

Compressed Sensing für MRT

Seminar – Bildgebende Verfahren in der Medizin

Manuel Zellhöfer

Institut für Medizinische Informatik

24. Januar 2014



Gliederung

Einleitung & Motivation

Compressed Sensing

Bildaufnahme bei der Magnetresonanztomographie

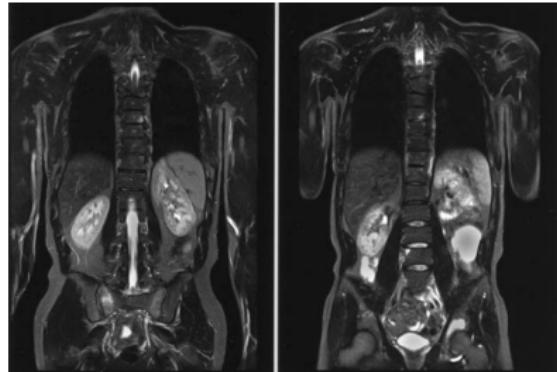
Anwendung von Compressed Sensing bei der MRT

Magnetresonanztomographie

- ▶ wichtiges Bildgebendes Verfahren
- ▶ hohe örtliche Auflösung
- ▶ keine schädliche Strahlung

Beschleunigung von MRT-Aufnahmen

- ▶ verringern der Zeit des Patienten in der Röhre
- ▶ Aufnahmen robuster gegenüber Bewegung machen
- ▶ Echtzeit-MRT



Beschleunigung durch...

...ausnutzen der Redundanz in MRT-Aufnahmen: Unterabtasten und Rekonstruktion des Originalbildes durch...

...parallele Bildaufnahme (pMRI) *mehr Empfangsspulen/Arrays*

- ▶ zusätzliche Hardware
- ▶ numerische Verfahren zur Kombination der einzelnen Bilder
- ▶ *GRAPPA, SENSE, SMASH*

...rein numerische Verfahren

- ▶ spezielle Aufnahmesequenzen, Ausnutzen besonderer Eigenschaften der MRT
- ▶ numerische Verfahren zur Rekonstruktion
- ▶ *FLASH, Compressed Sensing*

Gliederung

Einleitung & Motivation

Compressed Sensing

Bildaufnahme bei der Magnetresonanztomographie

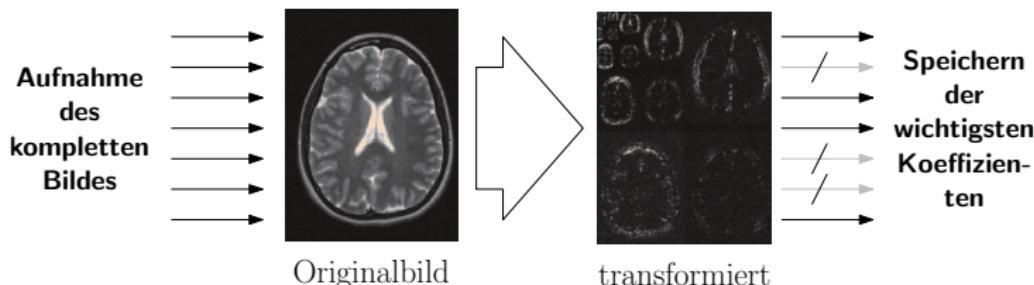
Anwendung von Compressed Sensing bei der MRT

Beispiel: Standard Bilderfassung

1. Aufnahme des kompletten Bildes
2. Kompression des Bildes

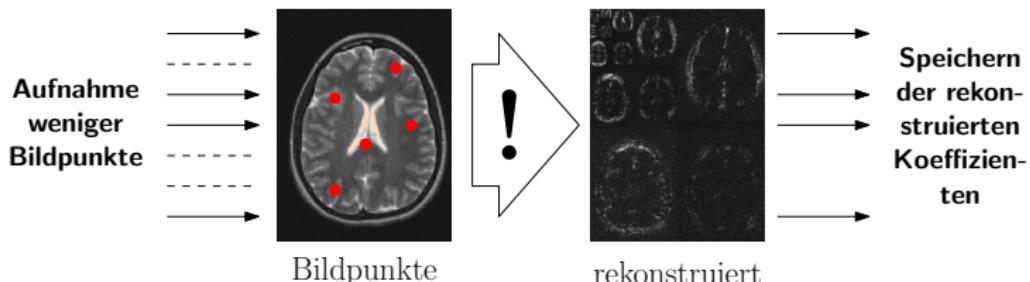
- ▶ Transformieren in eine „dünnbesetzte Darstellung“ (DCT bei jpeg)
- „wegwerfen“ von Daten

