Ein ergonomisches System für die interaktive Volumenmessung in der Herz- und Leberchirurgie

Athanasios M. Demiris[1], Gerald Glombitza[1], Marc R. Göpfert[1], Antje Schroeder[2], Jörg Albers[2], Wolfram Lamadé[3], Hans-Peter Meinzer[1]

[1]Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. MBI / H0100
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
[2]Chirurgische Universitätsklinik Heidelberg, Abt. Herzchirurgie
[3]Chirurgische Universitätsklinik Heidelberg, Abt. Allg. Chirurgie
Email: A.M.Demiris@Computer.org

Zusammenfassung. In sehr vielen disjunkten, klinischen Fragestellungen spielt die Messung des Volumens, der Volumenverhältnisse oder der Volumenänderung bestimmter Organe oder Körperregionen eine zentrale Rolle. Die medizinische Bildverarbeitung bietet hierfür sehr gut geeignete Methoden an. Nach einer initialen Segmentierung zur Identifikation der Regionen, die vermessen werden sollen, erfolgt die Berechnung des Volumens. Eine Reihe von existierenden Verfahren und Systemen scheint allerdings zwei wichtige Aspekte zu vernachlässigen: die Anpassungsfähigkeit der eingesetzten Segmentierungsverfahren und die Einfachheit der Bedienung. Außerdem eignen sich die Algorithmen für die Volumenberechnung nicht für alle Bildgebungsverfahren. Um diese Aspekte zu berücksichtigen, wurde in unserer Arbeitsgruppe das Volumenmeßsystem VolMeS (Volume Measuring System) entwickelt, das die Volumenmessung in der Herzchirurgie und verschiedenen anderen Anwendungsgebieten der klinischen Bildverarbeitung im Routinebetrieb genau und effektiv erlaubt.

Schlüsselwörter: Volumenmessung, Ergonomie, Segmentierung, Partialvolumen Effekt

1 Einleitung

Seit einigen Jahren konzentriert sich ein großer Teil der Forschungsbemühungen im Bereich der medizinischen Bildverarbeitung auf die Computer-basierte Unterstützung der Operationsplanung. Der genaue Ablauf und der Aufbau der Operationsplanung ist von dem konkreten klinischen Anwendungsgebiet abhängig. Alle Anwendungen der computerunterstützten Chirurgie haben allerdings zwei Aspekte gemeinsam: die Quantifizierung des Bildinhaltes und die Visualisierung der Ergebnisse. Beide setzen die Klassifikation des Bildmaterials, also die Segmentierung, voraus. Im Rahmen zweier klinischer Projekte in der Leber- und Herzchirurgie, ist in unserer Abteilung ein System entwickelt worden, welches die semiautomatische Segmentierung und Volumenmessung in Schichtbildern erlaubt. Der Auslöser für eine Neuentwicklung, trotz zahlreicher Lösungen im Bereich der Bildverarbeitung, war der Mangel an domänenspezifischen, ergonomischen Lösungen sowie auch die Notwendigkeit für präzise Volumenmessung, unabhängig von Eigenheiten der Bildgebung. Das Zustande gekommene System trägt die Arbeitsbezeichnung VolMeS (<u>Vo</u>lume <u>Me</u>asuring <u>Sy</u>stem).

