Automatische Registrierung von MR Kopf-Volumen

Dirk Krechel und Aldo v. Wangenheim

Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz Expertensysteme
Universität Kaiserslautern Geb.57, 67731 Kaiserslautern
(krechel,awangenh)@informatik.uni-kl.de
http://wwwagr.informatik.uni-kl.de/~cyclops

Abstract: *Im Rahmen des Cyclops-Projekt wurde eine Registrierungskomponente für MR-Kopf-Volumen entwickelt. Dabei werden in einem zweistufigen Segmentierungs- und Klassifikations-Prozeß automatisch anatomische Landmarken im Gehirn detektiert. Diese werden zur Definition eines cartesisches Koordinatensystems im Volumen verwendet. Die Segmentierung wird mit Hilfe einer kombinierten Region-Growing/Watershed Methode durchgeführt. Zur Klassifikation werden neuronale Netze eingesetzt, deren Parametervektor aus einer Wavelet Packet Textur besteht.*

Keywords: Registrierung, Segmentierung, Klassifikation, Wavelet Packets

1 Einleitung

Wir beschreiben in diesem Papier eine Methode zur automatischen Registrierung von transversalen MR-Kopfvolumen. Unter automatischer Registrierung verstehen wir die Festlegung eines adäquaten Koordinatensystems, welches Position, Richtung und Größe des Kopfes in einem speziellen Kopf-Volumen bestimmt.

Diese Arbeit ist Teil des Cyclops-Projektes am Institut für Künstliche Intelligenz der Universität Kaiserslautern. Ziel des Cyclops-Systems [9] ist es eine Software-Werkbank zur Erstellung wissenbasierter Bildverarbeitungsvorgänge , zum Beispiel für den Bereich der Analyse von MR-Aufnahmen, zu erstellen. Das Cyclops-System kann man als ein Expertensystem zur Bilddeutung bezeichnen, welches den Prozeß der Analyse eines spezifischen Bildes steuert, indem es Bilddeutungs- und Domainenabhängiges Wissen nutzt.

Die Aufgabe der Registrierungskomponente ist die Definition eines dreidimensionalen Koordinatensystems in einem MR-Volumen, ohne das eine Interaktion mit dem Benutzer des Systems nötig ist. Das Ziel war es eine Methode zur Verfügung zu stellen, die eine Registrierung sofort nach der Datenacquisition durchführt und das berechnete Koordinatensystem zusammen mit dem Datenvolumen in einer Patientendatenbank speichert. Zur Zeit arbeitet unsere Methode nur für Multi-Echo Transversal oder Transversal Oblique Schichten.

Ziele: Eines der Hauptziele bei der Entwicklung unserer Methode war die Möglichkeit normale klinische MR-Volumen, wie sie im Krankenhausalltag gefunden werden, bearbeiten zu können. In unserem Fall bestehen sie aus nur 17 Schichten.

Ein weiteres wichtiges Ziel war es eine Methode zu entwickeln die ein Koordinatensystem verwendet, das äquivalent zu einem in der Medizin üblichen System ist.

Vorgehensweise: Um die Definitionspunkte unseres 3D-Koordinatensystems festlegen zu können müssen die folgenden drei Schritte ausgeführt werden.

1. Festlegung der anatomischen Strukturen die benötigt werden um unser Koordinatensystem definieren zu können.

2. Die MR-Schichtaufnahmen müssen bearbeitet werden um die anatomischen Strukturen im Volumen zu finden. Diese Bearbeitung besteht aus einer Segmentierung des Volumens und der anschließenden automatischen Klassifikation der Segmente.

3. Basierend auf den Positionen der als Landmarken benutzten anatomischen Strukturen wird das Koordinatensystem berechnet . Dieser Schritt beinhaltet eine dreidimensionale Rekonstruktion des Kopfes und das einzeichnen der Koordinatenebenen in diese 3D-Darstellung.

