Modellbasierte Segmentierung mittels Snake und Mutual Information

Sebastian von Klinski und Thomas Tolxdorff

Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie
Universitätsklinikum Benjamin Franklin
Freie Universität Berlin
Hindenburgdamm 30, 12200 Berlin
Email: vonklinski@medizin.fu-berlin.de

Zusammenfassung. Jeder Segmentierungsansatz setzt spezifisches Vorwissen über das zu bearbeitende Bildmaterial voraus. In der Regel erfüllt das Bildmaterial zumindest lokal diese Annahmen nicht. Die Folge sind lange Bearbeitungszeiten bei der Parametrisierung oder Nutzung des Segmentierungsverfahrens oder bei der Nachbearbeitung der Ergebnisse. Unser Ziel war die Entwicklung eines Bildverarbeitungsansatzes zur Segmentierung dreidimensionaler Datensätze (CT und MRT), der nur wenige Benutzerinteraktionen erfordert. Dieses Ziel wurde erreicht, indem organspezifisches a priori Wissen in Form von Referenzmodellen ausgenutzt wird. Im ersten Schritt spezifiziert der Benutzer mit wenigen Interaktionen den Bildkontext. Auf der Basis dieser Informationen wird ein ähnliches Referenzmodell ausgewählt und ein modellbasiertes Snake-Verfahren angepaßt. Im dritten Schritt wird mittels des modellbasierten Snake eine Feinsegmentierung vorgenommen.

Schlüsselwörter: Modellbasierte Bildverarbeitung, Snake, Mutual Information

1 Einleitung

Die Funktion eines jeden Segmentierungsansatzes basiert auf Annahmen über das Bildmaterial, die eine Abgrenzung der Objekte vom umgebenden Gewebe ermöglichen sollen. Ein Großteil der Segmentierungsverfahren in der medizinischen Bildverarbeitung gehen davon aus, daß die zu segmentierenden Organe zumindest eine der folgenden Eigenschaften aufweisen: homogene Grauwerteigenschaften (Region Growing), eindeutige Grauwertzuordnungen (Thresholding), kontinuierliche und starke Kanten (Kantendetektionsverfahren) oder runde und starke Kanten (Snake-Verfahren). Diese Annahmen werden für sämtliche Objekte global und für alle Datensätze gleichermaßen vorausgesetzt. Eine Anpassung an veränderte Bildeigenschaften ist entweder nicht möglich, weil die Annahmen implizit in der Konzeption des Verfahrens integriert sind oder weil die Anpassung so aufwendig ist, daß der Arbeitsaufwand im Vergleich zu einer rein manuellen Segmentierung nicht mehr gerechtfertigt ist. Durch die globale und lokale Variabilität von medizinischem Bildmaterial werden in der Regel die Annahmen der verschiedenen Segmentierungsverfahren nicht erfüllt. Deutliche Änderungen in den Bildeigenschaften treten sowohl zwischen, aber auch innerhalb von Datensätzen auf. Zusätzlich wird das Bildmaterial durch unvermeidliche Artefakte überlagert. Die Folge sind entweder lange Bearbeitungszeiten bei der Parametrisierung und Nutzung aktueller Segmentierungsverfahren oder bei der Nachbearbeitung der Ergebnisse. Unser Ziel war die Entwicklung eines Bildverarbeitungsansatzes zur Auswertung von dreidimensionalen Datensätzen (CT und MRT), der globale Annahmen vermeidet und statt dessen individuell durch Nutzung von Referenzmodellen lokales Vorwissen über Form und Darstellungseigenschaften berücksichtigt. Gleichzeitig sollte der notwendige interaktive Arbeitsaufwand so gering wie möglich gehalten werden, um eine Anwendung in der klinischen Routine möglich zu machen.