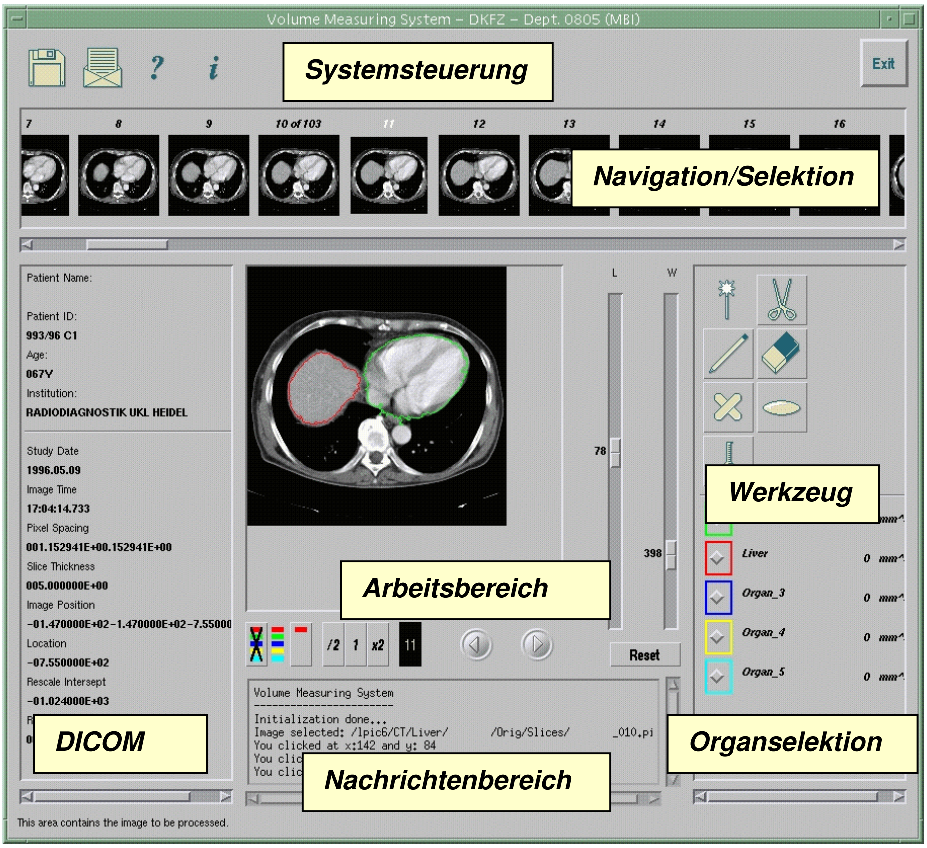

Abb. 1 Ein Überblick über das System VolMeS. VolMeS ist in verschiedenen Bereichen unterteilt, die für die Bearbeitung unterschiedlicher Aufgaben gedacht sind.

2 Material und Methoden

2.1 Aufbau

VolMeS wurde nach Software-ergonomischen Kriterien entwickelt [1]. Es besteht aus mehreren Komponenten, die jeweils für bestimmte Aufgaben zuständig sind (Abb. 1). Neben einer Navigations- und Selektionsleiste mit Miniaturen der Bildschichten, gibt es einen Teilbereich zum Anzeigen der Informationen über den Patienten und die Bildgebung (DICOM-Information). Im Mittelpunkt des Systems steht die Arbeitsfläche, in der das Bild angezeigt und bearbeitet werden kann. Ein weiterer Teilbereich beinhaltet die Werkzeuge, welche zur Segmentierung des Bildmaterials verwendet werden können. In der minimalen Konfiguration beinhaltet dieser Bereich Werkzeuge zur Segmentierung und zur Korrektur der Segmentierung in jeweils einer manuellen und einer semiautomatischen Variante. Die Selektion und Zusammensetzung dieser Werkzeuge kann von einem Experten durchgeführt und danach vom medizinischen Endanwender in seinem Kontext eingesetzt werden.

2.2 Ergonomie

Die Akzeptanz eines Systems hängt davon ab, ob die Arbeitssituation durch dessen Einführung erleichtert oder erschwert wird. Ein neues Software-Paket mit aufwendiger Einarbeitung führt in der Regel zur Ablehnung einer Lösung, oft auch wenn die eingebaute Funktionalität sehr hohen Standards entspricht. Die Bedienung des Systems sollte in domänennaher Art und Weise erfolgen [2]. In der klinischen Bildverarbeitung würde ein System mit einer extrem breiten Palette an Werkzeugen, deren Parameter einzeln eingestellt werden müssen zu den Kandidaten für eine Ablehnung seitens der medizinischen Endanwender gehören, da viele Einzelheiten einer fremden Domäne, nämlich der Bildverarbeitung, für die erfolgreiche Bedienung des Systems erforderlich wären. Alle Abläufe im System müssen entweder den Abläufen im Einsatzgebiet entsprechen oder über einfache Metaphern mit ihnen assoziiert werden [3,4].

