

Integrierte visuelle und haptische Darstellung von Blutflüssen an Herzklappen

T. Heimann¹, A. Schroeder¹, C. Giess², J.M. Boese³, C.F. Vahl¹, S. Hagl¹

¹Labor für Herzchirurgie, Universitätsklinik Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 326, 69120 Heidelberg

²Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg

³Abteilung für Medizinische Physik
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
Email: theimann@stud.fh-heilbronn.de

Zusammenfassung. Für die Diagnostik und Therapie von Herzklappenfehlern ist die Darstellung der Richtung und der Geschwindigkeit des Blutflusses von Bedeutung. Zur Zeit erhält der Arzt die benötigten Informationen aus echokardiographischen Dopplerdaten oder mit Hilfe von Druckkathetern. Es ist allerdings wünschenswert, visuelle und haptische Informationen kombiniert darzustellen und so besser für die Diagnostik und Therapieplanung heranziehen zu können. Aus diesem Grund wurde ein Verfahren entwickelt, das unter Zuhilfenahme eines haptischen Interfaces (*PHANToM*) eine Darstellung der patientenspezifischen Morphologie kombiniert mit den funktionellen Informationen über Blutflussunterschiede ermöglicht. Somit sind zusätzlich zur rein visuellen, farblich kodierten Information über den Blutfluss die Druckunterschiede auch fühlbar.

1 Einleitung

In der Herzchirurgie ist eine detaillierte Kenntnis der spezifischen kardiomorphologischen und kardiophysiologischen Daten des Patienten essentiell für Diagnose und Therapie. Bei Herzklappeninsuffizienzen und Shunts ist die Entscheidung für oder gegen eine Operation in hohem Maße von den verfügbaren Flussinformationen abhängig. Zur Akquisition dieser Daten werden bisher neben den klassischen Druckkathetern und Angiographien hauptsächlich zwei- und dreidimensionale Ultraschallaufnahmen verwendet, die die dopplersonographisch gewonnenen Blutflussinformationen farblich kodiert darstellen [1].

Da für die Ärzte jede zusätzliche Information bedeutsam ist und zudem gerade der Chirurg mit seinen taktilen Sinnen sehr vertraut ist, haben wir die visuelle Darstellung um die haptische Dimension erweitert, den Blutfluss also spürbar gemacht. Dabei setzten wir uns folgende Ziele:

- Es muss möglich sein, vierdimensionale (zeitlich aufgelöste) Datensätze zu analysieren, um einen Eindruck von den Strömungsverhältnissen zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Herzzyklus zu gewinnen.

- Während einer Animation muss die haptische Ausgabe in Echtzeit erfolgen.
- Um die Druckwahrnehmung direkt mit der entsprechenden Position im Herzen verbinden zu können, muss auch eine aussagekräftige dreidimensionale Darstellung des Organs implementiert werden.

2 Material und Methoden

Ziel unserer Arbeit war die Erstellung eines Prototyps, mit dem die Realisierbarkeit von gleichzeitiger visueller und haptischer Ausgabe am Beispiel Herz gezeigt und deren Einsatzmöglichkeiten getestet werden sollten. Ausgehend von einem Testdatensatz wurden unter Ausnutzung existierender Toolkits Methoden entwickelt, die sich mit der integrierten Darstellung beschäftigen. Als Hardware-Plattform diente eine O2-Workstation von Silicon GraphicsTM.

2.1 Datenerfassung

Der verwendete Testdatensatz wurde mit einem funktionellen MRT als flusskodierter vierdimensionaler Datensatz aufgenommen. Die Aufnahmeorientierung liegt senkrecht zur Klappenebene, um die Hauptflüsse bestmöglich erkennen zu können. Er besteht zum einen aus den Amplitudenbildern, die die Morphologie abbilden, und zum anderen aus den Phasenbildern, in denen die Geschwindigkeiten kodiert sind. Ein Herzzyklus wurde zu 26 verschiedenen Zeitpunkten jeweils mit einem Volumen von $128 \times 128 \times 16$ Voxeln aufgezeichnet.

2.2 Vorverarbeitung

Um zu den verschiedenen Zeitpunkten im Herzzyklus die entsprechenden 3D-Oberflächenmodelle gewinnen zu können, muß die räumliche Struktur des Herzens vorab im Datensatz segmentiert worden sein. Dieser Schritt wurde semi-automatisch mit einem am DKFZ Heidelberg entwickelten Programm durchgeführt [2].

Aus den segmentierten Daten wird mit Hilfe des VTK (*Visualization Toolkit* von KitwareTM [3]) für jeden Zeitpunkt ein dreidimensionales Oberflächenmodell erstellt. Hierfür wird eine Visualisierungs-Pipeline aus mehreren Filtern durchlaufen, u.a. Gauss-Glättung, Marching Cubes und Polygon-Reduzierer. Um diese zeitintensiven Operationen nicht vor jeder Betrachtung neu durchführen zu müssen, werden die resultierenden Gittermodelle im STL-Format abgespeichert.

