

Compressed Sensing für MRT

24. Januar 2014

1 Einleitung & Motivation

Die Magnetresonanztomografie ist ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel in der Medizin. Es ermöglicht die Aufnahme hoch aufgelöster Bilder von Strukturen im Inneren des Körpers. Dauer der Aufnahme, örtliche Auflösung und das Auftreten von Artefakten beeinflussen sich dabei gegenseitig.

Zur Beschleunigung werden in der Regel die Anzahl der Signalabtastungen reduziert wobei eine geringere Auflösung und Artefakte in Kauf genommen werden. Dies wird etwa durch den parallelen Einsatz mehrerer Spulen, den Einsatz spezieller Gradientensequenzen und numerischer Verfahren zur Rekonstruktion der Bilder teilweise kompensiert.

2 Compressed Sensing

Compressed Sensing ist eine eher junge Theorie aus dem Bereich der Signalverarbeitung. Sie befasst sich mit der Rekonstruktion von stark unterabgetasteten Signalen, die durch eine geeignete lineare Transformation (z.B. Fourier-) in eine dünnbesetzte Darstellung¹ überführt (komprimiert) werden können.

Von der Abtastung des Signals ist gefordert, dass die Artefakte die durch die Unterabtastung in der transformierten Darstellung entstehen inkohärent sind (Rauschen ähneln). Sind beide Voraussetzungen gegeben, lässt sich das Ursprungssignal unter Kenntnis der Basisfunktionen der Transformation durch Lösen eines mathematischen Optimierungsproblems nahezu fehlerfrei wiederherstellen.

Für dieses Optimierungsproblem existieren eine Vielzahl von Lösungsstrategien und Algorithmen. Ein Beispiel ist Iterative Thresholding.

3 Bildaufnahme bei der MRT

Bei der MRT werden mithilfe von Magnetfeldern, ortskodiert die Fourierkoeffizienten der dem Gewebe entsprechenden Bildinformation aufgenommen. Eine bestimmte Abfolge von Magnetfeldänderungen (Gradientensequenz) definiert dabei die Trajektorie im Frequenzbild entlang derer diese Koeffizienten aufgenommen werden.

Um eine fehlerfreie Rücktransformation des Bildes aus dem Frequenzbereich zu ermöglichen, muss der gesamte interessante Bereich mit einer der gewünschten örtlichen Auflösung entsprechenden Abtastrate aufgenommen werden (Nyquist Sam-

¹nur wenige Werte unterscheiden sich von Null

pling). Dem sind durch physikalische, physiologische und zeitliche Anforderungen Grenzen gesetzt. Auch ist dieses Vorgehen empfindlich gegenüber praktisch unvermeidbare Bewegungen.

Zur Stabilisierung und Beschleunigung der Bildgebung wurden spezielle Gradientensequenzen und, im Falle von paralleler MRT, zusätzliche Aufnahmespulen mit entsprechenden Rekonstruktionsalgorithmen kombiniert. Basierend auf Compressed Sensing lassen sich sehr robuste und schnelle Methoden der MRT-Messung implementieren.

4 Anwendung von Compressed Sensing bei der MRT

Die Magnetresonanztomografie eignet sich sehr gut für die Anwendung der Compressed Sensing Theorie:

- Die aufgenommenen Signale haben eine dünnbesetzte Darstellung.
- Die Unterabtastung lässt sich leicht so realisieren, dass die Forderung aus Abschnitt 2 erfüllt ist.

Als Mass der Inkohärenz einer Gradientensequenz wurde die Punktspreizfunktion des resultierenden Abtastschemas herangezogen. Diese gibt Auskunft über den Einfluss eines einzelnen abgetasteten Bildpunkts auf das gesamte Bild. Im Idealfall ist dieser 1 nur an der Stelle des Bildpunktes selbst. Bei Unterabtastung ist das nicht der Fall. Je grösser der Einfluss auf einen anderen Bildpunkt in der PSF desto inkohärenter kann das Abtastschema angenommen werden. Radiale oder spiralförmige Abtastschema eignen sich demnach gut und sind leicht Hardwareseitig umzusetzen.

Da Compressed Sensing eine allgemeine Lösung zur Rekonstruktion unterabgetasteter Signale bereitstellt, sind die Einsatzmöglichkeiten selbst im Bereich der MRT vielfältig. Neben der Beschleunigung und Stabilisierung von statischen Aufnahmen wurden auch dynamische MRT-Aufnahmen etwa des Herzens beschleunigt. Dabei wird neben der Komprimierbarkeit der Bilder an sich auch die Periodizität des Herzschlags und die damit eingehende Komprimierbarkeit der Signalfolgen über der Zeit ausgenutzt. Zuletzt finden sich Ansätze, Compressed Sensing bei paralleler MRT-Bildgebung einzusetzen.