

# Automatische Brain-Shift-Korrektur unter Verwendung von Grid-Computing

Heiko Lippmann und Gert Wollny

Max Planck Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, 04103 Leipzig  
Email: lippmann@cbs.mpg.de

**Zusammenfassung.** Es wird eine parallelisierte Bildverarbeitungskette zur automatischen Korrektur des Brain-Shift-Phänomens mittels nichtlinearer Registrierung von intraoperativen MR-Volumendatensätzen vorgestellt. Neben der Berechnung der Prozesskette auf lokalen PC-Clustern wird auch die Möglichkeit der Anwendung von Grid-Technologie untersucht. Ziel ist es, eine – unter Berücksichtigung von Schutz und Sicherheit medizinischer Daten – für den klinischen Einsatz akzeptable Laufzeit der Kette von ca. 10 Minuten zu erreichen.

## 1 Einleitung

Die größte Unzulänglichkeit bei der Planung von neurochirurgischen Eingriffen auf Basis präoperativer Bilddaten stellt das als Brain-Shift bekannte Phänomen dar. Beim Brain-Shift findet nach dem Öffnen der Schädeldecke und dem Durchstoßen der Dura eine nichtlineare Verformung des Hirngewebes statt. Diese Verformung ist durch eine Vielzahl von Faktoren, u.a. aufgrund der Schwerkraft, der Einbringung chirurgischer Instrumente und dem Austreten von Hirnflüssigkeit bedingt.

Der Brain-Shift erschwert die Abbildung von präoperativ aufgenommenen funktionellen Daten (z.B. fMRI) auf die während der Operation mittels eines intraoperativen MR-Scanners gewonnen Bilddaten.

In dieser Arbeit soll eine Bildverarbeitungskette vorgestellt werden, die zur Abbildung präoperativer funktioneller Daten auf intraoperative anatomische Daten angewendet werden kann. Diese Abbildung wird durch ein 3D-Deformationsfeld realisiert, welche mittels nichtlinearer Registrierung von intraoperativen anatomischen MR-Datensätzen gewonnen wird.

Um diese Bildverarbeitungskette in einem klinisch akzeptablen Zeitrahmen von ca. 10 Minuten ausführen zu können, ist eine hohe Rechenleistung notwendig. Üblicherweise besitzen Kliniken diese Infrastruktur jedoch nicht, da der Aufwand für Anschaffung und Pflege derartiger Systeme den Nutzen nicht rechtfertigt. Daher ist es Ziel der Arbeit, neben der optimierten Ausführung der Verarbeitungskette auf einem lokalen PC-Cluster auch eine entfernte Verarbeitung mittels Grid-Computing zu ermöglichen.

## 2 Methoden

**Vorverarbeitung.** Die Bildverarbeitungskette besteht aus einer Vorverarbeitungs- und einer Verarbeitungsphase. Die Vorverarbeitung umfasst die Magnetfeld-Inhomogenitäts-Korrektur des ersten intraoperativen Datensatzes und dessen anschließende lineare Registrierung mit dem hochauflösenden präoperativen Datensatz. Die Inhomogenitäts-Korrektur des intraoperativen Datensatzes, welcher bei geschlossenem Schädel akquiriert wird, erfolgt mittels eines parallelisierten adaptiven Fuzzy-C-Means Algorithmuses (AFCM) [1]. Da präoperative und intraoperative Datensätze oft aus verschiedenen Scannern stammen, wird eine parallelisierte rigide Registrierung mittels Maximierung ihrer Mutual Information [2] durchgeführt. Die optimalen Registrierungsparameter (Translation, Rotation und Skalierung) werden für spätere lineare Registrierungsschritte zwischengespeichert.