Das Koordinatensystem soll in der Art dargestellt werden, daß es zur Adaption eines digitalen Kopfatlanten an ein spezifisches Kopfvolumen benutzt werden kann, um Aufgaben der Art welche Schichten welche zerebralen Strukturen enthalten und die Definition eines Volume Of Interest für weitere Analyseschritte bearbeiten zu können.

2 Festlegung der Anatomischen Strukturen die das Koordinatensystem definieren

In der Medizin gibt es zwei Arten von Koordinatensystemen. Die Erste orientiert sich an extrazerebralen Strukturen, so wird zum Beispiel die Deutsche Horizontale durch den unteren Rand der Orbita und den oberen Rand der beiden Gehöhrgänge (porus acusticus externus) definiert. Die Zweite basiert auf intrazerebralen Strukturen. Für die automatische Bildanalyse sind diese besser geeignet, weil sie die Positionen der innerer Strukturen besser repräsentieren. Das stereotaktische Koordinatensystem ist ein Beispiel. Zur Definition unseres Koordinatensystem verwenden wir folgende Ebenen (Siehe [5]):

- Die Medianebene
- die Meynertsche Ebene
- die Fastigium Ebene

Die Hauptorientierungsebene ist die Medianebene (y-z Ebene), welche ein symmetrisches Gehirn in zwei spiegelverkehrte Bereiche unterteilt. Die Meynertsche Ebene wir durch die Meynertsche Achse definiert, die tangential zum Boden des 4.Ventrikels verläuft. Die Meynertsche Ebene steht senkrecht auf der Medianebene. Die Fastigium Ebene ist senkrecht zu den beiden anderen Ebenen und verläuft durch das Fastigium. Der Ursprung unseres Koordinatensystems liegt im Schnittpunkt dieser drei Ebenen. Er liegt auf der Approximation der Meynertschen Achse, zur Definition der Meynertschen Achse verwenden wir nicht wie in der Medizin üblich den Boden des 4. Ventrikels sondern das Gravitationszentrum(Schwerpunkt).

3 Segmentierung und Klassifikation der anatomischen Strukturen

Wie schon beschrieben besteht der Prozeß zur automatischen Detektion der anatomischen Strukturen aus zwei Schritten:

- Segmentierung
- Klassifikation

Für die Segmentierung der Kopf Volumen wurden verschiedene Methoden, wie zum Beispiel einfache Region Growing [2], Mumford-Sha Region Growing [3], Watershed und Andere, mit und ohne vorhergehende Filterung mit Diffusionsfiltern getestet. Wir wählten eine spezielle Implementierung einer kombinierten Region-Growing/Watershed Methode [6], da sie sehr zuverlässige Ergebnisse lieferte und eine sehr gute Performance besitzt. Wir wenden das Verfahren ohne zusätzliche Vorverarbeitung auf T2 gewichtete Schichten an.

Der Klassifikationschritt wird in zwei Teilschritte unterteilt. Erstens die Generierung eines Parametervektors der ein extrahiertes Segment adäquat beschreibt. Zweitens der Klassifikation durch ein neuronales Netz, welches nach dem Backpropagation Verfahren arbeitet [7]. Die Zusammensetzung des Parametervektors ist dabei abhängig von der anatomischen Struktur die gesucht wird. Er wird im nächsten Abschnitt genauer beschrieben. Die Bestimmung des Koordinatensystem wird in Abbildung 1 dargestellt.

3.1 Bestimmung einer ersten Näherung der Medianebene

Da sich die Segmentierung und Klassifikation des vierten Ventrikels als sehr schwer und rechenintensiv herausstellte, starten wir unser Verfahren mit der Bestimmung einer ersten Näherung der Medianebene, ähnlich dem in [8] beschriebenen Ansatz. Die Hessesche Normalform der Näherung wird wie folgt gebildet: Als Stützpunkt ist der Mittelpunkt der Verbindungsstrecke der beiden Augenmittelpunkte (im Volumen) gegeben und der Normalenvektor wird aus dem Verbindungsvektor derselben gebildet. Mit Hilfe dieser Näherung bestimmen wir dann ein Volume Of Interest(VOI), innerhalb dessen wir die Suche nach der genauen Position des 4. Ventrikels durchführen.

