Helical Cone-Beam Computed Tomography using the Differentiated Backprojection

Kegelstrahl-Spiralcomputertomographie unter Verwendung der Differenzierten Rückprojektion

Der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung des Grades

DOKTOR-INGENIEUR

vorgelegt von

Harald Schöndube

Erlangen – 2010

Als Dissertation genehmigt von
der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	29. Januar 2010
Tag der Promotion:	19. April 2010
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Reinhard German
Berichterstatter:	apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Steffen
	Assoc. Prof. Frédéric Noo, Ph.D.

Erlanger Berichte aus Informations- und Kommunikationstechnik

Band 27

Harald Schöndube

Helical Cone-Beam Computed Tomography using the Differentiated Backprojection

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2010

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9159-4
ISSN 1619-8506

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Acknowledgements

This thesis is the result of a research collaboration between the University of Erlangen-Nürnberg, Germany, the Utah Center of Advanced Imaging Research (UCAIR) in Salt Lake City, USA, and the physics group at the Computed Tomography department of Siemens Healthcare, Forchheim, Germany. My work would not have come to fruition without the help and support of my mentors, colleagues and friends and I wholeheartedly express my gratitude to all the people I had the chance to work with over the years. In the following, I would like to thank some people in particular:

First and foremost, Prof. Frédéric Noo, Ph.D., for inviting me to work at UCAIR, for being an outstanding mentor and advisor as well as for taking his time for the countless hours we spent on discussions. I also want to thank him for becoming a friend.

Prof. Dr.-Ing. Peter Steffen, for first introducing me to the field of CT, for getting me into contact with the CT department of Siemens Healthcare, for helpful comments, and for monitoring my work as a Ph.D. student.

Dr. Karl Stierstorfer, for initiating this project, for patiently answering many questions and providing valuable suggestions, and for supplying me with simulation and reconstruction software as well as helping me acquire measured datasets from clinical CT scanners.

My UCAIR colleagues Frank Dennerlein, Stanislav Žabić and Adam Wunderlich for countless inspiring discussions and for making me feel welcome during my many stays in Salt Lake City.

My fellow Ph.D. students as well as all other colleagues at the CT physics group of Siemens Healthcare in Forchheim for always maintaining a good working atmosphere and for their helpful remarks regarding my research.

Evelyn Lang for carefully proof-reading my thesis manuscript.

My wife Victoria for her endless love and support, for cheering me up when things did not go as planned and for her constant efforts to improve my written English.

Finally, I would like to thank the H IM CT PLM-E PA department of Siemens Healthcare, especially its department head Dr. Thomas Flohr, for providing financial support for my research.

Abstract

This thesis examines the use of the differentiated backprojection (DBP) with subsequent inverse Hilbert transform (HT), which is a theoretically-exact and stable (TES) reconstruction algorithm, for helical cone-beam computed tomography. Special attention in this examination is attributed to the question if the method is suitable to process redundant data, i.e., data which have been measured but which are not necessary to achieve a TES reconstruction. Helical cone-beam CT has been chosen as an application because it is the scanning technique most common in modern CT scanners and because it requires new image reconstruction algorithms to account for the ongoing growth of CT detectors in terms of detector rows.

The first part of the thesis introduces the DBP-HT method in two and three dimensions and gives all relevant proofs. It also contains a section of original work about different strategies of computing a finite inverse Hilbert transform using Söhngen's formula on discrete data. The second part of the thesis comprises three chapters presenting original research: First, the general properties of the DBP-HT method are examined and different implementation strategies are compared. Subsequently, a new algorithm is introduced, which allows for the first time to perform a TES reconstruction while beneficially including all measured data at maximum pitch. Finally we present an extension of this algorithm which enables TES reconstruction using all data at arbitrary pitch. The thesis concludes with a discussion of the results and an outlook onto possible further work.

Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die Verwendung der Differenzierten Rückprojektion (*differentiated backprojection*, DBP) mit anschließender inverser Hilberttransformation (HT) in der Kegelstrahl-Spiralcomputertomographie, wobei die DBP-HT ein mathematisch exakter und stabiler (*theoretically-exact and stable*, TES) Rekonstruktionsalgorithmus ist. Besondere Aufmerksamkeit wird hierbei der Frage gewidmet, ob die Methode zur Verarbeitung redundanter Daten geeignet ist, d.h., zur Verarbeitung von CT-Daten, die zwar gemessen wurden, zur Erzielung eines mathematisch exakten und stabilen Rekonstruktionsergebnisses aber nicht notwendig wären. Die Kegelstrahl-Spiralcomputertomographie wurde hierbei als Anwendung gewählt, da sie die am weitesten verbreitete Scantechnik moderner CT-Geräte darstellt und da sie neue Bildrekonstruktionsalgorithmen erfordert, um der stetigen Zunahme an Detektorzeilen in der CT Rechnung zu tragen.

Der erste Teil der Arbeit stellt die DBP-HT sowohl im zwei- als auch im dreidimensionalen Raum unter Erbringung der relevanten Beweise vor. Er enthält außerdem eine Darstellung über unterschiedliche Strategien zur Implementierung einer finiten inversen Hilberttransformation auf diskreten Daten unter Verwendung der Formel von Söhngen. Der zweite Teil der Arbeit umfasst anschließend eigene Untersuchungen: Zunächst werden die generellen Eigenschaften der DBP-HT untersucht und unterschiedliche Implementierungsstrategien verglichen. Anschließend wird ein neuer Algorithmus vorgestellt, der erstmalig eine mathematisch exakte und stabile Rekonstruktion unter Nutzung aller gemessenen Daten bei maximalem *pitch*-Wert ermöglicht. Zuletzt wird eine Erweiterung dieses Algorithmus erläutert, die eine mathematisch exakte und stabile Rekonstruktion unter Nutzung aller Daten bei beliebigem pitch-Wert erlaubt. Die Arbeit schließt mit einer Diskussion der Ergebnisse und einem Ausblick auf mögliche künftige Forschungsthemen.

Contents