VolMeS unterstützt die Arbeit mit klinischen Studien und anatomischen Organen. Eine Sitzung mit VolMeS entspricht der Bearbeitung der Bilddaten eines Patienten, die im Rahmen einer Aufnahmesitzung in der radiologischen Abteilung entstanden sind. Alle relevanten Daten werden vom System detektiert und in die Navigationsleiste geladen. Die Bilddaten werden schichtweise bearbeitet. Alle Aktionen beziehen sich ausschließlich auf ein Organ. Die Grenzen des Organs werden farblich dargestellt; pro Organ wird eine vom Benutzer selektierte Farbe verwendet. Es ist möglich alle bereits bearbeitete Organe der aktuellen Schicht zusätzlich einzublenden, um die räumlichen Beziehungen besser zu visualisieren.

Zur Bearbeitung stehen zwei Klassen von algorithmischen Sequenzen zur Verfügung: semiautomatische und manuelle Werkzeuge. Zu den semiautomatischen gehören ein Region-Growing Algorithmus und eine Funktion zur Korrektur von Konturausläufen auf der Basis von Illusionskanten [5]. Manuelle Werkzeuge sind solche, die ein freies Einzeichnen oder Entfernen von Kontursegmenten mit dem Eingabegerät (Maus oder Graphik-Tablett) ermöglichen. Für alle Algorithmen besteht die Möglichkeit der Parametereinstellung. Diese erfolgt in der Regel von dem Fachpersonal, bevor das System für eine bestimmte Anwendung vom klinischen Personal freigegeben wird. Damit ist kein technisches Fachwissen von Seiten des medizinischen Anwenders erforderlich.

Eine weitere Reihe von Anpassungen an die Anforderungen der klinischen Routine sind am System vorgenommen worden. Die im DICOM-Kopf der Bilddaten gefundene Information wird in einem getrennten Bereich angezeigt. Die fünf wichtigsten Einträge (nach einer Umfrage bei einigen Anwendern) werden immer angezeigt. Zusätzliche Einträge können individuell nach Bedarf ein- oder ausgeblendet werden. Alle Kommentare, Änderungswünsche oder Probleme der Anwender können während der

Arbeit mit dem System protokolliert werden und sowohl in eine Datei gespeichert, als auch per E-Mail an die Entwickler verschickt werden.

2.2 Volumenmessung

Nach der Segmentierung des Bildmaterials erfolgt die Volumenberechnung. Hierfür stehen dann zwei Alternativen zur Verfügung. Das erste Verfahren, das die Anzahl der segmentierten Voxel mit der Voxel-Größe multipliziert, ist sehr weit verbreitet. In unserer Implementierung werden Eigenheiten diverser Bildgebungstechniken berücksichtigt. So ist die Größe eines Voxels im Falle eines Spiral-CTs abhängig davon, ob bei der Rekonstruktion die Schichten direkt aufeinanderfolgend berechnet wurden, oder ob es Überlappungen bzw. Lücken zwischen den Schichten gibt. Das zweite Verfahren, welches wir als "randgenau" bezeichnen, gewichtet alle Voxel, die in ihrer Nachbarschicht keine darunterliegenden Voxel haben, so daß der Einfluß des "Partial-Volume" Effekts reduziert werden kann.

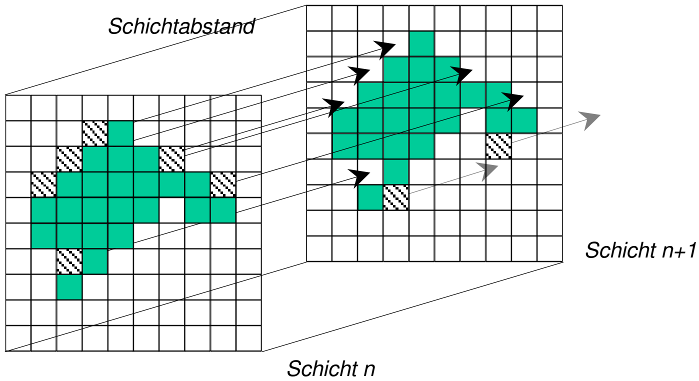

Abb. 2 Randgenaue Berechnung am Beispiel zweier benachbarten Schichten im Bildvolumen. Die schraffierten Quadrate repräsentieren Pixel, die keine Nachbarn besitzen und damit anders gewichtet werden.

