Ein neues Verfahren zur 3D-Echtzeitvisualisierung in der Echokardiographie

Michael Teistler[1], Rolf Engberding[2], Birgit Gerecke[2], Dietrich Peter Pretschner[1]

[1] Institut für Medizinische Informatik, Technische Universität Braunschweig
Fallersleber-Tor-Wall 22, 38100 Braunschweig
[2] Stadtkrankenhaus Wolfsburg
Sauerbruchstr.7, 38440 Wolfsburg
Email: m.teistler@umi.cs.tu-bs.de

Zusammenfassung. Beschrieben wird ein Konzept zur 3D-Echtzeitdarstellung in der Echokardiographie, das durch ein Zusatzsystem für konventionelle Ultraschallgeräte realisiert wurde. Herkömmliche 2D-Schichtbilder werden als Ebenen in einer virtuellen 3D-Szene dargestellt. Die Plazierung der Ebenen erfolgt gemäß der gemessenen Bewegung des Ultraschallkopfes. Durch die gleichzeitige Verarbeitung von EKG-Informationen ist es möglich, eine Vielzahl an unterschiedlichen Ebenen gleichzeitig und untereinander synchronisiert darzustellen. Die Visualisierung erfolgt in Echtzeit, d.h. alle erfaßten Ultraschalldaten werden ohne jegliche Verzögerung in der virtuellen Szene dargestellt. Zusammen mit der konventionellen 2D-Echokardiographie kann das System zum einen für Trainingszwecke eingesetzt werden, zum anderen ermöglicht es genauere Beurteilungen von anatomischen Strukturen und Blutflüssen.

Schlüsselwörter: 3D-Ultraschall, Visualisierung, Echokardiographie, Virtuelle 3D-Szenen, Training

1 Einleitung

Die Echokardiographie (Ultraschalluntersuchung des Herzens) nimmt als kostengünstiges, nicht-invasives und praktisch gefahrloses diagnostisches Verfahren einen stetig wachsenden Stellenwert in der Kardiologie ein. Wie in anderen Anwendungsgebieten der Ultraschalldiagnostik gibt es auch in der Echokardiographie Bestrebungen, die konventionelle 2D-Technik durch dreidimensionale Verfahren zu ergänzen. Gängige 3D-Systeme arbeiten nach zwei verschiedenen Prinzipien. In der Regel wird ein Volumen aus mehreren nacheinander aufgenommenen 2D-Schnittbildern rekonstruiert [1-6]. Dieses Verfahren besitzt den Nachteil, Echtzeitbedingungen nicht genügen zu können. Andererseits werden sog. Matrix-Schallköpfe eingesetzt, die in der Lage sind, ein komplettes Volumen auf einmal zu erfassen. Hierbei müssen zur Zeit allerdings noch Abstriche bezüglich der räumlichen Auflösung gemacht werden.

Hier soll ein alternativer Ansatz vorgestellt werden, der auf Basis der konventionellen 2D-Bildgebung (B-Mode und Farb-Doppler [11]) Echtzeit-3D-Ansichten ermöglicht.

2 Methode

Zunächst werden das Prinzip der Visualisierungstechnik und weitergehende Optionen vorgestellt. Anschließend wird kurz auf die Realisation eines entsprechenden Systems eingegangen.

2.1 Berechnung einer virtuellen Szene

Wie aus dem Gebiet der Freihand-3D-Rekonstruktion bekannt [1-5], wird während der sonographischen Untersuchung die Bewegung des Ultraschallkopfes durch ein Zusatzsystem gemessen. Ein Rechner verarbeitet diese Informationen zusammen mit den 2D-Ultraschallbildern, die per Framegrabber-Karte über den Video-Ausgang des Ultraschallgerätes erfaßt werden. Es wird eine dreidimensionale virtuelle Szene berechnet, in der die 2D-Schnittbilder gemäß der gemessenen Position und Orientierung des Ultraschallkopfes als Ebenen räumlich dargestellt werden (Abb. 1). Somit kann die virtuelle Szene als Repräsentation der Wirklichkeit aufgefaßt werden. Jede Ebene, die ein Ultraschall-Schnittbild repräsentiert, wird als simples Polygon realisiert, das eine Textur besitzt. Im einfachsten Fall wird jeder Punkt dieser Textur (Texel) ausschließlich durch einen Farbwert bestimmt, der dem des korrespondierenden Punktes im Original-Ultraschallbild entspricht. Es ist jedoch auch möglich, jedem Texel zusätzlich einen Transparenzwert zuzuweisen. Für B-Mode-Informationen wird dann jedem Texel der Farbwert Weiß zugeordnet, und die Transparenz durch die Helligkeit des entsprechenden Punktes im Originalbild (also die Echointensität) bestimmt. Für Doppler-Informationen wird der entsprechende Farbwert übernommen und die Transparenz auf einen konstanten Wert gesetzt.

