

Rekonstruktion von Geschwindigkeits- und Absorptionsbildern eines Ultraschall-Computertomographen

T. M. Deck, T. O. Müller, R. Stotzka, H. Gemmeke

Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik
Forschungszentrum Karlsruhe, 76344 Eggenstein
Email: thomas.deck@ipe.fzk.de

Zusammenfassung. Am Forschungszentrum Karlsruhe wird ein neuartiger Ultraschall-Computertomograph zur Früherkennung von Brustkrebs entwickelt. Für den Tomographen wurde ein Rekonstruktionsalgorithmus entworfen, mit dem während der Messung erste Bilder des gemessenen Objekts erzeugt werden können. Dieser basiert auf der Auswertung der Transmissionssignale und der inversen Radon-Transformation. Zwei verschiedene physikalische Objekteigenschaften, die lokalen Schallgeschwindigkeiten und die lokalen Absorptionskoeffizienten, können dargestellt werden. Aus den Rohdaten von vier gemessenen Objekten wurden die Bilder der lokalen Schallgeschwindigkeiten und Absorptionskoeffizienten rekonstruiert. Die Bilder zeigen die Objekteigenschaften und inneren Strukturen der gemessenen Objekte.

1 Ultraschall-Computertomographie

Herkömmliche Ultraschallgeräte zur Untersuchung der weiblichen Brust bestehen aus handgeführten Ultraschallscannern, die ausschließlich die Ultraschallreflexionen des Gewebes aufnehmen. Dies führt zu verrauschten und schlecht reproduzierbaren Ultraschallbildern. Mit Hilfe eines neuen Abbildungsverfahrens entwickelt das Forschungszentrum Karlsruhe einen neuartigen Ultraschall-Computertomographen, der zeitaufgelöste, dreidimensionale und reproduzierbare Bilder liefert [1]. Ein Untersuchungsbehälter wird vollständig mit Ultraschallwandlern besetzt. Der Behälter ist mit Wasser gefüllt, das als Koppelmedium dient. Ein Wandler sendet einen Schallimpuls aus und alle Wandler messen simultan die in alle Richtungen reflektierten und transmittierten Signale.

In einem ersten Versuchsaufbau simulieren zwei auf einer Kreisbahn verschiebbare Ultraschallwandler-Arrays einen vollständigen Ring von 1600 Sendern und Empfängern (siehe Abbildung 1). Durch die notwendige Verschiebung der Ultraschallwandler können nur statische Objekte untersucht werden. Der Aufbau ermöglicht zweidimensionale Querschnitte durch das zu untersuchende Volumen. Eine Messung besteht aus einer Kalibrierungsmessung (einer Messung ohne Objekt) sowie einer Objektmessung.

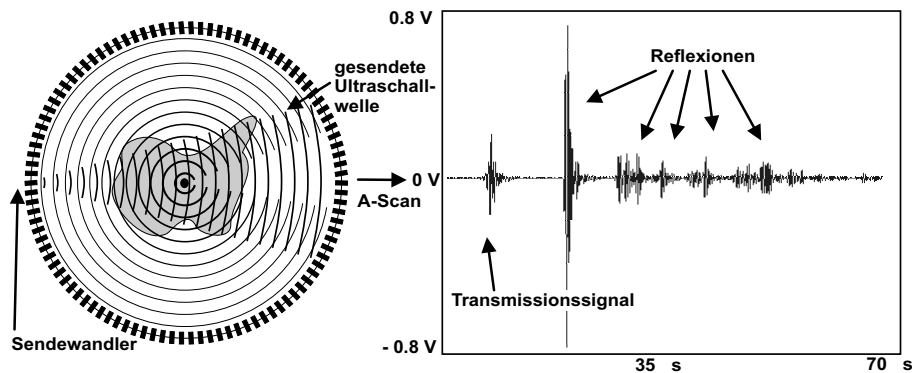


Abb. 1. Funktionsweise eines Ultraschall-Computertomographen, dargestellt in 2D. Ein Wandler sendet einen Puls, alle anderen empfangen die in dem Objekt gestreuten Signale. In dem gezeigten A-Scan sind sowohl das Transmissionssignal als auch Reflexionen an verschiedenen Streuern zu sehen.

