

Interaktive Korrektur von 3D-Segmentierungen

Daniel Proksch, Jana Dornheim, Bernhard Preim

Institut für Simulation und Graphik, Universität Magdeburg
preim@isg.cs.uni-magdeburg.de

Kurzfassung. In dieser Arbeit werden vier neuartige Ansätze zur interaktiven Korrektur medizinischer 3D-Segmentierungen vorgestellt. Das Hauptziel besteht dabei darin, einen intuitiven sowie zeitsparenden Korrekturvorgang zu ermöglichen. Anstatt die segmentierten Objektkonturen in jeder einzelnen Schicht der tomographischen Datensätze voneinander getrennt zu bearbeiten, wird die Korrektur von uns als direkte Manipulation dreidimensionaler polygonaler Oberflächenmodelle interpretiert. Die vorgestellten Verfahren sind inspiriert von aktuellen Arbeiten zur benutzerfreundlichen Polygonmodellierung.

1 Einleitung

In vielen Fällen stimmen die Ergebnisse modellbasierter Segmentierungsverfahren nicht vollständig mit den gesuchten Objektkonturen überein. Ursächlich dafür sind nach [1] vor allem lokal schwache Bildinformation und Abweichungen der zugrundeliegenden Modellannahmen. Gerade bei der Verarbeitung medizinischer Bilddaten werden jedoch exakte Segmentierungen benötigt. Daher sind stets die Überprüfung der Ergebnisse durch erfahrene Mediziner und ggf. lokal manuelle Korrekturen erforderlich. Bei der Verwendung deformierbarer Modelle etwa, wird hierfür in der Regel aus der Voxelrepräsentation der Segmentierung eine editierbare Kontur generiert. Die Korrektur wird dann durch das einfache Überzeichnen der fehlerhaften Objektkontur in allen betroffenen (axialen) Schichten des tomographischen Datensatzes vorgenommen. So kann der Nutzer sein gesamtes Expertenwissen in den Korrekturvorgang einbringen. Nachteilig sind jedoch der hohe Zeitaufwand (insbesondere bei hochaufgelösten Datensätzen und ausgedehnten Objekten) sowie der stark subjektive Einfluss auf die Korrekturergebnisse. In dieser Arbeit werden effektive und intuitive Methoden zur Segmentierungskorrektur vorgestellt, die eine bessere Reproduzierbarkeit erwarten lassen.

2 Material und Methoden

Das bisherige Vorgehen zur Korrektur von Segmentierungen auf Basis deformierbarer Modelle ist vor allem deshalb ineffizient, weil bereits vorliegende Modellinformation vernachlässigt wird. Für den von uns präsentierten Ansatz wird daher nicht nur der Segmentierungsvorgang, sondern auch die Korrektur der daraus

hervorgehenden Ergebnisse als Deformierung dreidimensionaler Polygonmodelle interpretiert. Korrekturen sind somit nicht mehr nur auf einzelne Schichten begrenzt, sondern beeinflussen einen gewissen Nachbarschaftsbereich, wodurch der benötigte Zeitaufwand reduziert werden kann. Zudem ist es so möglich, beliebige Schnittführungen des Datensatzes zur Korrektur heranzuziehen.

Neben der Forderung nach geringem Zeitaufwand und Reproduzierbarkeit ist es nach [1] besonders wichtig, dass Korrekturwerkzeuge durch direkte Manipulation nachvollziehbar und zielgerichtet eingesetzt werden können. Inspiriert von Methoden zur intuitiven Polygonmodellierung für Anfänger und Gelegenheitsnutzer [2, 3], wurden von uns Prototypen für vier unterschiedliche Werkzeuge zur Korrektur medizinischer Segmentierungen entwickelt. Alle Interaktionen sind dabei als direkte Manipulation der Objektkonturen konzipiert, die sich als Schnitt des Segmentierungsmodells mit den zweidimensionalen Schichten des Datensatzes ergeben. Als Visualisierung stehen dem Nutzer axiale, saggitale und koronare Ansichten des Datensatzes sowie eine beliebig rotierbare, dreidimensionale Darstellung des Modells zur Verfügung.