Ziel der ersten Stufe ist es die Mittelpunkte der Augen im gesammten Datenvolumen zu bestimmen. Aufgrund der hohen Grauwerte der Augen in T2 gewichteten Bildern wird vor der Region-Growing/Watershed Segmentierung (mit groben Parametern) ein einfacher Schwellwertoperator angewendet, um die Anzahl der Segmente möglichst gering zu halten.

Der Parametervektor des ersten Backpropagation-Netzes enthält nur sehr einfache und schnell zu berechnende Angaben, wie zum Beispiel mittlerer Grauwert, Schwerpunkt und Bounding Box.

Zusätzlich zur Medianebene wird noch die äußere Hülle des Kopfes zur Definition eines VOI verwendet (Siehe Abschnitt 4).

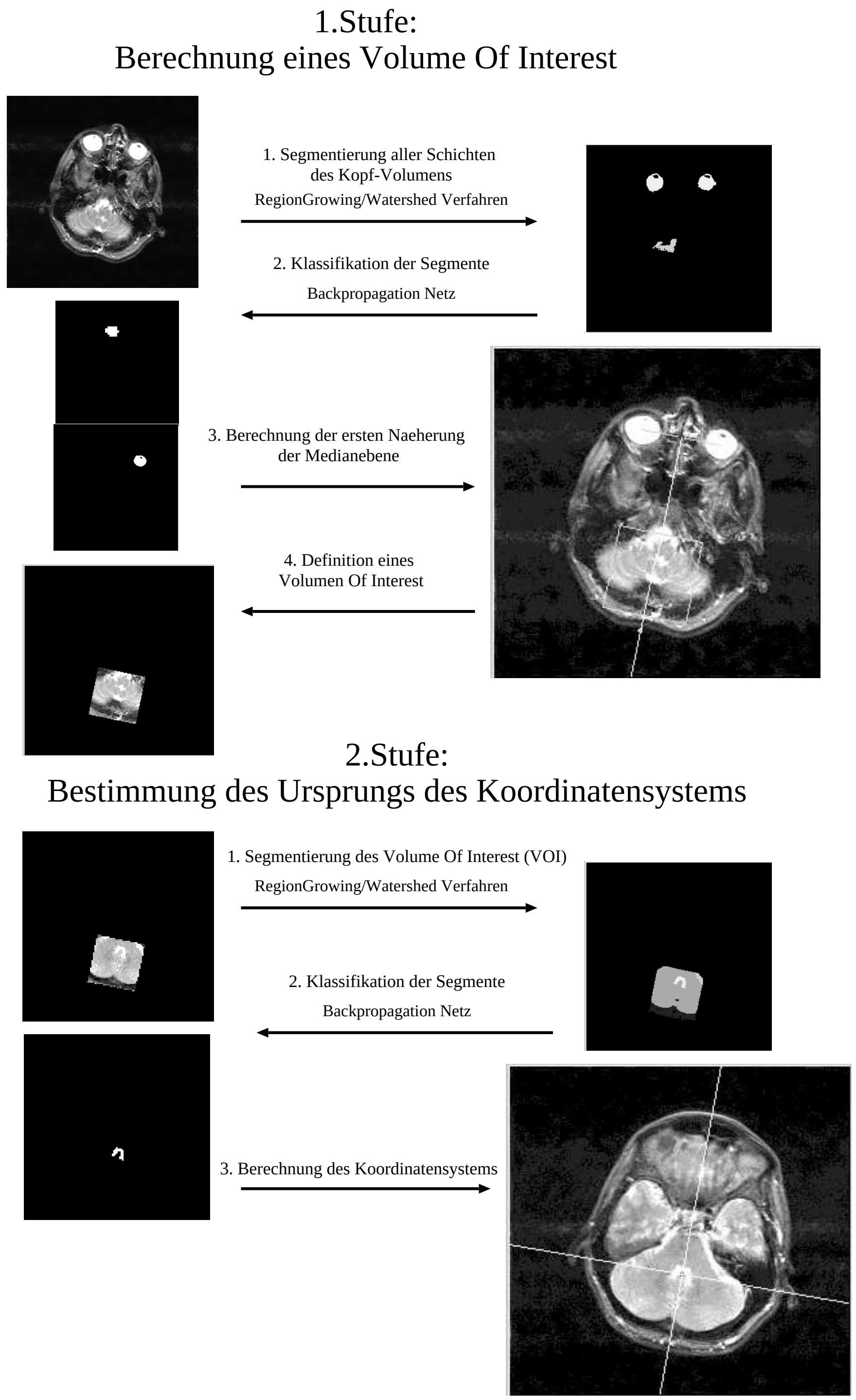

Abbildung 1: Verfahren zur automatischen Suche des Koordinatenursprungs

3.2 Bestimmung des Ursprungs des Koordinatensystems

Das VOI wird nun wieder mit dem Region-Growing/Watershed Verfahren, diesmal mit einem Parametersatz der eine saubere Segmentierung des 4. Ventrikels erlaubt, segmentiert.

Der Parametervektor für das neuronale Netz der zweiten Stufe ist komplexer. Er beinhaltet eine Textur die mit Hilfe eines speziellen Verfahrens [4] aus der Wavelet Packet Zerlegung der Segmente gewonnen wird. Im Gegensatz zu dem in [1] vorgestellten Ansatz einer Wavelet Textur müssen nicht mehrere Transformationen mit unterschiedlichen Basiswavelets durchgeführt werden, da die Wavelet Packet Transformation eine große Menge möglicher Basen eines Signals zur Verfügung stellt. Die in [10] eingeführte zweidimensionale Wavelet Packet Zerlegung ist