

Teilprojekt P2

Exakte Niedrigdosis-Bildrekonstruktion für Single- und Dual-Energy Mikro-CT

Marc Kachelrieß, Willi A. Kalender
Institut für Medizinische Physik
Universität Erlangen-Nürnberg

Ergebnisse aus Phase I - Ziele und Lösungsansätze für Phase II

Statistische Niedrigdosis-Bildgebung

Nach der Implementierung des Ordered Subsets Convex (OSC) Algorithmus wurde die Bildqualität im Vergleich zum Goldstandard Feldkamp David Kress (FDK) untersucht. Mit nur 4 bis 6 Iterationen erhält man mit OSC Volumina gleicher Ortsauflösung und gleichem Rauschen mit 30 bis 50% weniger Dosis (Abbildung 1). Ein neu entwickeltes dediziertes Mausphantom liegt sowohl als virtuelles mathematisches als auch als reales Phantom vor und erlaubt direkte Vergleiche von Simulationen und Messungen (Abbildungen).

Performanceoptimierung

Die perspektivische Vor- und Rückprojektion wurde parallelisiert und auf verschiedenen Hardware-Plattformen implementiert und optimiert. Die gesamte OSC-Rekonstruktion, bestehend aus FDK-Initialisierung und 4 bis 6 OSC-Iterationen, dauert somit nur etwa 2 bis 3 Minuten.

Messfelderweiterung

Die Rekonstruktion wurde an die Messfelderweiterung angepasst und erlaubt trotz des erweiterten Messfelds die hohe Zeitauflösung von 1 s bei einer Scannerumlaufzeit von 4 s (Abbildung 2).

Vollständige Trajektorien

Bilder ohne Kegelstrahlartefakte können mit exakten Rekonstruktionsalgorithmen berechnet werden. Diese erfordern vollständige Trajektorien, beispielsweise indem die Kreisbahn um eine Linienbahn (Circle+Line) erweitert oder zwischen zwei Kreisbahnen ein Spiralsegment (Circle+Spiral) gefahren wird. Die Vorteile einer exakten Rekonstruktion sind in Abbildung 3 gezeigt. Die bisher eingesetzte approximative Rekonstruktion (FDK und OSC) zeigt einen Intensitätsabfall in Schichten, die weiter von der Zentralschicht entfernt sind (bis zu 200 HU/cm). Die aus einer simulierten Circle+X-Trajektorie erzeugten Rekonstruktionen zeigen diese Artefakte erwartungsgemäß nicht.

Neue Algorithmen für die Zwei-Spektren-CT

Rohdatenbasierte Zweispektren-CT (DECT) ist der bildbasierten DECT überlegen. Sie erfordert, dass jeder Strahl zwei Mal bei unterschiedlichem Spektrum gemessen wird. Dies ist bei einem Zwei-Röhre-zwei-Detektor-Scanner nicht gegeben. Es sollen neue Verfahren entwickelt werden, die auch inkonsistente Strahlen verrechnen können und die Vorteile der rohdatenbasierten DECT für die Forschergruppe nutzen lassen (Abbildung 4). Teilprojekt P2 arbeitet in diesen Punkten algorithmenseitig direkt P1 zu, bei dem entsprechende Messdaten generiert und das neue DECT-Rekonstruktionsverfahren in eine wohlkalibrierte Anwendung umgesetzt werden soll. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern soll die Möglichkeit iterativer Rekonstruktionsverfahren zur Modellierung komplexer Geometrien und physikalischer Eigenschaften genutzt werden. OSC soll auf energieselektive Rohdaten erweitert und erprobt werden. Zudem verspricht die korrekte Modellierung der Strahlgeometrie eine Verbesserung der Ortsauflösung.

