

Repräsentation und Visualisierung von 3D-Formvarianten von Organen für die medizinische Ausbildung

Silke Hacker und Heinz Handels

Institut für Medizinische Informatik,
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, 20246 Hamburg
Email: hacker@uke.uni-hamburg.de

Zusammenfassung. Da einerseits omputerbasierte anatomische Atlanten in der Regel von einem Individuum abgeleitet sind, andererseits die morphologische Variabilität in vielen medizinischen Fragestellungen eine wichtige Rolle spielt, verfolgen wir das Ziel, einen Atlas zu entwickeln, der die Formvariabilität von ausgewählten anatomischen Strukturen repräsentieren kann. Die Grundlage für dieses Projekt bildet der VOXEL-MAN-Atlas der inneren Organe. Für die Modellierung der anatomischen Formen verwenden wir die M-rep-Repräsentation, die eine kompakte Beschreibung von anatomischen Objekten auf der Basis ihrer Mittelachsen bietet. Als Beispielobjekte haben wir ein Kollektiv von Nieren zur Beschreibung von inter-individueller Variabilität und die Lunge zur Beschreibung von dynamischen Organverformungen gewählt. Durch die Integration einer Formbeschreibung in den VOXEL-MAN-Atlas ist es nun möglich Formvarianten eines Organs, z.B. durch Angabe von Alter oder Geschlecht, abzufragen oder sich die mittlere Form eines Kollektivs anzeigen zu lassen. Neben einer Oberflächendarstellung ist auch eine Volumendarstellung der Formvarianten möglich, die sich aus der Verformung des jeweiligen Referenzorgans nach Maßgabe der Formbeschreibung ergibt.

1 Einleitung

Dreidimensionale anatomische Atlanten stellen in der medizinischen Ausbildung eine sinnvolle Ergänzung zu den klassischen Anatomieatlanten in gedruckter Form dar. Gegenüber der statischen Darstellung in Büchern ermöglichen sie ein interaktives Erlernen der menschlichen Anatomie und machen räumliche Zusammenhänge für den Studierenden anschaulicher und begreifbarer. Trotz der hohen Qualität, die computerbasierte anatomische Atlanten inzwischen erreicht haben, ist ihr Nutzen dadurch eingeschränkt, dass die Daten, auf denen die Atlanten basieren, in der Regel von einem einzigen oder einigen wenigen Individuen stammen. Sie sind daher nicht repräsentativ für die menschliche Anatomie im Allgemeinen. Anatomische Strukturen weisen jedoch zum Teil beträchtliche Unterschiede bezüglich ihrer Größe und Form auf – zum einen aufgrund natürlicher

Variabilität und zum anderen in Abhängigkeit von Faktoren wie z.B. Alter, Geschlecht oder Krankheit. Da die Darstellung von Variabilität für viele medizinische Fragestellungen von großer Bedeutung ist, wird ein Körpermodell entwickelt, das die Formvariabilität von ausgewählten anatomischen Strukturen in geeigneter Weise repräsentieren kann.

Die Kenntnis der Variabilität in der Anatomie wurde bisher in der medizinischen Ausbildung fast ausschließlich in aufzählender Art und Weise vermittelt, z.B. in Form von Bilder- oder Präparatesammlungen. Die Integration von Variabilität in einen anatomischen Atlas ist ein komplexes Problem, das noch nicht allgemeingültig gelöst wurde. Die größten Erfolge wurden bisher bei populationsbasierten Atlanten des Gehirns erzielt [1]. Hierbei handelt es sich meist um deformationsbasierte Atlanten, bei denen eine Referenzanatomie elastisch auf individuelle Anatomien verformt wird und die Abweichungen dann durch Deformationsfelder beschrieben werden. Diese können durch farbcodierte Visualisierungen dargestellt werden. Für Atlanten, die beispielsweise die inneren Organe darstellen, erscheint ein solcher Ansatz jedoch weniger geeignet, da sich nicht nur die Form von Organen, sondern auch ihre unterschiedliche Lage und Ausrichtung in den Deformationsfeldern widerspiegelt, wodurch ihre Interpretation erschwert wird. Eine Alternative ist hier die Beschreibung von anatomischen Strukturen mit Formmodellen, wie z.B. Punktwolkenmodelle, skelettbasierte Modelle oder Fourier Surfaces. Ein solcher organbezogener Ansatz ermöglicht eine Charakterisierung von Organformen unabhängig von ihrer Position und insbesondere auch eine Berechnung von mittleren Organformen in einem Kollektiv.

