

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760318

研究課題名(和文)パルス圧縮技術を用いた高精細な医用超音波画像のリアルタイム画像化法の開発

研究課題名(英文)Development of high-quality and realtime medical ultrasound imaging method using pulse compression technique

研究代表者

田邊 将之(TANABE, Masayuki)

熊本大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：00613374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、医用超音波画像の高精細化を目指し、パルス圧縮技術と生体高調波画像化法を組み合わせる際に分離統合法を適用することで、それまで問題とされていた時間領域および周波数領域の制限を克服する手法を提案した。フェイズドアレイを用いた超音波送受信において分離統合法の有効性をシミュレーションにより検討した。また、高調波と基本波の位相差を考慮することでより高精細な画像化が可能であることを示唆する結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study's objective is to improve medical ultrasound images. A method which uses split-and-merge strategy pulse compression technique and tissue harmonic imaging method was proposed. The method can overcome limitations of time and frequency domains. I investigated the feasibility of the method using the linear array transducer. Furthermore, the obtained results suggest that it can improve image quality by considering the phase difference between the harmonic and the fundamental components.

研究分野：医用超音波

キーワード：医用超音波 信号処理 超音波 画像

1. 研究開始当初の背景

日本は現在、乳がんが原因で年間1万人以上の方が亡くなっている。また、医療費総額は1750億円にものぼり、先進国の中でも唯一乳がんの罹患率と死亡率が上昇している国である。その一方で、乳がんは早期の段階で発見し治療を行うことで予後が大幅に向上する(図1)だけでなく、標準治療による総医療費を比較すると早期と進行では5.4倍の差がある(平成22年厚生労働省社会医療診療行為別調査)。

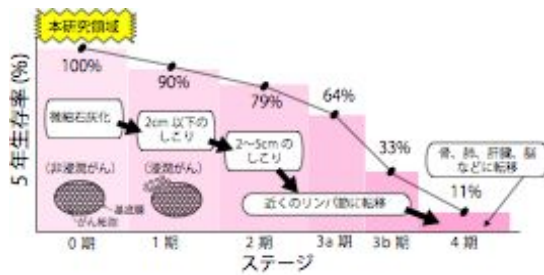


図1

現在乳がん検診で用いられている検査手法のひとつである超音波画像診断は、非侵襲なため生体への負担を最小限に抑えることが可能であり、スクリーニングや生検時のサポートなど幅広く使用されている。しかし現状の超音波画像診断では、SNR (signal-to-noise ratio) および空間分解能の限界が及ぼす視認性の観点から、0期の非浸潤がんが疑われる微細石灰化を検出するには不十分であり、この問題を解決する要素技術の登場が待たれている。

これまで超音波画像の高精細化を目指す研究が活発に行われている。その一つに「パルス圧縮技術」(Coded Excitation, 以下CE)がある。通常用いられるパルス照射では、SNRを上げるには信号長を長くするか信号強度を上げる必要があるが、信号長を長くすると空間分解能が低下し画像が劣化する。また、強い振幅の音圧照射は生体へ悪影響があるため、厳しく制限されている。一方CEは、低い振幅かつ信号長の長い符号化信号を照射しエコーを圧縮することで、空間分解能を維持したままSNRを向上させることが可能となる。

また、生体組織を伝搬する際に生じた歪み成分である高調波を用いた「生体高調波画像化法」(Tissue Harmonic Imaging: 以下THI)は、方位分解能およびコントラスト分解能が向上する。その有用性から、現在では市販の超音波診断検査の多くに搭載されている。さらに、CEとTHIを単純に組み合わせた手法も提案されており、これにより上記に加え距離分解能も向上することが可能となった。

しかし、CEにおいて十分なSNRを得るには信号長を長くする必要があるが、送信信号と微弱なエコー信号の時間領域における重なりが発生し(図2)、近距離の画像化を困難にする。これを回避するには信号長を短

くする必要があるため、SNRの向上率が制限される。またTHIではエコー信号中の基本波と微弱な高調波の周波数領域における重なりが発生し(図2)、高調波成分を抽出することが不可能になる。この問題を回避するために送信信号の周波数帯域を制限する必要があるため、距離分解能が低下する。このように、CEとTHIを単純に組み合わせた手法ではSNRと分解能の両方が制限を受けるため、効果的な画像化手法とは言えなかった。

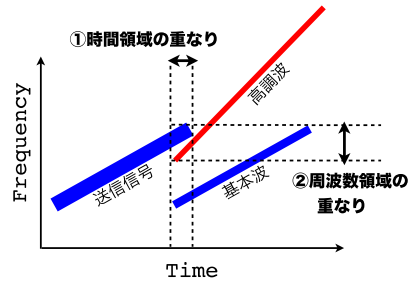


図2

これらの問題を同時に解決する方法として、当該研究者はチャープ信号を複数に時分割して送信し、得られた複数のエコーの高調波成分のみ抽出しベクトル相関により圧縮処理を行う「分離統合法」を提案した。この手法を用いることで送信信号の信号長および周波数帯域幅に課せられる制限が大幅に緩和され、高SNRで高空間分解能なエコー信号を得ることが可能となる(図3)。