Veröffentlichungen in Phase I

- M. Knaup, W. A. Kalender und M. Kachelrieß, „Statistical Cone-Beam CT Image Reconstruction using the Cell Broadband Engine“, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, M11-422:2837-2840, 2006.
- M. Knaup, P. Stenner und M. Kachelrieß, „Rawdata-Based Dual Energy CT (DECT) from Inconsistent Scans“, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, M26-268:4457-4459, 2007.
- M. Knaup und M. Kachelrieß, „Real-Time Cone-Beam CT Image Reconstruction using a Mercury Dual Cell-Based System (DCBS) and a Sony Playstation 3 (PS3) Cluster“, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, M19-291:3926-3928, 2007.
- M. Kachelrieß, M. Knaup und O. Bockenbach, „Hyperfast parallel-beam and cone-beam backprojection using the Cell general purpose hardware“, Med. Phys. 34 (4), 1474-86, 2007.
- P. Stenner, T. Berkus und M. Kachelrieß, „Empirical dual energy calibration (EDEC) for cone-beam computed tomography“, Med. Phys. 34 (9):3630-41, 2007. *This work received the Werner von Siemens Excellence award 2008.*
- P. Stenner und M. Kachelrieß, „Dual Energy Exposure Control (DEEC) for Computed Tomography: Algorithm and Simulation Study“, Med. Phys. 35(11):5054-5060, 2008.
- C. Maaß, M. Knaup, R. Lapp, M. Karolczak, W.A. Kalender und M. Kachelrieß, „Partial scan with shifted detector: A novel weighting function for high temporal resolution in CT“, IEEE Medical Imaging Conference Record (X-Ray Workshop), P1-17:597-601, 2008.
- C. Maaß, M. Knaup, R. Lapp, M. Karolczak, W.A. Kalender und M. Kachelrieß, „A New Weighting Function to Achieve High Temporal Resolution in Cone-Beam CT with Shifted Detectors“, Med. Phys. 35(12):5898-5909, 2008.

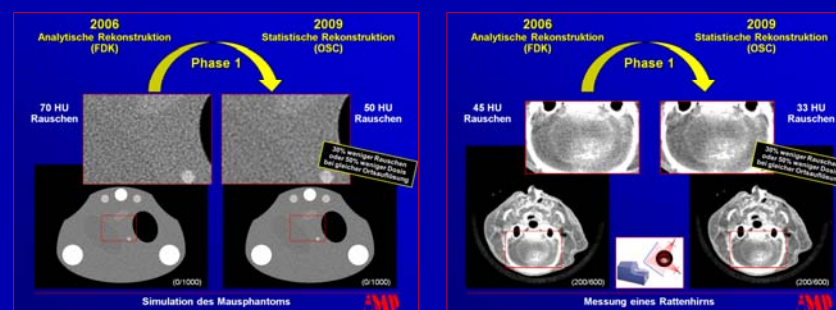


Abbildung 1: Die für Phase I gesetzten Ziele wurden erreicht. Durch den Einsatz des statistischen OSC-Algorithms an Stelle des üblichen analytischen FDK-Algorithmus kann die Dosis um bis zu 50% gesenkt werden. Dies belegen sowohl die Simulation eines dedizierten Mausphantoms (links) als auch die Rekonstruktion von Daten einer intrazerebralen Blutung aus Teilprojekt P3 (rechts).

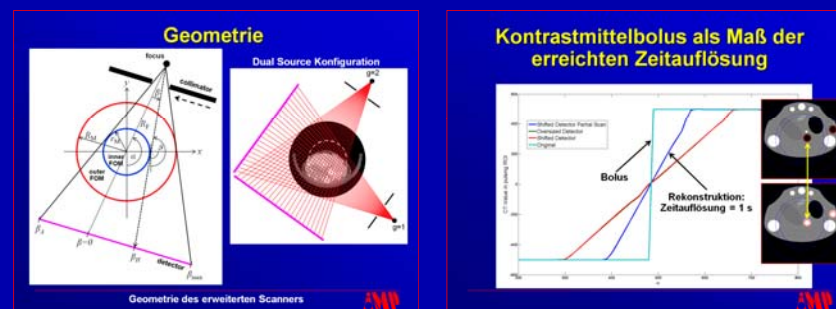


Abbildung 2: Mikro-CT Scanner mit erweitertem Messfeld. Die erreichbare Zeitauflösung, gemessen an der Anstiegsflanke eines Kontrastmittelbolus, beträgt 1s.