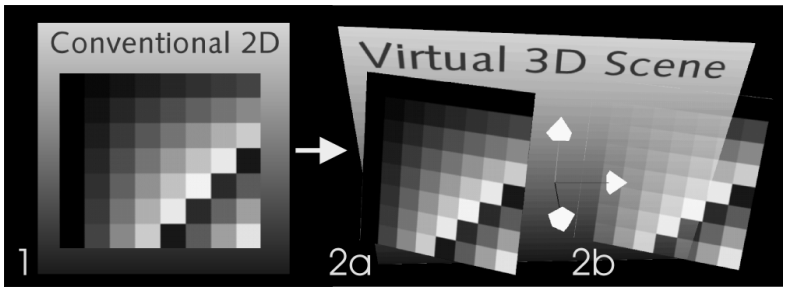

Abb. 1: Prinzip der Visualisierung anhand eines vereinfachten B-Mode-Ultraschallbilds. (1) Im herkömmlichen 2D-Bild werden Echointensitäten durch Helligkeitswerte kodiert. Räumliche Informationen beschränken sich auf die Lage der Echos zueinander auf der 2D-Ebene. (2a) Das Ultraschall-Schnittbild wird gemäß der Position des Ultraschallkopfes in einer 3D-Szene als Ebene dargestellt. (2b) Alternativ werden die Echointensitäten durch verschiedene Transparenzwerte kodiert.

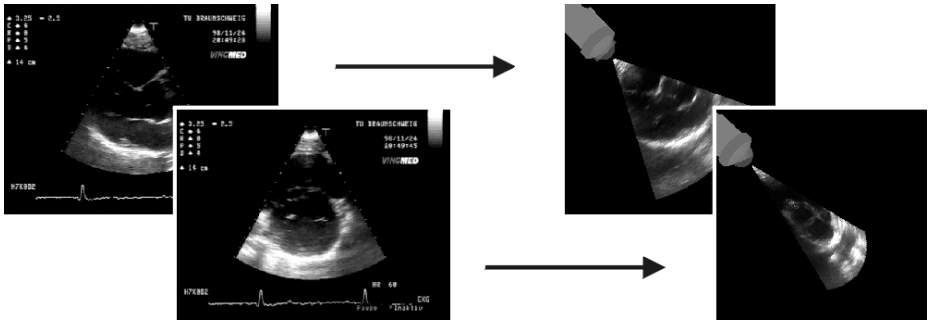

Abb. 2: Anwendung des Visualisierungsprinzips für die Echokardiographie. Zu sehen sind zwei typische sog. linksparasternale Schnittbilder (links) und deren Repräsentationen in der virtuellen 3D-Szene (rechts). Ebenfalls dargestellt ist ein virtueller Ultraschallkopf.

2.2 Visualisierungsoptionen

Neben Möglichkeiten zur Beeinflussung der oben beschriebenen Texturberechnungen existieren weitere Visualisierungsoptionen bezüglich der Anzahl gleichzeitig dargestellter Ebenen. Im normalen Modus wird stets nur die aktuelle Ebene dargestellt. In einem alternativen Modus werden mehrere Ebenen dargestellt, wobei jede einzelne Ebene nach ihrer Erzeugung kontinuierlich ausgeblendet wird. Dies wird durch eine Gesamttransparenz pro Ebene erreicht, deren Wert jeweils durch den Entstehungszeitpunkt der Ebene bestimmt wird. Dieser Modus bietet ein Radarähnliches Werkzeug zur 3D-Untersuchung. In beiden Modi kann jederzeit die aktuelle Ebene „eingefroren“ werden, so daß sie in der Szene verbleibt, bis sie explizit wieder gelöscht wird. Dies kann wahlweise EKG-getriggert erfolgen, so daß nur Ebenen dargestellt werden, die zum gleichen Zeitpunkt im Herzzyklus gehören. Um dynamische Ansichten mehrerer Ebenen zu erzeugen, ist es möglich, die Ultraschallbilder und die dazugehörigen EKG-Daten über eine beliebige Zeit zu sammeln, während der Untersucher den Ultraschallkopf bewegt. Immer, wenn für eine Ebene ein kompletter Herzzyklus aufgenommen wurde, findet eine akustische Benachrichtigung statt. Dabei werden alle akquirierten Daten sofort, d.h. in Echtzeit dargestellt. Abbildung 3 zeigt Beispiele auf diese Weise gewonnener 3D-Szenen.

