

Diss. ETH No. 18596

Accelerated Nonrigid Image Registration

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences ETH Zurich

presented by
JONATHAN ROHRER
M.Sc. ETH in Electrical Engineering and Information
Technology
born 16 July 1980
citizen of Sachseln OW

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gábor Székely, examiner
Prof. Dr. Gerhard Tröster, co-examiner
Dr. Ton Engbersen, co-examiner

2009

Abstract

Many tasks in medical image analysis require the fusion of two images, for example to combine information provided by different image acquisition devices or monitor disease progression over time. Image registration is the process of aligning two images, such that corresponding points can be related. For this purpose, one image is deformed to match the other one. Rigid registration techniques try to achieve an alignment by scaling, rotating and translating one of the images. Rigid registration is only adequate for special cases because usually the anatomical structures in the images are not rigid and therefore more complex nonrigid transformation models are required. A problem with nonrigid registration methods is their high computational cost yielding registration times in the order of hours for typical 3D images. While this is inconvenient for some applications, it is prohibitive for others, especially in the context of intraoperative scenarios.

This dissertation presents a nonrigid registration algorithm and implementation achieving sub-minute runtimes on a system based on two Cell/B.E. processors. This processor contains multiple processor cores on one chip and is designed for computationally intensive workloads. A speedup of more than $2500\times$ was achieved compared to a sequential open-source implementation running on a general-purpose processor. Although optimized for the Cell/B.E. architecture, the presented algorithm also achieves a high efficiency on more recent general-purpose multicore architectures. A scalability analysis shows that the algorithm has the potential to exploit future architectures with more cores.

The algorithm bases on the B-spline transformation model, which has been applied successfully to a wide range of nonrigid registration problems. Furthermore, it uses mutual information, which is probably the most common similarity metric for multimodal image registration. Mutual information allows registration of images which were obtained from different acquisition devices.

Zusammenfassung

Für viele Anwendungen im Bereich der medizinischen Bildanalyse müssen zwei Bilder zusammengeführt werden, zum Beispiel um Information aus zwei verschiedenen bildgebenden Verfahren zu kombinieren oder um die Entwicklung einer Krankheit über eine gewisse Zeitspanne zu überwachen. Bildregistrierung versucht eines der Bilder so zu deformieren, dass entsprechende Punkte zusammenfallen, wenn die Bilder übereinander gelegt werden. Rigide Registrierungs-Techniken versuchen mittels Rotation, Translation und Skalierung eine Übereinstimmung zu erreichen. Dies ist nur in Spezialfällen möglich, da die meisten Strukturen in den Bildern aus weichen Geweben bestehen. Darum werden im Allgemeinen komplexere Modelle benötigt. Ein Problem sogenannter elastischer Methoden ist deren hoher Rechenaufwand, der für typische 3D Bilder zu Registrierungszeiten von mehreren Stunden führen kann. Für einige Anwendungen ist dies störend, andere verunmöglicht es, vor allem im intraoperativen Bereich.

Diese Dissertation präsentiert einen elastischen Registrierungsalgorithmus, welcher für die Registrierung auf einem System mit zwei Cell/B.E. Prozessoren weniger als eine Minute benötigt. Dieser Prozessor vereinigt mehrere Prozessorkerne auf einem Chip und ist für rechenintensive Anwendungen ausgelegt. Im Vergleich zu einer sequenziellen open-source Implementierung wurde eine mehr als 2500-fache Beschleunigung erzielt. Obwohl der präsentierte Algorithmus für die Cell/B.E. Architektur optimiert wurde, erreicht er auch auf Standard-Mehrkernprozessoren eine hohe Effizienz. Eine Skalierbarkeitsanalyse zeigt, dass auch das Potential von Prozessoren mit mehr Kernen ausgenutzt werden kann.

Der Algorithmus basiert auf dem B-spline Transformationsmodell, welches schon erfolgreich auf verschiedenste elastische Registrierungsprobleme angewandt wurde. Die Ähnlichkeit wird mit der Transinformation gemessen, dem wahrscheinlich verbreitetsten Ähnlichkeitsmass für Bilder von verschiedenen bildgebenden Verfahren.