Ein Bildrekonstruktionsalgorithmus, der anhand von Reflexionsdaten Bilder erzeugt, wird in [2] vorgestellt. Durch die Annahme konstanter Schallgeschwindigkeiten innerhalb des Objekts entstehen jedoch Rekonstruktionsfehler (siehe Abbildung 2, rechts oben). Die Absorption der Ultraschallwelle durch das Objekt verfälscht das Ergebnis ebenfalls.

Diese Rekonstruktionsfehler können korrigiert werden, wenn die Geschwindigkeits- und die Absorptionsverteilungen innerhalb des untersuchten Objekts bekannt sind. Mit Hilfe der Transmissionstomographie lassen sich die Verteilungen bestimmen. Die Transmissionstomographie ist ein Standardverfahren, das bei der Röntgen-Computertomographie bereits seit langem erfolgreich angewandt wird. Man macht sich zu Nutze, dass unterschiedliche Gewebe Röntgenstrahlen unterschiedlich stark absorbieren. Die Geschwindigkeitsänderung der Strahlen ist vernachlässigbar.

Das Verfahren lässt sich auf Ultraschall übertragen. Aufgrund der differenzierten Schallgeschwindigkeiten lässt sich außer dem Bild der lokalen Absorptionen, auch ein Bild der lokalen Schallgeschwindigkeiten rekonstruieren.

2 Transmissionstomographie

Der Rekonstruktionsalgorithmus basiert auf der Auswertung der Transmissionsignale in einem A-Scan und der inversen Radon-Transformation [3]. Abbildung 1 zeigt das Signal eines Ultraschallwandlers (A-Scan). Das Transmissionssignal ist das Signal, das den Empfänger auf dem kürzesten Weg erreicht. Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass es das erste Signal in einem A-Scan ist. Mittels der inversen Radon-Transformation lassen sich anhand des Transmissionsignals zwei physikalische Objekteigenschaften rekonstruieren: die lokalen Schallgeschwindigkeiten und die lokalen Absorptionen.

Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Zeitpunkt des Auftretens des Transmissionssignals und der Entfernung zwischen Sender und Empfänger. Die Entfernung ist durch die bekannte Geometrie des Versuchsaufbaus gegeben.

Die Absorption ergibt sich aus dem Verhältnis der Amplituden der Transmissionssignale bei einer Objekt- und bei einer Leermessung.

2.1 Bestimmung des Transmissionssignals

Um die Schallgeschwindigkeit und die Absorption für einen A-Scan zu bestimmen, ist es notwendig, das Transmissionssignal zu finden. Trotz der Annahme, dass das Transmissionssignal der erste Peak in einem A-Scan ist, ist ein Schwellwertverfahren nicht ausreichend. Die Amplitude des Transmissionssignals schwankt sehr stark und lässt sich nur schwer vom Rauschen unterscheiden. Stattdessen wird eine lokale Autokovarianz-Analyse für die Frequenzen von 3 MHz durchgeführt, da die Resonanzfrequenz des Senders ca. 3 MHz beträgt. Formel 1 beschreibt das Verfahren um das Transmissionssignal zu finden.

$$lcov(i) = \sum_k x_{i+k} \cdot x_{i+k+\lambda} \quad (1)$$

i stellt den Index für das diskrete Signal x dar, λ die Wellenlänge in Samples und k den Bereich über den die lokale Autokovarianz durchgeführt wird. Das Ergebnis $lcov$ dieses Ausdrucks ist sehr klein, solange man sich am Anfang des A-Scans, also im Rauschen befindet. Sobald man auf das Transmissionssignal trifft, wächst die Summe stark an, da immer zwei Abtastwerte mit annähernd gleicher Phase multipliziert und aufaddiert werden. Auf das Ergebnis kann dann ein Schwellwertverfahren angewandt werden.

