

Schätzung der Midsagittalebene zur Bestimmung der Seitenlage maligner Strukturen des Halses

Ivo Rössling¹, Peter Hahn², Lars Dornheim^{1,2}

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

²Dornheim Medical Images

`iroess@isg.cs.uni-magdeburg.de`

Kurzfassung. Für die Bewertung von Tumoren des Halses spielt neben Kriterien wie Größe, Infiltration und anatomischem Bezirk vor allem auch die Seitenlage des Tumors sowie lokaler Metastasen eine wichtige Rolle. Eine automatische Sondierung der Seitenlage kann das Tumor-Staging stark beschleunigen. Ausgehend von Vorarbeiten Dritter präsentieren wir ein angepasstes Verfahren zur Schätzung der Lage und Ausrichtung der Midsagittalebene basierend auf Oberflächennetzen. Die Eigenschaft des Ergebnisses im Rahmen einer TNM-Klassifikation wird anhand einer darauf basierenden automatischen Bestimmung der Seitenlage segmentierter Lymphknoten oder Tumore überprüft.

1 Einleitung

In der chirurgischen Diagnostik und Therapieplanung spielt die Beurteilung anatomischer und pathologischer Strukturen mittels bildgebender Verfahren eine tragende Rolle. Auf der Suche nach Abnormalitäten nutzen Mediziner ihr über Jahre erworbenes Expertenwissen, um in einer vorliegenden Aufnahme einer Region von Interesse Diskrepanzen zum typischen Erscheinungsbild in der jeweiligen Modalität auszumachen. Derartige Abweichungen zeigen sich dabei vor allem in einer veränderten Färbung, Homogenität oder Form. Aber auch atypische Dissymmetrien können auf mögliche Anomalien hindeuten.

Die Median- bzw. Midsagittal-Ebene stellt hierbei eine besondere Referenz dar, vor allem im Rahmen einer verstärkt computerunterstützten Diagnostik. Sie kann zum Beispiel zur Ausrichtung entlang eines Bezugssystems (wie etwa den Talairach-Rahmen) verwendet werden oder als Basis einer Registrierung (gleichartiger Strukturen oder gegen einen Atlas) dienen. Sie eignet sich auch Ausgangspunkt einer Dissymmetrie-Analyse, wie sie z.B. in [1] durchgeführt wird, um automatisch mögliche Tumor-Areale im Bereich des Kopfes zu lokalisieren. Im Kontext segmentierter anatomischer bzw. pathologischer Strukturen genügt bereits eine gute Schätzung zur Lage dieser Ebene, um in vielen Fällen die Seitigkeiten einzelner Strukturen vollautomatisch bestimmen zu können. Dies ist insbesondere im Rahmen des Tumor-Staging (TNM-Klassifikation) von besonderer Bedeutung, da die jeweilige Seitenlage befallener Lymphknoten im Vergleich zu der des Tumor (unilateral, bilateral, ipsi- oder kontralateral) entscheidenden Einfluss auf die Behandlungsmöglichkeiten hat. Dieser Anwendungsfall soll im Fokus der folgenden Untersuchungen stehen.

2 Verwandte Arbeiten

In der Literatur der allgemeinen und der medizinischen Bildverarbeitung wurde die Frage der Bestimmung von Symmetrien wurde schon häufiger aufgegriffen. Im medizinischen Kontext stand dabei hauptsächlich das Gehirn im Zentrum des Interesses. Eine gute Übersicht zu diesem Thema bietet [2]. Für die Bestimmung einer derartigen Symmetrieebene können allgemein zwei Strategien unterschieden werden, die sich aus ihrer gleichzeitigen anatomischen und symmetrischen Natur ergeben. Zum einen kann eine Suche nach Landmarken oder anderen morphologische Merkmalen mit anschließendem Fitting durchgeführt werden. Mittels Hough-Transformationsprinzip wird so z.B. in [3] der Interhemisphärenspalt detektiert. Zum anderen kann das Maß die Ermittlung einer Ebene sein, die ein geeignetes Symmetriekriterium (weitestgehend) maximiert. Übliche Ansätze sind nicht-rigide Registrierung eines (3D-)Datensatzes gegen sein Spiegelbild [2] oder Matching durch Maximierung der Kreuz-Korrelation unter Rotation und Translation [4]. Auch Histogramme fanden als Kriterium Anwendung [1]. Als Daten dienen jeweils Grauwert- oder Kantenbilder.

