

Bildanalyse für die präoperative Planung von Neck Dissections

Jana Hintze¹, Jeanette Cordes¹, Bernhard Preim¹,
Ilka Hertel², Gero Strauss² und Uta Preim³

¹Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

²Hals-Nasen-Ohren-Universitätsklinik, Universitätsklinikum Leipzig

³Klinik für Diagnostische Radiologie, Universitätsklinikum Magdeburg

Email: hintze@isg.cs.uni-magdeburg.de

Zusammenfassung. Mit dem Ziel einer 3D-Visualisierung der patienten-individuellen Pathologie sollen therapeutisch relevante Strukturen des Halses präoperativ segmentiert werden. Die vorliegende Arbeit untersucht die Eignung und Automatisierbarkeit grauwertbasierter Segmentierungsverfahren (Regionenwachstum, Interaktive Wasserscheidentransformation, Live-Wire) für diese Aufgabe. Außerdem wird die Integration der Segmentierungsverfahren in den Software-Assistenten *NeckVision* beschrieben.

1 Problemstellung

Die präoperative Planung einer Hals-Lymphknoten-Ausräumung (Neck Dissection) soll durch eine 3D-Visualisierung der patienten-individuellen Anatomie unterstützt werden. Die Neck Dissection wird bei Tumorerkrankungen im Mund- und Rachenbereich durchgeführt, um Lymphknotenmetastasen zu entfernen. Die Radikalität der Operation ist dabei entscheidend für die langfristige Prognose und die Lebensqualität des Patienten und hängt vom Vorhandensein vergrößerter (metastasenbefallener) Lymphknoten und ihrer Infiltration in benachbarte Muskeln, Nerven und Gefäße ab.

Um eine sichere Entscheidung über die Operabilität und die Art der Neck Dissection zu ermöglichen, sollen daher präoperativ Anzahl und Größe potenziell metastasenbefallener Lymphknoten, sowie ihre Lage in Bezug zu Risikostrukturen (Muskeln, Nerven, Blutgefäße) visualisiert werden. Dazu ist eine Segmentierung folgender Strukturen erforderlich:

- Blutgefäße des Halses (V. jugularis, A. carotis)
- Muskeln (M. sternocleidomastoideus)
- Knochen (Wirbelkörper, Mandibula, Clavicula)
- Rachen (Pharynx)
- Tumor
- Lymphknoten über 1cm Ausdehnung

Zusätzlich wird häufig die Darstellung von Kehlkopf (Ringknorpel, Schildknorpel, Epiglottis), Speicheldrüsen (Gl. submandibularis, Gl. parotidea), Schilddrüse, Ösophagus oder weiterer Muskeln und Nerven (M. omohyoideus, N. vagus, N. hypoglossus, N. accessorius) gewünscht.

Für die Stadieneinteilung sind Vermessungen erforderlich, die ebenfalls eine Segmentierung voraussetzen. Typische Fragestellungen sind Abstände der Lymphknoten zu Risikostrukturen sowie die Ausdehnung krankhafter Strukturen.

2 Stand der Forschung

Zur Segmentierung von Blutgefäßen, Knochen und luftgefüllten Organen gibt es eine Vielzahl von Segmentierungsansätzen, so z.B. Varianten des Regionenwachstums [1] oder der Wasserscheidentransformation. Zur Segmentierung von Lymphknoten in CT-Datensätzen sind verschiedene semiautomatische Ansätze erprobt worden, z.B. mit Fast Marching [2] und Aktiven Konturen. Zur automatischen Detektion von Lymphknoten in CT-Datensätzen sind uns hingegen keine Arbeiten bekannt, ebenso wie zur Segmentierung spezieller Strukturen des Halses, wie Kehlkopf, Speichel- und Schilddrüsen, sowie des M. sternocleidomastoideus.

3 Methoden

Es wurden drei klassische Verfahren ohne Formwissen auf ihre Eignung zur Segmentierung der oben genannten Organe getestet:

Regionenwachstum Hier wurde das klassische Regionenwachstum mit Grauwert-Intervall bzw. prozentualem Homogenitätsparameter erprobt.

Markerbasierte Wasserscheidentransformation Verwendet wurde hier die Wasserscheidentransformation nach [3], welche das Setzen beliebiger Include- und Exclude-Marker ermöglicht.

