Segmentierung und Korrelation multimodaler tomographischer Bilddaten des menschlichen Gehirns

G. Wagenknecht, U. Büll

Klinik für Nuklearmedizin
RWTH Aachen, Pauwelsstr. 30, 52057 Aachen
g.wagenknecht@nuk-gate.nukmed.rwth-aachen.de

Im Rahmen des Interdisziplinären Zentrums für Klinische Forschung (IZKF: ZNS) wurde ein methodisches Forschungsprojekt definiert mit dem Ziel, die quantitative Analyse funktioneller Parameter (PET, SPECT) des Gehirns innerhalb der auf Basis der korrelierten kernspintomographischen Bilddaten (MRT) des Patienten segmentierten anatomischen Regionen zu ermöglichen. Schwerpunkt des Projektes ist die Entwicklung automatischer Verfahren zur Segmentierung von MRT-Bilddaten sowie zur Korrelation multimodaler tomographischer Bildstudien eines Patienten. Die Entwicklung der Algorithmen erfolgt modular unter der Visualisierungsumgebung AVS/AVS-Express[1].

Keywords: Segmentierung, Korrelation, ROI-Atlas, Morphologie, Funktion

1 Motivation

In medizinischen Forschungsprojekten des Interdisziplinären Zentrums für Klinische Forschung des Universitätsklinikums Aachen mit dem Forschungsschwerpunkt „Prävention und Kompensation von Störungen des Zentralnervensystems“ (IZKF: ZNS) ist die regionale visuelle und quantitative Analyse funktioneller Stoffwechsel- und Durchblutungsparameter (PET, SPECT) in anatomisch definierten Regionen des Gehirns von entscheidender Bedeutung.

Im Rahmen des IZKF: ZNS wurde daher ein methodisches Forschungsprojekt mit dem Titel „Entwicklung eines Verfahrens zur Korrelation und Auswertung morphologischer (MRT) und funktioneller (PET, SPECT) Hirnvolumendaten auf der Basis segmentierter MRT-Regionen (ROI/VOI-Atlas)“ definiert. Ziel des Projektes ist die quantitative Analyse funktioneller Parameter (rCBF, rCBV, rCMGlu) des Gehirns innerhalb der auf Basis der korrelierten MRT-Bilddaten des Patienten segmentierten anatomischen Regionen. Schwerpunkt des Projektes ist die Entwicklung automatischer Verfahren zur Segmentierung kernspintomographischer Bilddaten sowie zur Korrelation multimodaler tomographischer Bildstudien eines Patienten.

2 Projektskizze

Die wesentlichen Projektabschnitte werden anhand der in Abb.1 dargestellten Projektskizze näher erläutert. Die Entwicklung der Algorithmen erfolgt modular unter AVS/AVS-Express.

2.1 Segmentierung

Als kernspintomographisches Bildmaterial stehen multispektrale ρ-, T1- und T2- gewichtete Schnittbildfolgen gleicher Orientierung und Skalierung (Pixelgröße: 0,9 mm; Schichtdicke: 6mm; 19 Schichten) und T1-gewichtete 3D-FFE/FLASH-Datensätze (Pixelgröße: 1mm; Schichtdicke: 1,56mm; 127 Schichten) zur Verfügung. Zur Segmentierung werden fünf Klassen (Hintergrund (1); Fettgewebe / Knochen / Hirnhäute (2); Liquorraum / Ventrikel (3); Graue Substanz: Kortex / Nucleus Caudatus / Putamen / Thalamus (4); Weiße Substanz (5)) definiert.

Meßtechnische Probleme bei der Akquisition von MRT-Daten stellen ein wesentliches Problem für die Segmentierung der erzeugten Bilddaten dar. Hierzu gehören B_1-Feldinhomogenitäten, die zu Grauwertinhomogenitäten führen; meßsequenzspezifische Artefakte, wie z.B. die in 3D-FLASH-Bilddaten durch Gradienten-Spoiling bedingten periodischen Bänder hellerer, kontrastärmerer Schichten; sowie Bewegungsartefakte des Patienten. Wesentlich ist daher die Entwicklung von Algorithmen zur Inhomogenitätskorrektur und Artefaktreduktion (Abb.1).