Alternative Methoden reichen von statistischen Maßen [5] über algebraische Ansätze [6] bis hin zu generalisierten Symmetrietransformationen [7] und Symmetrie-Deskriptoren [8]. Die Idee, Symmetrien im (2D-)Bildraum über Symmetrien im Gradienten-Histogramm zu identifizieren, wurde erstmalig in [9] präsentiert. Entlang der Symmetrieachse müssten im optimalen Falle die beiden Hälften des Winkelhistogramms einander entsprechen. Ein Least-Squares-Fitting des Histogramms mit seinem schrittweise rotierten Spiegelbild sollte demnach eine gute Näherung der Orientierung der Spiegelachse liefern. Diese Idee lässt sich nicht nur auf die dritte Dimension erweitern, sondern lässt sich auch auf Meshes übertragen [10], doch wird für keinen dieser Anwendungsfälle die Qualität oder Verwertbarkeit des Ergebnisses im Anschluss näher betrachtet.

3 Material und Methoden

Für unsere Untersuchungen nutzten wir Segmentierungen des Halses in Form von Oberflächen-Dreiecksnetzen. Voxelbasierte Segmentierungen könnten in diesem Zusammenhang ohne komplexitätsmäßigen Mehraufwand in äquivalente Dreiecksnetze überführt werden. Ziel soll es sein, anhand der Segmentierung der Knochen eine Schätzung der Midsagittalebene durchzuführen. Für diese soll im Anschluss die korrekte automatische Beurteilung der Seitenlage der restlichen segmentierten Strukturen überprüft werden.

Zur Berechnung der Midsagittalebene orientieren wir uns an dem in [10] beschriebenen Verfahren. Zunächst werden mittels einer Hauptachsenanalyse der Schwerpunkt sowie die Hauptachsen der segmentierten Knochen bestimmt. Dieser Schritt ist dadurch motiviert, dass im (theoretischen) Falle perfekter Symmetrie gilt: Jede Symmetrieebene eines Körpers ist orthogonal zu einer seiner Hauptachsen – und jede Symmetrieachse eines Körpers ist zugleich eine Hauptachse desselbigen [11]. Zunächst ist jedoch unklar, welche die in diesem Sinne qualifizierte Hauptachse ist.

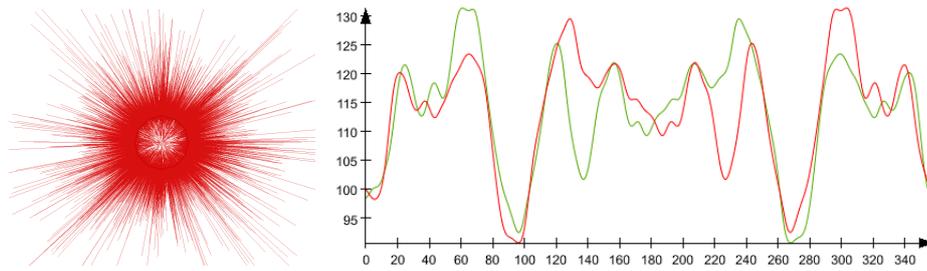


Abb. 1. *Links:* 3D Extended Gaussian Image für einen der untersuchten Datensätze. *Rechts:* Least-Squares-Matching eines 2D-Winkelhistogramms mit seinem gedrehten Spiegelbild für denselben Datensatz für das gefundene Optimum bei 5° .

Um die Orientierung der Symmetrieebene zu ermitteln werden in [10] als nächstes die Flächennormalen des Oberflächennetzes auf der Einheitskugel abgetragen, welche aufgrund des nicht notwendigerweise homogen vernetzten Meshes jeweils mit dem korrespondierenden Flächeninhalt gewichtet sind. Es entsteht das sogenannte „Extended Gaussian Image“ (EGI, Abb. 1), welches anschließend zu einem 3D-Orientierungshistogramm diskretisiert wird. Der Mangel an einer geeigneten Symmetriegruppe beliebig großer Ordnung bezüglich Spiegelung auf der Einheitskugel im \mathbb{R}^3 , verwehrt jedoch die Möglichkeit, dieses 3D-Histogramm direkt gegen ein rotiertes Spiegelbild seiner selbst zu matchen, wie es im \mathbb{R}^2 möglich ist. Stattdessen muss für jede Rotation ein neues Histogramm aus dem EGI berechnet werden. Um den Berechnungsaufwand gering zu halten, werden in [10] an dieser Stelle nun die drei Hauptachsen dazu herangezogen, die globale Suche der Orientierung der Symmetrieebene auf eine lokale Suche in der Nähe der Hauptachsen zu reduzieren. Hierzu werden die jeweils fünf bis sechs benachbarten Zellen des Histogramms untersucht.

