

Visualisierung anatomischer Strukturen von Oberbauchorganen mittels automatisch segmentierter 3D-Ultraschallbildvolumina Ergebnisse einer Pilotstudie

H.M. Overhoff¹, S. Maas¹, T. Cornelius¹, S. Hollerbach²

¹Labor für Geräte und Systeme der Gesundheitstechnik,
Fachhochschule Gelsenkirchen

²Knappschafts-Krankenhaus, Innere Medizin,
Ruhr Universität Bochum
Email: mo@pt.fh-gelsenkirchen.de

Zusammenfassung. Das Auffinden und das Staging von Tumoren und ihrer Metastasen in parenchymatösen Organen des Epigastriums wird durch moderne bildgebende Geräte wesentlich erleichtert. Für Befunde, die in “kurativer” Absicht operativ entfernt werden sollen bzw. können wurde die Machbarkeit einer ultraschallbild-basierten Diagnostik und Therapieplanung untersucht. In 3-D Ultraschall-Bildvolumina von 20 Patienten wurden charakteristische anatomische Strukturen (z.B. Gefäße, Abszesse, Tumoren) mittels spezifisch adaptierter automatischer computerbasierter Segmentierung gefunden und visualisiert. Das Auffinden pathologischer Befunde, ihre Quantifizierung und ihre räumlichen Beziehungen zu anatomischen Leitstrukturen wurden durch die 3D-Bildakquisition und die 2D- und 3D-Visualisierung wesentlich vereinfacht.

1 Einleitung

Durch die zunehmende Nutzung minimal invasiver Verfahren in der medizinischen Diagnostik und Therapie und durch den Trend hin zu traumaminimierenden Interventionen wurde es möglich, Vorteile in der Patientenversorgung bzgl. zuverlässiger Heilungsprozesse oder verminderter Rekonvaleszenzdauer zu erreichen. Allerdings vermisst der Chirurg bei solchen Prozeduren den direkten visuellen und taktilen Zugang zu den behandelten Organen. Dieses Defizit begründet den Bedarf an Assistenzsystemen, die den Verlust an Sinneswahrnehmungen zumindest teilweise kompensieren.

Von wesentlicher Bedeutung ist die intuitive und korrekte Visualisierung des Situs. Es gibt immer mehr Befunde, die vor Jahren noch als inoperabel galten, die heute aber in “kurativer” Absicht operativ entfernt werden sollen bzw. können. Für die Therapieplanung derart schwieriger Prozesse (z.B. Tumoren der Leber oder der ableitenden Gallenwege) sind weitere Verbesserungen der Bildgebung notwendig, um das Ausmaß der Tumordinfiltration in umgebende Strukturen (z.B. Gefäße, Peritoneum, Lymphknoten, Lymphabflusswege) bereits präoperativ zu

erfassen. Wünschenswert ist ein einfach handhabbares und nicht-ionisierendes bildgebendes Verfahren, durch dessen Verwendung Probleme bei der Zuordnung präoperativer Befunde zu ihrer intraoperativen Lage vermieden werden können. Da bereits geringe Veränderungen relativer Lagebeziehungen das Outcome einer Intervention wesentlich beeinflussen können, sollten technische Neuentwicklungen auch diesen Aspekt berücksichtigen.

Die 3D-Sonographie ist ein sich klinisch etablierendes nicht-ionisierendes bildgebendes Verfahren, das den genannten Erwartungen entsprechen könnte. Sie kann die 2D-Ultraschallbildgebung beispielsweise bei der Absicherung und Korrektur von Instrumentenpositionen während einer Intervention ergänzen [1] oder potentiell Röntgen-CT-Untersuchung ersetzen, die zur virtuellen Operationsplanung bei Eingriffen an der Leber durchgeführt werden [2][3]. Da aber die alleinige Darstellung des aufgezeichneten Ultraschallbildvolumens wegen der eingeschränkten Sicht auf relevante Strukturen von limitiertem Wert ist, werden diese Bildvolumina zur Visualisierung üblicherweise in orthogonalen Orientierungen virtuell geschnitten. Hiermit geht die unmittelbar visuelle räumliche Information aber verloren. Für eine nutzbringende 3D-Visualisierung ist die Reduktion des Bildvolumens auf seine diagnostisch relevanten anatomischen und pathologischen Strukturen notwendig, weswegen in einigen Fällen eine manuelle Segmentierung durchgeführt wird [4]. Allerdings ist solch ein Vorgehen zeitaufwendig und kann zu untersucherabhängigen Ergebnissen führen. Eine Abgrenzung beispielsweise von Lebergefäßen, Tumorgewebe oder anderen Raumforderungen sollte besser automatisch erfolgen.