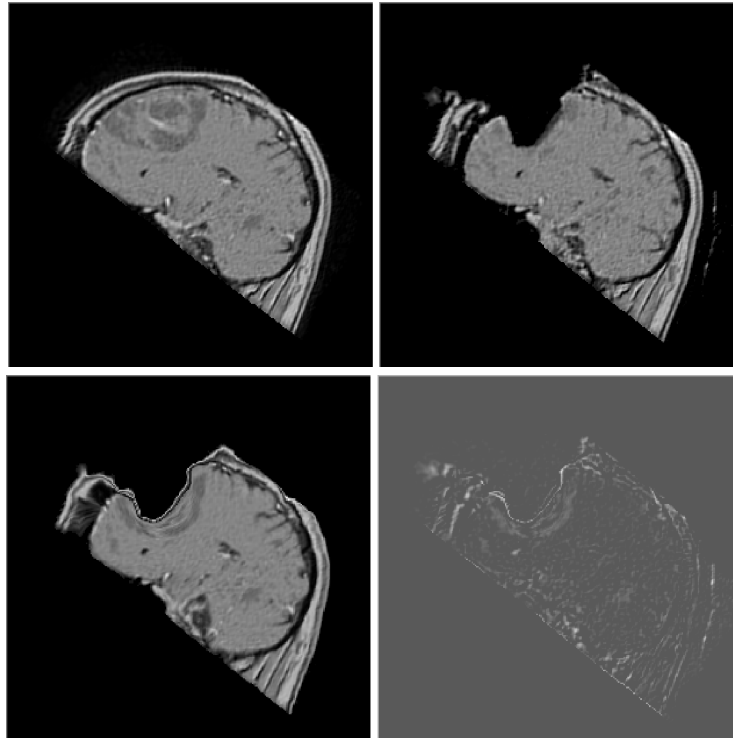
Für diese Vorverarbeitungsschritte werden im Grid-Einsatz die notwendigen Datensätze zu dem für diesen Service gebuchten High-Performance-Computing System über verschlüsselte Protokolle transferiert und die Berechnung “remote” ausgeführt. Dieser Schritt geschieht während der Operation völlig automatisch. Sobald das Ergebnis der linearen Registrierung vorliegt, wird zur Plausibilitätskontrolle der registrierte Datensatz zurück transferiert und auf einem Monitor im Operationsraum dargestellt.

**Verarbeitung.** Die tatsächliche Verarbeitungsphase umfasst wiederum eine Inhomogenitäts-Korrektur des akquirierten intraoperativen Datensatzes (diesmal mit geöffneter Schädeldecke) und dessen rigide Registrierung auf den bereits in der Vorverarbeitung registrierten, intraoperativen Datensatz. Da diesmal die beiden zu registrierenden Datensätze aus dem selben Scanner stammen, wird als Ähnlichkeitsmaß für die rigide Registrierung die Kreuzkorrelation verwendet, welche bei paralleler Berechnung einen höheren Speedup erlaubt. Um die Berechnung so kurz wie möglich zu halten, wird die Registrierung an der aus der Vorverarbeitung bekannten, optimalen Position begonnen. Da die verwendete nicht-lineare Registrierung voxel-basiert ist, wird eine Intensitätsanpassung zwischen den linear registrierten intraoperativen Datensätzen aus der Vorverarbeitungs- und der Verarbeitungsphase durchgeführt. Zwischen diesen beiden Datensätzen wird im Anschluss die ebenfalls parallelisierte, auf einem fluiddynamischen Modell beruhende, nichtlineare Registrierung [3, 4] berechnet. Das dadurch gewonnene 3D-Deformationsfeld wird auf die präoperativen funktionellen Daten angewandt. Diese können dann in den, dem Brain-Shift unterliegenden, intraoperativen Datensatz eingeblendet werden.

Für diesen Teil der Kette wird wiederum der eben aufgenommene Datensatz zum entfernten Rechenzentrum übertragen. Dort kann unter Einbezug der Daten der Vorverarbeitungsphase die Berechnung der Brain-Shift-Korrektur durchgeführt werden. Die korrigierten funktionellen Daten werden dann in die intraoperativen Daten eingeblendet und in den Operationssaal zurück transferiert.

**Einsatz von Grid-Technologie.** Für die Benutzung der Grid-Infrastruktur ist im Operationssaal lediglich ein kostengünstiges Terminal mit einer breitbandi-

**Abb. 1.** Intraoperative Datensätze mit Brain-Shift-Korrektur: oben links: Datensatz A (mit geschlossener Schädeldecke), oben rechts: Datensatz B (mit geöffneter Schädeldecke und teilweise entferntem Tumorgewebe), unten links: Datensatz C (gewonnen durch Deformation von A mit Verschiebungsfeld aus der fluiden Registrierung), unten rechts: Differenzbild zwischen B und C.



gen Internetanbindung nötig. Die in dieser Arbeit verwendete Grid-Infrastruktur wird im Rahmen des GEMSS-Projektes[5] speziell für medizinische Problemstellungen entwickelt. Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Schutz sensibler medizinischer Daten und der Realisierung verschiedener Abrechnungsmodelle für den kommerziellen Einsatz. Ein weiterer Aspekt der GEMSS-Infrastruktur besteht darin, dass sie auf dem verschlüsselten Quasi-Standard-Protokoll HTTPS [6] basiert und somit problemlos in eine bestehende Netz-Infrastruktur integriert werden kann.