3. Speichern des komprimierten Bildes



„komprimierbare Signale komprimiert Erfassen“

1. Aufnahme weniger (*inkohärenter*) Punkte eines Bildes
2. Rekonstruktion der Koeffizienten in der „dünnbesetztenchen Darstellung“
 - ▶ Welche Koeffizienten haben die (wenigen) aufgenommenen Bildpunkte erzeugt?
 - mathematisches Problem
3. Speichern des komprimierten Bildes



Mathematisches Problem: l_1 -Norm Minimierung

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & \|\Psi m\|_1 \\ \text{s.t.} \quad & \|\mathcal{F}_S m - y\|_2 < \epsilon \end{aligned}$$

m rekonstruiertes Bild

Ψ Transformation in „spärliche“ Form

\mathcal{F}_S Transformation & Unterabtastung

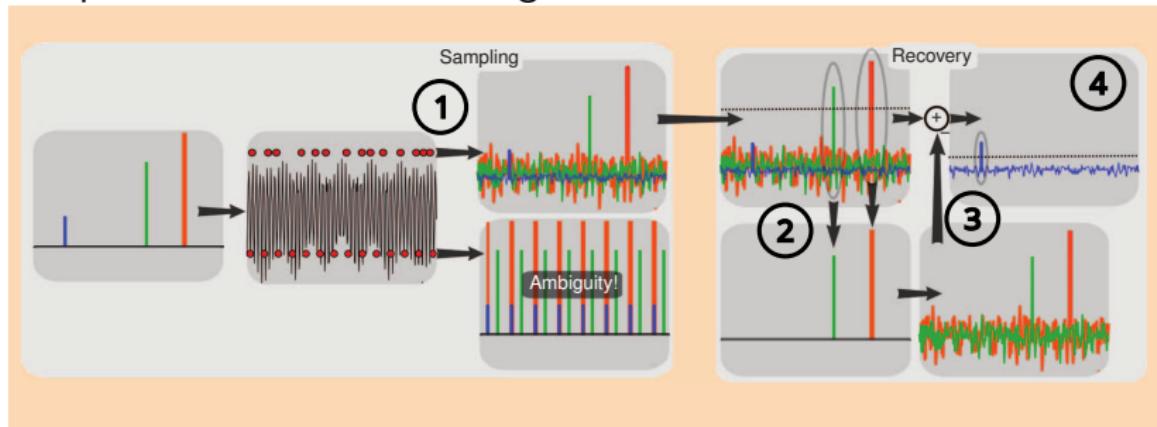
y aufgenommene Bildpunkte

ϵ Fehlertoleranz

- ▶ Allgemeines, vielfach anwendbares „Framework“
- ▶ Aktuell viel Forschung zu Algorithmen

Verfahren zur Rekonstruktion

Beispiel: Iterative Thresholding



1. Transformation des unterabgetasteten Signals
2. Koeffizienten über einem Schwellwert werden behalten
3. Der Beitrag dieser wird aus dem Signal herausgerechnet
4. Der Schwellwert wird reduziert → wiederhole ab 2.

