Interaktive Segmentierung von medizinischen Schichtbilddatensätzen verifiziert durch 3D-Visualisierung mittels "Volume Rendering" Methoden

R.Kottenhoff[1], J.Krone[1], R.Grebe[2], I.Wurdack[3], J.Jansen[3]

[1]Phys. Technik, MFH, Frauenstuhlweg 31, D-58644 Iserlohn, Germany
Email: kotti@physiology.rwth-aachen.de
[2]Département Génie Biologique, UTC, F-60205 Compiègne, France
[3]Inst. f. Physiologie, RWTH, Pauwelsstr. 30, D-52057 Aachen, Germany

Zusammenfassung. In diesem Beitrag wird eine Methode und deren interaktive Steuerung zur 3D-Segmentierung medizinischer Schichtbilddatensätze vorgestellt. Das Segmentierungsverfahren nutzt dabei einen Bereichswachstumsalgorithmus (*region growing*) [3] basierend auf der lokalen Grauwertstatistik mit zusätzlicher wachstumsabhängiger Terminierung. Eine direkte Verifizierung der Ergebnisse anhand der Visualisierung von so extrahierten Objekten bildet die Grundlage zur Verbesserung der Segmentierung. Die Ergebnisse werden nach einer Veränderung der Steuerungsparameter durch den Anwender, z.B. den entsprechenden Facharzt, unmittelbar überprüft und führen somit zu einer auf Expertenwissen basierenden Segmentierung.

Schlüsselwörter: Interaktive Segmentierung, Region Growing, Visualisierung, Volumerendering

1 Einleitung

In vielen Bereichen der medizinischen Diagnostik fallen durch bildgebende Verfahren Schichtbilddatensätze unterschiedlicher Modalitäten an. Neben bekanntem Bildmaterial aus (Spiral)CT- und MR-Scannern können auch Datensätze durch Zusammenfügen der Mikroskopaufnahmen von histologischen Gewebeschnitten erstellt und digitalisiert werden.

Zusätzlich zur Frage nach der korrekten Positionierung der Schichtbilder zueinander (*Registrierung*) ergibt sich die Problematik der Extraktion von räumlichen Strukturen und dreidimensionalen Objekten (*3D-Segmentierung*) zur weiteren digitalen Verarbeitung wie z.B. Operationsplanung, CAS, Volumetrie [1] und vieles mehr.

Erst eine 3D-Visualisierung von extrahierten Strukturen bietet die Möglichkeit der Überprüfung von Registrierung und Segmentierung [2]. Im folgenden wird eine Methode zur Segmentierung von Schichtbilddatensätzen genauer beschrieben.

2 Segmentierung mittels Bereichswachstum

Ausgehend von festgelegten Keimpunkten werden Segmente (Bereiche, Regionen) durch iteratives 3D-Wachstum der Segmentkontur (Regionoberfläche) gebildet [3]. Dabei wird in Abhängigkeit von Wachstumsparametern (siehe Abschnitt 2.3) anhand der lokalen Grauwertdynamik die Region bis zu den Objektgrenzen hin ausgedehnt.

2.1 Problematik von Regionenwachstumsalgorithmen

Neben der Wahl der Keimpunkte (siehe Abschnitt 2.2) und der Bestimmung der Wachstumsparameter ist die Wachstumsbegrenzung (siehe Abschnitt 2.4) der Region ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Güte der Segmentierung. Zu grobe Wachstumsparameter führen zu einem ,,Auslaufen" der Region bzw. zu einem Verschmelzen mit Bereichen, die zu anderen Objekten gehören (*chaining effect*), während bei zu feinen Einstellungen der Parameter die Objektgrenzen durch das Bereichswachstum nicht mehr erreicht werden [3].

2.2 Auswahl der Keimpunkte

Die Auswahl der Keimpunkte für das Regionenwachstum ist ein wesentlicher und sensibler Aspekt der Segmentierung. Eine automatische Wahl durch Anwendung von lokalen Operatoren mit Schwellwertsetzung oder ähnlichen Verfahren führt oft zu unbefriedigenden Ergebnissen. Dagegen kann Expertenwissen über die zu segmentierenden Objekte mittels interaktiver Keimpunktwahl (Abb.1) einfließen, was zu besseren Resultaten führt.

