

Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin
Aus dem Institut für Medizinische Informatik
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. rer. nat. Thomas Tolxdorff

Interaktive Segmentierung von Hirninfarkten mit Snake-
Verfahren auf der Grundlage von diffusionsgewichteten
magnetresonanztomographischen Aufnahmen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der
Medizinischen Doktorwürde
der Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

vorgelegt von Karsten Andreas Ehrig
aus Berlin

Referent: Priv.-Doz. Dr. J. Braun

Korreferent: Prof. Dr. med. A. Villringer

Gedruckt mit Genehmigung der Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

Promoviert am: 02.12.2005

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Genauigkeit und Zuverlässigkeit zweier interaktiver Snake-Verfahren zur Segmentierung von magnetresonanztomographischen Aufnahmen von Patienten mit zerebralen Ischämien vorgestellt. Es handelt sich dabei um ein klassisches Snake-Verfahren und ein weiterentwickeltes, auf kubischen Splines basierendes Verfahren. Die Grundlage zur Datenanalyse bilden T₂- und diffusionsgewichtete Aufnahmen (DWI) und Bilder des berechneten, quantitativen apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC). Als Programmplattform zur Integration der beiden Snake-Verfahren dient das Java Programm ImageJ (Image Processing and Analysis in Java). Beide Snake-Verfahren werden auf das klinische Datenmaterial angewandt und untereinander und mit den Ergebnissen einer vollautomatischen histogrammbasierten Segmentierung verglichen, welche auf das gleiche Datenmaterial angewendet wurde. Die Segmentierungsergebnisse werden hierbei gegen einen Goldstandard validiert, der unabhängig von einem Radiologen durch manuelle Segmentierung definiert wurde. Hierbei wird gezeigt, dass beide Snake-Verfahren signifikant besser als die histogrammbasierte Segmentierung sind und dass das Spline Snake-Verfahren signifikant besser als das klassische Snake-Verfahren ist.

Abstract

In this thesis, precision and reliability of two interactive active contour models (snakes) are presented for segmentation of magnetic resonance images of patients with cerebral ischemias, namely a classical snake approach and an improved snake approach with spline-based snakes. T₂- and diffusion-weighted images (DWI) as well as calculated apparent diffusion coefficients (ADC) maps are used for the data analysis. The integration platform for both snake approaches is the Java program ImageJ (Image Processing and Analysis in Java). Both snakes approaches are applied to cerebral ischemia images as well as compared with each other and with the results of a fully automatic feature-based segmentation, which has been applied to the same data material. The segmentation results are evaluated against a manual segmentation, which has been defined independently by a radiologist. It is shown that both snake approaches are significantly better than the feature-based segmentation and that the spline snake approach is significantly better than the classical snake approach.

Veröffentlichung

- Karsten Ehrig, Jürgen Braun, Thomas Tolxdorff. Interaktive Segmentierung von Hirninfarkten mittels Snake-Verfahren. In: H.-P. Meinzer, H. Handels, A. Horsch, T. Tolxdorff (Hrsg.), Bildverarbeitung in der Medizin, Springer-Verlag, Heidelberg. S. 98-102, 2005.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen und Methoden	5
2.1	Magnetresonanztomographie (MRT)	5
2.1.1	Historische Entwicklung	5
2.1.2	Physikalische Grundlagen	6
2.1.2.1	Präzession	6
2.1.2.2	Larmorfrequenz	7
2.1.2.3	Resonanz	7
2.1.2.4	Relaxation	8
2.1.3	Untersuchungstechniken	8
2.1.3.1	Echo Planar Imaging (EPI) Aufnahmetechnik	8
2.1.3.2	Aufnahmeparameter	9
2.1.4	Diffusionswichtung (DWI)	9
2.1.4.1	Aufnahmetechnik	10
2.1.5	Apparenter Diffusionskoeffizient (ADC)	10
2.2	Der Hirninfarkt	11
2.2.1	Epidemiologie	12
2.2.2	Symptomatik	12
2.2.3	Ätiopathogenese des ischämischen Hirninfarkts	13
2.2.4	Differenzialdiagnose des ischämischen Hirninfarkts	13
2.2.5	Akuttherapie des ischämischen Hirninfarktes	14
2.2.6	Entwicklung des ADC im Verlauf des Hirninfarktes	15
2.3	Interaktive Segmentierung mittels Snake-Verfahren	16
2.3.1	Grundlagen	16
2.3.2	Klassisches Verfahren	17
2.3.2.1	Interne Energie	18
2.3.2.2	Externe Energie	18
2.3.2.3	Bildenergie	18
2.3.2.4	Linienbildenergie	19