sehr aufwendig, sie war der Hauptgrund den Suchraum mit Hilfe eines VOI zu verkleinern. Die Wavelet Packet Koeffizienten liefern eine sehr kompakte Beschreibung der Textur eines Segments, welche eine korrekte Klassifikation des 4. Ventrikels erst ermöglicht.

Als Ursprung des Koordinatensystems wird nicht die ursprüngliche Meynertsche Achse, die tangential zum Boden des 4.Ventrikels steht, verwendet, sondern eine Näherung derselben die als Tangente durch den Schwerpunkt des 4. Ventrikels definiert wird. Dies ist notwendig, da die Segmentierung des Ventrikels sehr von der Qualität der Schichtaufnahmen abhängig ist. Bei den von uns verwendeten dicken Schichten aus dem Klinikalltag erscheinen die Ränder des Ventrikels oft diffus.

4 Generierung eines 3D-Modells und Visualisierung

Das Ziel unserer Registrierung ist es die Generierung von Hypothesen, zum Beispiel an welcher Position sich eine anatomische Struktur befindet, zu ermöglichen. Um adäquat mit einem Volumendatensatz arbeiten zu können, genügt es nicht nur die Koordinatenebenen zu bestimmen. Es wird zusätzlich Wissen über die äußere Hülle des Kopfes benötigt. Aus diesem Grund berechnen wir zusätzlich ein einfaches Drahtgittermodell des Kopfes.

Dazu wird zuerst mit Hilfe eines Kantenextraktors [2] die äußere Hülle für jede Schicht bestimmt und anschließend daraus ein geschlossener Polygonzug erzeugt. Die 17 Polygonzüge aller Schichten werden trianguliert, und das so gewonnene 3D-Modell kann mit Hilfe eines Raytracers visualisiert werden(Siehe Abbildung 2)