Für eine automatische Segmentierung werden hier die typischen Eigenschaften der bildlichen Darstellung von Gefäßen und Tumoren – d.h. ihre charakteristische Gestalt und ihre charakteristische Grauwertdarstellung in Ultraschallbildern – analysiert. Durch die Visualisierung der segmentierten Strukturen lassen sich Befunde klar und eindeutig demonstrieren und ihr Bezug zu anatomischen Leitstrukturen zeigen. Solch eine Darstellung macht die Gefäßinfiltration von Tumoren offensichtlich, und weiterhin erlaubt sie eine reproduzierbare Befundidentifikation z.B. bei Patienten follow-ups. Segmentierte Raumforderungen lassen sich so bzgl. Größe, Gestalt und quantitativer Maße wie Distanzen oder Volumen bestimmen. Erste Ergebnisse einer Pilotstudie werden vorgestellt.

2 Material

Von 20 aufeinander folgend untersuchten Patienten mit Leberprozessen wurde jeweils ein transkutanes 3D-Ultraschallbildvolumen des Organs mit Hilfe eines selbst entwickelten 3D-Ultraschallsystems aufgezeichnet. Die Aufzeichnungstechnik beruht auf einem konventionellen Ultraschallgerät (Hitachi EDUB 6000TM) und einem kommerziellen Positionsmessgerät (Zebris CMS 100TM), das zur Vermessung der Bewegung des Schallkopfes dient.

Für die Bildaufzeichnung wurde ein 7.5 MHz curved array Schallkopf benutzt, der Bildkontrast wurde manuell eingestellt. Die Pixelkantenlänge betrug ca. 0.1 mm x 0.1 mm. Die Positionsmessung wurde für einen nahezu würfelförmiges

Arbeitsvolumen mit ca. 570 mm Kantenlänge optimiert. Dieses große Arbeitsvolumen erlaubte eine weiträumige Aufzeichnung der interessierenden Körperregionen unter klinischen Bedingungen. Die Genauigkeit der Lagemessung betrug ca. 0.75 mm. Das zeitgleiche Aufzeichnen der Schallkopfbewegung über die an ihm fixierten Schallsenderchen und der Ultraschallbilder über eine Videoschnittstelle erlaubte die räumlich korrekte Positionierung der Einzelbilder zu einem Bildvolumen.

Während eines Freihandschwenks wurden Bild- und Bewegungsdaten synchron von einem PC (Intel PentiumTM II, 128 MB RAM, Microsoft Windows 95/NTTM) aufgezeichnet.

3 Methoden

Die einzelnen Ultraschallbilder enthalten charakteristische Leberstrukturen, die beispielsweise als Leitstrukturen dienen können (Abbildung 1) oder auch pathologische Veränderungen zeigen (Abbildung 2). Jedes dieser Bilder wird individuell nach Gefäßen und Raumforderungen segmentiert.

Zur automatischen Gefäß-Segmentierung wird deren Darstellung durch im wesentlichen dunkle zusammenhängende Pixel für ein regionenbasiertes Verfahren genutzt. Um die Verarbeitungszeit zu minimieren wurde dieser Teil der Segmentierung nur in einer manuell definierten Region of Interest durchgeführt. Das Auffinden von Tumormetastasen mit typischem Aussehen (Abbildung 2) wird durch ein spezifisch adaptiertes texturorientiertes Verfahren erledigt. Beide Segmentierungsschritte wurden auf die Vermeidung falsch-positiver Ergebnisse optimiert. So sollten Fehlinterpretationen vermieden werden, die beispielsweise durch Artefakte verursacht werden könnten.

Die Bildverarbeitung und Visualisierung wurde durchgeführt auf einem PC-System unter Benutzung der objektorientierten multi-threading-fähigen C++ Klassenbibliotheken PicLib und OpsLib [5].

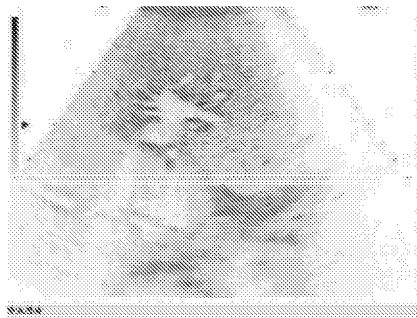
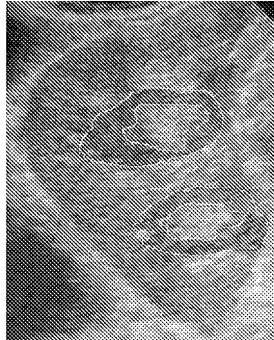


Abb. 1. Ultraschallbild der Leber (grauwertinvertiert). Deutlich sichtbar ist ein Querschnitt durch das Portalvenensystem im oberen Bildteil.

