ETH zürich

ETH Library

# Smart coil arrays and adaptive cardiac magnetic resonance imaging

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**
Bührer, Martin

**Publication date:**
2007

**Permanent link:**
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-005551989

**Rights / license:**
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH No 17494.

# Smart Coil Arrays and Adaptive Cardiac Magnetic Resonance Imaging

A dissertation submitted to the

**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH**

for the degree of

**Doctor of Sciences,**

**ETH Zürich**

presented by

**Martin Bührer**

Dipl. Phys. ETH

born September 20th, 1976

Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Peter Boesiger, examiner

Prof. Dr. Tobias Schaeffter, co-examiner

PD Dr. Sebastian Kozerke, co-examiner

Zürich 2007

# Zusammenfassung

In der Magnetresonanz (MR) Herzbildgebung stellt die inhärente und durch Atmung verursachte Bewegung des Herzens eine grosse Herausforderung dar. Da die MR Datenaufnahmerate aufgrund des zugrundeliegenden, sequentiellen Kodierprinzips relativ niedrig ist, erfolgt die Aufnahme synchronisiert mit der Herz- und Atembewegung. Die Akquisition wird dabei auf ein kurzes Intervall beschränkt, um Bewegung während der Aufnahme „einzufrieren". Dies führt allerdings zu einer sehr geringen Messeffizienz und folglich zu langen Messzeiten. In den letzten Jahren wurden daher zahlreiche schnelle Abbildungsverfahren entwickelt, wobei insbesondere die Parallele Bildgebung hervorzuheben ist. Diese Technik ermöglicht Beschleunigungsfaktoren von etwa 4-8 und beruht auf dem parallelen Empfang der Messdaten durch mehrere Empfangsspulen. Die örtliche Variation der Empfangssensitivitäten in den einzelnen Spulen erlaubt es, die Anzahl der Messpunkte zu reduzieren. Die Beschleunigung in der Datenaufnahmen kann dabei nicht nur zur Verringerung der Messzeit verwendet, sondern auch gegen eine erhöhte Auflösung oder ein verbessertes Signal-zu-Rausch Verhältnis (SNR) eingetauscht werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Qualität der so rekonstruierten Bilder entscheidend von der Anzahl und der Anordnung der verwendeten Empfängerspulen abhängt. Die Optimierung solcher sogenannten Spulenarrays ist daher von grosser Bedeutung. Grundsätzlich gibt es dazu zwei Ansätze. Zum einen kann die Spulenanordnung speziell für eine bestimmte Anwendung optimiert werden; zum anderen bietet ein Spulenarray mit sehr vielen gleichmässig verteilten Empfangsspulen eine grosse Flexibilität und Abdeckung. Gegenwärtig wird letzterer Ansatz bevorzugt, da die Positionierung der Empfängerspulen auf dem Körper des Patienten aufgrund der grossen Abdeckung weniger kritisch ist und dadurch die Patientenvorbereitung wesentlich vereinfacht wird. In den letzten Jahren sind daher immer grössere Arrays mit steigender Spulenelementanzahl entwickelt worden. Mit der Anzahl der Spulen erhöht sich jedoch auch die Datenmenge, die zu verarbeiten ist. Insbesondere bei zeitlich aufgelösten, volumetrischen Aufnahmen führt dies zu inakzeptabel langen Rekonstruktionszeiten.

In einem Teilprojekt dieser Dissertation wurde daher eine Optimierung und Vereinfachung von Spulenarrays entwickelt, wobei beide der beschrieben Ansätze verwendet werden. Zum

einen wird ein optimiertes Array für die parallele Bildgebung der koronaren Herzkranzgefässe vorgestellt. Zum anderen wird eine Methode zur Datenkompression beschrieben, die besonders für grosse Arrays geeignet ist. Im letzteren Fall wird durch die Kombination verschiedener Spulenelemente ein virtuelles, kleineres Array erzeugt, welches optimal an die gewünschte Abbildungsregion angepasst ist. Ein beliebiges Array wird so automatisch für eine gewünschte Anwendung optimiert und erlaubt eine wesentlich effizientere Datenverarbeitung. Wir sprechen daher von *„smart coil arrays"*. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass für ein Array mit 32 Elementen die Datenmenge um bis zu einem Faktor 16 reduziert werden kann, ohne wesentlichen Qualitätsverlust in den Bilddaten. Dies ermöglicht Anwendungen, die bislang aufgrund der Datenmenge nicht realisierbar waren.