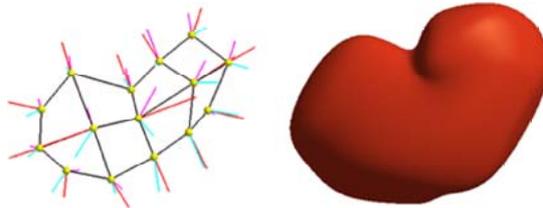
2 Methoden

Den Ausgangspunkt dieses Projektes bildet der an unserem Institut entwickelte VOXEL-MAN-Atlas der inneren Organe [2], der auf den Datensätzen des Visible-Human-Projektes [3] beruht. Für die Modellierung der Formvarianten der Organe und deren Variabilität haben wir „M-reps“ („medial representation“) verwendet, die eine spezielle Variante der skelettbasierten Modelle darstellen [4].

Bei den M-reps werden die Mittelachsen durch diskrete Punkte („mediale Atome“) beschrieben. Diese werden durch einen Parametervektor repräsentiert, der lokale Forminformationen beinhaltet (Position, Objektradius, Orientierung, Objektwinkel). Auf diese Weise wird eine sehr kompakte Beschreibung von Objekten erreicht (Abb. 1). Eine M-rep-Figur setzt sich aus einem Gitter oder einer Kette solcher medialen Atome zusammen. Um Formvarianten eines Objektes miteinander in Bezug bringen zu können, ist es erforderlich eine geometrische Korrespondenz zwischen den Formmodellen zu definieren. Bei den M-reps geschieht dieses auf der Grundlage eines figurenbezogenen Koordinatensystems, das auf dem medialen Gitter basiert.

Für eine statistische Beschreibung der Formvarianten eines Kollektivs wird eine erweiterte Form der klassischen Hauptkomponentenanalyse, die so genannte „Principal Geodesic Analysis“ verwendet. Diese Methode wurde von Fletcher et

Abb. 1. Ein M-rep-Modell einer Niere. Links: Struktur des M-rep-Gitters mit 3×5 medialen Atomen. Rechts: Zugehörige Oberflächendarstellung.



al. [5] speziell für die Anwendung von M-rep-Parametern entwickelt, welche u.a. Winkel beinhalten.

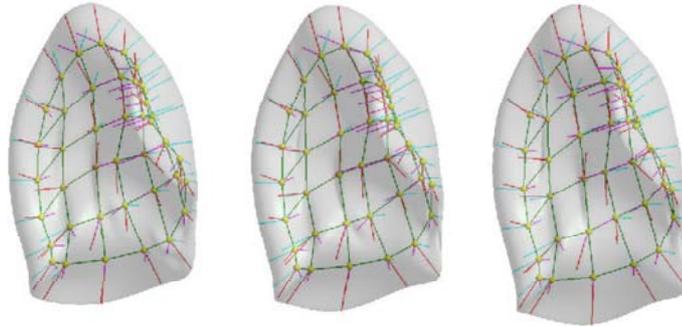
Als Beispielobjekt für die Entwicklung der Methodik zur Integration von Formmodellen in den VOXEL-MAN-Atlas haben wir ein M-rep-Modell der linken Niere verwendet, welches auf der Basis von CT-Datensätzen erstellt wurde und uns für 48 Formausprägungen verschiedener Individuen zur Verfügung stand. Für die Verknüpfung des Nierenmodells mit dem Volumenmodell haben wir auch ein M-rep-Modell der Visible-Human-Niere erstellt, welches als Referenz dient und die gleiche mediale Struktur aufweist wie die übrigen Nierenmodelle, so dass eine geometrische Korrespondenz zwischen den M-rep-Modellen hergestellt werden kann. Um neben einer oberflächenbasierten Darstellung der Formvarianten auch eine volumenbasierte Darstellung zu ermöglichen, wurde auf der Basis der M-rep-Koordinaten ein Verfahren entwickelt, das die Verformung von Organen aus dem Volumenmodell nach Maßgabe der M-rep-Formbeschreibung ermöglicht.

