

# **3D-Lungenlappen-Segmentierung durch Kombination von Region Growing, Distanz- und Wasserscheiden-Transformation**

J.-M. Kuhnigk, H.K. Hahn, M. Hindennach, V. Dicken, S. Krass, H.-O. Peitgen

## **Problemstellung**

Als annähernd unabhängige anatomische Komponenten der Lunge spielen die Lungenlappen eine wesentliche Rolle bei der Diagnose und Therapie von Lungenkrankheiten. Leider stellt eine genaue Lokalisierung der Lappengrenzen, der sogenannten Fissuren, sogar für Experten oftmals eine nicht-triviale Aufgabe dar. Das liegt unter anderem daran, dass die Fissuren aus sehr dünnem Bindegewebe bestehen. Besonders bei pathologischen Fällen oder Aufnahmen mit geringerer Auflösung (z.B. Low-Dose-CT) sind sie häufig nicht oder nur unvollständig in CT-Daten zu erkennen. Weiterhin sind die Lungenlappen nahe des Mediastinums aufgrund der sich vereinigenden Bronchial- und Gefäßsysteme nicht mehr auf Fissurbasis zu trennen. Eine Segmentierungsmethode, die robust genug für einen klinischen Einsatz ist, muss daher zusätzliche anatomische Informationen mit einbeziehen.

## **Stand der Forschung**

Die wenigen existierenden Algorithmen basieren fast ausschließlich auf einer interaktiven, Snake-basierten Fissurerkennung. Einer dieser Ansätze versucht bei deren Scheitern, die realen Grenzen unter Zuhilfenahme von Atlaswissen zu approximieren. Dabei werden in jedem Fall lediglich die Hauptfissuren bearbeitet; die meist erheblich diffizilere Unterteilung zwischen rechtem Ober- und Mittellappen wird nicht herbeigeführt.

## **Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag**

Im Gegensatz zu existierenden Methoden, die sich in der Hauptsache auf die Repräsentation der Fissur in den Originaldaten stützen und somit stark abhängig von Scan-Qualität und Zustand des Patienten sind, verwendet die hier vorgestellte Methode zwar anatomisches Vorwissen über die Lungenlappen, ohne sich jedoch dabei auf einen Atlanten zu beziehen und bleibt daher komplett datengetrieben. Dies erlaubt eine robustere und genauere Segmentierung besonders bei pathologischen Fällen. Unsere Methode bietet dabei nicht nur eine Differenzierung in Ober- und Unterlappen, sondern schließt eine Mittellappensegmentierung explizit mit ein. Weiterhin wird durch die am Ende der Arbeitskette liegende und ein direktes Feedback bietende Interaktion gewährleistet, dass die Resultate direkt vom Benutzer visuell verifiziert werden können.

Aufgrund der bisherigen erheblichen algorithmischen Schwierigkeiten wird eine Lappensegmentierung in der Praxis nicht durchgeführt. Dabei kann die durch eine robuste Lappensegmentierung erreichte strukturelle Dekomposition der Lunge nicht nur bei weiterführenden Bildverarbeitungs-Methoden behilflich sein, sondern erlaubt zusätzlich eine präzisere Bestimmung lappenspezifischer CT-Funktionsparameter und damit eine genauere Prognose der postoperativen Lungenfunktion im Falle einer Lappenresektion, welche als die derzeit effektivste Form der Therapie für Lungenkrebs im frühen Stadium angesehen wird.