In der Operationsplanung für die onkologische Leberchirurgie ist es sehr üblich, kontrastmittelverstärkte spiral-CT Aufnahmen mit Überlappungen [6] zu erstellen. Die Aufnahmeprotokolle unserer klinischen Partner sahen Bildserien mit 60 bis 120 Schichten á 5mm dick, vor. Der Schichtabstand beträgt in der Regel in diesen Protokollen 2mm. Damit entstehen mehrfache Überlappungen. Der Partialvolumeneffekt läßt sich in z-Richtung (von Schicht zu Schicht) reduzieren, indem man Voxel eines Organs besonders gewichtet, die in der Nachbarschicht keinen Nachfolger haben (d.h. das Voxel mit den gleichen Koordinaten in der nächsten Schicht gehört nicht mehr zum betrachteten Organ). Der Grund dafür ist, daß die Verteilung vom Gewebe ungünstig für das Auftreten in der zweiten Schicht war. Am Beispiel: das Gewebe war 2mm dick, während die Schicht 5mm dick war. Dadurch entsteht an dieser Stelle im CT Bild ein Punkt, der wesentlich dunkler ist, als die zum Organ gehörenden Voxel.

Damit wird dieses Voxel während der Segmentierung nicht mehr zum Organ gezählt. Besonders betroffen sind Organe, die viele Krümmungen aufweisen. Voxel, die Nachfolger besitzen, beinhalten definitiv Gewebe und sind nicht als Ergebnis einer Mittelung zu betrachten.

3Ergebnisse

Momentane Anwendung findet das System in der Operationsplanung für die Herz- und onkologische Leberchirurgie. Für erstere wird die funktionelle Untersuchung der Herzventrikel ermöglicht. Die Volumenänderung des linken Ventrikels über die Zeit (z.B. Vergleich zw. endsystolischem und enddiastolischem Volumen) ist eine wichtige kardiologische Determinante und stellt eine quantitative Funktionsmessung dar. In der onkologischen Leberchirurgie ist die Resektion eines Tumors oder metastatischer Regionen in der Leber nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Lage des Tumors und das Volumenverhältnis zwischen dem gesunden und dem pathologischen Gewebe. Das zugrundeliegende Bildmaterial sind MR oder native und kontrastmittelverstärkte CT Schichten eines Patienten. Wenn native und kontrastmittelverstärkte CT Bildserien vorliegen, so wird automatisch (transparent für den Endanwender) ein Vektor-Region-Growing anstelle konventioneller skalarer Verfahren zur Segmentierung eingesetzt.

Zur Zeit wird das System routinemäßig von medizinschem Fachpersonal an zahlreichen MR sowie CT Bildserien getestet, allerdings noch nicht im klinischen Betrieb. Es besteht hierbei die Möglichkeit, Kommentare über das eingebaute Feed-Back-System an die Entwickler per e-Mail zu senden. Der Segmentierungsaufwand wird vom System zur Laufzeit berechnet und festgehalten, um Verbesserungen ergonomischer Natur vornehmen zu können. Eine sehr ausführliche Testreihe mit unterschiedlichen Bildaufnahmetechniken, um den genauen Unterschied der beiden Verfahren der Volumenmessung zu validieren, läuft demnächst an.

4Literatur

1. Demiris AM, Meinzer HP: Cognition Based Development and Evaluation of Ergonomic User Interfaces form Medical Image Processing and Archiving Systems. Medical Informatics, 22(4):349-358, 1997.
2. Gulliksen J, Sandblad B: Domain Specific Design of User Interfaces. International Journal of Human-Computer Interaction, 7(1):135-151, 1994
3. Dutke S: Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Verlag für Angewandte Psychologie, Göttingen, 1994.
4. Carrol JM, Mack R, Kellog W: Interface Metaphors and User Interface Design. in: Helander M (Ed.): Handbook of Human-Computer Interaction, Elsevier, Amsterdam, 1988
5. Glombitza G, Makabe MH, Meinzer HP: Formorientierte Korrektur von regionenbasierten Bildanalysemethoden. in: Arnolds B, Müller H, Saupe D, Tolxdorff T (Eds.): Digitale Bildverarbeitung in der Medizin, Universität Freiburg, 120-125, 1996.
6. Seeram E: Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications and Quality Control. W.B. Saunders Comp., Philadelphia USA, 1994.