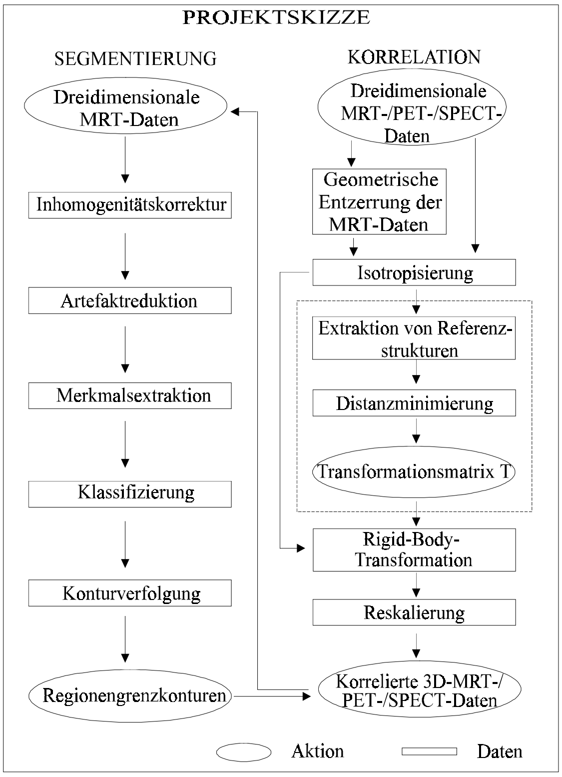

Abb.1: Projektskizze

Die zu segmentierenden Klassen unterscheiden sich u.a. in Grauwert, Homogenität, Form und Größe. Tumoren oder Läsionen können den Merkmalsraum einer Klasse zusätzlich verzerren oder die Definition einer zusätzlichen Klasse erfordern. Um unterschiedliche Anforderungen flexibel berücksichtigen zu können, soll zur Segmentierung ein geeignetes Klassifikationsverfahren entwickelt werden (Abb.1).

Zur Segmentierung mittels Klassifikation ist die Extraktion möglichst unkorrelierter Merkmale notwendig. Während multispektrale Spin-Echo-Daten bereits drei Merkmale (ρ-, T1-, T2-gewichteter Grauwert) pro Pixel enthalten, ist die Entwicklung einer geeigneten Merkmalsextraktion für T1-gewichtete 3D-FFE-Bilddaten noch erforderlich (Abb.1).

Zur statistischen Auswertung funktioneller Parameter innerhalb segmentierter Regionen sollen die Regionengrenzen in Form geschlossener Polygonzüge als ROI/VOI-Atlas auf die funktionelle Modalität überlagert werden. Die Entwicklung eines Konturverfolgungsalgorithmus zur Extraktion der Regionengrenzen als geschlossene Polygonzüge ist daher notwendig (Abb.1).

2.2 Korrelation

Korrelationsverfahren unterscheiden sich in der manuellen oder automatischen Bestimmung der Transformationsparameter. Manuell werden sie als Zahlenwerte vorgegeben oder graphisch ermittelt [2]. In automatischen Verfahren basiert deren Ermittlung auf der Auswertung der Distanz zwischen automatisch extrahierten Referenzstrukturen in den zu korrelierenden Modalitäten. Die Distanz zwischen den Referenzstrukturen dient als Fehlerkriterium für die Korrelation und wird mittels Optimierungsalgorithmus minimiert. Die Definition geeigneter automatisch extrahierbarer Referenzstrukturen in multimodalen Bilddaten bildet den Schwerpunkt in diesem Projektabschnitt (Abb.1). Die besondere Schwierigkeit liegt dabei in der stark unterschiedlichen Auflösung und dem komplementären Informationsgehalt von Morphologie und Funktion.

Die ermittelte Transformationsmatrix dient der Reorientierung der Bilddaten auf Basis einer Rigid-Body-Transformation. Hierzu ist eine Skalierung der Bilddaten zur Isotropisierung erforderlich. Nach der Reorientierung erfolgt eine Reskalierung der Bilddaten (Abb.1).

Enthalten die MRT-Bilddaten aufgrund starker Suszeptibilitätsunterschiede an Gewebegrenzen geometrische Verzerrungen, so ist die Korrelation zu funktionellen Daten auf Basis der Rigid-Body-Transformation nicht mehr zulässig. Die geometrische Entzerrung der MRT-Daten ist daher sehr wichtig (Abb.1).

Die Konvergenz typischer Optimierungsalgorithmen hängt stark von der Startposition der Korrelation, der Iterationsschrittweite sowie der Vollständigkeit beider Bildvolumina ab und ist meist nur für einfache Fehlerfunktionen bewiesen. Die Untersuchung verbesserter Optimierungsalgorithmen soll den letzten Arbeitsschwerpunkt darstellen (Abb.1).