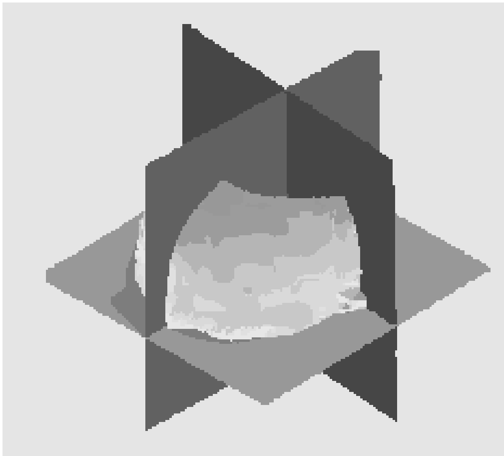

Abbildung 2: Darstellung des Koordinatensystems in einer 3D-Rekonstruktion

5 Diskussion

Ergebnisse: Unser Ansatz wurde mit 10 verschiedenen Patientendatensätzen getestet. Die Daten bestanden aus Multiecho Transversal Oblique Sequenzen mit TE=20,100 auf einem 1,0 T Scanner mit einer Anzahl von 34 (17xT1 + 17xT2) Schichten. Es wurden Daten von Patienten mit und ohne pathologischem Befund untersucht. Die Augen konnten in allen Datensätzen lokalisiert werden. Bei zwei Patienten war es nicht möglich den 4. Ventrikel zu finden. Bei dem ersten Patienten handelt es sich um ein Kind mit starken Deformationen der Ventrikel. Diese wurden aufgrund zerebrale Massenverschiebungen durch einen großen Tumors verursacht. Beim Zweiten war der 4. Ventrikel wegen starker Artefakte nicht korrekt in den Aufnahmen repräsentiert.

Zukünftige Arbeit: Der nächste Schritt wird eine Erweiterung des Ansatzes durch Methoden zur Registrierung von sagitalen und koronalen Serien. Sobald Volumen mit geringerer Schichtdicke und größerer Anzahl von Schichten zur Verfügung stehen, wäre es interessant die zweidimensionalen Verfahren durch echte 3D-Algorithmen zu ersetzen. Die Segmentierung kann bereits dreidimensional arbeiten und eine Erweiterung der Wavelet Packet Transformation ist grundsätzlich möglich.

Literatur

[1] **Christoph Busch, M. Schmerer**; Ein Verfahren zur Texturanalyse basierend auf multiplen Waveletbasen. Tagungsband DAGM Symposium 1995, GI Informatik aktuell, Mustererkennung, Springer Verlag

[2] **The Khoros Group**; Khoros User's Manual, Rel. 1.0.5, Vols. I - III, Dept. of Electrical & Computer Engineering, University of New Mexico, Albuquerque, USA, 1993.

[3] **Klausmann, Peter**; Variational Methods in Image Segmentation. Diplomarbeit, FB Mathematik, Universität Kaiserslautern, 1995

[4] **Krechel, Dirk**; Automatische dreidimensionale Registrierung von MR-Kopfaufnahmen. Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, 1996.

[5] **Kretschmann, H. und Weinrich, W.**; Klinische Neuroanatomie und kranielle Bilddiagnostik. 2.Ed., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1991

[6] **Mittelheußer, Gangolf and Kruggel Frithjof**; Fast Segmentation of Brain MR Tomograms. CVRMed'95: 1st International Conf. on Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine, INRIA, Nizza, Springer Verlag, April, 1995.

[7] **Nett, Thomas**; Implementierung eines Simulators für BP-Netzwerke auf einem nCube-Parallelrechner. Projektarbeit, Universität Kaiserslautern, 1996.

[8] **Arnold, Thomas**; Automatische Berechnung der Medianebene bei MR-Kopfaufnahmen. Projektarbeit, Universität Kaiserslautern, 1995.

[9] **v. Wangenheim, Aldo**; Cyclops: Ein Konfigurationsansatz zur Integration hybrider Systeme am Beispiel der Bildauswertung. Dissertation, Universität Kaiserslautern 1996.

[10] **Wickerhauser M. Victor** ; INRIA Lectures on Wavelet Packet Algorithmus. Yale University März 1993