

4D-Segmentierung des linken Ventrikels basierend auf Region Growing und einer speziellen Bildaufbereitung angewendet auf CT, MR und U/S

Christian Dold¹, Stefan Wesarg¹, Evelyn A. Firlre¹ und Mathias Seitel²

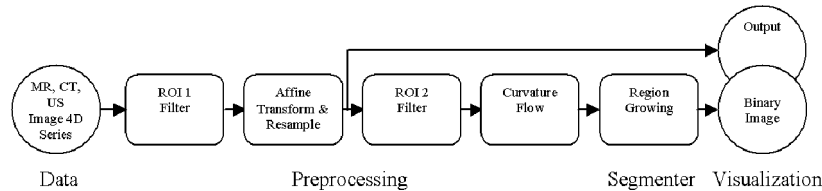
¹Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung, Abteilung Cognitive Computing and Medical Imaging, Fraunhoferstr.5, 64283 Darmstadt

²GE India Technology Centre Pvt. Ltd., 122, EPIP, Phase 2, Hoodi Village, Whitefield Road, Bangalore 560 066, India
Email: Christian.dold@igd.fraunhofer.de

Zusammenfassung. Es wurde eine Softwareplattform entwickelt, die 4D-Datensätze von CT-, MR- und Ultraschalldaten segmentieren kann. Dabei ist sie sehr leicht zu bedienen und auf die unterschiedlichen Modalitäten anpassbar. Bei der Herzanalyse wird enorm viel Zeit gespart, da lediglich die Region-of-Interest, ein Seedpunkt und die Ober-/Untergrenze des Grauwertes angegeben werden muß, um eine 4D-Segmentierung vorzunehmen. Die Daten müssen nicht, wie üblich, in der Kurzachsenaufnahme zur Verfügung stehen, da sie beliebig vom Radiologen mit der Software ausgerichtet werden können. Auch ist das Ergebnis nicht mehr von der zu bedienenden Person abhängig, sondern reproduzierbar.

1 Einleitung

Die globale linksventrikuläre Größe und Masse ist für die Diagnose und Prognose für Patienten mit Herzerkrankung sehr wichtig. Die Herzwandbewegung, Myokarddickenänderung und die regionale Ejektionsfraktion sind für die Beurteilung einer Ischämie unabdingbar. Die exakte Analyse des linken Ventrikels spielt somit eine entscheidende Rolle bei der Herzanalyse. Basierend auf MR-, CT- oder Ultraschalldaten werden in Kliniken Diagnosen erstellt, die weitreichende Folgen für den Patienten haben können. Das Volumen des linken Ventrikels wird bis heute mit Fehlerquoten von 5-10% ermittelt. Hauptgrund hierfür sind zum einen die unterschiedlichen Methoden und Modalitäten, aber auch andererseits die Variationen bei einer manuellen Segmentierung. Zudem wird mit der Papillarmuskulatur nicht einheitlich verfahren, da dazu modernste und teure Softwaretools notwendig sind, die sich nur große Herzzentren leisten. Diese Tools haben das Problem der linken Ventrikel-Segmentierung nur bedingt gelöst. Laut Aussage von Radiologen gibt es oft falsche Ergebnisse, und eine Kurzachsenaufnahme wird vorausgesetzt. Ist diese Aufnahme nicht vorhanden, muß eine neue erstellt werden. Es ist wünschenswert, dass man sowohl CT-, MR- als auch Ultraschall

Abb. 1. Pipeline der Segmentierung

4D-Herzdatensätze reproduzierbar und leicht bedienbar analysieren kann. Zudem sollte sich die Software nach den Vorgaben der American Heart Association (AHA) [1] richten.