3 Teilergebnisse

3.1 Segmentierung

Das entwickelte neuronale Segmentierungsverfahren basiert auf einer Feed-Forward-Netzstruktur mit Back-Propagation-Trainings-Algorithmus skalierbarer Lern- und Momentumschrittweite [3]. Die Segmentierung multispektraler Spin-Echo-Daten ist in Abb.2 dargestellt. Das Training des Netzes erfolgt auf Basis der mittleren transaxialen Schicht der Patientenstudie. Das trainierte Netz dient anschließend der Segmentierung aller übrigen Schnittbilder des Patienten. Zur Überlagerung der Grenzkonturen segmentierter Regionen auf die korrelierten funktionellen Bilddaten wurde ein Konturverfolgungsalgorithmus entwickelt [4] (Abb.2).

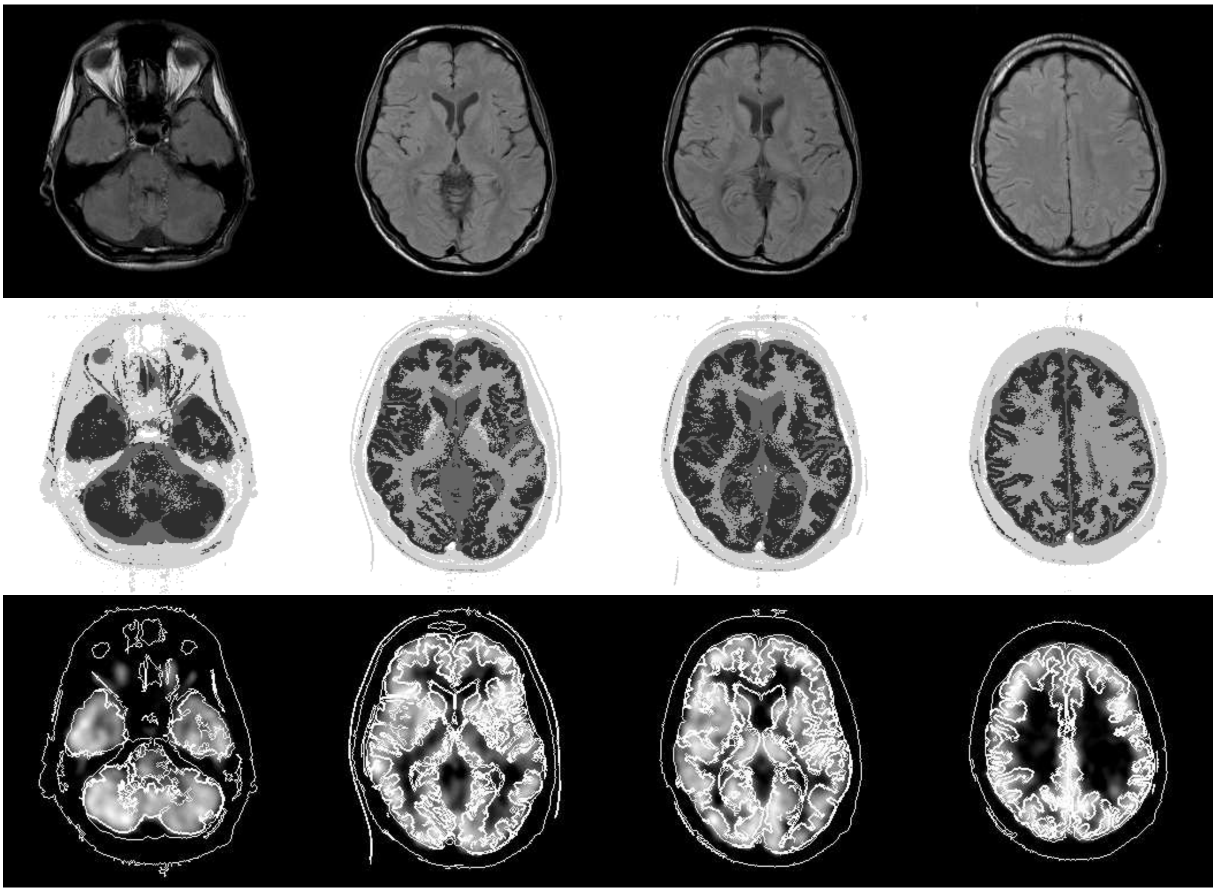

Abb.2: Obere Reihe: ρ-gewichtete Spin-Echo-Bilder; Mittlere Reihe: Segmentierte Klassenbilder; Untere Reihe: Auf korrelierte PET-Schnitte überlagerte Grenzkonturen.