2.3 Haptisches Interface

Als haptisches Interface kommt das *PHANToM* von SensAbleTM [4] zum Einsatz. Dieses Gerät ermöglicht nicht nur eine dreidimensionale haptische Ausgabe über Servomotoren, sondern auch eine Eingabe in allen Raumrichtungen. Während der haptischen Simulation wird es als Navigationsinstrument im Herzen benutzt.

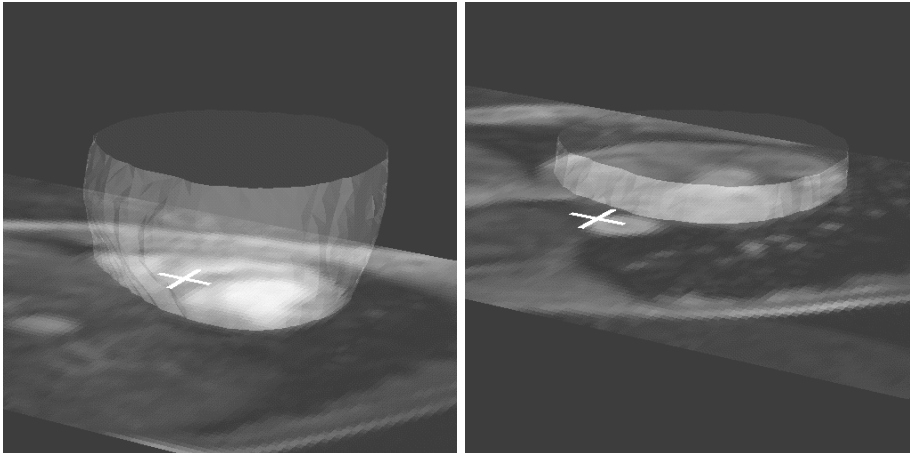


Abb. 1. Der durch das *PHANToM* gesteuerte Cursor an verschiedenen Positionen des Herzens. Die morphologischen Daten werden an der Schnittebene eingeblendet und sind durch die halb transparente Herzwand stets sichtbar.

Die haptische Simulation des Blutflusses basiert auf folgendem Prinzip: Da die Stärke des Flusses im funktionellen MR schon als Grauwert kodiert ist, muss dieser lediglich in eine lineare Kraft umgewandelt und an das *PHANToM* übergeben werden. Diese Kraft wirkt eindimensional, senkrecht zur Aufnahme-richtung. Der Eichwert für Strömungsstillstand kann im Programm interaktiv verändert werden. Um bei Bewegungen innerhalb des Volumens einen weichen Übergang zwischen den einzelnen Voxeln zu erzielen, wird der Flusswert trilinear interpoliert.

2.4 Visualisierung

Da die haptische Simulation echtzeitkritisch ist und einen nicht unerheblichen Teil der Systemressourcen beansprucht, ist bei der Visualisierung die zeitliche Performance essentiell. Das VTK konnte hier aufgrund seiner Pipeline-Architektur nicht überzeugen, so dass auf *OpenGL* [5] ausgewichen wurde.

Für die dreidimensionale Darstellung werden die im Vorverarbeitungsschritt abgespeicherten STL-Dateien in Display-Listen eingelesen, um die Performance zu optimieren. Bei der Animation des Herzzyklus beschränkt sich der Aufwand damit auf die Übergabe der dem jeweiligen Zeitpunkt entsprechenden Liste an den Renderer. An der aktuellen Position wird parallel zur MR-Aufnahmerichtung eine Schnittebene eingeblendet, die neben der Morphologie der Schicht einen Positionscursor zeigt. Um diese Ebene immer einsehen zu können, wird die Herzoberfläche halb transparent gerendert (Abb. 1).

Die Flussinformationen der aktuellen Schicht werden in einem anderen Fenster auf klassische Weise zweidimensional und farblich kodiert dargestellt. Auch hier wird zur Übersicht ein Positionscursor eingeblendet.