Zusätzlich zu den Ultraschalldaten können auch weitere Objekte in die virtuelle Szene integriert werden. Beispielsweise kann auch der Ultraschallkopf dargestellt werden (wie in Abb. 2 zu sehen). Zudem ist es möglich, ein vereinfachtes Herzmodell so zu integrieren, daß dessen Lage und Größe in bezug auf die dargestellten Ultraschall-Schnittbilder annähernd angepaßt werden (entsprechend dem realen Herzen des untersuchten Patienten). Diese Erweiterungen der virtuellen Szene sollen unerfahrenen Untersuchern behilflich bei der Erlernung der echokardiographischen Untersuchungstechnik sein.

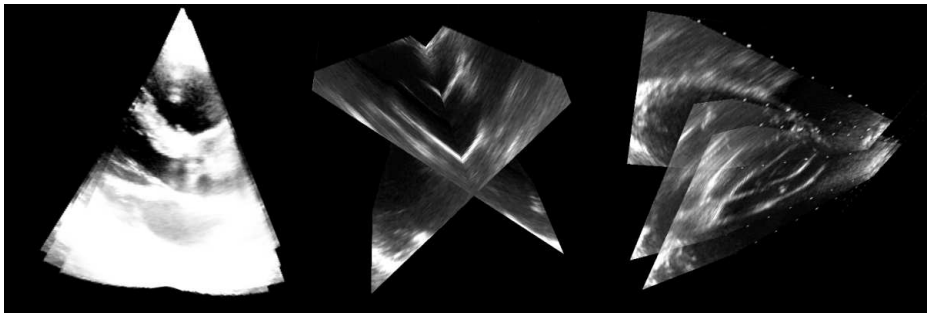

Abb. 3: Beispiele für die gleichzeitige Darstellung mehrerer Ebenen. Zu sehen sind linksparasternale Schnittbilder bei transparenter (links und rechts) und nichttransparenter (Mitte) Darstellung. Bei allen Beispielen handelt es sich um Bildschirmfotos dynamischer Szenen, d.h. jede dargestellte Ebene zeigt eine Sequenz von Einzelbildern von der Länge eines Herzzyklus.

2.3 Realisierung

Die beschriebene Visualisierungstechnik wurde durch das System *EchoVS* realisiert. Dieses wurde in C++ unter Verwendung der 3D-Grafikbibliothek *OpenInventor*™ [7] implementiert. Als Plattform dient die Visual Workstation 320 von Silicon Graphics™. Als Positionsmeßsystem kommt Polhemus Fastrak™ zum Einsatz. Die Gesamtkosten belaufen sich somit auf ca. 25.000 DM. Für den Einsatz als reines Lehrsystem kann *EchoVS* auch auf einem Standard-PC installiert werden, wobei dynamische Ansichten dann nur eingeschränkt möglich sind [8]. Damit reduzieren sich die Kosten auf ca. 15.000 DM.

3 Resultate und Diskussion

Die vorgestellte Art der Ultraschall-Visualisierung wurde erfolgreich eingesetzt, um Anfängern die 2D-Echokardiographie während realer Untersuchungen zu vermitteln. Die Möglichkeit der gleichzeitigen Darstellung mehrerer Ebenen (insbesondere echokardiographischer Standardebenen) verdeutlichte deren räumlichen Beziehungen zueinander. Als Lehrsystem bietet *EchoVS* eine Alternative zu rein virtuellen Trainingssystemen [10]. Da es sich bei der Sonographie um eine unschädliche und praktisch schmerzfreie Untersuchungsmethode handelt, lassen sich in entsprechenden Übungsgruppen problemlos Übungen am realen Menschen durchführen.