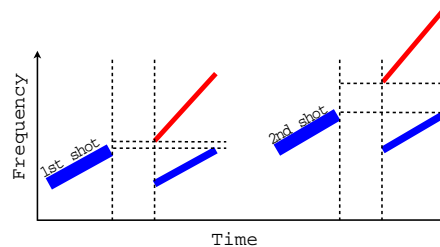


図3

しかし、当初の分離統合法は単板振動子を機械的に走査しながら時分割信号をトリガー毎に別々に送信することを想定していたため、乳腺超音波機器に分離統合法を導入するには、フレームレートが低下するという問題が残されている。またリニアアレイ振動子で信号長の長いチャープを照射すると、チャープの位相が乱れるという問題がある。

2. 研究の目的

(1) 分離統合法を適用したCE&THIのリアルタイムBモード画像化手法を開発することで、高調波を高SNRで取得し、超音波画像の高精細化を実現する。

(2) 得られた高精細画像および高SNRな高調波の位相情報を組み合わせて用いることで、高精度な組織性状の評価方法の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) リニアアレイ振動子を用いたパルスによる画像化手法として、複数の振動子から時間差を与えて音波を送信することで特定の方向に伝搬させ特定の深さにフォーカスさせる「フェイズドアレイ法」や、複数の振動子で受信したエコー信号を解析し高分解能な画像を生成する「開口合成法」などが存在する。本研究では、フェイズドアレイを用いた超音波送受信において時分割チャープ法を通常のチャープ信号と比較することで分割法の有効性を検討する。

(2) 大腸における超音波画像の解析を行い、停滞する便およびガスの定量的な評価を試みる。前処理として、それぞれの画像から大腸内部領域を解析対象として切り出した。ガスによる多重反射の有無を調べるために、スペクルノイズを除去しつつエッジ抽出を行うためにバンドパスフィルタ処理を施し、深さ方向に対して各ラインで自己相関関数を求める。さらに、元画像にハイパスフィルタ処理を施した画像において輝度値の総和を求め、関心領域における輝度変化の量を比較する。

(3) 中心周波数 10 MHz、開口 6.35 mm、焦点距離 25.4 mm の単板振動子を用い、周波数を 8.5 ~11.5 MHz の範囲で変えながら信号長 10 μ s の正弦波の超音波を水中に照射し、焦点近傍で透過波を受信する。得られた信号を基本波成分と第二高調波成分に分離し、それぞれを直交検波して I/Q 成分に変換した後、位相成分を求める。その後第二高調波成分の位相を半分にした値と基本波成分の位相の差分を算出する。

(4) PVA 濃度 7% のファントムに深さ 25 mm の筒所にガラスビーズを内包し、超音波診断装置を用いて血流計測を目的とする CF モードで観察する。その際、外乱による影響を調べるため、プローブはステージで固定し、ファントムを超音波診断装置と同じ机の上に置いた場合と机から離れた椅子の上にクッションを置き、その上にファントムを置いた場合で実験を行う。PRF を 0.3 kHz から 3.9 kHz まで変化させながら、ビーズのエコーの I/Q 信号を取得する。そして、エコーの振幅の任意の点の定点観察を行い、パケット間の変化、及び周波数解析を行う。

4. 研究成果

(1) フェイズドアレイにおける時分割チャープの有効性

周波数 7-13 MHz、時間長 32 μ s のチャープ信号を 7 つに時分割したチャープと時分割しないチャープで比較を行った(図 4)。ピーク部に着目すると、時分割チャープ法では減少の仕方が急であり、ピークが細い。パルスを圧縮してピーク部分に集中させること

自体には成功していると考えられる。しかし、周期的にノイズが発生しており、しかもその強度は従来法のフロアノイズよりも大きいという問題が残った。原因はそれぞれの分割波形の両端の窓部分の不整合であると考えられる。この問題を回避する対策として、個別のチャープ信号に掛け合わせる窓を工夫することや復号化に用いるフィルタの最適化が挙げられる。

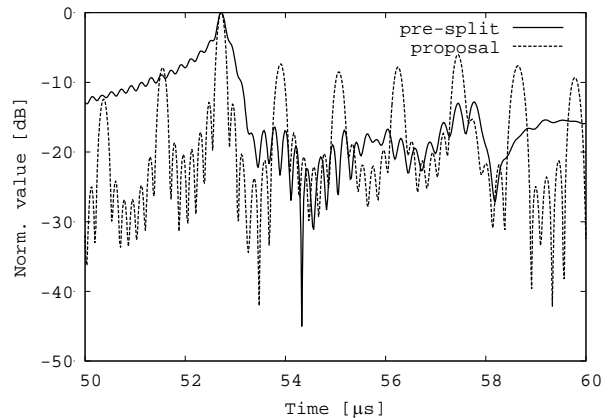


図 4

(2) 超音波画像を用いた特徴量抽出および性状の自動判定

大腸における超音波画像の解析を行い、停滞する便およびガスの定量的な評価を試みた結果、超音波画像での大腸内に停滞する便の硬さやガスについての定量的評価が可能であることが示唆された。

