

Diss. ETH No. 16601

Multi-Modal Non-Rigid Registration of Volumetric Medical Images

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences ETH Zurich

presented by
ADRIAN STEFAN ANDRONACHE
M.Sc. Electrical Engineering,
University Politehnica of Bucharest
born 6th May 1976
nationality: Romanian

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gábor Székely, examiner
Prof. Dr. Franjo Pernuš, co-examiner
Dr. Philippe Cattin, co-examiner

2006

Abstract

Due to recent advances in image guided surgery, the availability of efficient algorithms for the fusion of pre- and intra-operative image data is of increasing importance. Because of the unavoidable deformations in the anatomy the classical rigid registration techniques can only be used for very limited special cases. Hierarchical subdivision techniques allow, however, to decompose non-rigid matching problems into rigidly registering numerous sub-images of decreasing size. While Mutual Information has proven to be a very robust and reliable similarity measure for intensity-based registration of multi-modal images, numerous problems have to be faced if it is applied to small-sized images, compromising its usefulness for such subdivision schemes.

Within this dissertation, we examine and explain the rather unexpected behavior of Mutual Information when applied to structureless image regions or regions covering only a limited number of image pixels. Methods to overcome these limitations are presented and their performance tested using the hierarchical subdivision registration scheme.

A new method inspired from point pattern analysis is introduced to identify problematic regions not containing enough structural information to reliably find the proper correspondence between the images using Mutual Information. The proposed method not only improves the accuracy and robustness of the registration, but can also be used as a very efficient stopping criterion for the further subdivision of nodes in the hierarchy improving the computational complexity by a factor of 5 for 2D images.

To overcome the statistical consistency problem when estimating Mutual Information for small image regions, an intensity mapping technique is presented. This mapping transforms the initial multi-modal images into a common pseudo-modality and therefore allows to switch the similarity measure to the more robust Cross-Correlation. The integration of

this mapping technique brought about an additional reduction of the computational complexity by a factor of about 2 for 3D images.

Zusammenfassung

Aufgrund der aktuellen Fortschritte in der Bildgeführten Chirurgie ist die Verfügbarkeit von effizienten Algorithmen für die Registrierung von prä- und intraoperativen Bilddaten von grosser Wichtigkeit. Die klassischen rigiden Registrierungstechniken sind aber aufgrund der unausweichlichen Deformationen im Gewebe nur beschränkt einsetzbar. Im Gegensatz dazu erlaubt die hierarchische Subdivisionstechnik eine Zerlegung eines nicht-rigiden Matching Problems in mehrere rigide Registrationen von kleineren Unterbildern. Während sich Mutual Information als ein robustes und verlässliches Ähnlichkeitsmass für die intensitätsbasierte Registrierung multimodaler Bilder erwiesen hat, ergeben sich verschiedene Probleme bei der Verarbeitung von kleinen Unterbildern, was die Anwendbarkeit dieser Methoden kompromittiert.

In dieser Dissertation untersuchen wir das zum Teil unerwartete Verhalten von Mutual Information wenn es auf Bilder mit wenig strukturellem Inhalt oder auf Regionen mit wenigen Bildpixeln angewendet wird. Im weiteren werden Methoden vorgestellt, welche diese limitierenden Faktoren umgehen und ihre Leistungsfähigkeit anhand einer Implementation in einem hierarchischen Subdivisionsregistrierungssystem geprüft.

Eine neue auf der Punktmusteranalyse basierende Methode wird eingeführt um problematische Regionen zu identifizieren, welche nicht genügend Struktur für eine Registrierung mit Mutual Information enthalten. Die Methode verbessert aber nicht nur die Genauigkeit der Registration, sondern bildet auch ein sehr effizientes Stoppkriterium um weitere hierarchische Unterteilungen zu verhindern. Die benötigte Rechenzeit sinkt durch deren Einsatz um einen Faktor 5 für 2D Bilder.

Im weiteren wird noch eine Intensitätstransformation für kleine Unterbilder vorgestellt. Diese Methode erlaubt es durch transformieren der beiden Bilder in eine Pseudomodalität auch für multi-modale Bilder die

robustere Crosscorrelation als Ähnlichkeitsmass zu verwenden. Die Integration dieser Transformationstechnik hat eine weitere Reduktion der Rechenzeit um einen Faktor 2 erbracht.