

Abstract

In the last 20 years Magnetic Resonance (MR) image reconstruction has undergone a tremendous change from a simple application of a Fast Fourier Transform to iterative reconstruction schemes incorporating complex acquisition and signal models. Currently, we are experiencing a new paradigm change in MR image reconstruction due to the scientific interest in machine learning and deep learning in particular.

This work shows my contributions to this active field. Physiological motion occurring during raw data acquisition can lead to image artefacts and impair diagnostic quality of the images. To overcome this challenge, methods are presented which incorporate motion models into the image reconstruction to obtain artefact free images even if the data was acquired in different motion states. A recent trend in radiology is to move from qualitative to quantitative imaging. Quantitative imaging provides important information about (bio-)physical parameters such as blood perfusion. Reconstructing quantitative parameters directly from the acquired raw data can yield excellent diagnostic information while keeping scan times to a minimum. Here advanced image reconstruction algorithms are discussed which are able to solve such complex inverse problems. Finally iterative image reconstruction approaches are discussed which allow for the use of prior-knowledge to further improve image quality using both classical optimisation approaches and deep-learning-based methods.

The work concludes with an outlook on uncertainty estimation for image reconstruction and how to achieve reproducibility and comparability of image reconstruction techniques.

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten 20 Jahren hat die Bildrekonstruktion in der Magnetresonanztomographie (MRT) einen enormen Wandel durchgemacht - von der einfachen Anwendung einer schnellen Fourier-Transformation bis hin zu iterativen Rekonstruktionsverfahren, die komplexe Datenaufnahme- und Signalmodelle beinhalten. Derzeit erleben wir einen neuen Paradigmenwechsel in der MR-Bildrekonstruktion aufgrund des wissenschaftlichen Interesses am maschinellen Lernen und insbesondere am Deep Learning. Diese Arbeit zeigt meine Beiträge zu diesem aktiven Feld. Physiologische Bewegungen, die während der Rohdatenerfassung auftreten, können zu Bildartefakten führen und die diagnostische Qualität der Bilder beeinträchtigen. Hier werden Methoden vorgestellt, die Bewegungsmodelle in die Bildrekonstruktion einbeziehen, um artefaktfreie Bilder zu erhalten, auch wenn die Daten in unterschiedlichen Bewegungszuständen aufgenommen wurden. Ein neuer Trend in der Radiologie ist der Übergang von der qualitativen zur quantitativen Bildgebung. Die quantitative Bildgebung liefert wichtige Informationen über (bio-)physikalische Parameter wie die Durchblutung von Gewebe. Die Rekonstruktion quantitativer Parameter direkt aus den aufgenommenen Rohdaten kann hervorragende diagnostische Informationen liefern und gleichzeitig die Scanzeiten auf ein Minimum reduzieren. Hier werden fortschrittliche Bildrekonstruktionsalgorithmen vorgestellt, die in der Lage sind, solche komplexen inversen Probleme zu lösen. Schließlich werden iterative Bildrekonstruktionsansätze präsentiert, die die Verwendung von Vorwissen zur weiteren Verbesserung der Bildqualität sowohl mit klassischen Optimierungsansätzen als auch mit Deep-Learning-basierten Methoden ermöglichen. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf die Unsicherheitsabschätzung bei der Bildrekonstruktion und diskutiert wie Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von Bildrekonstruktionsverfahren erreicht werden können.