(3) 基本波と高調波の位相ずれ

非生体実験を行った結果、位相差が周波数に依存しており、チャープ信号を用いた THI を行う際に位相差を考慮することでより高精細な画像化が可能であることを示唆する結果が得られた(図 5)。

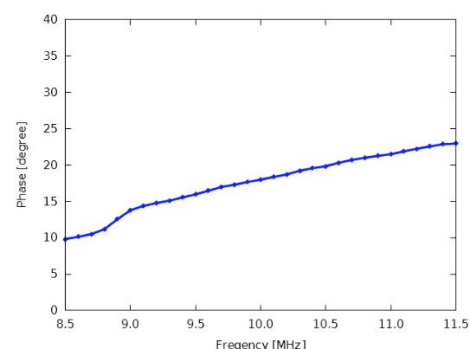


図 5

(4) 微細石灰化の検出

軟組織中に内包された微細石灰化からのエコー信号は、微細石灰化の表面を伝わる表面波が発生することによって信号長が長くなることをシミュレーションで示した。また、環境外乱を制御することによってエコー信号のゆらぎが抑制されることを実験的に示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

M. Tanabe, L. Liu, N. Tagawa, M. Nishimoto, "Fundamental Study of Numerical Simulation of Ultrasound Wave Propagation in Microcalcification for Analysis of Twinkling Sign", Acoustical Science and Technology, 査読有, Vol.36(2), pp.164-166, 2015
DOI: 10.1250/ast.36.164

M. Tanabe, Y. Naito, M. Nishimoto, L. Liu, "Effect of Pulse Repetition Frequency on Microcalcification Detection in Color Flow Imaging", Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 53, pp. 07KF15-1-07KF15-5, 2014
DOI:10.7567/JJAP.53.07KF15

〔学会発表〕(計11件)

田邊将之, 田代康太, 門園貴久, 西本昌彦, 大久保寛, 田川憲男, "基本波と高調波の振幅位相特性を考慮した超音波画像のSNR改善手法の検討", 第35回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 東京, 2014年12月5日

田村穂高, 田邊将之, 西本昌彦, "時分割チャープ信号を用いたパルス圧縮による超音波画像の劣化評価", 第35回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 東京, 2014年12月5日

内藤優, 田邊将之, 橋本浩, 島崎正, 地挽隆夫, 西本昌彦, "CFモードにおける微細石灰化検出に対するPRFの影響(第2報)", 第35回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 東京, 2014年12月5日

田邊将之, 藪中幸一, 松尾淳子, 瀧井道明, 原明子, "大腸内容物の定量評価を目的とした超音波画像解析の初期検討", 日本放射線技術学会第70回総合学術大会, 179, 横浜, 2014年4月11日

松尾淳子, 田邊将之, 藪中幸一, 瀧井道明, 原明子, "超音波画像を用いた高齢者の便秘状態の定量的評価方法", 日本放射線技術学会第70回総合学術大会, 180, 横浜2014年4月11日

Masayuki Tanabe, Eiji Tagomori, Lei Liu, Kenichi Funamoto, Masahiko Nishimoto, Toshiyuki Hayase, "Numerical Simulation of Ultrasound Imaging for Detection of Microcalcification in Soft Tissue", The Thirteenth International Symposium on Advanced Fluid Information, Sendai, 2013年11月26日.

田邊将之, 内藤優, 西本昌彦, 劉磊, "CFモードにおける微細石灰化検出に対するPRFの影響", 第34回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 京都, 2013年11月22日

田邊将之, 西本昌彦, 劉磊, "Twinkling Signを応用した微細石灰化検出法の非生体実験による検討", 日本超音波医学会第85回学術集会, 86-基-035, 大阪, 2013年5月24日

劉磊, 田邊将之, 船本健一, 早瀬敏幸, "軟組織内微細石灰化 Twinkling Sign に関する実験的研究: 粒子径, 粒子種類が与える影響", 日本超音波医学会第86回学術集会, 86-奨-基7, 大阪, 2013年5月24日

田邊将之, 田村穂高, 西本昌彦, 劉磊, 小笠原正文, "Twinkling Sign"を利用した軟組織中における微細石灰化検出法の基礎的検討", 第33回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 千葉, 2012年11月13日

田邊将之, 劉磊, 田川憲男, 西本昌彦, 小笠原正文, "Twinkling Sign"を応用した微細石灰化検出法のシミュレーションによる検討", 日本超音波医学会第85回学術集会, 85-基-052, 東京, 2012年5月26日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

田邊将之(TANABE, Masayuki)
熊本大学・大学院自然科学研究科
研究者番号:00613374