2.2 Bildrekonstruktion durch inverse Radon-Transformation

Die Bildrekonstruktion wurde in Matlab implementiert [4]. Die „Image Processing Toolbox“ stellt eine Methode zur inversen Radon-Transformation auf Basis der gefilterten Rückprojektion zur Verfügung. Diese Methode geht von parallelen und äquidistanten Strahlen durch ein Objekt aus. Der Ultraschall-Computertomograph arbeitet jedoch mit Fächerstrahlen, die von einer Kreisbahn ausgesandt werden. Es ist notwendig, einzelne Strahlen von verschiedenen Fächern zu Gruppen von parallelen Strahlen zusammenzufassen. Die somit erhaltenen parallelen Strahlen stellen eine Projektion unter dem Winkel Θ durch das Objekt dar. Für jede Projektion muss Θ bestimmt werden. Aufgrund der Ringgeometrie sind die einzelnen Strahlen in der Projektion nicht äquidistant. Mittels einer linearen Interpolation werden äquidistante Strahlen erzeugt.

3 Ergebnisse

Es wurden Ultraschalldaten von verschiedenen speziell angefertigten Objekten (sogenannten Phantomen) aufgenommen. Abbildung 2 zeigt die Rekonstruktio-

nen von einem der gemessenen Phantome. Eine Plastik-Dose wurde mit unterschiedlich konzentriertem Kontrastmittel gefüllt, das in Gelatine fixiert war. Zwischen den Schichten befanden sich dünne Trennwände.

Bei den rekonstruierten Bildern handelt es sich um qualitative Bilder. Hellere Werte bedeuten größere Absorption bzw. höhere Schallgeschwindigkeit. Beide Bilder zeigen den Umriss des rekonstruierten Phantoms, wobei im Absorptionsbild mehr Strukturen des Objekts zu erkennen sind. Der Grund dafür liegt darin, dass sich beim Übergang von Wasser zu Gelatine die Absorption wesentlich stärker ändert als die Schallgeschwindigkeit.

4 Diskussion

Anhand der Transmissionssignale von Ultraschallwellen wurden sowohl Bilder der lokalen Absorptionen als auch Bilder der lokalen Schallgeschwindigkeiten erzeugt. Für die Rekonstruktion beider Bilder werden ca. 2 Minuten benötigt (auf einem PIII 700 MHz bei ca. 100 000 A-Scans). Die Qualität der Rekonstruktionen liegt unter der mit anderen Rekonstruktionsmethoden erreichbaren Qualität (vergleiche Abbildung 2, rechts oben). Aus den vielen Informationen, die in einem A-Scan gespeichert sind, werden durch die vorgestellte Methode nur zwei ausgewertet: der Einschallzeitpunkt des Transmissionssignals und die Amplitude des Transmissionssignals. Weiterhin standen aufgrund der verwendeten Geometrie nur 45 Strahlen pro Projektion zur Verfügung. Der Abstand zwischen zwei Strahlen einer Projektion beträgt ca. 3.8 mm.

Der vorgestellte Rekonstruktionsalgorithmus ermöglicht bereits während der Messung eine Vorschau des Phantoms. Mit Hilfe der Absorptions- und Schallgeschwindigkeitsbilder können Fehler in anderen Algorithmen, die durch unterschiedliche Schalllaufzeiten entstehen, korrigiert werden.

Literatur

1. R. Stotzka, J. Würfel, and T. Müller. Medical imaging by ultrasound-computertomography. In *SPIE's Internl. Symposium Medical Imaging 2002*, pages 110 – 119, 2002.
2. R. Stotzka, T.O. Müller, K. Schlote-Holubek, T. Deck, S. Vaziri Elahi, G. Göbel, and H. Gemmeke. Aufbau eines Ultraschall-Computertomographen für die Brustkrebsdiagnostik. In *Proceedings zu BVM Workshop 2003*, Informatik Aktuell, 2003. to be published.
3. Avinash C. Kak and Malcolm Slaney. *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. IEEE Press, New York, 1987.
4. <http://www.mathworks.com/>.

