

**8. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
20.-21. März 2009 in Berlin**



„Interindividuelle Registrierung der lateralen Schädelbasis“

Matthias Riechmann, Jörg Raczkowski, Heinz Wörn
Institut für Prozessrechentchnik, Automation und Robotik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe,
Deutschland
E-Mail: matthias.riechmann@kit.edu

Petra Lohnstein, Thomas Klenzner, Jörg Schipper
Klinik für Hals- Nasen- Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Düsseldorf, Düsseldorf,
Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 274 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin, 8. Workshop, Tagungsband“
Editors: Thomas Schauer, Henning Schmidt, Marc Kraft
ISBN: 978-3-18-327417-8
Pages: 55-56

Interindividuelle Registrierung der lateralen Schädelbasis

Matthias Riechmann¹, Petra Lohnstein², Jörg Raczkowski¹, Thomas Klenzner², Jörg Schipper², Heinz Wörn¹

¹Institut für Prozessrechentchnik, Automation und Robotik, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Deutschland

²Klinik für Hals- Nasen- Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

Kontakt: matthias.riechmann@kit.edu

Einleitung

Chirurgische Eingriffe an der lateralen Schädelbasis bringen beim heutigen Stand der Operationstechnik erhebliche Traumatisierungen des Patienten mit sich. Die Einführung endoskopischer Operationstechniken bei solchen Eingriffen (Minimal Traumatische Chirurgie[1]) verspricht eine Verminderung der Traumatisierung durch die gezielte Verringerung des Knochenabtrags indem der Zugang zur Zielstruktur über dünne Bohrkanäle erreicht wird. Im Vorfeld wurden zahlreiche Untersuchungen an Geometriemodellen der an der lateralen Schädelbasis vorherrschenden anatomischen Strukturen durchgeführt, um die Erreichbarkeit von Zielstrukturen und den vorhandenen Freiraum zu analysieren. Um patientenübergreifende Aussagen treffen zu können, müssen die Modelle zueinander registriert werden können, was aufgrund der starken interindividuellen Variationen[2] nicht trivial ist.

Während diese Registrierung bisher mit Hilfe von natürlichen Landmarken durchgeführt wurde, propagiert diese Arbeit einen neuen Ansatz, in dem zusätzlich die Oberfläche von Cochlea und Bogengängen als Referenz herangezogen wird. Diese Organe besitzen eine sehr ausgeprägte in sich abgeschlossene Form und sind, im Gegensatz zu Blutgefäßen und Nerven, in den CT-Datensätzen vollständig vorhanden. Ein Ziel der Untersuchung ist, bei der Registrierung ganz auf Landmarken zu verzichten.

Methoden und Materialien

Die Grundlage der Untersuchung bilden CT-Datensätze von 12 zufällig ausgewählten, anonymisierten und normalbefundeten Felsenbeinen. Diese wurden im Rahmen der regulären Diagnostik bzw. von anatomischen Präparaten aufgenommen. Daher variiert die Auflösung stark. Axial liegt sie zwischen 0,2 und 0,6 mm; der Schichtabstand liegt zwischen 0,4 und 2 mm. Die Segmentierung der Datensätze erfolgte manuell im DICOM-Viewer OsiriX. Die folgenden anatomischen Strukturen wurden auf diese Weise markiert: Sinus sigmoideus, Arteria carotis, Cochlea und Bogengänge, Gesichtsnerv, innerer Gehörgang, Mittelohr und äußerer Gehörgang. Der Übergang von Knochen zur Dura wurde gekennzeichnet, damit der Freiraum für die Bohrkanäle nach medial und dorsal beschränkt werden konnte. Es wurden 6 Landmarken identifiziert. Drei davon liegen zentral in der Nähe der Cochlea und der Bogengänge: Hammerkopf, Ductus endolymphaticus, Facialiskanal am Ganglion geniculi. Des weiteren wurden drei zusätzliche Landmarken, die von den zentralen Organen weiter entfernt liegen, eingezeichnet: Anfang

innerer Gehörgang, Anfang äußerer Gehörgang, Mastoidspitze.