### 3 Ergebnisse

Die vorgestellte Bildverarbeitungskette wurde auf Datensatz-Serien zweier unterschiedlicher Patienten angewendet, welche sich Tumorresektionen in der Uniklinik Leipzig unterzogen haben. In beiden Fällen wurde eine Brain-Shift-Korrektur innerhalb von 10 Minuten sowohl mit einem lokalen PC-Cluster, als auch durch

die entfernte Auswertung mittels Grid-Computing erzielt. Für ausführlichere Ergebnisse sei auf [7] verwiesen.

## 4 Diskussion

Die Quantifizierung der Genauigkeit der erreichten Brain-Shift-Korrektur, insbesondere in Bereichen des Gehirns in denen Gewebe entfernt wurde, steht noch aus. Die fluide besitzt gegenüber einer elastischen Registrierung den Vorteil starke Deformationen modellieren zu können. Dies ist von Vorteil im Bereich um den Tumor, welcher sich durch die Resektion stark verändert. Obwohl die Resektion von Gewebe als starke Verformung abgebildet wird, was natürlich nicht der Realität entspricht, liefert die Registrierung akzeptable Ergebnisse. Dies soll durch die Anwendung des durch die Registrierung gewonnenen Deformationsfeldes auf den anatomischen Datensatz mit geschlossener Schädeldecke veranschaulicht werden. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, unterscheidet sich der deformierte Datensatz mit geschlossener Schädeldecke nur gering von dem Datensatz mit teilweise entferntem Tumorgewebe.

Durch den Einsatz von Grid-Computing ist es möglich die lokale Installation von PC-Clustern zu umgehen, welche in Kliniken nur selten ausgelastet sind, aber trotzdem einen relativ hohen Wartungsaufwand besitzen. Um die Zuverlässigkeit eines Grid-basierten Ansatzes zu untersuchen, werden in Zukunft Studien hinsichtlich Latenz, Verfügbarkeit und Stabilität des vorgestellten Grid-Services im Vergleich zu einem lokalem PC-Cluster durchgeführt.

**Danksagung.** Die vorgestellte Arbeit wurde durch das von der europäischen Kommission initiierte IST-Programm im Rahmen des GEMSS-Projektes (Projekt-Nummer: IST-2001-37153) finanziell unterstützt. Wir bedanken uns bei der Neurochirurgie der Uniklinik Leipzig für die Bereitstellung der verwendeten Datensätze.

## Literaturverzeichnis

1. Pham DL, Prince JL. An adaptive fuzzy c-means algorithm for image segmentation in the presence of intensity inhomogeneities. *Pattern Recognition Letters* 1999;20:57–68.
2. Pluim JPW, Maintz JBA, Viergever MA. Mutual information based registration of medical images: a survey. *IEEE Trans Medical Imaging* 2003;22:986–1004.
3. Christensen GE, Joshi SC, Miller MI. Volumetric transformation of brain anatomy. *IEEE Trans Medical Imaging* 1997;16(6):864–877.
4. Wollny G, Kruggel F. Computational Cost of Non-Rigid Registration Algorithms Based on Fluid Dynamics. *IEEE Trans Medical Imaging* 2002;21(8):946–952.
5. GEMSS project consortium. Grid enabled medical simulation services. URL: <http://www.gemss.de>; Letzer Abruf: 11.12.2004.
6. The Internet Engineering Task Force. Request for comments (RFC) 2818. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2818.txt>; Letzer Abruf: 11.12.2004.
7. Lippmann H, Kruggel F. Quasi Real-Time Neurosurgery Support by MR Image Processing Via Grid Computing. *Neurosurg Clin N Am* 2005;16(1):65–75.