2 Ansatz

Der entscheidende Aspekt für die Stabilisierung eines Segmentierungsverfahrens bei gleichzeitiger Reduzierung des Arbeitsaufwandes ist das Vorwissen, das für die Bildverarbeitung genutzt werden kann. Für eine wissensbasierte Bildverarbeitung muß zunächst festgestellt werden, welches Vorwissen benötigt wird. Hierfür muß der Bildkontext bestimmt werden. Liegt eine ungefähre Beschreibung des Bildmaterials vor, können das notwendige Vorwissen und die geeignete Analysestrategie ausgewählt und an das Bildmaterial angepaßt werden. Im letzten Schritt werden Vorwissen und Analysestrategie auf das aktuelle Bildmaterial angewandt, um die gesuchten Organe zu segmentieren. Der von uns entwickelte modellbasierte Bildverarbeitungsansatz setzt sich dementsprechend aus den folgenden drei Schritten zusammen:

1. Bestimmen des Bildkontextes,
2. Auswahl des Referenzmodells und Anpassung des modellbasierten Snakes,
3. Segmentierung mittels modellbasierten Snake.

Abbildung 1 zeigt die drei Verarbeitungsschritte der modellbasierten Bildverarbeitung mit ihren jeweiligen Unterschritten. Dieser Problemlösungsansatz für die Auswertung von Bilddaten stimmt mit dem Ansatz des Case-based Reasoning überein: Es existiert eine Falldatenbank, mit zuvor bearbeiteten Fällen und deren Lösungen. Die Lösung für ein aktuelles Problem wird bestimmt, indem aus der Falldatenbank ein dem aktuellen Fall sehr ähnlicher Referenzfall ausgewählt und die zugehörige Lösung auf den aktuellen Fall übertragen wird. Für die Bildverarbeitung besteht die Falldatenbank aus einer Sammlung von Patientendaten (Fälle) und den in diesen Daten segmentierten Organen (Lösungen). Das Ähnlichkeitskriterium berücksichtigt die Anatomie (Position, Skalierung, Proportion) und die Darstellungseigenschaften (Kontrast, Kantenprofil) der zu segmentierenden Organe. Das Übertragen der Lösung auf das aktuelle Bildmaterial besteht in einer komparativen Segmentierung des aktuellen Datensatzes, bei der versucht wird, das Bildmaterial genauso zu segmentieren wie die Bilddaten des Referenzmodells.

2.1 Bestimmen des Bildkontextes

Um entscheiden zu können, welches Vorwissen und welche Segmentierungsstrategie geeignet ist für die Auswertung des aktuellen Datensatzes, muß zunächst eine grobe

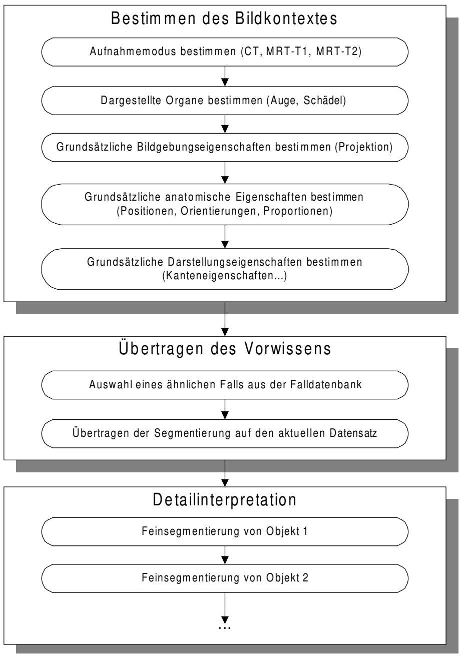

Abb. 1. Verarbeitungsschritte der modellbasierten Bildverarbeitung

Beschreibung des aktuellen Bildinhaltes (Bildkontext) vorliegen. Hierfür werden zunächst die folgenden Unterschritte durchgeführt:

1. Der Benutzer gibt vor, um welchen Bildmodus es sich handelt (CT/MRT, T1/T2, saggital, coronal, axial...).
2. Es muß eine grundsätzliche Beschreibung der Organanatomie gewonnen werden (Position, Skalierung, Proportion). Hierfür wird aus einer Falldatenbank ein Master-Referenzmodell ausgewählt und geladen, das in seinen Eigenschaften mit den Angaben aus Schritt 1 übereinstimmt. Dieses Master-Referenzmodell besteht aus dem Datensatz, aus der Segmentierung der Organe und aus einer Anzahl von Landmarken. Diese Landmarken sind eingezeichnete Punkte, die möglichst auf anatomisch markanten Landmarken positioniert sind. Indem der Benutzer die Landmarken an den korrespondierenden Positionen im aktuellen Datensatz einträgt, kann eine Landmarkenbasierte Registrierung des Master-Referenzmodells mit dem aktuellen Datensatz vorgenommen werden. Aus der daraus resultierenden Transformationsfunktion lassen sich die gesuchten Beschreibungsparameter der Organanatomie bestimmen, indem die transformierte Segmentierung des Master-Referenzmodells ausgewertet wird (Änderung in Position, Skalierung und Proportion).
3. Entlang der in den aktuellen Datensatz transformierten Segmentierung aus dem Master-Referenzmodell werden Grauwerteigenschaften wie Standardabweichung und Momente berechnet, um die Darstellungseigenschaften für das aktuelle Organ im Bildmaterial zu beschreiben.

Die Ergebnisse dieser Schritte stellen bereits umfassendes Wissen über den Bildmodus, die anatomischen Gegebenheiten und die Darstellungseigenschaften des aktuellen Datensatzes dar. Der Arbeitsaufwand besteht allein in dem Positionieren der Landmarken und dauerte bei Tests etwa dreißig Sekunden.

2.2 Übertragen des Vorwissens

Auf der Basis des gewonnenen Vorwissens können nun zwei Problemstellungen bearbeitet werden:

1. Wie ist das Bildmaterial des gegebenen Bildmodus zu segmentieren? Das „Wie“ bedeutet in diesem Zusammenhang, wo die Konturen bei gegebenen Grauwertkonstellationen oder Kantenprofilen positioniert werden müssen. Im Falle von MRT-Aufnahmen des Auges muß beispielsweise unterschieden werden, ob die Segmentierungskontur auf der Innen-, auf der Außenkante oder direkt auf der Sklera liegen soll. Darüber hinaus muß verhindert werden, daß statt dessen die durch den Chemical Shift erzeugte Kante segmentiert wird. Diese Beschreibung einer korrekten Segmentierung kann erreicht werden, indem eine zuvor durchgeführte Segmentierung auf den aktuellen Fall übertragen wird. Hierfür wird aus einer Falldatenbank ein Referenzmodell ausgesucht, das möglichst ähnliche anatomische und Darstellungseigenschaften wie der aktuelle Datensatz aufweist. Die Auswahl wird auf der Basis der Ergebnisse des vorangegangenen Schritts vorgenommen.
2. Mit welcher Segmentierungsstrategie kann die im vorangegangenen Punkt definierte Segmentierung wie erreicht werden? Bei dem von uns entwickelten Ansatz verwenden wir einen modellbasierten Snake, der in der Definition seiner Energien an den aktuellen Datensatz angepaßt wird. Die Interne Energie versucht die Form des transformierten Referenzmodells beizubehalten, indem die interne Kraft die Winkel und Distanzen zwischen den Konturpunkten an jene des Referenzmodells anzunähern versucht. Die Externe Energie versucht die Position der Konturpunkte an die Positionen der Konturpunkte im Referenzmodell anzugleichen, indem als Energiefunktion die Mutual Information [Mae97] berechnet wird. Hierzu werden kleine Referenz- und Suchbereiche um die korrespondierenden Punkte in Referenzmodell und aktuellem Datensatz definiert, für

