

Ultraschallwandler-Array-Systeme für die 3D Ultraschall Computertomographie

Rainer Stotzka, Tim O. Müller, Klaus Schote-Holubek
und Georg Göbel

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

Zusammenfassung. Im Forschungszentrum Karlsruhe wurde ein Demonstrator für die 2D Ultraschall Computertomographie fertiggestellt. Damit rekonstruierte Querschnitte verfügen über erheblich bessere räumliche Auflösung und höheren Kontrast als Aufnahmen konventioneller Ultraschallbildgebung. Um Untersuchungen an biologischem Gewebe zu ermöglichen, wird ein vollständiger 3D Ultraschall Computertomograph benötigt. Dazu wurden Ultraschallwandler-Array-Systeme bestehend aus strukturierten Piezokeramiken mit jeweils 8 Sende- und 32 Empfangselementen entworfen. Durch die automatische Fertigung können die Arrays reproduzierbar und preiswert aufgebaut werden. Im Gehäuse sind die Ansteuer- und Empfangselektronik integriert.

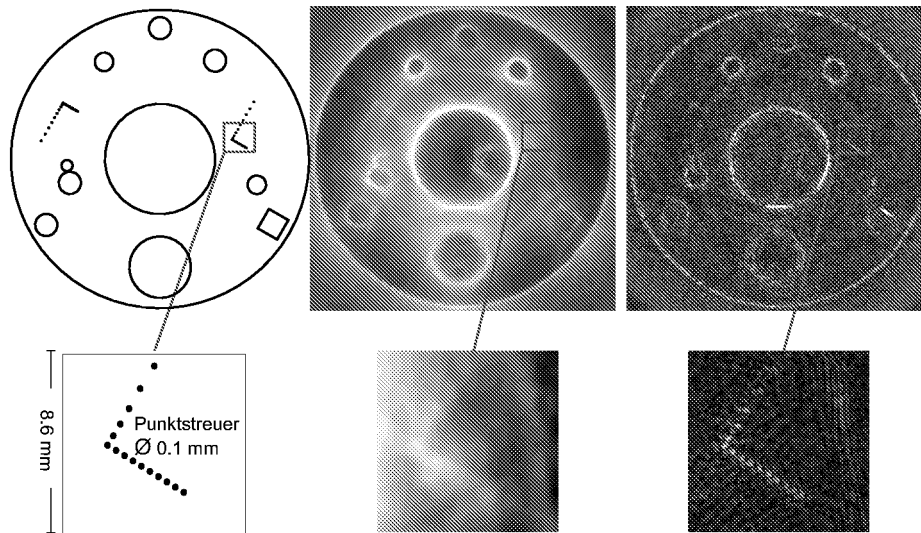
1 Problemstellung

In der medizinischen Bildgebung ist Ultraschall eines der am häufigsten eingesetzten bildgebenden Verfahren [1]. In der Brustkrebsdiagnose liefert Ultraschall wichtige diagnostische Informationen über Gewebeveränderungen der Brustdrüse. Ohne das Gewebe zu schädigen, kann Ultraschall auch bei jungen Frauen häufig eingesetzt werden. Nachteile der konventionellen Ultraschalldiagnostik liegen in den stark verrauschten Bildern mit geringer räumlicher Auflösung (> 1 mm), die dem untersuchenden Arzt einen großen Interpretationsspielraum lassen. Darüber hinaus wird der Schallkopf von Hand geführt und deformiert dabei das Gewebe, so dass der Ort einer Läsion aufgrund der Bildinformation nicht eindeutig bestimmbar ist. Eine automatische Fusion der Bilder mit anderen bildgebenden Modalitäten wie z.B. MR- oder Röntgen-Mammographie und eine gemeinsame computergestützte Auswertung ist nicht möglich.

2 Ultraschall Computertomographie

Die Ultraschall Computertomographie [2,3] ist ein neues bildgebendes Ultraschall-Verfahren, mit dem die Aufnahme von Volumenbildern mit wesentlich gesteigerter räumlicher Auflösung und höherem Gewebekontrast möglich wird. Das abzubildende Volumen, z.B. die weibliche Brust, befindet sich im Zentrum eines zylindrischen Arrays von Ultraschall-Wandlern. Ein Wandler sendet

Abb. 1. Ultraschall-Phantom und rekonstruierte Bilder. Links: Skizze des Ultraschallphantoms mit Ausschnittsvergrößerung. Der Durchmesser des Phantoms beträgt 8.5 mm. Die kleinsten Strukturen sind Nylonfäden mit einem Durchmesser von jeweils 0.1 mm und einem Abstand von 0.5 mm. Mitte: USCT-Bildrekonstruktion unter Verwendung der Amplitudeninformationen der aufgenommenen Ultraschallsignale. Rechts: USCT-Bildrekonstruktion unter Verwendung der Amplituden- und Phaseninformationen. Die Nylonfäden können klar trennbar abgebildet werden.