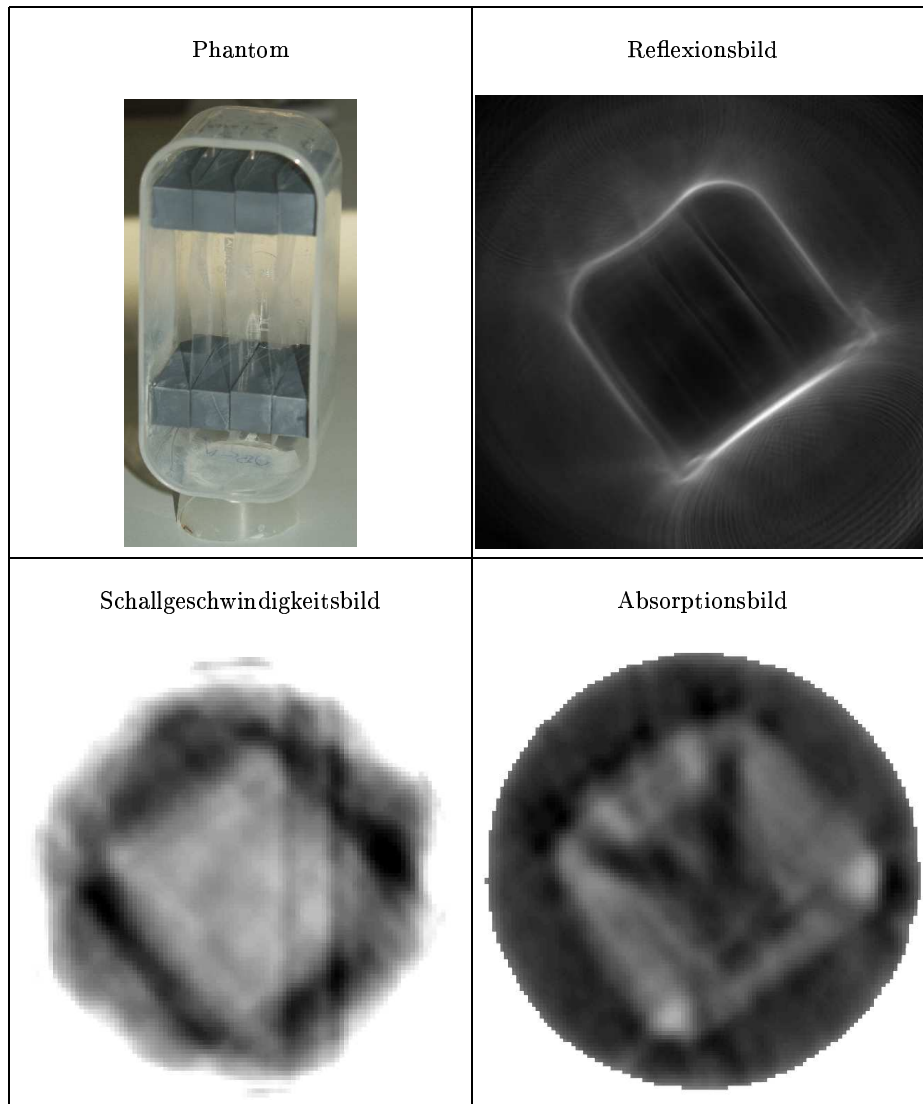


Abb. 2. *Links oben:* Das gemessene Phantom. Es besteht aus einer Plastik-Dose, die mit Gelatine gefüllt wurde (Gelatine und Deckel sind nicht abgebildet). Die Gelatine wurde mit unterschiedlichen Kontrastmittel-Konzentrationen versetzt und durch Folien voneinander getrennt.

Rechts oben: Eine Rekonstruktion anhand der Reflexions-Daten. Deutlich sind die doppelt rekonstruierten Trennwände zu sehen. Der Fehler entsteht durch unterschiedliche Schalllaufzeiten.

Links unten: Die Rekonstruktion der lokalen Schallgeschwindigkeiten in dem Phantom.

Rechts unten: Die Rekonstruktion der lokalen Absorptionskoeffizienten.