsprechend leistungsfähiger Hardware im Consumerbereich. Teure Einzellösungen werden mittlerweile deutlich kostengünstigere, vergleichbare Lösungen auch für den Massenmarkt umgesetzt. Eine Nutzung teurer High-End-Systeme wird damit teilweise fraglich. Eine entsprechende Leistungssteigerung wäre nur noch durch individuelle, aber teure (einzelne) Programmierung eines Grafik-Systems möglich (und durch hohen Investitionen in spezielle Hardware). Durch eine breite Palette an Einstellungsmöglichkeiten in der Anwendung kann selbst auf betagten Systemen mit einfacher Stereo-Hardware gearbeitet werden (Chromatek-, Farb-Filter-Brille).

Durch die Wahl weit verbreiteter, leistungsfähiger und teilweise kostenfreier Softwarestandards ist eine Portabilität, Erweiterbarkeit und kostengünstige Nutzung gewährleistet.

4 Danksagung

Diese Arbeit wurde mit Mitteln des Ministeriums für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell gefördert.

5 Literaturverzeichnis

1. Woo, Mason; Neider, Jackie; Davis, Tom; Shreiner, Dave: OpenGL Programming Guide – Third Edition, The Official Guide to Learning OpenGL, Version 1.2

6 Verzeichnis der Internet-Seiten

2. http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html (vishum)
3. http://www.npac.syr.edu/projects/3Dvisiblehuman/3dvisiblehuman.html (VRML)
4. http://msdn.microsoft.com (Microsoft Windows, Entwickler-Seiten)
5. http://www.sozialnetz-hessen.de/Ergo-Online (Ergonomierichtlinien)
6. http://www.opengl.org (Grafikschnittstelle OpenGL)
7. http://www.xmission.com/~nate/index.html (GLUT – OpenGL Toolkit Win32)
8. http://www.cs.unc.edu/~rademach/glui (graf. Interface für GLUT)
9. http://www.labtec.com/product/family.cfm?CategoryID=4 (Spaceball 3D-Controller)
10. http://www.microsoft.com/germany/produkte/overview.asp?siteid=817 (3D-Contr.)
11. http://idt.net/~dclunie/medical-image-faq/html (medizinische Bildformate)
12. http://www.stereographics.com (Stereo-3D-Hardware, Informationen)
13. http://www.stereo3d.com (Überblick Stereotechnik, Informationen, Tests)
14. http://www.inf.tu-dresden.de/D4D/index.htm (D4D Stereo Monitor Technik)
15. http://www.elsa.de (Grafikkarten, Stereobrillen)
16. http://www.chromatek.com (stereoskopisches Verfahren)
17. http://www.sdsc.edu/~mjb/chromadepth (Michael Bailey, chromatek in opengl)
18. http://www-vrl.umich.edu/sel_prj/chroma3d (vrml und chromatek)
19. http://www.web3d.org (vrml, x3d, java3d)
20. http://www.forum3d.de (Hardware)
21. http://www.nvidia.com (Grafikkartenchipsätze)
22. http://www.matrox.de/mga/dev_relations/home.cfm (Hardware-Mehrschirmbetrieb)
23. http://www.intense3d.com (OpenGL 3D-Grafikkarten)
24. http://www.pc.ibm.com/de/intellistation.html (professionelle Workstations)
25. http://welcome.to/DicomGL-real3D (Homepage zum hier vorgest. Projekt)