Gliederung

Einleitung & Motivation

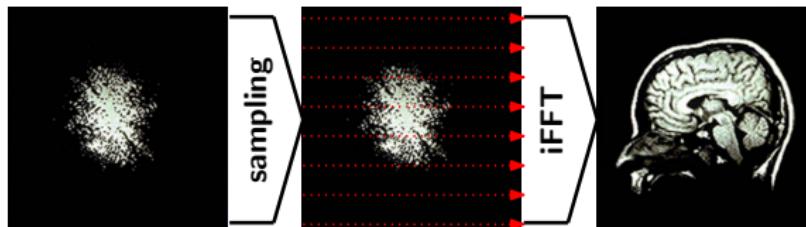
Compressed Sensing

Bildaufnahme bei der Magnetresonanztomographie

Anwendung von Compressed Sensing bei der MRT

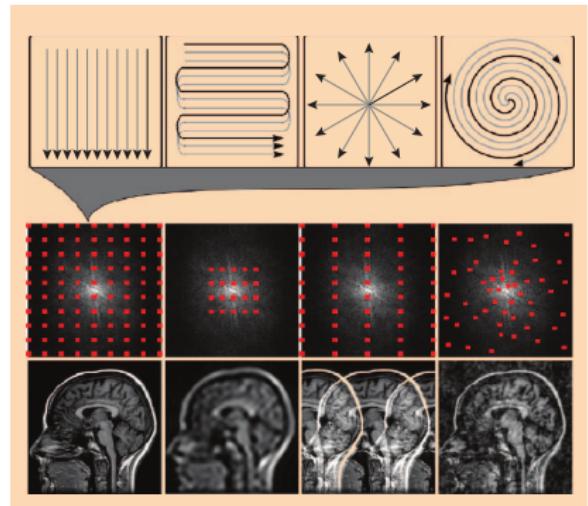
MRT-Messung

- ▶ Primäre Messdaten bei einer MRT-Aufnahme sind die Fourierkoeffizienten des zugrundeliegenden Bildes („im k-Raum“)
- ▶ Über Gradientensequenzen werden Trajektorien im k-Raum abgetastet
- ▶ Die Daten werden mit inverser Fouriertransformation in Bilder umgewandelt



Gradientensequenzen

- ▶ Sequenz beeinflusst Qualität/Geschwindigkeit/Robustheit der Aufnahme (bzw. der Rekonstruktion durch iFFT)
- ▶ viele Trajektorien möglich (Einschränkung durch Hardware, Physiologie)
- ▶ Unterabtastung?



Gliederung

Einleitung & Motivation

Compressed Sensing

Bildaufnahme bei der Magnetresonanztomographie

Anwendung von Compressed Sensing bei der MRT

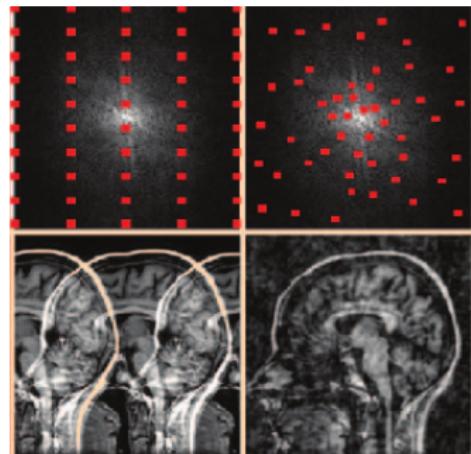
Compressed Sensing: Wie für MRT gemacht?

Anforderungen an das Signal:

- ▶ Komprimierbar ✓
- ▶ inkohärentes Sampling ✓

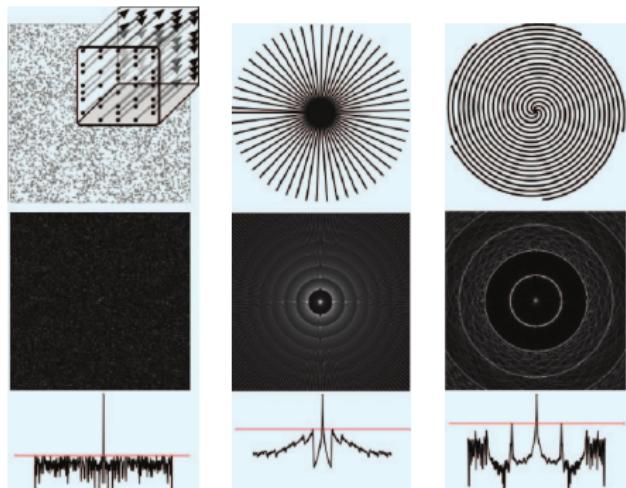
Warum Inkohärenz?

- ▶ inkohärentes Sampling führt zu Artefakten die Rauschen ähneln
- ▶ nur dann ist eine Rekonstruktion möglich



inkohärentes Sampling

- ▶ vollständig zufälliges Sampling wäre ausreichend
- ▶ Informationsverteilung im k-Raum berücksichtigen
- ▶ Maß für Inkohärenz: PSF der Samplingtrajektorie



- Hohe Informationsdichte in der Mitte des k-Raums
- radiale Trajektorien oder Spiralen ideal

