

超音波短パルスを用いた可逆変換による 高速イメージングの実験的検討

An Experimental Study on a Fast Imaging Method with Reversible Transform for Ultrasonic Short Pulse

阪本 卓也
Takuya Sakamoto

木村 智樹
Tomoki Kimura

瀧 宏文
Hirofumi Taki

佐藤 亨
Toru Sato

京都大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

1 はじめに

医用超音波イメージング技術はその画質と実時間性の双方が要求される。近年、近距離の明瞭な境界を可逆変換を用いて高速にイメージングする手法である SEABED 法が開発され、その有効性が明らかになっている [1]。SEABED 法は元来 UWB (超広帯域) 電磁波を用いたレーダシステムを想定した手法であり、超音波システムへの応用はこれまでに検討されていない。本稿では医療用超音波エコーへの応用を想定し、超音波送受信装置を用いて SEABED 法による高速イメージング技術の特性を実験的に検討する。

2 システムモデルおよび SEABED 法

本稿では固定した送信用トランスデューサおよび走査用ポジションナに取り付けられた受信素子ニードルハイドロフォンを用いたバイスタティックソナーシステムを想定する。xyz 空間内の $z = 0$ 平面上の 2 次元イメージングを扱い、受信素子は x 軸上を走査し、目標は y の正方向に設置する。送信位置を $(0, 0, 0)$ 、受信位置を $(2X, 0, 0)$ とし、受信位置での受信信号を $s(X, Y)$ とする。但し、 Y は遅延時間 t 及び波の伝搬速度 c を用いて $Y = ct/2$ と定義し、 c は一定かつ既知とする。 $s(X, Y)$ の等位相曲線を疑似波面と呼ぶ。目標形状が明瞭な境界を有する場合には疑似波面 (X, Y) と目標形状 (x, y) の間には次式の逆改訂境界散乱変換の関係があり [2]、この変換により目標形状を高速に推定することができる。ただし $\dot{Y} = dY/dX$ である。

$$x = \frac{(X^2 + Y^2)\dot{Y} - 2XY}{X\dot{Y} - Y} \quad (1)$$

$$y = \left| \frac{Y^2 - X^2}{Y - XY} \right| \sqrt{1 - \dot{Y}^2} \quad (2)$$

3 実験による超音波短パルス散乱波の測定

測定には 2mm 厚のステンレス平板を水中に設置し、トランスデューサおよびニードルハイドロフォンを目標から 150mm の位置に設置した。送信波形は 10MHz の正弦波の 1 周期を 100 μ s の矩形波で変調したモノサイクルパルスを生成し、増幅器により尖頭電力約 8.0W としてトランスデューサに入力する。散乱波をニードルハイドロフォンで受信し、低雑音増幅器を通してデジタルオシロスコープにて波形を取得する。ニードルハイドロフォンはポジションナに取付け、55mm の範囲を 2.5mm

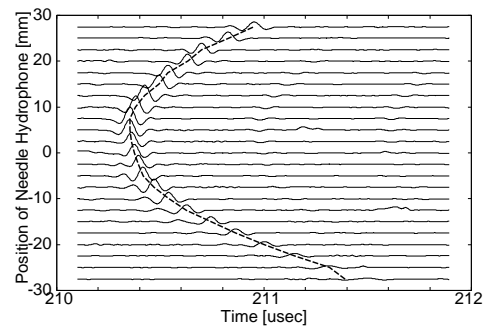


図 1 各受信位置で測定された信号および推定疑似波面

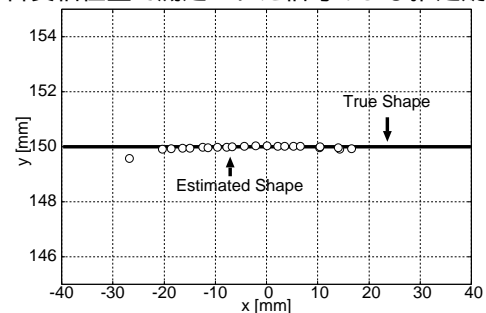


図 2 超音波短パルスによる SEABED 法推定形状

間隔で走査し、23 点のそれぞれの位置にて波形を取得する。ただし、素子配置上の理由により受信点走査直線は前節で仮定した x 軸上でなく、 $z = 20\text{mm}$ の x 方向とし、モデルの差異による遅延時間の差は測定後に補正する。図 1 に各受信位置で測定された信号を示す。同図の破線は推定される疑似波面であり、受信信号のピーク点を接続することで得られる。疑似波面に逆改訂境界散乱変換を適用して推定される形状を図 2 に丸印で示す。同図の太実線は真の目標形状である。推定点全体の真の形状からの誤差 RMS 値は $99.8\mu\text{m}$ となる。両端の低 S/N 信号からの推定点 6 点を除くと約 25mm の範囲内で RMS 値 $33.9\mu\text{m}$ の精度で平板の平坦性が推定された。本稿では均質媒質を仮定したが、今後は体内の不均質性を考慮に入れた画像化法の開発が必要である。

参考文献

- [1] T. Sakamoto and T. Sato, IEICE Trans. on Commun. vol. E87-B, no. 5, pp. 1357–1365, 2004.
- [2] T. Sakamoto and T. Sato, Proc. IEEE AP-S Intl. Symposium, 113.8, 2007.