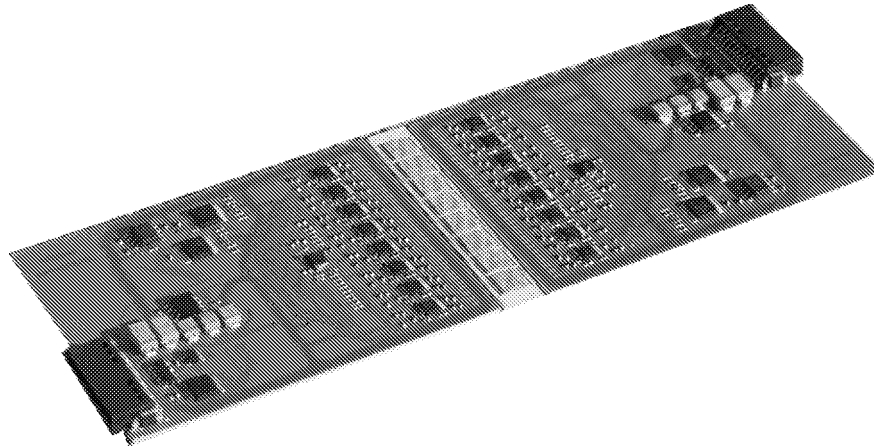
ein Ultraschallsignal mit kugelförmiger Schallkeule in das Volumen, alle anderen Wandler zeichnen simultan alle Transmissions-, Reflexions- und Streu-Signale auf. Diese Prozedur wird für alle anderen Wandler wiederholt.

Im Forschungszentrum Karlsruhe wurde ein Versuchsaufbau fertiggestellt, mit dem die Funktionsweise des Verfahrens nachgewiesen werden konnte. Der Aufbau besteht aus einem wassergefüllten Topf mit zwei Ultraschallwandler-Arrays (3 MHz) mit jeweils 16 Elementen, der zugehörigen Sende- und Empfangselektronik und einem Computer zur Datenaufnahme und Bildrekonstruktion. Die Wandler sind auf einem Ring beweglich angeordnet, so dass sukzessive ein vollständiges Ring-Array mit 100 Sende- und 1440 Empfangspositionen simuliert werden kann. Mit den derart aufgenommenen Daten können zweidimensionale Querschnitte durch das zu untersuchende Volumen rekonstruiert werden. In den rekonstruierten Bildern sind Strukturen der Größe 0.1 mm noch deutlich zu erkennen (Abb. 1).

3 Die Ultraschallwandler-Array-Systeme

Zur Untersuchung von biologischem Gewebe ist der Versuchsaufbau aufgrund der sequentiellen Datenaufnahme und den damit verbundenen Aufnahmezeiten

Abb. 2. Innenansicht eines Ultraschallwandler-Array-Systems. Mit unserem neu entwickelten Fertigungsverfahren ist es möglich, Ultraschallwandler kostengünstig und mit reproduzierbarer Charakteristik herzustellen. Bei der Methode werden die Piezoelemente zuerst maschinell strukturiert und kontaktiert. Im nächsten Schritt wird die zuvor bestückte Sende- und Empfangselektronik zu beiden Seiten der Piezoelemente angeordnet. Die Ansteuerelektronik und die strukturierten Piezoelemente werden elektrisch miteinander verbunden. Zuletzt wird das Sensorsystem zusammengeklappt und wasserdicht versiegelt.



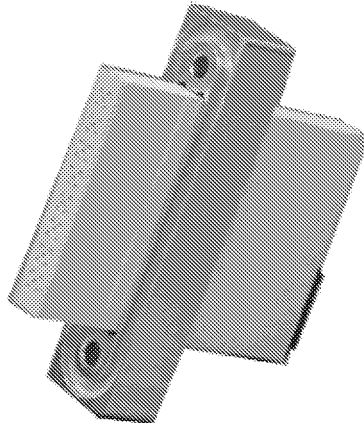
von ca. 12 Stunden nicht geeignet. Deswegen ist ein erweiterter Aufbau in 3D mit mehreren Tausend Wandlern und paralleler Datenaufnahme nötig. Hohe Anforderungen werden dabei an die Ultraschallwandler gestellt:

- Frequenz 2-3 MHz
- Bandbreite ca. 50 %
- Schallkeule idealerweise kugelförmig, Öffnungswinkel mind. 30 Grad
- gutes Signal-Rausch-Verhältnis
- hohe Reproduzierbarkeit
- preiswert

Geeignete kommerzielle Ultraschallwandler-Arrays für diesen Versuchsaufbau sind nur schwer erhältlich und mit hohen Kosten verbunden (ca. 1000 EUR/Stück, 16 Wandler pro Array).

