

SUMMARY

Because of its high imaging efficiency, single-shot echo-planar imaging (EPI) has become a well established, unique technique that is used in various brain imaging applications such as functional MRI (fMRI) and diffusion tensor imaging (DTI). EPI, however, is very sensitive to inhomogeneities induced by the main magnetic field, as well as differences in the magnetic susceptibility of an object, leading to distortions in the image geometry and signal intensity. Since field inhomogeneities are directly proportional to the strength of the main magnetic field, the distortions are increased at high field strength of 3T, and become a significant obstacle for EPI-based applications at conditions of ultra high field (UHF) such as 7T and above.

The main objective of this study was to develop an optimal EPI distortion correction scheme with high robustness and fidelity, especially for UHF. Many approaches based on shift maps have been developed to date, in attempts to correct for geometric distortions in EPI. They can be categorized into shift maps in distorted and non-distorted phase-encoding coordinates. Since different sequences are generally used for determining the two types of shift maps, reliable comparisons of the measurement parameters are not easily reconciled. In order to evaluate the correction quality of geometric distortions in EPI, especially at UHF, shift maps within the same conditions are required, if a fair comparison study is to be achieved. The findings reported in this thesis indicate that both shift maps can be determined from 3D PSF data obtained by means of a point-spread-function (PSF) mapping method. In recognizing the limitations of a shift map-based correction through a comparison study, an improved PSF mapping-based distortion correction scheme was developed and is presented. This includes higher correction fidelity as well as highly accelerated PSF acquisition without any loss of quality compared to full PSF acquisition. All the development and evaluations were performed in phantoms and in in vivo measurements at 7T. The results show that the proposed method corrects for geometric distortions in EPI with a very high degree of accuracy and quality despite the very high PSF acceleration. Therefore, it can be concluded that it would be suitable to support advanced EPI-based application studies, especially at UHF.

ZUSAMMENFASSUNG

Single-Shot Echo-Planar Bildgebung (EPI) ist aufgrund seiner hohen Zeiteffizienz eine weit verbreitete Technik in der Magnetresonanzbildgebung und wird für viele verschiedene Anwendungen, wie etwa funktionelle MRT (fMRT) und Diffusions-Tensor Bildgebung (DTI) genutzt. EPI ist jedoch sehr empfindlich für Inhomogenitäten des Magnetfeldes durch Unterschiede der magnetischen Eigenschaften (Suszeptibilität) innerhalb des Untersuchungsobjektes, was zu starken geometrischen Verzerrungen und Schwankungen in der Signalintensität der Abbildung führt. Die Feldstörungen sind proportional zur Stärke des Hauptmagnetfeldes, weshalb sich geometrische Verzerrungen bei hohen Feldstärken, wie etwa 3T, vergrößern und zur echten Herausforderung bei höchsten Feldstärken (UHF), wie etwa 7T und mehr, werden.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer optimierten, robusten und exakten Verzerrungskorrektur von EPI-Daten für UHF. Viele Methoden zur Verzerrungskorrektur von EPI-Daten basieren heutzutage auf so genannten Shift Maps. Diese kann man in zwei Kategorien einteilen, welche in unverzerrten oder in verzerrten Koordinaten in Phasenkodierrichtung dargestellt werden. Da für beide Typen in der Regel verschiedene Aufnahmeverfahren verwendet werden, ist es schwierig, diese anhand ihrer Messparameter zu vergleichen. Um die Qualität der Verzerrungskorrektur von EPI-Daten beider Verfahren zu erfassen und um einen quantitativen Vergleich zu ermöglichen, müssen die Shift-Maps mit gleichen Konditionen aufgenommen werden. In dieser Promotionsarbeit wird aufgezeigt, dass die Berechnung beider Shift-Map-Typen aus einem einzigen 3D Point-Spread-Function (PSF) Datensatz vorgenommen werden kann. Außerdem wird eine neue, verbesserte PSF-basierte Korrekturmethode zur Verzerrungskorrektur vorgestellt. Diese Methode erlaubt einerseits eine höhere Korrekturqualität und andererseits eine hohe beschleunigte PSF Akquisition ohne Qualitätsverlust gegenüber der unbeschleunigten PSF-Variante.

Alle entwickelten Methoden wurden mit Phantom- und in-vivo-Messungen in einem 7T Scanner getestet und evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die vorgestellte Methode zur geometrischen Verzerrungskorrektur von EPI Daten mit einer hohen Genauigkeit und Qualität, trotz hoher PSF-Beschleunigung durchgeführt werden kann. Dies wird zukünftige EPI-basierte Projekte und Studien erheblich unterstützen.