Als Beispiel für die Darstellung von Organverformungen aufgrund von dynamischen Prozessen haben wir auf der Basis von 4D-CT-Datensätzen des Atemzyklus Mrep-Modelle des linken und rechten Lungenflügels erstellt [6]. Als Grundlage haben wir Datensätze von vier Lungentumorpatienten verwendet und die M-rep-Modelle an 10 bzw. 11 Zeitpunkte des Atemzyklus angepasst. Abbildung 2 zeigt das M-rep-Modell des linken Lungenflügels eines dieser Patienten. Es besteht aus 6×7 medialen Atomen.

3 Ergebnisse

Durch die Integration der M-rep-Formbeschreibung in den VOXEL-MAN-Atlas ist es nun möglich, innerhalb des Atlases verschiedene Ausprägungen eines Organs, wie zum Beispiel der Niere, abzufragen und zu visualisieren. Sind Zusatzinformationen zu den einzelnen Formvarianten verfügbar, wie z.B. Alter, Geschlecht und ggf. Pathologie, so können dieses vom Benutzer abgefragt werden. Neben der Darstellung individueller Formvarianten ist es z.B. auch möglich, sich die mittlere Form eines Kollektivs von Objekten anzeigen zu lassen.

Abb. 2. Ein M-rep-Modell des linken Lungenflügels in drei Zeitpunkten des Atemzyklus. Links: Maximale Inspiration, Rechts: Maximale Expiration.

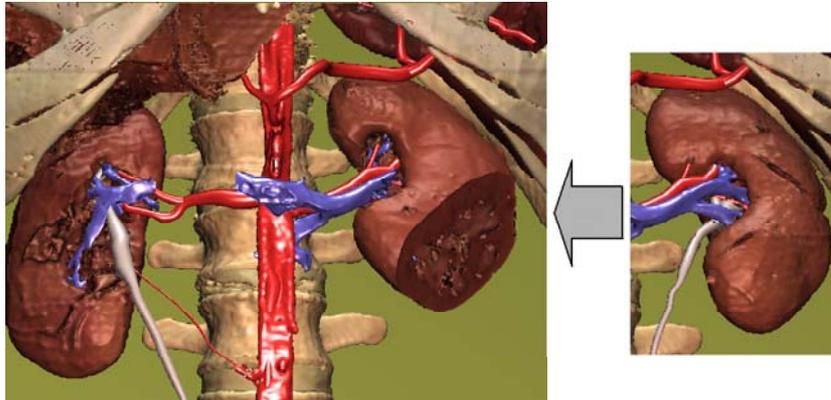


In einem ersten Schritt lassen sich die Formvarianten der Niere als Oberflächenmodell anzeigen, welches sich aus dem M-rep-Modell sehr schnell errechnen lässt. Auf diese Weise kann man sich rasch einen Überblick über die Formvariabilität eines Kollektivs von Organen verschaffen. Darüber hinaus ist auch eine Volumendarstellung der Formvarianten möglich, die sich aus einer Verformung der Referenzniere aus dem Volumenmodell auf der Basis der M-rep-Koordinaten ergibt (Abb. 3). Hiermit werden eine realistische visuelle Darstellung der Formvarianten und auch die Visualisierung von Texturen des Organinneren, z.B. durch das Setzen von Schnitten ermöglicht. Sinnvoll ist dies natürlich nur, wenn es sich hierbei nicht um eine pathologische Variante handelt, die sich in seiner Struktur von einer gesunden Niere wesentlich unterscheidet.