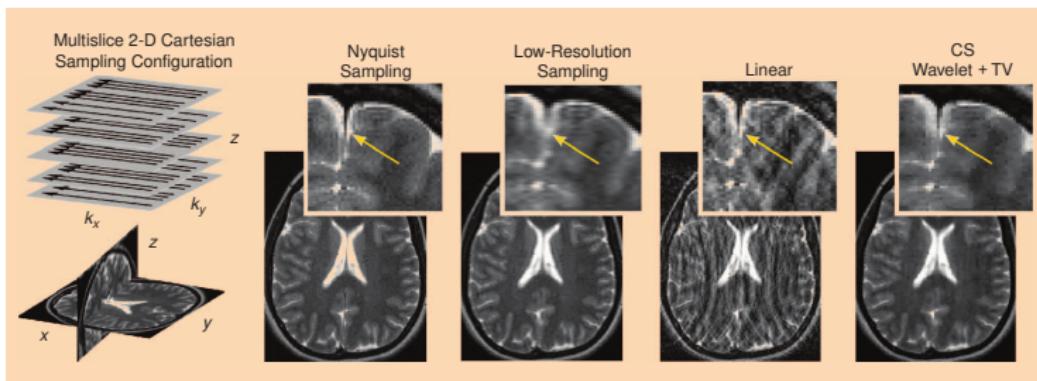
Anwendungsbeispiele I

Reduktion von Aufnahmedauer und Artefakten gezeigt bei

- ▶ Aufnahmen des Gehirns

Messdaten: vollständig abgetasteter k-Raum

Transformation: zufällige Auswahl an Linien aus Ebenen im k-Raum



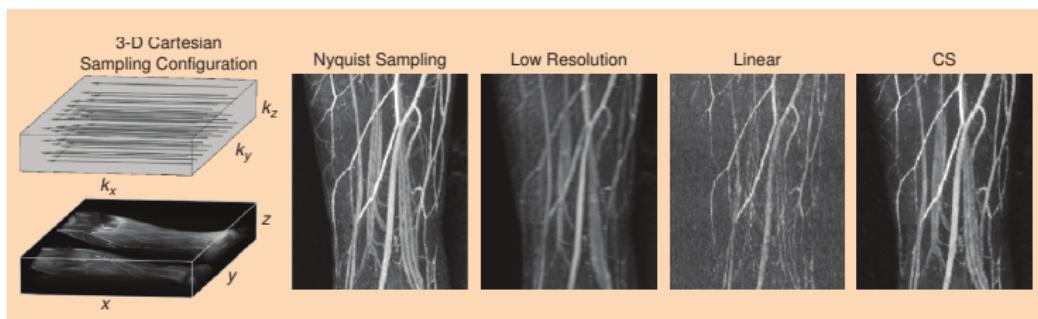
Anwendungsbeispiele II

Reduktion von Aufnahmedauer und Artefakten gezeigt bei

- ▶ 3D Angiografie

Messdaten: vollständig abgetasteter k-Raum

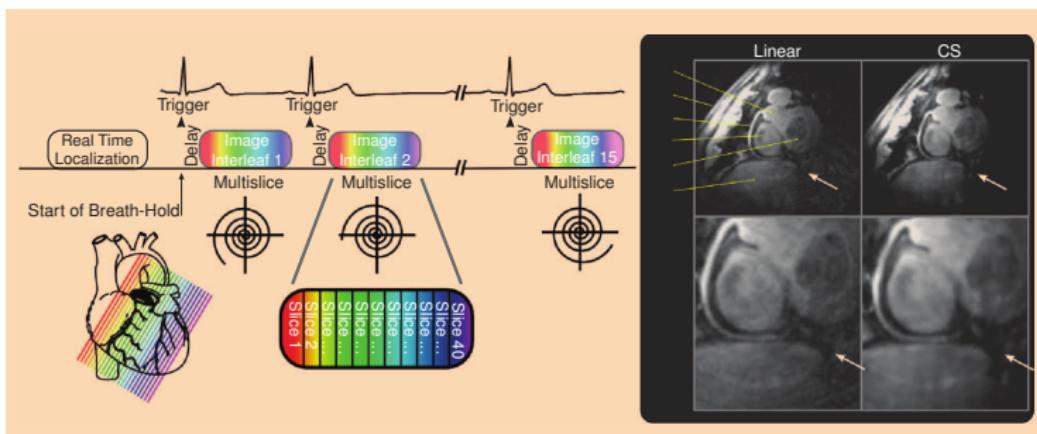
Transformation: zufällige Auswahl an Linien im k-Raum