Neben der geringen Messeffizienz birgt die MR Herzbildgebung allerdings noch andere Schwierigkeiten. Die Variabilität der Herz- und Atembewegung erfordert eine komplexe Datenaufnahmestrategie. Diese involviert zusätzliche Hardware und Methoden zur Aufnahme physiologischer Signale, wie z.B. ein Elektrokardiogramm (EKG) oder ein Atmungsnavigator. Diese Techniken erfordern jedoch Erfahrung in der Benutzung. Des Weiteren können, unter Umständen, starke Erwärmungen auf der Haut aufgrund induzierter Spannungen z.B. in EKG Elektroden verursacht werden. Von einem wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet erfordern diese Techniken einen zusätzlichen Aufwand und verlängern die Dauer und somit auch die Kosten der Untersuchung. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird daher eine Technik vorgestellt, die ohne externe Hardware oder Methoden zur Bewegungsmessung auskommt und keinerlei Benutzerinteraktion erfordert. Die Bewegungsinformation wird dabei während der Messung direkt aus den gemessenen MR Daten extrahiert und anschliessend zur Bewegungskompensation verwendet. Da die verwendete Bewegungsinformation in Echtzeit verfügbar ist, passt sich die Messung automatisch den physiologischen Gegebenheiten des Patienten an und berechnet alle erforderlichen Parameter. In diesem Zusammenhang wird daher von *„adaptive cardiac imaging"* gesprochen.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden und Techniken eine wesentlich effizientere und einfachere MR Herzbildgebung ermöglichen und damit die Benutzerfreundlichkeit der Methode in einem klinischen Umfeld signifikant erhöhen.

# Summary

Motion due to respiration and the beating of the heart is one of the major issues in cardiac magnetic resonance (MR) imaging. Due to the sequential image encoding principle in MR, data collection is relatively slow compared to physiological motion. To avoid image artifacts when imaging the heart, the data acquisition process is synchronized with the cardiac and often also with the respiratory cycle. In order to "freeze" the motion, data sampling is limited to short time intervals during individual motion cycles. This, however, results in low scan efficiencies and therefore long measurement times. To address the limited scan efficiency, several fast imaging techniques have been developed over the last years. Parallel imaging in particular has allowed for speedup factors of approximately 4-8 and has led to dramatic progress in cardiac MR. The parallel imaging principle is based on simultaneous MR signal reception by several receiver coils placed on the body of the patient. The differences in sensitivity among those receiver coils can be exploited to reconstruct images from less data than normally required. The speedup in acquisition can not only be utilized for shortening the examination but also be "traded" for improved resolution. The performance of the parallel imaging technique, however, is strongly coupled to the number and arrangement of receiver coils on the body of the subject. Optimization and fine-tuning of these so-called coil arrays is therefore of great importance. To this end, generally two different approaches are used. A coil array is either optimized exclusively for one single application or an array with many independent and evenly distributed elements is utilized. The second approach offers greater flexibility and versatility. For example, as coil coverage is increased, positioning of the individual coil elements with respect to the object of interest becomes less critical thereby simplifying the setup and patient preparation process. With the increasing number of independent receiver channels, however, practical limitations such as handling and processing the large number of independent data streams have emerged. In particular, reconstruction speed has decreased dramatically. Despite the steady evolution of computer hardware, it is foreseen that the practical gains in parallel imaging performance due to the increasing number of receiver channels are offset by the computational load and memory limitations in image

reconstruction. The first part of this thesis will therefore introduce methods and techniques for coil array optimization and simplification, whereas both optimization approaches are addressed. Firstly an optimized 6 channel array for parallel imaging of the coronary arteries is presented and, secondly, a data compression algorithm for arbitrary coil arrays is described. In the latter case a smaller virtual array is created from all physical coils by linear combination of elements. The linear transformation is chosen such that the information loss between the physical and virtual array is minimized. Accordingly, a physical array can be tailored to a given application and subject allowing for much more efficient data processing. These virtual arrays are therefore termed *"smart coil arrays"*. It is shown that the amount of data from a 32 channel array can be reduced by up to a factor of 16 without significant loss in image quality. The resulting data compression allows for examinations which have hitherto been impossible to acquire in a practical setting.

Besides low scan efficiencies, cardiac MR holds several additional challenges. The complex physiological motion patterns of the heart and respiration demand sophisticated acquisition schemes. Variable cardiac or respiratory frequencies result in motion artifacts and image distortions. Furthermore, additional hardware or methods for motion monitoring such as an electrocardiogram (ECG) or a respiratory navigator have to be employed. Motion monitoring techniques require an experienced operator and yet may be subject to inaccuracies or even failure. In a few cases the voltage induced in the wiring of the ECG or electrodes themselves has caused considerable heating on the patient's skin or even has led to fire in the magnetic bore. From an economical point of view, additional setup time is needed for placing the devices and handling the connection thereby impacting patient throughput. To address the shortcomings of current motion monitoring approaches, the second part of the thesis presents techniques to improve the robustness of motion compensation while, at the same time, reducing user interaction. It is demonstrated that the information necessary for motion compensation can be extracted directly from the acquired MR data. Since the information is available in real-time, the acquisition automatically determines all the necessary parameters and adapts to the physiological properties of the patient. Accordingly, this approach is termed *"adaptive cardiac imaging"*.

In conclusion, the methods and techniques presented in this thesis allow for more efficient and simplified cardiac imaging thereby fostering its use in a routine setting.