2.1 Bulge Tool

Die Grundidee des Bulge Tools besteht darin, ein kugelförmiges Objekt durch den Datensatz zu bewegen, mit dem die Modellkontur gewissermaßen „ausgebeult“ werden kann (Abb. 1a). Dabei hat der Nutzer zusätzlich die Möglichkeit, den Einflussbereich der Manipulation als Kugelradius zu definieren.

Abhängig von Größe und Auflösung des Modells steigt der Aufwand für die Detektion der Kollisionen von Kugel und Modellflächen, wodurch der flüssige Ablauf der Interaktion stark beeinträchtigt werden kann. Aus diesem Grund wird die Kollisionsdetektion auf die Schnittberechnung des kreisförmigen Abbildes der Kugel mit den Modellkonturen im zweidimensionalen Schichtbild reduziert. Liegt ein Konturbereich innerhalb des Kugelradius wird die Projektion des Kugelmittelpunktes auf die betreffenden Liniensegmente berechnet. Werden die so bestimmten Punkte in baryzentrischen Koordinaten bezüglich der entsprechenden Dreiecke dargestellt, lässt sich daraus eine sinnvolle Gewichtung für die Verschiebung der Dreiecksvertices ableiten. Schließlich müssen auch solche Vertices v berücksichtigt werden, die keiner der betrachteten Konturflächen angehören, sich aber dennoch innerhalb des Abstands r vom Kugelmittelpunkt m befinden. Die Verschiebung ergibt sich dann gemäß $v' = m + r \frac{v-m}{\|v-m\|}$.

2.2 Bending Tool

Das Bending Tool orientiert sich stark an der in [3] für die Animation von Charaktermodellen vorgestellten Technik zur Manipulation von Polygonmodellen. Die Deformation wird hierbei durch Einzeichnen einer Referenz- und einer Zielkurve bewirkt (Abb. 1b). Erstere entspricht zumeist in etwa der Hauptskeletlinie des zu deformierenden Modellteils. Anders als in [3] (wo vor allem annähernd zylindrische Objekte wie Arme und Beine transformiert werden), ist bei der

Anwendung zur Korrektur medizinischer Segmentierungen die explizite Begrenzung des Einflussbereiches (ROI) erforderlich. Dies geschieht durch Definition eines die Referenzkurve $C_r(s)$ umhüllenden Polygons sowie zweier parallel zum Schichtbild liegenden Grenzebenen. Das Einzeichnen der Zielkurve $C_t(s)$ führt schließlich zur Deformation.

Zunächst werden alle innerhalb der ROI liegenden Vertices v mit den jeweils nächstgelegenen Punkten v_r auf $C_r(s)$ sowie den korrespondierenden Punkten v_t auf $C_t(s)$ assoziiert. Für die Transformation wird dann jeweils v_r in den Koordinatenursprung verschoben, eine Rotation um die Schnittachse im Winkel θ zwischen den Kurventangenten in v_r bzw. v_t und schließlich eine Translation um v_t berechnet.

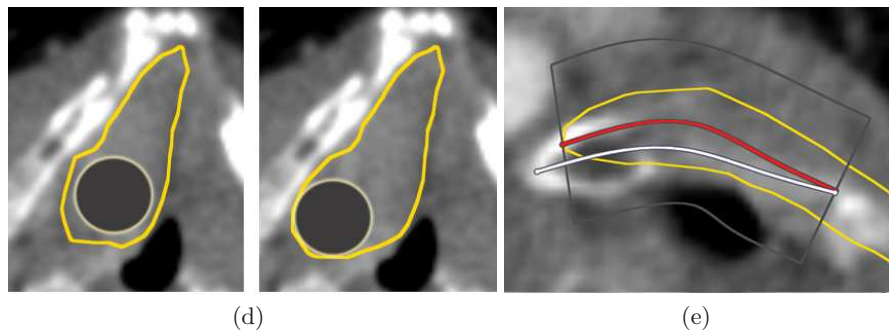


Abb. 1. (a) Bulge Tool: Mit einem kugelförmigen Werkzeug wird die Objektkontur „ausgebault“. (b) Bending Tool: Durch Einzeichnen einer Referenzkurve wird die Hauptskeletlinie angenähert. Eine zweite Kurve beschreibt das Deformationsziel. Durch das graue Hüllpolygon wird die ROI definiert.

