

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei interaktive Snake-Verfahren zur Segmentierung von magnetresonanztomographischen Aufnahmen bei Patienten mit zerebralen Ischämien vorgestellt, ein klassisches Snake-Verfahren und ein weiterentwickeltes, auf kubischen Splines (SplineSnake) basierendes Snake-Verfahren. Bei Snake-Verfahren markiert der Anwender zunächst grob die zu segmentierende Bildregion durch die Definition einer geschlossenen Region of Interest (ROI). Anschließend erfolgt die automatische Deformation der initialen ROI, die sich dabei der zu markierenden Gewebestruktur möglichst optimal anpasst. Die Kantenfindung basiert auf dem Prinzip der Energieminimierung, wobei eine äußere externe Energie in Korrespondenz zur internen Energie der zu segmentierenden Gewebestruktur steht. Im Gegensatz zum klassischen Snake-Verfahren ist im SplineSnake-Verfahren direkt eine implizite Spannungs- und Glättungskomponente in die Snake Kurve integriert. Das hat neben einer Anpassung anatomischer Strukturen durch gebogene, weich verlaufende Kurvenzüge zur Folge, dass das SplineSnake-Verfahren weitestgehend unabhängig gegenüber Eingabeparametern ist. Für beide Verfahren bestand eine wesentliche Fragestellung in der praktischen Anwendbarkeit, sowie der Güte und Validierung der Segmentierungsergebnisse.

Die Grundlage zur Datenanalyse bildeten T_2 - und diffusionsgewichtete magnetresonanztomographische Aufnahmen (DWI) und die aus den unterschiedlich diffusionsgewichteten Bildern berechnete orts aufgelöste Verteilung des apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC). Der ADC liefert als quantitative Größe zusätzliche Informationen zu pathophysiologischen Merkmalen, zur Altersbestimmung einer ischämischen Läsion und in Kombination mit anderen Bildparametern möglicherweise Hinweise zur Prognose und Entwicklungstendenz von Infarktgewebe.

Beide Snake-Verfahren wurden auf klinisches Datenmaterial angewandt und untereinander sowie mit den Ergebnissen einer vollautomatischen histogrammbasierten Segmentierung verglichen. Die Segmentierungsergebnisse von 78 Schichten bei 28 Infarktpatienten wurden hierbei gegen einen Goldstandard validiert, der unabhängig von einem Radiologen durch manuelle Segmentierung definiert wurde.

Als Programmplattform zur Integration der beiden Snake-Verfahren diente das Java Programm ImageJ (Image Processing and Analysis in Java). Das frei zugängliche Programm

zur computergestützten Bildverarbeitung und -analyse wurde mit Hilfe der universellen Plugin Technologie um das klassische Snake-Verfahren, das SplineSnake-Verfahren und zusätzliche Bildverarbeitungswerkzeuge zur Manipulation von ROI's erweitert. Da in der Basisversion von ImageJ schon die grundlegenden Bildverarbeitungsmethoden integriert sind, konnte durch die Erweiterungen um die Snake-Verfahren ein vollständiges für medizinische Fragestellungen geeignetes Segmentierungswerkzeug miterstellt werden.

Um der Variabilität der Erscheinung von Hirninfarkten Rechnung zu tragen, erfolgte die Optimierung der Snake-Verfahren an einem (1) Cortexinfarkt, (2) einem kleinflächigen zusammenhängenden Infarkt, (3) einem kleinflächigen verstreuten Infarkt, (4) einem ausgedehnten Mediainfarkt und (5) einem akuten Hirninfarkt bei gleichzeitig vorliegendem chronischen Infarkt. Die Optimierung des klassischen Snake-Verfahrens erfolgte anhand der Snake Parameter Linienbildenergie (*wline*) und Kantenbildenergie (*wedge*). Beim SplineSnake-Verfahren wurde eine Optimierung hinsichtlich der verfügbaren Parameter der Bildenergie (gradientenbasierte und regionbasierte Bildenergie) durchgeführt. Anhand der fünf charakteristischen Testdatensätze konnte für beide Snake-Verfahren jeweils ein optimaler universell nutzbarer Parametersatz gefunden werden, der die Nutzerinteraktion für die nachfolgenden umfangreichen Segmentierungen deutlich reduziert und gleichzeitig die Objektivität der Auswertung erhöht.

Insgesamt wurden zur Eignung der Verfahren für klinisches Bildmaterial und zum Vergleich der beiden Snake-Verfahren 78 Schichten gegen den vom Radiologen definierten Goldstandard ausgewertet. Hierbei zeigte sich, dass das SplineSnake-Verfahren signifikant besser als das klassische Snake-Verfahren ist, sowohl in der Sensitivität ($0,75 \pm 0,12$ klassischer Snake, $0,82 \pm 0,12$ SplineSnake, $p < 0,001$) als auch im positiven Vorhersagewert ($0,77 \pm 0,13$ klassischer Snake, $0,80 \pm 0,13$ SplineSnake, $p = 0,035$). Beide Snake-Verfahren wurden für 64 Schichten mit den Ergebnissen einer automatischen histogrammbasierten Segmentierung verglichen, die mit identischem Bildmaterial durchgeführt wurde. Das klassische Snake-Verfahren ist in der Sensitivität signifikant besser als die automatische Segmentierung ($0,75 \pm 0,12$ klassischer Snake, $0,59 \pm 0,20$ automatische Segmentierung, $p < 0,001$). Das SplineSnake-Verfahren ist ebenfalls in der Sensitivität signifikant besser als die automatische Segmentierung ($0,82 \pm 0,11$ SplineSnake-Verfahren, $0,80 \pm 0,21$ automatische Segmentierung, $p < 0,001$). Die Ursache für die hoch signifikant kleinere Sensitivität bei hoher Spezifität der histogrammbasierten Segmentierung im Vergleich zu beiden Snake-Verfahren

ist in der Tatsache begründet, dass die Infarkte mit der histogrammbasierten Segmentierung im Regelfall zu klein segmentiert werden. Dieses Problem der histogrammbasierten Segmentierung lässt sich unter Beibehaltung der Segmentierungsqualität nicht durch Parametereinstellungen verbessern, weshalb hinsichtlich der Sensitivität die Segmentierung mittels Snake-Verfahren eindeutig der automatischen histogrammbasierten Segmentierung vorzuziehen ist.

Obwohl in der Literatur insgesamt noch sehr wenig Patientenstudien zur Segmentierung mittels Snake-Verfahren vorliegen, zeigt sich, dass die Segmentierung mittels dieser Verfahren eine genaue und zuverlässige Methode zur Segmentierung von medizinischen Bildmaterial darstellt. Der angestrebte Nutzen des vorgestellten Gesamtsystems, bestehend aus neu integrierten Segmentierungsverfahren, Standardbildverarbeitungs- und Analysefunktionen, liegt in der hohen Güte der Segmentierung bei guter Bedienbarkeit und minimalem Aufwand für den Nutzer. Es können, unter Berücksichtigung des Bildmaterials, zeitsparend und mit hoher Genauigkeit in Größe und Form beliebige Gewebe segmentiert werden. Unter Erweiterung der Funktionalität auf die selbstständige Erkennung der initialen ROI kann das bestehende System komplett automatisiert und weiter objektiviert werden. Es kann dann als entscheidungsunterstützendes System eingesetzt werden, welches die Arbeit des Radiologen mit Diagnosevorschlägen unterstützt und eine Diagnosequantifizierung und -präzisierung erlaubt.

