

生体内散乱体からの超音波信号の解析による
断層像間のスライス方向距離推定に関する研究

鈴木 淳弘

指導教員：金井 浩， 研究指導教員：長谷川 英之

A Study on Estimation of Elevational Distance between Image Planes
by Analysis of Ultrasonic Echoes from Point Scatterers in an Object

Atsuhiko Suzuki

Supervisor: Hiroshi KANAI, Research Advisor: Hideyuki HASEGAWA

There are two approaches to three-dimensional image reconstruction using a 1-D array ultrasonic transducer: mechanical linear scanning and free-hand scanning. Mechanical scanning employs a motorized mechanism to translate the transducer linearly. However, the large size of the scanning system makes it inconvenient to use. In free-hand scanning, a sensor (e.g., electromagnetic or optical) is attached to the ultrasonic transducer to measure the position and orientation of the transducer. These techniques are sensitive to the usage environment. To overcome these problems, we proposed a sensorless free-hand method using the phase shift between ultrasonic RF echoes. In this study, we measured the transmit-receive directivity of a linear-array transducer using a silicone phantom and we estimated the elevational distance and relative position between two 2-D US images using the phase shift. Root mean squared error of $49.9 \mu\text{m}$, which was less than that of the previous method, could be achieved by the proposed method.

1. はじめに

1次元アレイ超音波プローブを用いた3次元表示技術には、メカニカル走査、フリーハンド走査などの手法が用いられる。メカニカル走査は機械によりプローブを移動させ、得られた2次元Bモード像を等間隔(例えば $200 \mu\text{m}^1$)で並べる方法である。この手法は、装置自体が大きいこと、走査に制限があることが問題となる。フリーハンド走査は、磁場や光による位置センサを用いてプローブを自由に走査する手法である。しかし、磁場や光を用いる都合上、測定環境に制限が生じてしまうことが問題となる¹⁾²⁾。本研究では、機械走査系や位置センサを用いない3次元構築法の確立を目的としており、受信された超音波RF信号の位相差情報を用いて、スライス方向の異なる2断面間の位置関係を推定する手法を提案する。

2. スライス方向距離推定の原理

超音波ビーム幅内(1 mm程度)でプローブ移動を行えば、図1(a)に示すように同一の散乱体からの信号を異なるプローブ位置で受信できる。そこで、図1に示すように、スライス方向(y方向)と深さ方向(z方向)に超音波プローブが移動し、第nフレーム目のビーム鉛直下に散乱体A, Bが存在すると仮定した上でモデルを設計する。

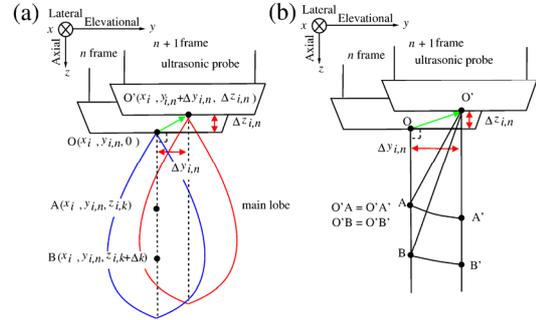


図1 (a) プローブ走査方向と散乱体位置の定義。
(b) ビーム幅内に含まれる散乱体に対する送受信。

このモデル上では、三平方の定理を用いることができ、以下のように幾何的にスライス方向移動距離 $\Delta \hat{y}_{i,n}$ と深さ方向移動距離 $\Delta \hat{z}_{i,n}$ を推定できる。

$$\Delta \hat{y}_{i,n} = \sqrt{(OA + \hat{u}_{z,A})^2 - (OA + \Delta \hat{z}_{i,n})^2} \quad (1)$$

$$\Delta \hat{z}_{i,n} = \frac{((OB + \hat{u}_{z,B})^2 - (OA + \hat{u}_{z,A})^2) - (OB^2 - OA^2)}{2(OB - OA)} \quad (2)$$

ここで、 $\hat{u}_{z,A}$, $\hat{u}_{z,B}$ は散乱体 A, B までの伝搬距離の変化に伴う標本点以下の変位 ($O'A - OA$, $O'B - OB$) である。この標本点以下の変位を受信 RF 信号のクロススペクトルの位相項³⁾ $\Delta \theta$, 中心周波数 f_0 , 音速 c_0 を用いることで推定する⁴⁾。

$$\hat{u}_{z,A}(i) = \frac{c_0}{4\pi f_0} \Delta\theta(f_0; x_i, y_{i,n}, z_{i,k}) \quad (3)$$

さらに、複数点で推定されたスライス方向移動量を用いて隣り合う2枚の画像の位置関係を固有値展開³⁾を用いて推定した。

3. 散乱体を多数含むシリコンを用いた水槽実験

超音波診断装置(Aloka, SSD-6500)を使用し、中心周波数 $f_0 = 10$ MHzのリニアプローブを用いて、間隔0.1 mmで181点に超音波ビームを走査し、超音波パルスの送受信を行った。散乱体を多数含むシリコンに対し、超音波の送受信を行い、自動ステージにより、シリコンをスライス方向(y方向)に20 μm 移動する毎に(移動速度 1200 $\mu\text{m}/\text{s} \div$ フレームレート FR = 60 Hz)送受信を行った。41本のビームにおいてスライス方向移動距離を推定し、平均値、標準偏差で示した。