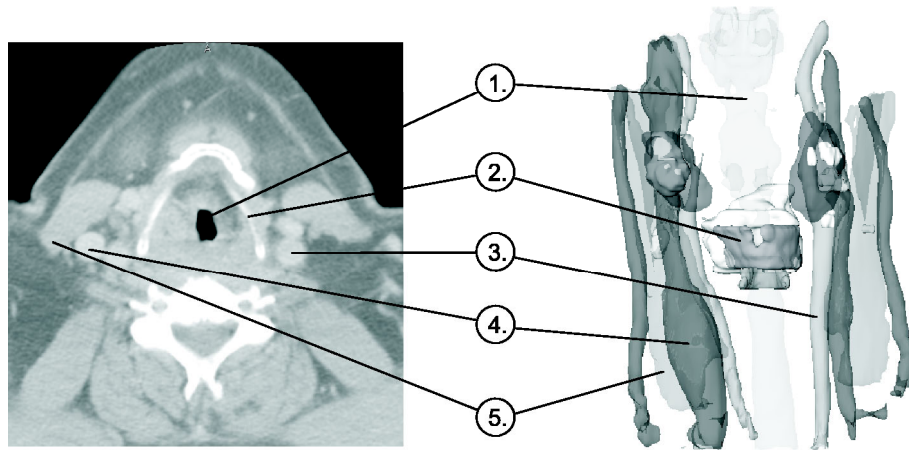
Live-Wire Es wurde ein Live-Wire [4] verwendet, welches über eine automatische Kostenlernfunktion verfügt und darüberhinaus die Möglichkeit bietet, zwischen einzelnen Schichten optimiert zu interpolieren.

Anforderungen an die untersuchten Verfahren waren eine gute Qualität der Segmentierungsergebnisse bei geringem Zeit- und Interaktionsaufwand, sowie weitgehende Automatisierbarkeit.

Für die Untersuchung standen 12 CT- und 4 MRT-Datensätze des Halses zur Verfügung. 13 dieser Datensätze enthielten einen Tumor im Halsbereich mit Verdacht auf Halslymphknotenmetastasen. Der Schichtabstand der Datensätze schwankte deutlich (0,7 bis 6,5 mm), in 2 Datensätzen lagen Bewegungsartefakte vor. Die Bildanalyse wurde mit MeVisLab durchgeführt (www.mevislab.de).

Zusätzlich wurde untersucht, wie gut sich vergrößerte Lymphknoten, der Primärtumor und therapeutisch relevante Nervenbahnen segmentieren ließen. Die Segmentierung der Datensätze wurde als Dienstleistung (Uni Magdeburg)

Abb. 1. CT-Datensatz vom Halsbereich (links) und 3D-Visualisierung der Segmentierungsergebnisse (rechts). 1) Pharynx, 2) Kehlkopf (Schilddrüse), 3) A. carotis communis, 4) V. jugularis interna, 5) M. sternocleidomastoideus



für den chirurgischen Partner erbracht. Die Ergebnisse wurden von einer Radiologin kontrolliert. Der Datenaustausch erfolgte über das WWW mit definierten Informationen über Diagnose und Fragestellung als Ausgangspunkt der Bildanalyse und standardisierten Bildern und Animationssequenzen zur Ergebnisdarstellung.

4 Ergebnisse

Alle Datensätze konnten erfolgreich bearbeitet werden. Der Aufwand für die Segmentierung schwankte zwischen 50 und 150 Minuten pro Datensatz, je nach Datenqualität und Anzahl der zu segmentierenden Strukturen. Tabelle 1 zeigt die zur Segmentierung benötigte Zeit, gemessen über 16 Datensätze und einen Benutzer. Die Segmentierung der MRT-Datensätze erforderte deutlich mehr Interaktion als die der CT-Datensätze.

Tabelle 1. Segmentierungszeiten der einzelnen Organe in Minuten.

Organ	Durchschnitt	Minimum	Maximum	MSE
Blutgefäße	23,2	10	40	7,11
Knochen	4,8	2	5	0,77
M. sternocleidomastoideus	18,1	10	30	6,04
Speicheldrüsen	19,7	18	20	0,75
Pharynx	3,9	2	5	1,24
Lymphknoten (in 13/16 DS)	31,7	7	80	18,85
Summe	89,9	50	150	24,67

4.1 Segmentierung von Luft und Knochen

Für die Segmentierung von Trachea und Pharynx genügte ein automatisches Schwellwertverfahren (0-700 HU in einem CT-Grauwertbereich von 0-4095 HU). Die Segmentierung der Knochen war in der Regel durch ein einfaches Regionenwachstum mit maximal 15 Saatpunkten möglich. In kontrastierten Datensätzen lagen die Blutgefäße oftmals im Grauwertbereich der Knochen und waren schwierig von diesen zu trennen. Dieser Effekt konnte durch eine feste Segmentierungsreihenfolge verbessert werden: Die Blutgefäße wurden vor der Knochensegmentierung durch eine Interaktive Wasserscheidentransformation (exclude-Marker, preflooding height 111, mask threshold 1172) isoliert und aus dem Datensatz subtrahiert (Vgl. Abb. 2).