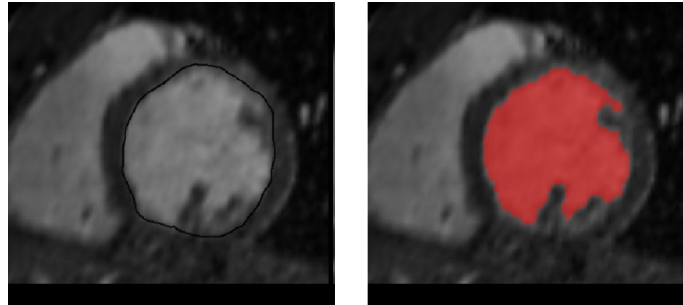
2 Stand der Forschung

Einige kommerzielle Tools zur Analyse des linken Ventrikels und der Herzwand sind auf dem Markt verfügbar. Sie benutzen meist eine Bildaufbereitung, einen komplexen Algorithmus zur Segmentierung und das a priori Wissen des Radiologen, um das Volumen des linken Ventrikels zu ermitteln. Zur Segmentierung gibt es verschiedene Ansätze wie z.B. Region Growing [2], Level Sets [3] und modellbasierte Segmentierung [4]. Da Region Growing nur auf den Grauwerten basiert, ist es sehr einfach zu bedienen und enorm schnell. Level Sets benötigen eine Startkontur und verwenden Differential-Gleichungen, um sich iterativ der Anatomie anzupassen. Modellbasierte Segmentierungen benutzen z.B. ein Modell des linken Ventrikels als Ausgangsform und deformieren sich solange, bis die inneren und äußeren Kräfte möglichst gering sind. Bei den beiden letzten Methoden hängt die Einstellung der Parameter stark vom Bildmaterial ab und ist nur von Spezialisten in der Bildverarbeitung schnell bedienbar. Dank der letzten Entwicklungen im MR-Bereich [5, 6, 7, 8] (atemgetriggerte Aufnahme, Mehrkanal Empfangsspulen, stärkeres Gradientensystem und parallel imaging) und CT-Bereich [9] (Mehrzeilen-CT, schnellere Rotation) sind die Bilddaten deutlich besser geworden. Vor allem hat die Auflösung in z-Richtung deutlich zugenommen. Dank der Reduktion von Bildartefakten durch diese besseren Aufnahmetechniken werden zur Segmentierung einfachere, übersichtliche und leicht zu bedienende Algorithmen wieder interessant, die nicht zwei-, sondern drei- oder sogar vierdimensional (3D+Zeit) arbeiten und dabei sehr schnell und vielseitig verwendbar sind.

3 Methoden

Die Open-Source-Toolkits ITK, VTK und wxWidgets dienen als Basis bei der Entwicklung der Softwareplattform. Die vorhandenen 4D-Daten im Dicom- oder MetaImage (MHD)-Format werden in der richtigen zeitlichen Folge geladen. Bei

Abb. 2. Links eine manuelle Segmentierung des Myokards, die meist nur ohne Berücksichtigung der Papillarmuskeln (Zeitaufwand) möglich ist. Deutlich sind die Unterschiede zur semi-automatischen Methode sichtbar, bei der die Papillarmuskeln nicht zum Volumen zählen.

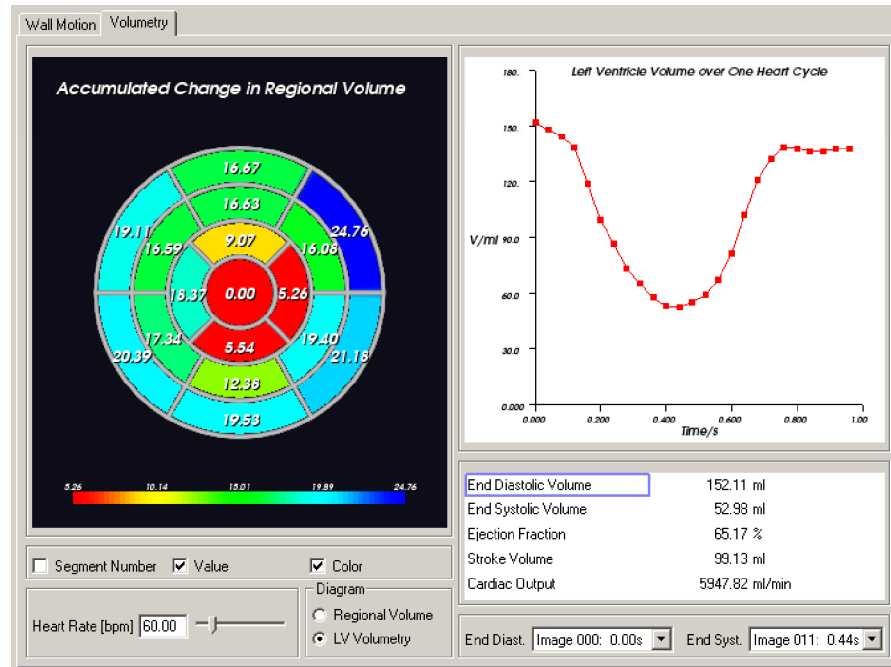


(a) Manuell

(b) Automatisch

den CT-Datensätzen wurden jeweils nur sechs der 24 Herzphasen geladen und segmentiert, weil das Laden des kompletten CT-Datensatzes (3,1 GB) eine 64 Bit Speicheradressierung voraussetzt. Mit einer affinen Transformation kann der Datensatz entsprechend den AHA-Empfehlungen richtig ausgerichtet werden [10]. Dazu wird ein Oblique Cut in das Volumen gelegt, die Pfeilspitze am Apex bzw. das Ende des Pfeils im Zentrum des linken Ventrikels ausgerichtet und die Rotationsmatrix der affinen Transformation übergeben. Eine lineare Interpolation erzeugt nun kubische Voxels, bevor der Benutzer die Region-of-Interest (ROI 2) festlegt. Hierzu wird ein Widget auf dem 3D-Volumen angezeigt. Der Radiologe kann für jede Herzphase separat bestimmen, wo sich die Mitralklappe im Volumen befindet. Eine Mausinteraktion unterstützt ihn dabei. Das Rauschen in den Datensätzen wird mit einem Curvature-Flow-Filter verringert, der sämtliche Kanteninformationen erhält, einzelne Intensitätswerte als Rauschen erkennt und diese eliminiert. Bereiche mit hoher Krümmung werden dabei schneller unscharf als Bereiche mit geringerer Krümmung. Zur eigentlichen Segmentierung ist vom Bediener ein Seedpunkt im linken Ventrikel zu setzen. Dieser wird auf alle 3D-Volumina extrahiert. Zur Ermittlung der Grauwertintensitäten klickt der Bediener mit der Maus auf den hellsten Bereich des Segmentierungsvolumens und anschließend auf den Myokardbereich, der etwas dunkler ist. Die so ermittelten Grauwerte erscheinen auf der Bedienoberfläche und werden als Ober- und Untergrenze für den Region Growing Algorithmus benutzt. Das Ergebnis wird nun als binary Image dem Output Image der affinen Transformation überlagert. Zur Berechnung der Volumina dient die Anzahl der kubischen Voxels im binary Image. Das größte/kleinste Volumen wird nach der Segmentierung erkannt und als diastolischer/systolischer Wert angenommen.