Im Forschungszentrum Karlsruhe haben wir daher Ultraschallwandler-Array-Systeme mit integrierter Ansteuer- und Verstärker-Elektronik für die Ultraschall Computertomographie (Abb. 2) entwickelt und gefertigt [4]. Der Aufbau der Wandler ist so gewählt, dass die Fertigung mit der im Forschungszentrum Karlsruhe existierenden Aufbau- und Verbindungstechnik größtenteils maschinell und automatisch durchgeführt werden kann. Damit wird eine hohe Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit der Wandler-Systeme gewährleistet.

Ein Wandler-Array besteht aus einer zu einem Composite strukturierten Piezokeramik mit jeweils 8 Sende- und 32 Empfangselementen. Jedes Element hat

Abb. 3. Einbaufertiges Ultraschallwandler-Array-System.

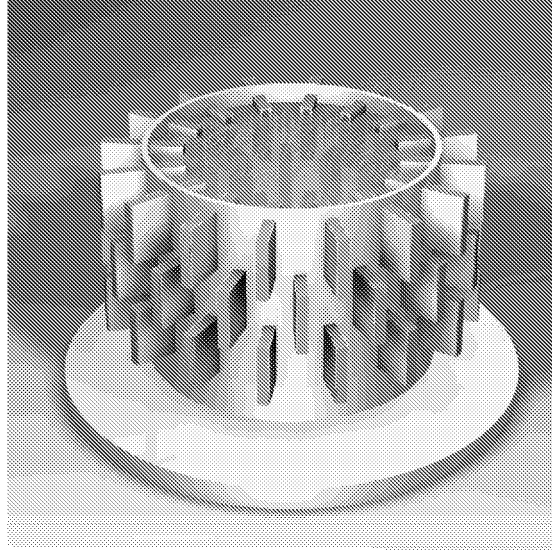
eine Wandlerfläche von $1.4 \times 1.4 \text{ mm}^2$, eine Resonanzfrequenz von 2.8 MHz und eine Schallkeule mit einem Öffnungswinkel von ca. 35 Grad. Im Wandler-Gehäuse ist für jeden Kanal eine Verstärkerelektronik integriert, um die Zuleitungen zu den Wandlern so kurz wie möglich zu halten. Die Sende- und Empfangselemente sind getrennt adressierbar. Für jedes Sendeelement kann eine beliebige Signalform durch Coded Excitation erzeugt werden.

4 Zukünftige Arbeiten: Ultraschall Computertomographie in 3D

Mit den entwickelten Ultraschallwandler-Array-Systemen wird im Forschungszentrum Karlsruhe ein neuer 3D Ultraschall Computertomograph aufgebaut (Abb. 3 und 4). 48 Wandler-Systeme mit insgesamt 1920 Elementen werden auf einem Zylinder mit einem Durchmesser von 24 cm angeordnet. Das Array kann in 6 Stufen durch einen Motor gedreht werden, um die Lücken zwischen den Wandlern zu füllen. Somit erhält man insgesamt 2304 Sende- und 9216 Empfangspositionen. Die Datenaufnahme erfolgt durch eine DAQ-Elektronik mit insgesamt 192 parallelen Kanälen. In jedem Kanal werden die Ultraschall-Signale analog verstärkt und gefiltert und mit einer Abtastfrequenz von 10 MHz bei einer Auflösung von 12 Bit digitalisiert. Die Weiterverarbeitung und Speicherung erfolgt durch FPGAs, in denen später auch eine komplexere digitale Signalverarbeitung implementiert werden kann. Auf einem Standard-PC werden anschließend die Volumendaten rekonstruiert.

Auf der Messe „Produktionika 2003“ haben wir im November 2003 die ersten Wandler-Systeme sowie Teile der Datenakquisitionshardware vorgestellt.

Abb. 4. Zentrale Komponente des Ultraschall Computertomographen für die dreidimensionale Bildgebung mit 48 Ultraschallwandler-Array-Systemen.



Literaturverzeichnis

1. Bannasch P: Cancer Dianosis. Early Detection. Springer, 1992.
2. Stotzka R, Müller TO, Schlote-Holubek K, et al.: Aufbau eines Ultraschall Computertomographen für die Brustkrebsdiagnostik. Procs BVM 2003:438–442, 2003.
3. Stotzka R, Würfel J, Müller T: Medical Imaging by Ultrasound-Computertomography SPIE's Internl. Symposium Medical Imaging 2002: 110–119, 2002.
4. Stotzka R, Göbel G, Schlote-Holubek K: Development of transducer arrays for ultrasound-computertomography. SPIE's Internl. Symposium Medical Imaging 2003:513–520, 2003.