2.3 Wachstumsparameter

Wachstumsparameter sind Bedingungen (z.B. Distanzmaße), die die Zugehörigkeit eines Voxels zum Segment festlegen. In diesem Verfahren wurde eine lokaladaptive Methode gewählt. Für die Aufnahme des Voxels $v := (x, y, z)$ mit dem Grauwert $f(v)$ am Rande der Region R müssen dabei zwei Bedingungen erfüllt sein:

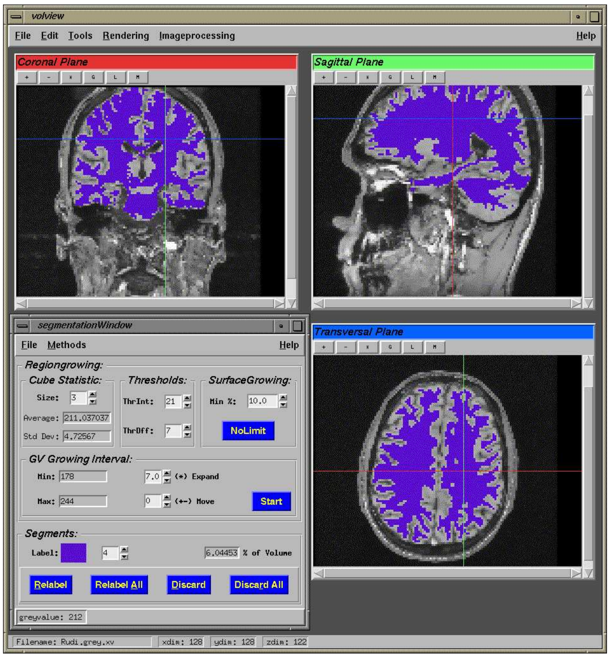
$$|f(v) - \mu_R| \leq s_1, \quad \text{mit} \quad \mu_R := \frac{1}{\|R\|} \sum_{w \in R} f(w) \tag{1}$$

und

$$\frac{|f(v) - \mu_N|}{\kappa \cdot {\sigma_N}^2} \leq s_2, \quad \text{mit} \quad {\sigma_N}^2 := \frac{1}{\|N\|} \sum_{w \in N} (f(w) - \mu_N)^2. \tag{2}$$

Die globalen Eigenschaften des Segmentes werden durch μ_R, dem mittleren Grauwert des bisher gewachsenen Gebietes erfaßt. Die lokale Grauwertdynamik wird durch ${\sigma_N}^2$, der mittleren quadratischen Grauwert-Abweichung (*Varianz, Kontrast*) in der $n{\times}n{\times}n$-*Nachbarschaft* N (mit mittlerem Grauwert μ_N) des Aufnahmekandidaten berücksichtigt.

Abb. 1. Integriertes Tool zur Segmentierung und Visualisierung



Der Faktor κ des Vertrauenintervalls der lokalen Grauwertdynamik kann aus der Tabelle einer entsprechenden Gaußverteilung gewählt werden. Die Größen s_1 und s_2 sind die interaktiv veränderbaren Schwellwerte des Verfahrens, die bei der Auswahl der Keimpunkte schon vorbesetzt werden.

Durch diese Wahl der Aufnahmebedingungen können auch Objekte segmentiert werden, die zu ihren Konturen hin eine nichtsprunghafte Grauwertdynamik aufweisen. Dieser Vorteil wird dagegen durch die Gefahr des „Auslaufens“ in benachbarte Regionen hinein erkauft. Sie muß durch weitere Abbruchkriterien gemindert werden.

2.4 Wachstumsbegrenzung

Ein sprunghaftes Verhalten der Oberflächenzunahme bei der Wachstumsiteration ist ein Indiz für das Erreichen der Objektgrenzen. Dies gilt sowohl für glatte Oberflächen, wie der einer Kugel, als auch für stark verworfene Strukturen, wie dem Kortex des Gehirns. Für eine Kugel wächst das Volumen-zu-Oberfläche-Verhältnis linear mit dem Radius ($\frac{V}{A} = \frac{1}{3}r$). Entsprechend läßt sich für das Bereichswachstum ein dynamisch mitgeführter Sprungschwellwert definieren:

Seien $C(R_n)$ und $C(R_{n-1})$ die 3D-Konturen der gewachsenen Bereiche R_n bzw. R_{n-1} der n-ten bzw. $(n-1)$-ten Iteration, so ergibt sich die Abbruchbedingung zu:

$$\frac{1}{n}\left|\frac{\|R_n\|}{\|C(R_n)\|}-\frac{\|R_{n-1}\|}{\|C(R_{n-1})\|}\right| \leq s_3 \tag{3}$$

Die Segmentierung bricht also ab, falls ein „Auslaufen" über eine Grauwertbrücke hinweg in andere Regionen hinein droht.