Abb. 3. Akkumuliertes regionales Volumen der einzelnen Herzsegmente (links) und Volumenänderung des linken Ventrikels bei einem Herzschlag (rechts).



4 Ergebnisse

Die Software wurde an acht klinischen MRI-Datensätzen (1,5 Tesla Sequenz: Balanced FFE), zwei Ultraschalldatensätzen (Transösophageal Echokardiogramm) und zwei CT-Datensätzen (16 Zeilen) getestet. Zur Bewertung der Ergebnisse wurde die manuelle Segmentierung der MR-Datensätze herangezogen und mit der vorgestellten semi-automatischen Methode verglichen.

Hierbei wurde auf das Verhältnis des endsystolischen und enddiastolischen Wertes, auch ejection fraction (EF) genannt, eingegangen. Da in der manuellen Methode die Papillarmuskulatur nicht berücksichtigt wurde, gab es die zu erwartenden Abweichungen bei der EF. Ein Vergleich des Zeitaufwandes der manuellen und der semi-automatischen Segmentierung ergab, dass die manuelle Segmentierung um den Faktor 30 bis 45 länger dauert. Zudem war die Reproduzierbarkeit bei der semi-automatischen Methode sehr hoch. Die Radiologen waren nach einer Einarbeitungszeit von insgesamt einer Stunde in der Lage, die Software zu bedienen bzw. auch pathologisch schwierige Datensätze zu beurteilen.

5 Diskussion

Die vorgestellte Segmentierung stellt einen alternativen Ansatz für die anschließende Analyse des linken Ventrikels dar. Eine klinische Evaluation der Software findet bereits statt. Noch nicht vollständig gelöst ist das Auffinden der Mitralklappe, die nicht immer in den MR-Datensätzen erkennbar ist. Beim Entwurf der Software wurde größter Wert auf eine einfache Bedienung gelegt. Die ständigen Rückmeldungen der Radiologen machten es möglich, eine Software zu entwerfen, die im medizinischen Alltag schnell eingeführt bzw. genutzt werden kann. Eine Herzwandanalyse nach AHA-Richtlinien ist auf Knopfdruck am Ende der Segmentierung möglich [11]. Eine Herzwanddickenerfassung, Berechnung des Myokardvolumens und eine Aussage über die Rotationsbewegung des linken Ventrikels sind gerade in Arbeit.

6 Danksagung

Die Forschungsarbeit ist Teil des IST (Information Society Technologies) Programms und wurde von der EU unter dem Namen MRI-MARCB gefördert.

Literaturverzeichnis

1. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized Myocardial Segmentation and Nomenclature for Tomographic Imaging of the Heart. American Heart Association, Inc.; 2002. <http://www.circulationaha.org>.
2. Zucker S, et al. Region Growing: Childhood and adolescence. *Comput Graphics Image Proc* 1976;5:382–399.
3. JASethian. *Level Set Methods and Fast Marching Methods*. Cambridge University Press; 1996.
4. Kaus RMichael, von Berg J, Weese J, et al. Automated segmentation of the left ventricle in cardiac MRI. *Med Image Anal* 2004;8(3):245–254.
5. Weiger M, Pruessmann KP, Boesiger P. Cardiac real-time Imaging using SENSE. *Magn Reson Med* 2000;43:177–184.
6. Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P. SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 1999;42:952–962.
7. Pruessmann KP, Weiger M, Boesiger P. Sensitivity Encoded Cardiac MRI. *J Cardiovasc Magn Reson* 2001;3(1):1–9.
8. Sodickson DK, Manning WJ. Simultaneous Acquisition of Spatial Harmonics (SMASH): Fast Imaging with Radiofrequency Coil Arrays. *Magn Reson Med* 1997;38(4):591–603.
9. Klingenberg-Regn K, Flohr T, Ohnesorge B, et al. Strategies for Cardiac CT Imaging. *J Cardiovasc Magn Reson* 2002;18(2):143–151.
10. Wesarg S, Seitel M, Firl EA, Dold C. AHA Conform Visualization of Conventionally Acquired Cardiac CT Data Using the Toolkits ITK and VTK. In: *Computer Assisted Radiology and Surgery*; 2004. p. 1096–1101.
11. Wesarg S, Dold C, Firl EA, Tadge T. Analyse des linken Ventrikels nach AHA-Richtlinien unter Verwendung von VTK. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*; 2005.