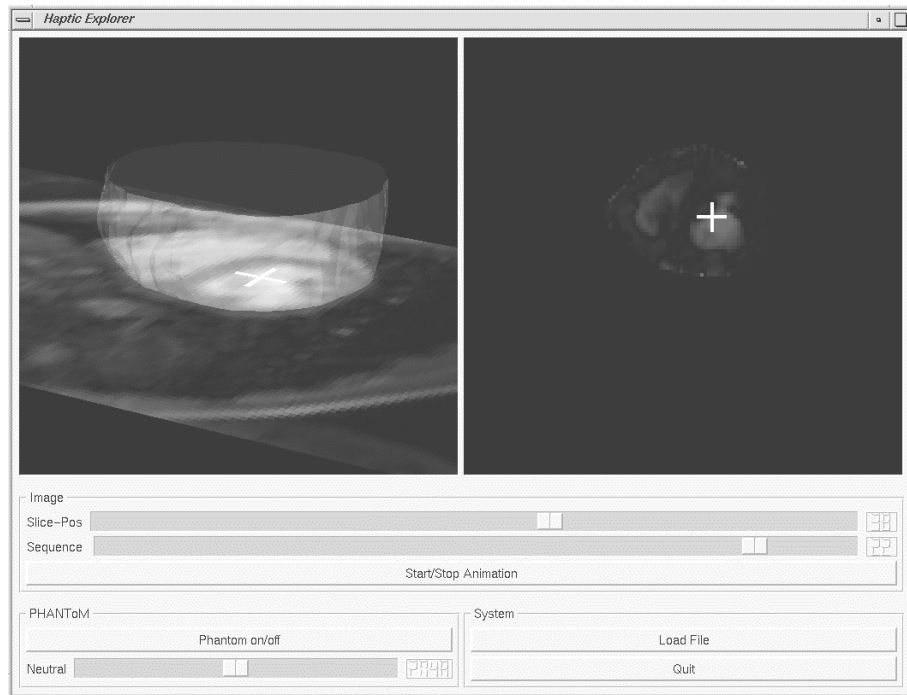


Abb. 2. Benutzeroberfläche des Prototyps. Auf der linken Seite das 3D-Fenster mit den morphologischen Daten, rechts das 2D-Fenster mit den farblich kodierten Flussdaten. Unten die verschiedenen Steuerelemente.

2.5 Benutzeroberfläche

Dem Benutzer wird eine intuitiv bedienbare Benutzeroberfläche, die auf der *QT*-Bibliothek basiert [6], geboten. Neben den beschriebenen Fenstern für 2D- und 3D-Visualisierung enthält sie die Steuerelemente für *PHANToM* und Bilddaten (Abb. 2). Durch die Verwendung von *QT* wird auf allen unterstützten Plattformen ein einheitliches und übersichtliches Gesamtbild abgegeben.

3 Ergebnisse und Ausblick

Die gleichzeitige Ausgabe von visueller und haptischer Information hat sich grundsätzlich als realisierbar herausgestellt. Auf der verwendeten Plattform konnte ein Echtzeitverhalten allerdings nicht erreicht werden, was sich darin äußert, dass Animationen zu langsam abgespielt werden. Problematisch sind hier vor allem die nicht für SGI optimierten Treiber des *PHANToM*-Interfaces.

Die Haptik an sich dagegen konnte überzeugen und lieferte neue Wahrnehmungen beim Analysieren von Flussdaten. Interessant erscheint die Möglichkeit, zusätzliche funktionelle Datensätze mit den Flussinformationen aus den bisher

fehlenden Dimensionen einzubinden und so die haptische Kraft auf drei Dimensionen zu erweitern. Hier könnten weitere Forschungen im Bereich der Operationssimulation ansetzen.

4 Zusammenfassung und Danksagung

Mit unserem Programm erhält der Herzchirurg gleichzeitig Informationen über die Morphologie, den Blutfluss und die zugrundeliegenden Druckunterschiede, die er für die Beurteilung von Shuntvitien benötigt. Auf einer leistungsfähigen Plattform kann er den Blutfluss während eines kompletten Herzzyklus in Echtzeit mitverfolgen. Ob dieses System auch im Rahmen von Operationssimulationen eingesetzt werden kann, muss noch untersucht werden.

Diese Arbeit wurde im Labor für Herzchirurgie der Universitätsklinik Heidelberg durchgeführt und im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 414 "Rechner- und sensorgestützte Chirurgie" von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.

Literatur

1. Heid V, Evers H, Henn C, Glombitza G, Meinzer HP: Interaktive Echtzeit-Mehrkanal-Visualisierung des Herzens. In: Horsch A, Lehmann T (Hrsg.). Bildverarbeitung für die Medizin 2000. Springer-Verlag, Berlin, 123-127, 2000.
2. Cardenas C, Braun V, Hassenpflug P et al.: Ein Framework für die Implementierung von Anwendungssystemen zur Verarbeitung und Visualisierung von medizinischen Bildern. In: Bildverarbeitung für die Medizin 2001. Springer-Verlag, Berlin, 2001.
3. Schroeder WJ, Martin KM, Avila LS, Law C: VTK User's Guide. Kitware Inc, 2000.
4. Massie TH: Initial haptic explorations with the PHANToM: virtual touch through point interaction. Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1996.
5. Woo M, Neider J, Davis T, Shreiner D: OpenGL Programming Guide. Addison-Wesley-Verlag, Reading, Massachusetts, 3.Auflage 1999.
6. Dalheimer MK: Programming with QT. O'Reilly & Associates, 1.Auflage 1999.