4.2 Segmentierung von Weichgewebestrukturen

Für alle übrigen Strukturen stellte sich die Segmentierung erwartungsgemäß als schwierig heraus. Wasserscheidentransformation und Regionenwachstum führten bei allen Weichgewebestrukturen zu starkem Auslaufen, was nur durch ein aufwändiges Setzen von Barrieren verhindert werden konnte. Mit dem verwendeten Live-Wire-Algorithmus hingegen konnten die Muskeln, Speicheldrüsen, der Pharynx und die Schilddrüse zufriedenstellend segmentiert werden. An schwachen Kanten wurden die Saatpunkte dichter gesetzt.

Auch bei den Lymphknoten war die Segmentierungsreihenfolge entscheidend. So konnte das Auslaufen in benachbarte Strukturen deutlich reduziert werden, indem zunächst alle bekannten Strukturen aus dem Datensatz subtrahiert wurden. Durch ein Regionenwachstum mit engem Grauwertbereich sowie anschließende Dilatation konnte eine Maske um einen Lymphknoten erzeugt werden, die das Auslaufen noch besser begrenzte. Isoliert liegende, konvexe Lymphknoten konnten so mit einem Klick segmentiert werden. Bei Lymphknoten, die an Blutgefäße und Muskeln angrenzten, bzw. bei stark konkaven Lymphknoten war oft eine Handsegmentierung notwendig.

4.3 Softwareassistent NeckVision

Die optimierten Segmentierungsverfahren wurden in Form des Software-Assistenten *NeckVision* in die Bildanalyse-Plattform MeVisLab [5] integriert. Die Benutzerschnittstelle von NeckVision ist für den klinischen Einsatz konzipiert. Die Segmentierung erfolgt hier nach einer festen Reihenfolge, die aus den oben beschriebenen Zusammenhängen abgeleitet wurde (Vgl. Abb. 2). NeckVision bildet die Ausgangsbasis für weiterführende Automatisierung der einzelnen Segmentierungsaufgaben.

5 Diskussion

Die Qualität der Segmentierung wurde von den chirurgischen Partnern durchweg als zufriedenstellend oder besser bezeichnet. Um die Methoden in die klinische

Abb. 2. Segmentierungsreihenfolge und benutzte Verfahren in *NeckVision*.



Routine zu überführen, muss der Zeit- und Interaktionsaufwand zur Segmentierung jedoch drastisch gesenkt werden (Ziel: maximal 10 Minuten Interaktionsaufwand, danach nur noch automatische Berechnungen). Für dieses Ziel der weiterführenden starken Automatisierung scheint der Einsatz von modellbasierten Segmentierungsansätzen unter Ausnutzung von Formwissen essentiell. So ließe sich z.B. die Segmentierung der Blutgefäße und länglichen Muskeln stark verbessern.

Die automatische Detektion und Segmentierung vergrößerter Lymphknoten ist für die Planung von Neck Dissections wesentlich. Insbesondere wird ein Verfahren gewünscht, welches alle therapieentscheidenden Lymphknoten über 1cm sicher detektiert. Falsch-positiv gefundene Lymphknoten könnten hingegen manuell eliminiert werden. Wünschenswert ist weiterhin eine automatische Bestimmung der Lymphknotenlevel und TNM-Klassifikation der Tumorerkrankung anhand der segmentierten Lymphknoten.

Als erstrebenswert für die Operationsplanung stellte sich auch die Darstellung der o.g. Nerven heraus. Dies ist problematisch, da sie aufgrund ihres geringen Durchmessers und Kontrastes nur an wenigen Stellen im CT-Bild zu erkennen sind, so dass die Segmentierung in diesen Schichten stets manuell erfolgen muss. Zwischen den identifizierten Punkten wird der Verlauf linear interpoliert; die damit verbundene Unsicherheit erscheint akzeptabel.

Literaturverzeichnis

1. Selle D, Preim B, Schenk A, Peitgen HO. Analysis of Vasculature for Liver Surgical Planning. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 2002;21.
2. Yan J, Zhuang T, Zhao B, Schwartz LH. Lymph node segmentation from CT images using fast marching method. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 2004;28:33–38.
3. Hahn HK, Peitgen HO. IWT – Interactive Watershed Transform: A hierarchical method for efficient interactive and automated segmentation of multidimensional grayscale images. In: *Proc. SPIE Medical Imaging 2003*. vol. 5032. San Diego: SPIE; 2003.
4. Schenk A, Prause GPM, Peitgen HO. Efficient Semiautomatic Segmentation of 3D Objects in Medical Images. In: *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2000*; 2000. p. 186–195.
5. Hahn HK, Link F, Peitgen HO. Concepts for Rapid Application Prototyping in Medical Image Analysis and Visualization. In: Schulze, Schlechtweg, Hinz, editors. *Proc. Simulation and Visualisierung 2003*. Magdeburg, Germany; 2003.