2.3.2.5	Kantenbildenergie	19
2.3.3	Das SplineSnake-Verfahren	19
2.3.3.1	Gradientenbasierte Bildenergie	20
2.3.3.2	Regionbasierte Bildenergie	20
2.4	Automatische, histogrammbasierte Segmentierung	21
2.5	Computergestützte Datenauswertung	22
2.5.1	Programmiersprache Java	23
2.5.2	Bildverarbeitung und Analyse in Java mittels ImageJ	23
2.5.2.1	Installation und Start von ImageJ	23
2.5.2.2	Arbeiten mit ImageJ	24
2.5.3	Offene Architektur und Erweiterbarkeit von ImageJ mittels Java Plugins	26
2.5.4	Bildverarbeitungs- und Analyse Application Programming Interface (API) Projekt	27
2.5.4.1	Klassischer Snake-Algorithmus des API Projekts	27
2.5.4.2	Integration des klassischen Snake-Verfahrens als ImageJ Plugin	28
2.5.5	Integration des SplineSnake-Verfahrens in ImageJ	29
2.6	Patienten und Datenmaterial	31
2.6.1	Patienten	31
2.6.2	Aufnahmetechnik	31
2.6.3	Statistische Auswertung des Datenmaterials	32
3	Ergebnisse	35
3.1	Optimierung der Snake-Verfahren anhand charakteristischer Testdatensätze	35
3.2	Vergleich des klassischen Snake-Verfahrens mit dem Goldstandard	37
3.2.1	Grundlegende Eigenschaften des klassischen Snake-Verfahrens	37
3.2.2	Einfluss der Parameter bei der Segmentierung mit dem klassischen Snake-Verfahren	37
3.2.3	Ergebnistabelle des klassischen Snake-Verfahrens im Vergleich mit dem Goldstandard	39
3.3	Vergleich des SplineSnake-Verfahrens mit dem Goldstandard	41

3.3.1	Grundlegende Eigenschaften des SplineSnake-Verfahrens	41
3.3.2	Einfluss der Parameter bei der Segmentierung mit dem SplineSnake-Verfahren	42
3.3.3	Ergebnistabellen des SplineSnake-Verfahrens im Vergleich mit dem Goldstandard	43
3.4	Vergleich des klassischen Snake-Verfahrens mit dem SplineSnake-Verfahren	45
3.5	Vergleich der Snake-Verfahren mit einer automatischen histogrammbasierten Segmentierung	46
4	Diskussion	49
4.1	Segmentierung mittels Snake-Verfahren	49
4.1.1	Integration der Snake-Verfahren in eine universelle Programmumgebung zur Bildverarbeitung und -analyse	49
4.1.2	Optimierung der Parameter des klassischen Snake-Verfahrens	50
4.1.3	Optimierung der Parameter des SplineSnake-Verfahrens	51
4.1.4	Vergleich des klassischen Snake-Verfahrens mit dem SplineSnake-Verfahren	52
4.2	Vergleich zu vorliegenden Ergebnissen von Snake-Verfahren anderer Arbeitsgruppen	53
4.2.1	3D Segmentierung mittels Snake-Verfahren	55
4.2.2	Automatische Segmentierung durch Kombination von Snake-Verfahren mit anderen automatischen Analysetechniken	56
4.3	Interpretation der Ergebnisse der Snake-Verfahren im Vergleich mit automatischen histogrammbasierten Segmentierungsverfahren	57
4.3.1	Automatische histogrammbasierte Segmentierung	57
4.3.2	Vergleich der Ergebnisse der Snake-Verfahren mit einer automatischen histogrammbasierten Segmentierung	58
4.3.3	Vergleich des apparenter Diffusionskoeffizienten (ADC)	58
4.3.4	Vergleich der interaktiven mit der automatischen Segmentierung	59
5	Zusammenfassung	61
	Literaturverzeichnis	65

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn PD Dr. Jürgen Braun für die konstruktive Unterstützung in allen Phasen meines Dissertationsvorhabens.

Weiterhin möchte ich dem Institutsdirektor Herrn Prof. Dr. Thomas Tolxdorff, sowie allen Mitarbeitern für die gewährte Unterstützung danken.

Desgleichen möchte ich meiner Familie für deren Unterstützung danken.

Lebenslauf

von	Karsten Andreas Ehrig
geboren	am 03.01.1976 in Berlin
1982 – 1988	Chamisso-Grundschule Berlin
1988 – 1995	Lessing-Gymnasium Berlin, Allgemeine Hochschulreife
Sept. 1995 – Sept. 1996	Zivildienst
Okt. 1996 – Okt. 2002	Medizinstudium an der Humboldt-Universität zu Berlin
Sept. 1998	Ärztliche Vorprüfung
Sept. 1999	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Sept. 2001	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Okt. 2002	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Okt. 1999 – März 2002	Informatikstudium an der Humboldt-Universität zu Berlin
Juli 2001	Diplom-Vorprüfung
April 2002 – Sept. 2003	Informatikstudium an der Technischen Universität Berlin
Sept. 2003	Diplom-Hauptprüfung
Okt. 2002 – Okt. 2004	Erlaubnis zur Ausübung des ärztlichen Berufs als Arzt im Praktikum
Okt. 2004	Ärztliche Approbation
seit Jan. 2004	Wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Projekt „Anwendung von Graphtransformationen auf visuelle Modellierungssprachen“ an der Technischen Universität Berlin