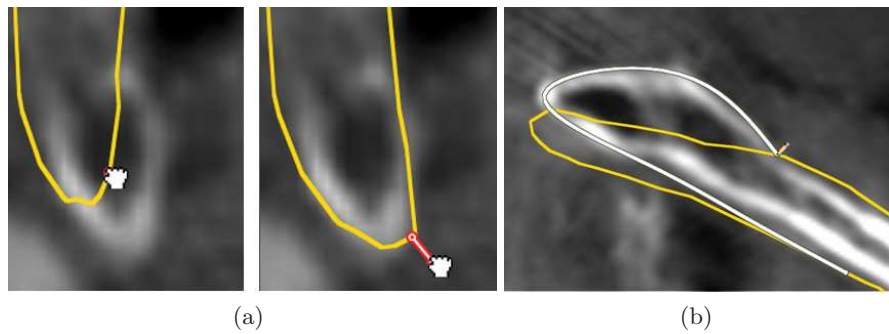


Abb. 2. (a) Traction Tool: Durch „Greifen“ und „Verziehen“ der Kontur wird das Modell unter Beibehaltung lokaler Formeigenschaften verformt. (b) Sketch Tool: Das Überzeichnen (weiß) der fehlerhaften Modellkontur resultiert in einer dreidimensionalen Deformation, ebenfalls unter Berücksichtigung von Formeigenschaften.

2.3 Traction Tool

Besonders in Fällen, in denen Fehlsegmentierungen auf Bildartefakten im Datensatz und nicht auf unzureichenden Modellannahmen beruhen, ist es sinnvoll das bereits vorliegende Formwissen auszunutzen und somit weniger subjektiv beeinflusste Endergebnisse zu erzielen.

Um dies zu erreichen, wird für das Traction Tool vom *Laplacian Modeling Framework* (LMS) [4] Gebrauch gemacht. Das LMS erlaubt es, Polygonmodelle unter Aufrechterhaltung lokaler Formeigenschaften zu manipulieren. Ausgehend von der Berechnung diskreter Laplace-Koordinaten entsteht ein lineares Gleichungssystem (LGS). Die Deformation lässt sich nun durch Hinzufügen positiver Bedingungen (als weitere Zeilen) beschreiben. Die näherungsweise Lösung des somit überbestimmten LGS führt zu einer optimalen Deformation unter Aufrechterhaltung lokaler Formeigenschaften sowie der Berücksichtigung aller weiteren Bedingungen.

Bei der Anwendung des Traction Tools wird zunächst ähnlich wie beim Bulge Tool der Radius der ROI bestimmt. Zur Deformierung klickt der Nutzer anschließend auf den zu korrigierenden Teil der Modellkontur und „zieht“ durch Bewegung der Maus daran (Abb. 2a). Intern werden dabei derart lineare Zusatzbedingungen in das LGS aufgenommen, so dass die Randvertices der ROI an ihrer Ursprungsposition verankert bleiben und dem ursprünglichen Ort des Mausklicks auf der Modelloberfläche die jeweils aktuelle Cursorposition zugewiesen wird.

2.4 Sketch Tool

Skizzenbasierte Polygonmodellierung wie in [2] ist eine für unerfahrene Nutzer konzipierte Technik, an der sich das Sketch Tool orientiert. Die Interaktion erfolgt als Kurvenzeichnung (Abb. 2b), so dass ähnlich wie bei der bisherigen manuellen Korrektur, fehlerhafte Bereiche der Segmentierung einfach überzeichnet werden. Im Unterschied dazu, bewirkt das Sketch Tool entsprechend unserem Ansatz jedoch eine dreidimensionale Modellmanipulation. Um vorhandenes Formwissen ausnutzen zu können, basiert auch das Sketch Tool auf dem LMF.