Abb. 2. Metastasen im Ultraschallbild der Leber. Die Metastasen zeigen einen charakteristischen dunkeln Saum sowie einen helleren zentralen Bereich (zur Demonstration manuell umrandet).



4 Ergebnisse

Die Segmentierungsdauer betrug ca. 20 Minuten für ein Bildvolumen, als Ergebnis wurde ein virtuelles Modell des Gefäßbaumes und des Tumors erstellt. Die segmentierten Lebergefäße und die tatsächlichen Gefäßwände entsprechen sich geometrisch korrekt (Abbildung 3). Probleme traten auf bei Gefäßkalibern kleiner als 0.3 mm, bei denen die gesamte Gefäßgestalt nicht mehr vollständig aufgefunden werden konnte. Die Tumordetektion war erfolgreich nur für eindeutig den genannten Kriterien entsprechender Bilddarstellung, d.h. bei dunklem Tumorsaum und hellem Tumorzentrum. Die Segmentierungen lieferten keine falsch-positiven Tumore (Abbildung 4). Wurde in einem Einzelbild, bedingt durch zu geringen Kontrast, ein Tumor nicht gefunden, gelang dies jedoch i.a. in den Nachbarbildern. Ca. 80% aller Tumoren wurden so detektiert.

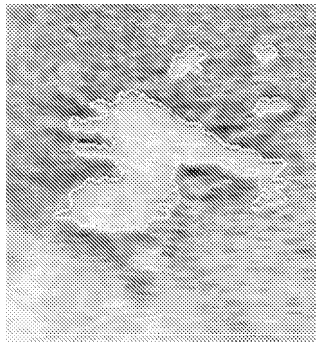


Abb. 3. Automatisch segmentierter Querschnitt durch das Portalvenensystem (weiße Linie), vgl. Abbildung 1. Feine Strukturanteile der Gefäße links oben und kleine Gefäße (rechts oben) wurden gefunden.

5 Diskussion

3D-Ultraschallbildvolumina gewähren eine differenzierte Einsicht in die Morphologie und sind insbesondere bei der Beurteilung komplexer Befunde einer 2D-Befundung überlegen. Die 3D-Visualisierung aufgearbeiteter, d.h. segmentierter Strukturen stellt Befunde intuitiver dar und erleichtert das Erkennen anatomischer Bezüge. Eine automatische Segmentierung ist allerdings eine wesentliche Voraussetzung für solch eine reproduzierbare und untersucherunabhängige Diagnostik. Erste Ergebnisse für die Detektion und Visualisierung von Lebergefäßen und -tumoren wurden vorgestellt.

Die laufenden Arbeiten sind auf das Auffinden von Gefäßanteilen mit kleineren Durchmessern und insbesondere auf eine robuste Detektion intrahepatischer Raumforderungen ausgerichtet.

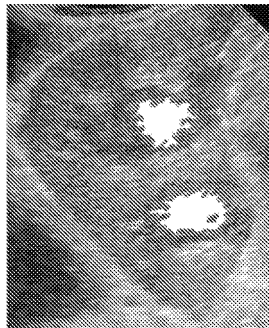


Abb. 4. Automatisch segmentierte Zentren von Metastasen. Dieses Zwischenergebnis ist die Basis für die endgültige Abgrenzung des gesamten Tumors, vgl. Abbildung 1.

Literaturverzeichnis

1. Rose SC, Hassanein TI, Easter DW, Gamagami RA, Bouvet M, Pretorius DH, Nelson TR, Kinney TB, James GM: Value of three-dimensional US for optimizing guidance for ablating focal liver tumors. *J Vasc Interv Radiol* (12): 507-515, 2001.
2. Oldhafer KJ, Högemann D, Stamm G, Raab R, Peitgen H-O, Galanski M: Three-dimensional (3-D) visualization of the liver for planning extensive liver resections. *Chirurg* (70): 233-238, 1999.
3. Lamadé W, Glombitza G, Demiris AM, Cardenas C, Meinzer HP, Herfarth C. Virtual operation planning in liver surgery. *Chirurg* (70): 239-245, 1999.
4. Lang H, Wolf GK, Prokop M, Nuber B, Weimann A, Raab R, Zoller WG. Three-dimensional ultrasound for volume measurement of liver tumors. *Chirurg* (70): 246-250, 1999.
5. Günther S, Overhoff HM, Stiller E. Concept and Realization of an Object-Oriented Class-Library designed for 3-D Image Processing and Visualization in Medical Diagnostics. *Medical Imaging 1999: Image Display*, Seong Ki Mun, Yongmin Kim (eds.), Proceedings of SPIE (3661): 332-342, 1999