Anwendungsbeispiele III

Reduktion von Aufnahmedauer und Artefakten gezeigt bei

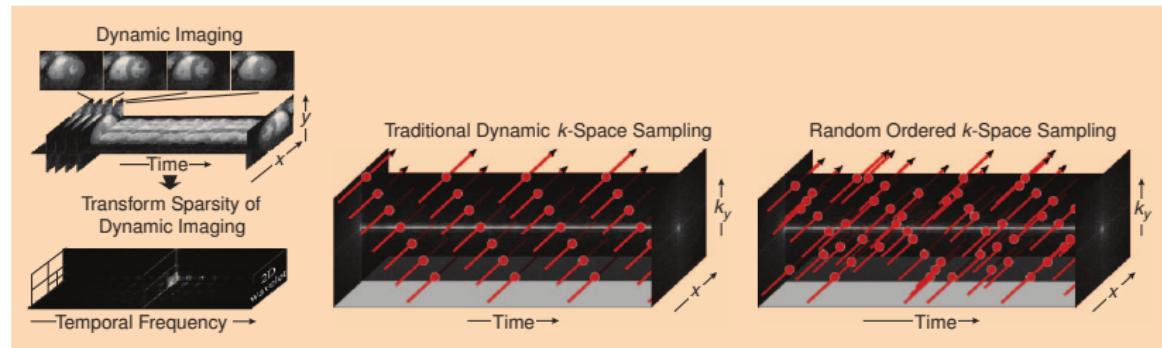
- ▶ Aufnahme des Herzens und Herzkranzgefäße
Messdaten: unterabgetasteter k-Raum
Transformation: Spiralförmige Samplingtrajektorie



Anwendungsbeispiele IV

Beschleunigen/Ermöglichen von dynamischem/real-time MRT:
Aufnahme des Herzens

- ▶ Zusätzliche Dimension: Zeit
- ▶ ein einzelner Voxel über Zeit: *Fourier*
- ▶ ein Bild in einem Zeitschritt: *Wavelet*



Aktuelle Entwicklung

Rekonstruktionsalgorithmen

- ▶ Rege Forschung im Bereich Signalverarbeitung [9] [2] [8] [4]
- ▶ Fortschritte bei dynamischer MRT, bspw. *FOCUSS* [3]

Kombination mit pMRI

- ▶ *SPARSE-SENSE* [7]
- ▶ *l1-SPIRiT* [6][10]

CS-MRI in der Praxis

- ▶ *l1-SPIRiT* [6][10]

Erfolgreiche Studie über den Einsatz von CS bei MRTs von Kindern

Literatur |

- [1] Jürgen Braun. Vorlesung „Bildgebende verfahren in der medizin“. 2013.
- [2] J P Haldar, D Hernando, and Zhi-Pei Liang. Compressed-sensing MRI with random encoding. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 30(4):893–903, April 2011.
- [3] Hong Jung, Kyunghyun Sung, Krishna S. Nayak, Eung Yeop Kim, and Jong Chul Ye. k-t FOCUSS: a general compressed sensing framework for high resolution dynamic MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 61(1):103–116, 2009.
- [4] Sajan Goud Lingala and Mathews Jacob. Accelerated dynamic MRI using sparse dictionary learning. In *SPIE Optical Engineering+ Applications*, page 885822–885822, 2013.

Literatur II

- [5] M. Lustig, D.L. Donoho, J.M. Santos, and J.M. Pauly. Compressed sensing MRI. *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(2):72–82, March 2008.
- [6] Mark Murphy, Kurt Keutzer, Shreyas Vasanawala, and Michael Lustig. Clinically feasible reconstruction time for l1-SPIRiT parallel imaging and compressed sensing MRI. 2010.
- [7] Ricardo Otazo, Daniel Kim, Leon Axel, and Daniel K. Sodickson. Combination of compressed sensing and parallel imaging for highly accelerated first-pass cardiac perfusion MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 64(3):767–776, September 2010.

Literatur III

- [8] V. M. Patel, R. Maleh, A. C. Gilbert, and R. Chellappa. Gradient-based image recovery methods from incomplete fourier measurements. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(1):94–105, January 2012.
- [9] Xiaobo Qu, Weiru Zhang, Di Guo, Congbo Cai, Shuhui Cai, and Zhong Chen. Iterative thresholding compressed sensing MRI based on contourlet transform. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 18(6):737–758, September 2010.

Literatur IV

- [10] S. S. Vasanawala, M. J. Murphy, M. T. Alley, P. Lai, Kurt Keutzer, John M. Pauly, and Michael Lustig. Practical parallel imaging compressed sensing MRI: summary of two years of experience in accelerating body MRI of pediatric patients. In *Biomedical Imaging: From Nano to Macro, 2011 IEEE International Symposium on*, page 1039–1043, 2011.