Die ROI ergibt sich hier durch zwei Ebenen, die jeweils senkrecht zum Start- und Endpunkt der gezeichneten Kurve stehen, sowie zwei manuell definierter Grenzebenen parallel zur Bildebene. Nach der Interaktion wird der überzeichnete Teil des fehlerhaften Segmentierungsmodells automatisch als jener Konturteil identifiziert, der die größte Ähnlichkeit mit der Nutzerkurve aufweist. Der so gefundene Teil der Kontur wird als parametrische Kurve interpretiert. So können neben der Verankerung der Randvertices solche Bedingungen in das LGS aufgenommen werden, die einer Menge von Punkten der ursprünglichen Kontur die korrespondierenden Positionen auf der Nutzerkurve zuordnen.

3 Ergebnisse

Die vorgestellten Interaktionstechniken wurden unter Verwendung der Entwicklungsumgebung *MeVisLab* sowie der *Magdeburg Shape Model Library* prototy-

pisch in C++ implementiert und in einer ersten qualitativen Nutzerstudie zur Korrektur modellbasierter Segmentierungen in Hals-CTs eingesetzt (eine quantitative Evaluierung unter Mitwirkung medizinisch geschulter Anwender steht bisher aus). Aufgrund mangelnder Fachkenntnisse hatten die fünf Teilnehmer die Aufgabe Segmentierungsergebnisse an von Medizinerern erstellte Referenzsegmentierungen anzupassen. Hierbei zeigte sich die generelle Tauglichkeit aller vier Ansätze. Als besonders vielversprechend erwies sich das Traction Tool, da es insbesondere bei der Anwendung in verschiedenen Schnittführungen (einem wesentlichen Vorteil gegenüber der bisherigen Art der Korrektur) überzeugen konnte.

4 Diskussion

Die von uns vorgestellten Interaktionstechniken ermöglichen eine neuartige Herangehensweise für die Korrektur modellbasierter Segmentierungen. Auch darüber hinaus erscheint die Anwendung sinnvoll. Tumoren in Hals-CTs etwa, werden unter Zuhilfenahme endoskopischer Untersuchungsergebnisse in der Regel vollständig manuell segmentiert. Werden bereits vorhandene Segmentierungen in polygonale Oberflächenmodelle überführt, können (durch Tumorwachstum oder Therapie) erforderliche Modifikationen mit unserem Ansatz leicht realisiert werden. Darüber hinaus ist zu jedem Zeitpunkt eine dreidimensionale Visualisierung der Modelle verfügbar, so dass die Anpassung an zuvor gesehene Bilder erleichtert wird.

Der nächste wichtige Schritt für die Weiterentwicklung der Korrekturwerkzeuge besteht in der Durchführung einer ausgedehnten Evaluierung mit Fachpersonal. Dabei sollte vor allem untersucht werden, inwieweit sich ein Zeitgewinn gegenüber der bisherigen Herangehensweise erzielen lässt. Außerdem ist von Interesse, ob sich einzelne Werkzeuge durchsetzen oder die Testpersonen Kombinationen der verschiedenen Techniken bevorzugen.

Literaturverzeichnis

1. Olabarriaga SD, Smeulders AWM. Setting the mind for intelligent interactive segmentation: overview, requirements, and framework. In: Proc IPMI; 1997. p. 417–422.
2. Igarashi T, et al. Teddy: a sketching interface for 3D freeform design. In: Proc SIGGRAPH; 1999. p. 409–416.
3. Kho Y, Garl M. Sketching Mesh Deformations. In: Proc SIGGRAPH Symp I3D; 2005. p. 147–154.
4. Lipman Y, Sorkine O, Alexa M, et al. Laplacian framework for interactive mesh editing. Int J Shape Model. 2005; p. 43–61.