

Klaus Andreas Ganser
Dr. sc. hum.

Ein computerbasiertes Hirnatlassystem zur Operationsplanung in der Neurochirurgie

Geboren am 03.09.1971 in Memmingen
Reifeprüfung am 10.07.1991 Memmingen
Studiengang der Fachrichtung Medizinische Informatik vom WS 1992 bis SS 1997
Vordiplom am 03.10.1994 an der Universität Heidelberg / FH Heilbronn
Diplom am 08.07.1997 an der Universität Heidelberg / FH Heilbronn

Promotionsfach: Medizinische Biometrie und Informatik
Doktorvater: Prof. Dr.-Ing. H. Dickhaus

Für die neurochirurgische Operationsplanung benötigt ein Arzt möglichst genaue Informationen über die individuellen anatomischen Gegebenheiten im Gehirn des Patienten. Verschiedene bildgebende Verfahren, unter ihnen vor allem die Magnetresonanztomographie, stellen derartige dreidimensionale Modelle bereit. Da jedoch auch bei hervorragenden Aufnahmen aufgrund des begrenzten Grauwertkontrasts nur ein kleiner Teil aller tatsächlich existenten Hirnstrukturen in den Bildern erkennbar ist, werden regelmäßig Hirnatlanten - Bücher, die Informationen über die normale, nicht-pathologische Hirnanatomie enthalten - konsultiert. Die Anwendung eines Atlasbuchs ist jedoch aus verschiedenen Gründen nicht trivial, weswegen die Frage nach einer computerbasierten Hilfestellung für dieses Procedere laut wurde.

Die Arbeit thematisiert die Konzeption und Entwicklung einer entsprechenden Software, die den Vorgang "Anwendung eines Hirnatlasbuchs auf ein individuelles Gehirn" so unterstützt, daß der Arzt eine spürbare Entlastung erfährt. Durch das Angebot zusätzlicher Funktionalität wird das entwickelte System zum attraktiven Werkzeug in der Operationsplanungsphase.

Es gibt weltweit eine Vielzahl von Arbeitsgruppen, die sich mit computerbasierten Atlssystemen und mit deren Abbildung auf Individuen beschäftigen. Zunächst werden in einer Literaturübersicht verschiedenste Matchingverfahren vorgestellt und bezüglich ihrer Eignung zum Individualisieren einer Atlas-Standardanatomie untersucht. Daran anschließend werden computerbasierte Atlssysteme anderer Arbeitsgruppen diskutiert

Für die Realisierung des Atlssystems im Rahmen der Arbeit waren vor allem zwei Einzelentwicklungen notwendig: Es mußte auf Grundlage des Stereotaxieatlas von Talairach und Tournoux ein digitales Standardanatomiemodell erzeugt werden, und ein elastisches Abbildungsverfahren zum Anpassen dieses Modells an das Gehirn im Patientendatensatz war zu implementieren. Während sich der Aufbau des digitalen Atlasgehirns an einem aus der Literatur bekannten Verfahren orientieren konnte (nicht ohne dieses deutlich zu verbessern), wurde mit dem entwickelten elastischen Abbildungsverfahren erstmals ein auf dem Prinzip der Radialen Basisfunktionen beruhendes Matching für eine 3-D-Hirnatlasapplikation eingesetzt. Hervorzuheben ist insbesondere die Möglichkeit, Tumorwachstum in die Transformationsfunktion einbeziehen und somit pathologische Verhältnisse adäquat berücksichtigen zu können; dem Autor ist keine Arbeit bekannt, die eine vergleichbare Funktionalität in 3-D anbietet.

Neben diesen beiden Entwicklungsschwerpunkten war die Implementierung zusätzlicher Werkzeuge und Funktionen Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Zu nennen sind vor allem ein schnelles Segmentierungstool, die Integration zusätzlicher Wissensquellen und die Anbindung an ein Navigationssystem.

Die Validierung der Korrektheit des digitalen Standardanatomiemodells ergab eine sehr gute Übereinstimmung mit dem coronalen Hirnkartenstapel des Talairach-Atlas. Ebenfalls untersucht wurde die Genauigkeit des elastischen Matchings, insbesondere in Abgrenzung zum etablierten stückweise linearen Verfahren. Im Bereich des Cortex konnte eine deutliche Überlegenheit des

elastischen Verfahrens beobachtet werden, während im Inneren des Gehirns mit dem stückweise linearen Matching teilweise bessere Ergebnisse erzielt wurden. Zur Verbesserung des elastischen Matchings wird die Entwicklung komplexerer Suchstrategien zur Festlegung der Punktkorrespondenzen Atlas / Patient vorgeschlagen.

Wie die beschriebenen Anwendungsbeispiele belegen, entfaltet der elastische Ansatz sein volles Potential da, wo grobe Abweichungen vom Normalzustand auftreten: In Gegenwart großer Tumoren beispielsweise oder bei intraoperativen Geometrieänderungen (Brain Shift); in beiden Fällen können die wenigen Freiheitsgrade des stückweise linearen Ansatzes die Deformation nicht kompensieren.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Im Rahmen der Arbeit wurde ein computerbasiertes Hirnatlassystem konzipiert, entwickelt und validiert, das als bisher einzige derartige Applikation *alle* folgenden Eigenschaften aufweist:

1. Es basiert auf einer etablierten Standardanatomie (Atlas von Talairach und Tournoux) und enthält darüber hinaus zusätzliche neuroanatomische Informationen,
2. es repräsentiert die Anatomie dreidimensional,
3. es bietet ein schnelles Segmentierungswerkzeug an,
4. es besitzt eine Schnittstelle zu einem Navigationssystem,
5. es ist in der Lage, den Atlas sowohl stückweise linear als auch elastisch auf Patientenbilder zu matchen,
6. es kann bei der elastischen Registrierung Tumorwachstum berücksichtigen,
7. es arbeitet insgesamt sehr schnell, so daß kein nennenswerter zeitlicher Überhang im klinischen Ablauf auftritt.

Mit diesen Eigenschaften erfüllt das entwickelte System die in der Einleitung der Arbeit formulierten Anforderungen an einen digitalen Hirnatlas vollständig.