4 Diskussion und Ausblick

Es wurde ein neues Konzept für einen anatomischen Atlas vorgestellt, der die Formvariabilität von Organen bzw. Organgruppen eines Kollektivs und auch Formveränderungen von Organen aufgrund von dynamischen Prozessen repräsentieren kann. Durch die Verknüpfung des VOXEL-MAN-Atlases mit der M-rep-Formbeschreibung werden die Vorteile beider Methoden kombiniert. Der VOXEL-MAN-Atlas ermöglicht eine hohe Qualität in der visuellen Darstellung von anatomischen Strukturen auf der Basis fotografischer Farbschichtbilder. Er stellt außerdem eine umfangreiche anatomische Wissensbasis in Form eines semantischen Netzwerkes zur Verfügung, die es erlaubt, anatomische Strukturen abzufragen. Eine effiziente Darstellung der Variabilität von Organen, basierend auf größeren Kollektiven, ist mit einem volumenbasierten Ansatz jedoch nicht möglich. Die M-rep-Modellierung ermöglicht dagegen eine kompakte Beschreibung von Formvariabilität. Gegenüber anderen Formmodellen hat sie außerdem den Vorteil, dass eine geometrische Korrespondenz nicht nur zwischen Oberflächenpunkten sondern auch zwischen Volumenpunkten definiert werden kann.

Abb. 3. Volumenbasierte Darstellung von Formvarianten der linken Niere im VOXEL-MAN-Atlas. Rechts: Referenzniere aus dem Volumenmodell. Links: Formvariante der Niere auf der Basis einer M-rep-Beschreibung (der Schnitt gibt einen Blick in das Innere der Niere).



Zu unseren nächsten Schritten gehört die Selektion und Berechnung von geeigneten Formparametern aus den M-rep-Modellen, die eine Charakterisierung verschiedener Formklassen ermöglichen. Weiterhin sollen erweiterte Visualisierungstechniken für die Darstellung von Formunterschieden eines Organs implementiert werden.

Danksagung: Wir bedanken uns bei Prof. Stephen Pizer und der Bildverarbeitungsgruppe (MIDAG) von der UNC in Chapel Hill, USA für die Bereitstellung der Software „Pablo“ und die Unterstützung bzgl. der M-reps. Den Mitarbeitern der Radioonkologie an der UNC danken wir für die freundliche Überlassung der Nierendaten. Dieses Projekt wird unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Literaturverzeichnis

1. Toga RW, Mazziotta JC, editors. Brain Mapping - The Methods. Academic Press, San Diego; 2002. p. 727–755.
2. Höhne KH, Pflesser B, Pommert A, Riemer M, Schubert R, Schiemann T, et al. A Realistic Model of Human Structure from the Visible Human Data. Method Inform Med 2001;40:83–89.
3. Spitzer V, Ackermann M, Scherzinger A, Withlock D. The Visible Human Male: A Technical Report. J Am Med Inform Assoc 1996;3(2):118–30.
4. Pizer SM, Fletcher PT, Joshi S, Stough J, Thall A, Chen JZ, et al. Deformable M-reps for 3D Medical Image Segmentation. IJVC 2003;55.
5. Fletcher PT, Joshi S, Pizer SM. Gaussian Distribution on Lie Groups and their application to Statistical Shape Analysis. IPMI 2003.
6. Ehrhardt J, Säring D, Handels H. Optical Flow-based Interpolation of Temporal Image Sequences. In: Procs BVM; 2006.