Für unsere Untersuchungen haben wir das Verfahren aus [10] jedoch in zwei grundsätzlichen Punkten angepasst. Zum einen ziehen wir statt der Flächennormalen vielmehr die Punktnormalen des Oberflächennetzes zur Bildung des Histogramms heran. Als individuelle Wichtung wird die Summe der Flächeninhalte aller jeweils angrenzender Flächen benutzt. Die Präferenz der Punktnormalen gegenüber Flächennormalen rührt daher, dass bei bestimmten Verfahren der Mesherzeugung (z.B. Marching Cubes über Binärdaten) die Flächennormalen systembedingt stark eingeschränkt sind in ihrer Ausrichtung. Punktnormalen dagegen zeigen ein weitaus homogenere Verteilung.

Darüber hinaus haben wir uns gegen die Verwendung von 3D-Histogrammen entschieden. Stattdessen führen wir zunächst basierend auf den Hauptachsen eine Basistransformation des Oberflächennetzes durch. Für die sich ergebende Repräsentation werden anschließend drei 2D-Orientierungshistogramme (bezüglich der XY-, XZ- und YZ-Ebene) generiert. Ein Least-Squares-Matching eines jeden solchen Histogramms mit seinem schrittweise rotierten Spiegelbild (Abb. 1) liefert die Ausrichtung der gesuchten Spiegelebene.

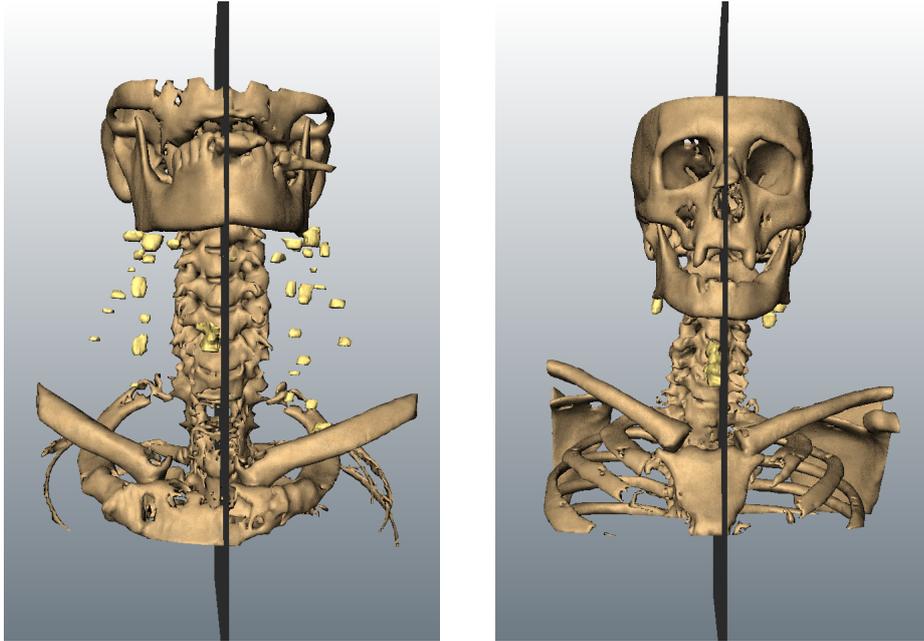


Abb. 2. Ergebnis der Midsagittalebene-Schätzung für zwei untersuchte Datensätze

4 Ergebnisse

Zur Evaluierung des Verfahrens wurde eine Fallstudie basierend auf 10 Datensätzen segmentierter Strukturen des Halses durchgeführt. Neben Knochen, Tumor und Lymphknoten waren noch weitere Strukturen wie Blutgefäße, Muskeln, Trachea oder Ring-/Schilddrüse enthalten, wurden mangels Relevanz für den Anwendungsfall allerdings nicht näher betrachtet. Die Segmentierungen wurden durch den klinischen Kooperationspartner im Vorfeld erstellt und lagen in Form von Oberflächendreiecksnetzen vor.