スライス方向距離推定結果を図2(a)に示す。図中の青線は自動ステージにより入力したスライス方向移動距離(精度1 μm)である。代表的なフレーム間のスライス方向移動量(200 μm)までは推定値の平均値が真値とよく対応している。

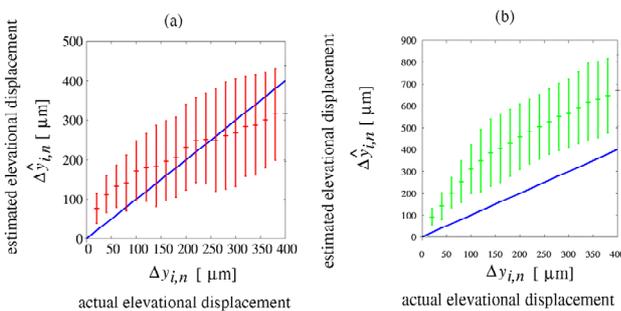


図2 (a) シリコン RF 信号を用いたスライス方向距離推定結果. (b) ヒト頸動脈 RF 信号を用いたスライス方向距離推定結果.

図3(a)には、複数点に関心領域を設定し、それぞれのスライス方向距離推定値を用いて、隣り合う2枚の画像の位置関係を推定した結果を示す。

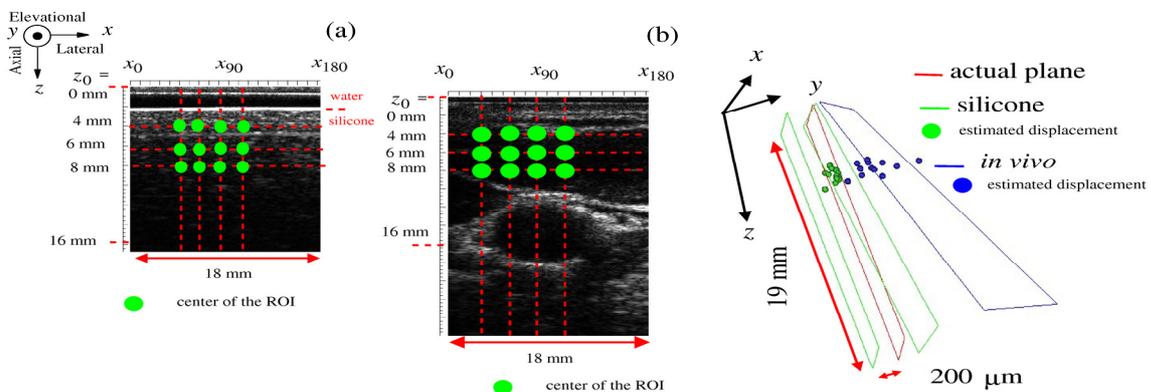


図3 (a) B モード像と設定した関心領域位置. (b) 隣り合う2枚の B モード断層像の位置関係推定結果.

設定した関心領域の深さが深い程(OA, OB が大きい程), スライス方向推定移動距離が真値よりも大きく推定された。これは、同じスライス方向移動距離であっても、関心領域の深さが深い程(OA, OB が大きい程), 伝搬距離差に伴う標本点以下の変位(O'A-OA, O'B-OB)が小さくなり、位相差による推定が困難になったためと考えられる。

4. ヒト頸動脈における *in vivo* 実験

水槽実験と同じ条件で、ヒト頸動脈からの受信 RF 信号に対してスライス方向移動距離を推定した。関心領域は血管の拍動の影響を受けにくいプローブから近い領域を選んだ。推定結果を図2(b)と図3(b)に示す。水槽実験と異なり、純粋なスライス方向走査が行えない点や散乱体サイズが均一でないことなどの問題点があるが、モデルで仮定した条件を満足する散乱体を選択するなど、今後改善を行う必要がある。

5. まとめ

本研究では、位置センサを用いないフリーハンド走査法を目指し、散乱体を多数含んだシリコンとヒト頸動脈に対して超音波の送受信を行い、スライス方向にのみ機械走査を行った場合のスライス方向距離を推定した。本手法のように、受信超音波 RF 信号の位相差情報を用いることで、2次元超音波断層像間の相対的な位置関係を推定できる可能性を示した。

文献

- 1) A. Fenster, G. Parraga, B. Chiu and A. Landry, Artech House Pub. (2008) 67.
- 2) A. Fenster, K. Surry, W. Smith, J. Gill and B. Downey Comp. & Graph. 26 (2002) 557.
- 3) 金井 浩, コロナ社 (2004) 74.
- 4) H. Kanai, M. Sato, Y. Koiwa and N. Chubachi IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contrl., 44 (1996) 793.