## **Methoden**

Unserer Methode liegt zu Grunde, dass die Gefäßsysteme der Lungenlappen distal des Hilus separat verlaufen und damit bereits erste Anhaltspunkte für den Fissurverlauf zur Verfügung

stellen. Um dies auszunutzen, erzeugen wir unter Verwendung eines schnellen 3D-Regionenwachstumsverfahrens und einer zuvor generierten Lungenmaske zunächst eine grobe Segmentierung des gesamten pulmonalen Gefäßsystems, welches sich in der Lunge durch einen hohen Kontrast auszeichnet. Das Ergebnis verwenden wir, um darauf eine ebenfalls dreidimensionale Distanztransformation durchzuführen, die jedes Voxel des Originalbildes auf seine euklidische Entfernung zum Gefäßsystem abbildet. Diese wird in einem sogenannten Distanzbild gespeichert, das wir  $I_1$  nennen. Somit werden die Lappengrenzen in  $I_1$  bereits als lokal hellere Strukturen dargestellt, und bieten damit bereits eine Grundlage für ein adaptives grauwertbasiertes Segmentierungsverfahren wie die Wasserscheiden-Transformation. Damit eine genauere Segmentierung möglich ist, werden zusätzlich die Originaldaten mit eingebracht. Abhängig vom Zustand des Patienten, den Scan-Parametern und ihrer lokalen Orientierung werden die Fissuren häufig zumindest teilweise entweder als dünne Linien oder diffuse Wolken leicht erhöhter Intensität auf CT-Scans abgebildet. Durch ein weitgehendes Ausblenden der Gefäße unter Zuhilfenahme der obigen Gefäßsegmentierung erhalten wir aus dem Originalbild ein weiteres Bild  $I_2$ . Auch in  $I_2$  kennzeichnen damit lokal hellere Strukturen diejenigen Voxelpositionen, welche möglicherweise zu den Fissuren gehören könnten. Abhängig vom verwendeten Scan-Protokoll wurden zwei verschiedene Gewichtungen experimentell an die Anforderungen von hoch bzw. niedrig aufgelösten Datensätzen angepasst, um die Bilder  $I_1$  und  $I_2$  linear zu kombinieren. Jeweils einen manuell platzierten Marker auf ein großes zentrales Gefäß eines jeden Lappens vorausgesetzt, kann man schließlich mit Hilfe einer 3D-Wasserscheiden-Transformation auf dem kombinierten Bild die Lappengrenzen bestimmen. Wir verwenden dazu eine interaktive Variante, welche eine nachträgliche Verfeinerung der Ergebnisse durch Hinzufügen und Entfernen weiterer Marker bei direkter Aktualisierung der visuellen Kontroll-Ausgabe erlaubt. Abschließend werden die erkannten Fissuren filterbasiert geglättet.

## **Ergebnisse**

Unsere Methode wurde bereits an klinischen CT-Datensätzen von mehr als 30 Patienten getestet. Darunter befanden sich acht hochaufgelöste (Schichtdicke 1.0-1.25 mm) Datensätze mit gering ausgeprägten pathologischen Veränderungen. Für diese genügte bereits ein Marker pro Lungenlappen, um Ergebnisse zu erzeugen, die sich hochgradig mit manuell generierten Segmentierungen deckten. Für die meisten Low-Resolution Scans (Schichtdicke 3-5 mm) wurden zusätzliche Marker benötigt. Die Berechnungszeit beträgt 1-2 Minuten pro Lungenflügel auf einem Standard-PC.

## **Diskussion**

Wir stellen eine robuste und schnelle Lungenlappen-Segmentierungsmethode vor, die eine sofortige Verifikation und interaktive Korrektur der Ergebnisse erlaubt. Der Hauptnutzen einer robusten Lappensegmentierung liegt in einer zuverlässigen Vorhersage von lappenspezifischen CT-Funktionsparametern. So kann beispielsweise vor einer Lappenresektion prognostiziert werden, ob dem Patienten nach der Operation in ausreichendem Maße funktionelles Gewebe verbleibt.

Für die Zukunft ist eine automatische Analyse des segmentierten Gefäßbaumes und eine darauf aufbauende Erzeugung von Markern geplant, wodurch die Notwendigkeit einer Interaktion zumindest für klinische Standarduntersuchungen nicht mehr gegeben wäre.