3 Verifizierung durch 3D-Visualisierung

3.1 Volume rendering

Es gibt zwei prinzipielle Ansätze zur Visualisierung von Volumendaten:

- die Darstellung einer Oberflächenrepräsentation von Objekten im Volumen. Die Voraussetzung dafür ist immer eine Segmentierung.
- die Strahlverfolgung durch das Volumen mit der grauwertabhängigen Intensitätsaddition entlang der Strahlen.

Eine Überprüfung der segmentierten Strukturen erfolgt durch das erste Verfahren, nämlich die Darstellung der Oberflächenrepräsentation der segmentierten Objekte [4].

3.2 Überprüfung der Segmentierung

Nach dem Segmentierungsprozeß wird das *volume rendering* angestoßen und neben der Darstellung von orthogonalen 2D-Schnittbildern durch den Volumendatensatz werden die extrahierten Strukturen visualisiert (Abb. 2). Der Anwender hat so die Möglichkeit, die Qualität seiner Segmentierung zu prüfen und eine Fehlsegmentierung rückgängig zu machen. Durch die Wahl geeigneter neuer Wachstumsparameter für das Bereichswachstum kann die Segmentierung sukzessive verbessert werden.

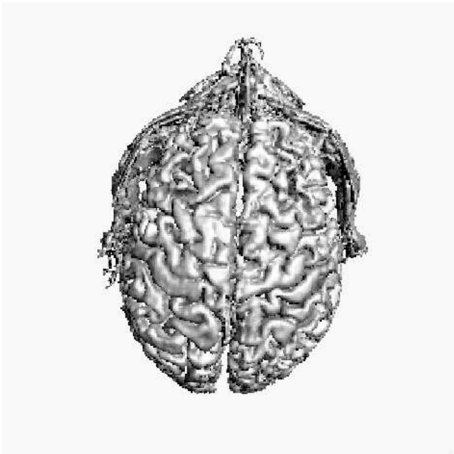
4 Ergebnisse und Ausblick

Das beschriebene Verfahren zeigt gute Ergebnisse für MR-Datensätze des Kopfes (Abb.2), die allerdings noch durch einen Facharzt (Neuroanatomen) zu verifizieren sind. Ebenfalls steht noch ein Vergleich mit anderen Segmentierungsverfahren aus.

Eine Verbesserung der Segmentierung ist durch die Erweiterung der Wachstumsbegrenzung um Parameter entsprechend dem elastisch verformbaren Konturmodell (*deformable contour model*) zu erwarten. Hierbei wird durch die Minimierung einer Energiefunktion ein Gleichgewicht zwischen Adhäsion zu Bilddatenmerkmalen und interner Biegeenergie (*internal deformation energy*) bzw. Oberflächenspannung der Segmente hergestellt.

Hat man eine gute Segmentierung durch interaktive Veränderung der Wachstumsparameter erreicht, kann man einen automatischen *region growing* Prozeß

Abb. 2. Visualisierung des segmentierten Kortex



auf Basis der so evaluierten Parameter ansetzen. Dieser wird aber nur optimal für Regionen funktionieren, die die gleiche Dynamik in der Grauwertstatistik aufweisen, wie die Regionen, für die die Parameter ermittelt wurden. Wesentliche, aber noch nicht betrachtete Aspekte sind dabei die automatische Wahl des Keimpunktes sowie eine *region linkage strategy* für die Verschmelzung verschiedener Regionen mit gemeinsamen Kanten.

Literatur

1. Zellerhoff M, Reul J, Klusmann A, Schwarz M: Segmentierung und Volumenbestimmung gesunder und pathologischer Hirnstrukturen aus dreidimensionalen MRT Datensätzen. Proceedings des 1. Aachener Workshop. Bildverarbeitung für die Medizin. Algorithmen · Systeme · Anwendungen. Lehmann T, Scholl I, Spitzer K (Hrsg.), Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1996
2. Wolsiffer K, Mayer A, Niebsch R, Evers H, Meinzer HP: Die Integration des Heidelberger Raytracers in OpenGL zur integrierten Segmentierung und Visualisierung dreidimensionaler medizinischer Volumendaten. Proceedings des 1. Aachener Workshop. Bildverarbeitung für die Medizin. Algorithmen · Systeme · Anwendungen. Lehmann T, Scholl I, Spitzer K (Hrsg.), Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1996
3. Lehmann T, Oberschelp W, Pelikan E, Repges R: Bildverarbeitung für die Medizin. Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin, 1. Auflage 1997
4. Vandenhouten R, Kottenhoff R, Grebe R: 3D color visualization of label images using volume rendering techniques. Medical Informatics, Vol.20, No.2, 1995, pp.149-159.