Für jeden der Datensätze konnte in weniger als drei Sekunden die gewünschte Midsagittalebene ermittelt sowie Seitigkeit des Tumors und der Lymphknoten bestimmt werden. Insgesamt wurden 10 Tumore und 134 (nicht zwingend befallene) Lymphknoten auf ihre Seitigkeit getestet. In drei Fällen wurde ein Lymphknoten als der durch den Arzt festgelegten Seite gegenüberliegend klassifiziert. In diesen Fällen wurde die Lage zur Midsagittalebene allerdings durch den Experten auch als grenzwertig nahe beurteilt. Viermal wurde für den Tumor korrekt eine Überschreitung der Mittellinie festgestellt, ein weiteres Mal entschied der Arzt dagegen im Vorfeld auf einen noch einseitigen Tumor. Eine Festlegung auf eine Primärseite wurde durch unser Programm generell nicht weiter vorgenommen. In zwei Fällen wurde ein Lymphknoten entgegen ärztlicher Bewertung als mittig klassifiziert. Auf die TNM-Klassifikation hatte dies jedoch keinen Einfluss, da mittig gelegene befallene Lymphknoten noch als ipsilateral angesehen werden.

5 Diskussion

Es wurde ein Verfahren vorgestellt, dass basierend auf einer als Oberflächennetz gegebenen Segmentierung des Kopfes und der Halsknochen eine Schätzung der Midsagittalebene durchführt. Primärintention war die anschließende automatische Seitenlagenbestimmung von Halstumoren und Lymphknoten, wie sie im Rahmen des Tumor-Stagings erhoben wird. In empirischen Tests an 10 klinischen Datensätzen wurde festgestellt, dass die Qualität des Ergebnisses in diesen Fällen stets hinreichend war, um eine korrekte Lateralität zu ermitteln bzw. auf Grenzfälle in Form einer Mittellinienüberschreitung hinzuweisen. Keiner der Einzelfälle mit abweichender Expertenmeinung führte letztlich zu einer veränderten Gesamteinschätzung, welche die Lateralität des Befalls über alle malignen Lymphknoten für die TNM-Klassifikation subsumiert. Der mögliche Fehler durch Einschränkung der Orientierungshistogramme auf 2D scheint vernachlässigbar. Damit zeigt sich das Verfahren (auch mit Hinblick auf die benötigte Laufzeit) vom Grundsatz her für die Anwendung geeignet.

Zudem bleibt der effektive Fehler des beschriebenen Verfahrens noch detailliert zu untersuchen und zu quantifizieren. Eine Erhebung der mittleren Abweichung von einer jeweils durch einen medizinischen Experten angegebenen Ebene in Position und Orientierung ist derzeit in Bearbeitung. Insbesondere ist offen und bleibt somit noch zu untersuchen, wie robust oder sensibel sich das Verfahren letztlich im Falle hinreichend schlechter Datenqualität erweist.

Literaturverzeichnis

1. Mancas M, Gosselin B, Macq B. Fast and automatic tumoral area localisation using symmetry. In: Proc IEEE ICASSP. vol. 2; 2005. p. 725–728.
2. Prima S, Ourselin S, Ayache N. Computation of the mid-sagittal plane in 3-D brain images. IEEE Trans Med Imaging. 2002;21(2):122–138.
3. Brummer ME. Hough transform detection of the longitudinal fissure in tomographic head images. IEEE Trans Med Imaging. 1991;10:74–81.
4. Liu Y, Collins R, Rothfus WE. Robust Midsagittal Plane Extraction from Normal and Pathological 3-D Neuroradiology Images. IEEE Trans Med Imaging. 2001;20(1):175 – 192.
5. Thirion JP, et al. Statistical Analysis of Normal and Abnormal Dissymmetry in Volumetric Medical Images. In: Proc IEEE WBIA; 1998. p. 74.
6. Keller Y, Shkolnisky Y. An Algebraic Approach to Symmetry Detection. In: Proc IEEE ICPR. vol. 3; 2004. p. 186–189.
7. Reissfeld D, Wolfson H, Yeshurun Y. Context Free Attentional Operators: the Generalized Symmetry Transform. Int J Computer Vis. 1995;14:119–130.
8. Kazhdan M, Chazelle B, Dobkin D, Funkhouser T, Rusinkiewicz S. A Reflective Symmetry Descriptor for 3D Models. Algorithmica. 2003;38(1):201–225.
9. Sun C. Symmetry detection using gradient information. Pattern Recognit Lett. 1995;16(9):987–996.
10. Sun C, Sherrah J. 3D Symmetry Detection Using The Extended Gaussian Image. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 1997;19(2):164–168.
11. Minovic P, Ishikawa S, Kato K. Three-Dimensional Symmetry Identification Part I: Theory. Memoirs of the Kyushu Institute of Techn Eng. 1992;21:1–16.