Der Nutzen in der klinischen Routine muß erst noch evaluiert werden. Von großem Vorteil verspricht die neuartige Visualisierung für die Beurteilung von Blutflüssen (bspw. bei Klappenregurgitationen) basierend auf der Farb-Doppler-Technik zu sein, da sie eine genauere Feststellung von Schweregrad und Flußmuster ermöglicht.

Die dynamischen 3D-Echtzeit-Ansichten werden durch die Konzentrierung auf einige ausgewählte Ebenen ermöglicht. Es ist nicht möglich, vollständige Volumina zu erzeugen. Interessanterweise wird allerdings selbst beim Vorliegen von kompletten 3D-Daten meist eine Schnittbild-Ansicht einem Volume-Rendering vorgezogen. Der

Nachteil des vorgestellten Systems beschränkt sich somit nur darauf, nicht im Nachhinein beliebige weitere Ebenen darstellen zu können, sondern immer nur die tatsächlich erfaßten. Einen Ansatz, direkt aus verschiedenen 2D-Ebenen ohne den Umweg der Volumenrekonstruktion beliebige weitere (auch nicht-planare) Ebenen zu berechnen, liefert [9]. Hierbei werden allerdings keine Echtzeitbedingungen erfüllt.

Es hat sich gezeigt, daß die Anzahl gleichzeitig darstellbarer dynamischer Ebenen vom System praktisch nicht begrenzt wurde. Vielmehr bestimmte die Dauer der Atmungsruhephase des untersuchten Patienten darüber, wieviele solcher Ebenen erfaßt werden können, die tatsächlich zueinander passen.

Im Vergleich zu den Kosten gängiger Echokardiographie-Geräte sind die Zusatzkosten für das entwickelte System als niedrig einzustufen.

Bezogen auf andere Anwendungsgebiete der Sonographie hat das vorgestellte System den Vorteil, daß das Arbeitsvolumen praktisch nicht eingeschränkt ist.

4 Literatur

1. Nelson TR, Pretorius DH: Interactive Acquisition, Analysis and Visualization of Sonographic Volume Data. International Journal of Imaging Systems and Technology, 8:26-7,1997.
2. Steiner H, Staudach A, Spinzer D, Schaffer H: Three-dimensional ultrasound in obstetrics and gynaecology: technique, possibilities and limitations, Human Reproduction, 9(9):1773-8, 1994.
3. Carr J: Surface Reconstruction in 3D Medical Imaging, Ph.D. Thesis. Christchurch, New Zealand: Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Canterbury, 1996.
4. Overhoff HM, Mutze S, Teistler M, Ehrhardt J: Quantification of Renal Partial Volumes from 3D-Reconstructions of Power Doppler Ultrasound Scans. Computer Assisted Radiology '96. Paris: Excerpta Medica International Congress Series 1124: 206-9,1996.
5. Franke A, Kühl HP, Hanrath P.: Dreidimensionale Rekonstruktion echokardiographischer Schnittbilder. Methodik, klinischer Stellenwert und Zukunftsperspektiven. Dtsch. med. Wschr. 123:1245-49, 1998.
6. Hamper UM, Trapanotto V, DeJong MR, Shet S: Three-dimensional Ultrasound: Exploring Clinical Applications for On-Site or Off-Site Review Using Commercially Available Equipment (abstract). Scientific Program, Radiological Society of North America Vol. 209 (P):265,1998.
7. Wernecke J: The Inventor Mentor, New York et al: Addison-Wesley, 1994.
8. Teistler M, Pretschner, DP: Add-on System for Ultrasonic Devices for 3D Visualization Improving Enabling Process in Echocardiography (abstract). Scientific Program, Radiological Society of North America Vol. 209 (P), 692, 1998.
9. Gee A, Prager R, Berman L: Non-planar Reslicing for Freehand 3D Ultrasound. Medical Iamge Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI '99:716-25 ,1999.
10. Berlage T, Fox T, Grunst G, Quast K: Supporting Ultrasound Diagnosis Using An Animated 3D Model of the Heart. Proceedings of IEEE Multimedia Systems ´96:34–39,1996.
11. Felix R, Ramm B: Das Röntgenbild einschließlich Computertomographie, Nuklearmedizin, Ultraschall, MRT, Thermographie, Digitale Radiographie, Strahlenbiologie, Strahlenschutz, neue RöV, Kapitel Ultraschalldiagnostik. Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Auflage 1988.