Die so gewonnenen segmentierten Volumendatensätze wurden mit Hilfe einer auf Algorithmen aus dem Insight Toolkit und dem Visualization Toolkit basierenden Bildverarbeitungsfilterkette[3, 4, 5] zu dreidimensionalen Polygondatensätzen weiterverarbeitet. Ein wichtiger Aspekt dieser Verarbeitungskette ist neben einer möglichst guten Übereinstimmung mit den segmentierten Volumina die Reduzierung der Komplexität der Oberflächenmodelle, da diese einen großen Einfluss auf die Laufzeit von Berechnungen auf den Modellen hat.

Sowohl die *Regions of Interest* aus der Segmentierung als auch die Polygondaten wurden in einer Datenbank abgelegt. So ist für spätere Schritte ein kombinierter Zugriff auf Volumen- und Oberflächendaten gewährleistet.

Bei der Registrierung kommen drei Verfahren zum Einsatz, bei denen Algorithmen aus dem VTK verwendet werden. Die Freiheitsgrade bei allen Registrierungen sind: Translation, Rotation und isotrope Skalierung:

- **Verfahren 1:** Eine Registrierung nach Horn[6] wird mit den genannten Landmarken benutzt.
- **Verfahren 2:** Es wird mit einem zweiphasigen Verfahren registriert: In einer Vorregistrierung wird das zu registrierende Modell mit Hilfe der Schwerpunkte der segmentierten Strukturen einer Registrierung nach Horn[6] unterzogen. In einem zweiten Schritt wird die Registrierung über die Oberfläche der Cochlea und der Bogengänge verfeinert. Dabei kommt die *Iterative Closest Point*[7] Registrierung zum Einsatz.
- **Verfahren 3:** Beide Verfahren können auch kombiniert werden, das heißt es wird zuerst mit den Landmarken vorregistriert, dann mit ICP nachregistriert.

Da sich bewährte Verfahren wie FRE und TRE zur Bewertung einer interindividuellen Registrierung schlecht eignen, wird das folgende Verfahren vorgeschlagen: Es werden aufsummierte Volumenbilder, wie sie in [2] als „Probabilistisches Modell“ bezeichnet wurden, eingesetzt. Diese bilden den Raum, den ein Referenzfelsenbein einnimmt, ab. Der Wert eines Voxels repräsentiert die Wahrscheinlichkeit, mit der, entsprechend den eingeflossenen Felsenbeinen, in diesem Teilvolumen eine anatomische Struktur anzutreffen ist. Untersucht man das Histogramm dieses Volumenmodells, so lassen sich daraus Rückschlüsse auf die Güte der verwendeten Registrierungs-methode ableiten.

Ergebnisse

Abb. 1 zeigt ein Volumenrendering der aufsummierten Volumenbilder. Rein qualitativ ist auf den ersten Blick klar zu erkennen, daß die Konturen unter Verwendung der Iterative Closest Point Registrierung wesentlich schärfer sind als bei exklusiver Landmarkenregistrierung.

Die Analyse der Histogramme ist in den Tabellen Tab. 1 bis Tab. 3 zusammengefaßt. In den Spalten sind sowohl die maximale als auch die durchschnittliche Überdeckung der anatomischen Strukturen festgehalten. Bei letzterer werden nur Voxel mit einer Überdeckung >0% betrachtet.

Verfahren 2 zeigt ähnlich gute Werte wie die Registrierung mit Landmarken, in unmittelbarer Nähe der Cochlea sogar bessere. Verfahren 3 wird noch besser bewertet, aber auch hier zeigen sich Schwächen in den von der Cochlea entfernten Gebieten.

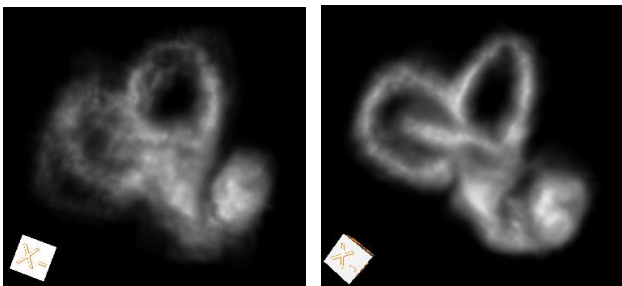


Abb. 1: Volumenrendering der aufsummierten Volumenbilder der Cochlea. Links: Registriert nach Verfahren 1, rechts: Registriert nach Verfahren 3