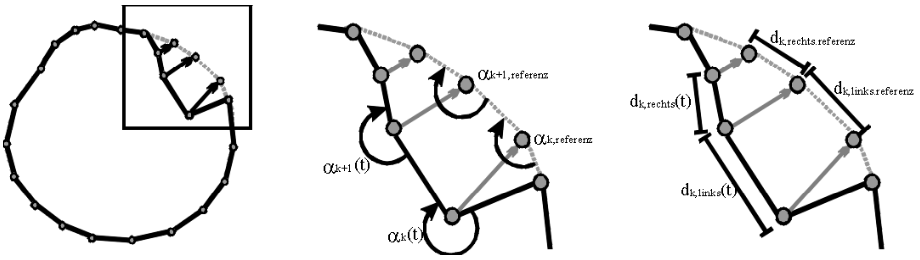

Abb. 2. Berechnung der Internen Kräfte am Beispiel des Auges: Weicht die aktuelle Kontur (durchgezogen) von der Form des Referenzmodells (gestrichelt) ab, können aus den Abweichungen in den Winkeln und Distanzen Verschiebungsvektoren zur Wiederherstellung einer anatomisch korrekten Form berechnet werden.

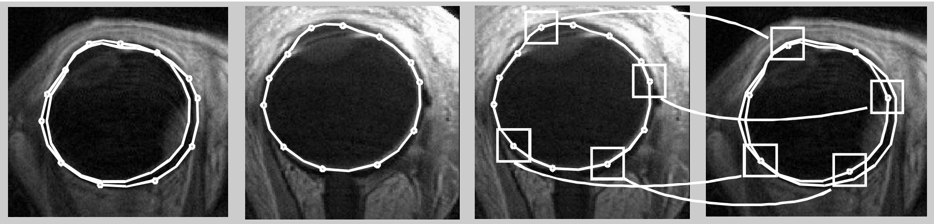

Abb. 3. Bild links: aktuelle Schicht mit der transformierten Segmentierung aus dem Referenzmodell (durchgezogen) und der gesuchten Segmentierung (gestrichelt). Zweites Bild von links: Referenzmodell mit der beispielhaften Segmentierung. Drittes und viertes Bild von links: Bildausschnitte um die Konturpunkte werden für die Berechnung der Externen Energie mittels Mutual Information genutzt. Die Maxima beschreiben jene Positionen im aktuellen Datensatz, die mit denen des Referenzdatensatzes korrespondieren.

die die Mutual Information berechnet wird. Die Externe Kraft versucht, die Konturpunkte dorthin zu ziehen, wo die Mutual Information und somit die Ähnlichkeit zwischen Referenz- und aktuellen Daten am größten ist.

2.3 Segmentierung

Bei der Segmentierung wird der modellbasierte Snake angewandt, um die aus dem Referenzmodell in den aktuellen Datensatz transformierte Segmentierung an das aktuelle Bildmaterial anzupassen.

3 Ergebnisse

Der Bildverarbeitungsansatz wurde an 15 MRT-Datensätzen des Auges und 10 CT- und MRT-Datensätzen des Gehirns getestet. Die notwendigen Benutzerinteraktionen beschränken sich für die Segmentierung eines dreidimensionalen Datensatzes auf die Eingabe der Landmarken (in der Regel zwischen 4 und 6) und dauerten etwa dreißig Sekunden. Alle weiteren Schritte werden automatisch durchgeführt. Die Ergebnisse des modellbasierten Snakes machten nur geringe bis keine Nachbearbeitungen notwendig. Durch die Verwendung desselben Referenzmodells für die Segmentierung unterschiedlicher Datensätze kann ohne jeden weiteren Arbeitsaufwand zusätzlich eine oberflächenbasierte Registrierung dieser Datensätze durchgeführt werden. Hierzu sind lediglich die Korrespondenzen zwischen den Oberflächen in den Datensätzen auf das gesamte Datenvolumen zu interpolieren und für die Transformation der Bilddaten anzuwenden.

4 Literatur

1. F Maes, A Collignon, D Vandermeulen, G Marchal, und P Suetens. Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information. IEEE Trans. on Medical Imaging, 16(2)187-198, 1997.