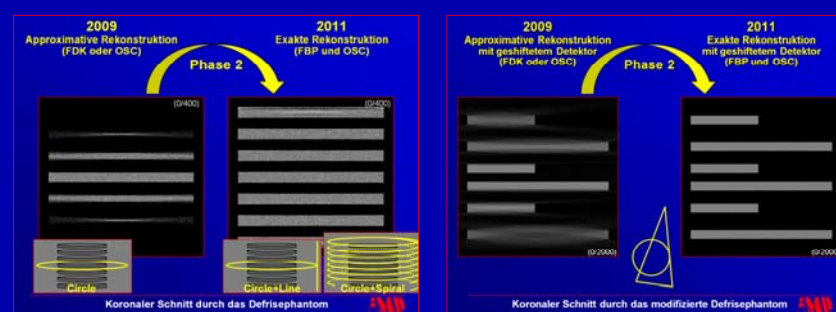


Abbildung 3: Die geplante Erweiterung des Mikro-CT Scanners auf Circle+Line und Circle+Spiral Trajektorien und die Entwicklung entsprechender analytischer und statistischer Rekonstruktionsverfahren mit und ohne verschobenem Detektor wird Bilder ohne Kegelstrahlartefakte bei gleich niedrigem Rauschniveau routinemäßig zur Verfügung stellen.

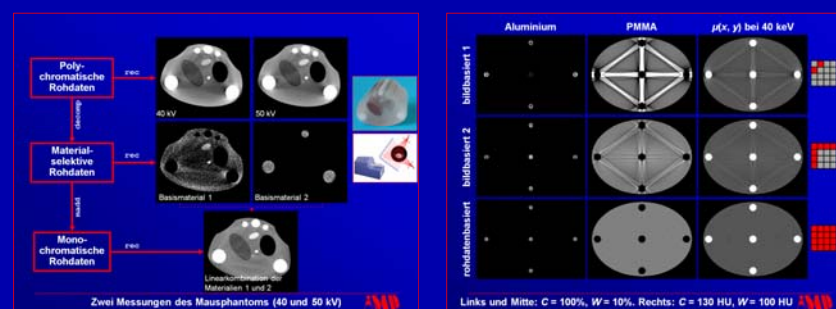


Abbildung 4: Durch rohdatenbasierte DECT lassen sich Strahlauhfärtungsartefakte vermeiden und gleichzeitig materialelektive Bilder erzeugen.

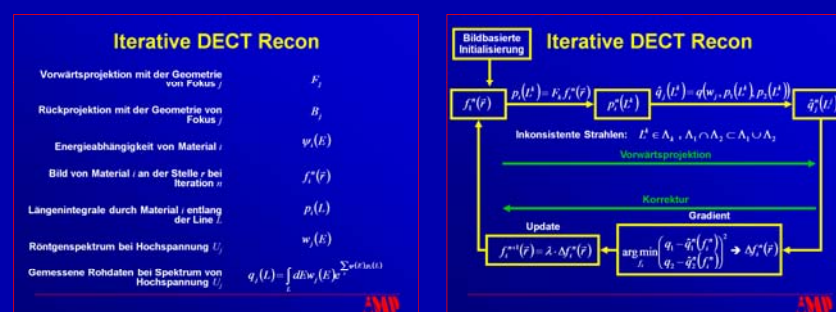


Abbildung 5: Definitionen und Ablauf der geplanten iterativen DECT-Rekonstruktion für inkonsistente Strahlwege.