Tab. 1: Histogrammanalyse Verfahren 1

Struktur	maximum	Ø
Cochlea & Bogengänge	100,0%	20,0%
Gesichtsnerv	77,7%	12,9%
Innerer Gehörgang	100,0%	28,2%
Sinus Sigmoides	76,8%	17,4%
Arteria Carotis	100,0 %	18,7%

Tab. 2: Histogrammanalyse Verfahren 2

Struktur	maximum	Ø
Cochlea & Bogengänge	92,3%	24,0%
Gesichtsnerv	88,7%	12,9%
Innerer Gehörgang	86,4%	23,9%
Sinus Sigmoides	76,9%	17,2%
Arteria Carotis	83,3%	18,2%

Tab. 2: Histogrammanalyse Verfahren 3

Struktur	maximum	Ø
Cochlea & Bogengänge	100,0%	27,1%
Gesichtsnerv	90,3%	13,9%
Innerer Gehörgang	100,0%	27,3%
Sinus Sigmoides	71,15%	16,5%
Arteria Carotis	100,0 %	18,7 %

Interessanterweise decken sich die inneren Gehörgänge besser wenn nicht über die Oberfläche von Cochlea und

Bogengängen registriert wird, obwohl sie unmittelbar an die Cochlea angrenzen. Vergleicht man bei den Verfahren 1 und 3 den Faktor der isotropen Skalierungen zwischen den Felsenbeinen, so fällt auf, daß die Größen beim Einsatz von ICP geringer schwanken als es bei Landmarken der Fall ist. Dies läßt vermuten daß die anatomischen Variationen in der Tiefe möglicherweise geringer sind als an der Schädeloberfläche.

Diskussion

Die Verwendung von aufsummierten Volumenbildern zur Evaluation interindividueller Registrierungen ermöglicht einen guten qualitativen Vergleich, allerdings ist keine absolute quantitative Messung des Registrierungsfehlers möglich. Die relativ schlechten Werte für Arteria carotis und Sinus sigmoideus entstammen teilweise der Tatsache, daß diese Strukturen über die Grenzen der CT-Aufnahmen hinaus verlaufen, was bei der Aufsummierung in einer Verringerung der Wahrscheinlichkeitswerte für die einzelnen Voxel resultiert.

Insgesamt führt diese Untersuchung zu dem Ergebnis, daß der Einsatz einer ICP-Registrierung über die Cochlea in den meisten Regionen zu einer Verbesserung des Registrierungsergebnisses führt. Die Kombination aus der Registrierung der Schwerpunkte und ICP ermöglicht eine Registrierung für die auf die Identifizierung von Landmarken ohne nennenswerte Genauigkeitseinbußen verzichtet werden kann. Zur Untermauerung dieser These sollten zusätzliche Felsenbeindatensätze in die Studie hinzugezogen werden.

Literatur

- [1] RIECHMANN, M.; LOHNSTEIN, P. U.; RACZKOWSKY, J.; KLENZNER, TH.; SCHIPPER, J.; WÖRN, H.: *Minimal traumatic surgery on the lateral skull base*, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Proceedings of the 21st International Congress and Exhibition, 2007
- [2] RIECHMANN, M.; LOHNSTEIN, P. U.; RACZKOWSKY, J.; KLENZNER, TH.; SCHIPPER, J.; WÖRN, H.: *Ein probabilistisches dreidimensionales Computermodell des Felsenbeins*, Tagungsband der 6. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte, 2007
- [3] LORENSEN, W. E.; CLINE, H. E.: *Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm*, Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, 1987
- [4] SCHROEDER, W. J.; ZARGE, J. A.; LORENSEN, W. E.: *Decimation of triangle meshes*, SIGGRAPH '92: Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1992
- [5] TAUBIN, G.; ZHANG, T.; COLUB, G.: *Optimal surface smoothing as filter design*, Lecture Notes in Computer Science, Volume 1064/1996, 1996
- [6] HORN, B. K. P.: *Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions*, J. Opt. Soc. Am. A 4, 629-, 1987
- [7] ZHANG, Z.: *Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces*, International Journal of Computer Vision, Volume 13, Number 2, 1994