Zur Korrektur der durch Gradienten-Spoiling in 3D-FLASH-Bilddaten bedingten Bandstruktur hellerer, kontrastärmerer Schichten wurde ein auf den Summenhistogrammen von Referenz- und Folgeschicht basierendes Verfahren nach Ruttimann [5] implementiert. Die Referenzschicht ist die der zu korregierenden Folgeschicht benachbarte Schicht im 3D-Volumen. Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Verfahrens ist, daß Referenz- und Folgeschicht den gleichen Bildinhalt darstellen, was durch die geringe Schichtdicke der 3D-FLASH-Sequenzen näherungsweise erfüllt ist (Abb.3).

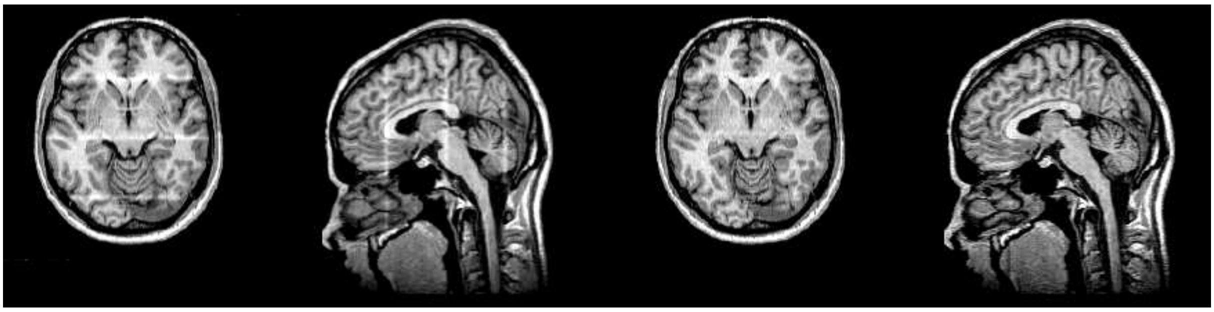

Abb.3: Korrektur von 3D-FLASH-Daten nach Ruttimann.

3.2 Korrelation

Zur automatischen Bestimmung der Reorientierungsparameter für die Korrelation wurde das sogenannte „Chamfer-Matching“ [6] modular unter AVS integriert. Algorithmen zur Reskalierung multimodaler Bilddaten sowie zur Rigid-Body-Transformation [2] werden zur Zeit ebenfalls unter AVS eingebunden.

4 Ausblick

Schwerpunkte der künftigen Entwicklungsarbeit im Bereich der Segmentierung werden die Inhomogenitätskorrektur und Artefaktreduktion in MRT-Daten sowie die Merkmalsextraktion in kernspintomographischen FFE-Daten sein. Im Bereich der Korrelation wird der Schwerpunkt der Entwicklung auf der Definition geeigneter automatisch extrahierbarer Referenzstrukturen unter Berücksichtigung geometrischer Verzerrungen der MRT-Daten sowie auf der Untersuchung geeigneter Optimierungsalgorithmen zur Distanzminimierung liegen.

Literatur

[1] AVS-Software, Release 5.3, Advanced Visual Systems Inc. Waltham USA, 1996.

[2] Wagenknecht G, Dziembowski G v, Bauer B, Renn Th, Büll U: Eine Reorientierungssoftware zur Korrelation multimodaler tomographischer Bildstudien. Aachener Workshop: Bildverarbeitung für die Medizin, 1996.

[3] Rumelhart DE, McClelland JL: Parallel Distributed Processing. Volume 1: Foundations. MIT Press, 1989.

[4] Wagenknecht G, Schmitz D, Büll U: Grenzkonturen aus Klassenbildern. Aachener Workshop: Bildverarbeitung für die Medizin, 1996.

[5] Ruttimann UE, Webber RL, Schmidt E: A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. J of Periodontal Research 21: 486-495, 1986.

[6] Borgefors G: Hierarchical Chamfer Matching: A Parametric Edge Matching Algorithm. IEEE Trans. on PAMI, 10(6): 849-865, 1988.