

適応平滑化処理を用いた 超音波高解像度イメージングの実験的検討

Experimental Study of High-Resolution Ultrasound Imaging Algorithm with Adaptive Smoothing Techniques

佐保 賢志 木村 智樹 木寺 正平 瀧 宏文 阪本 卓也 佐藤 亨
Kenshi Saho Tomoki Kimura Shouhei Kidera Hirofumi Taki Takuya Sakamoto Toru Sato

京都大学情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

1 はじめに

製品検査への応用が期待される超音波イメージングでは高解像度と実時間性の双方が要求される。近年、近距離レーダ画像化手法である SEABED 法及び Envelope 法が開発され、実時間処理での高解像度イメージングが実証されている [1]。これらは原理的に超音波イメージングにも応用可能であり、我々は既に SEABED 法による高速超音波イメージングを実験検証により確認している [2]。本稿では SEABED 法よりも雑音耐性の高い Envelope 法と適応平滑化処理 [3] を併用することにより μm の画像化精度が実現可能であること [4] を実データを用いて示す。

2 システムモデル及びイメージング法

本稿では送受信素子間の距離 $2d$ を一定とし、 $z = 0$ 平面上を走査するバイスタティックソナーシステムを想定する。目標は明瞭な境界を有する凸形状物体とする。送信位置 $(X - d, Y, 0)$ 、受信位置 $(X + d, Y, 0)$ における受信信号を $s(X, Y, Z)$ とする。但し、 $Z = vt/2$ 、 t は時間、 v は波の伝搬速度である。 $s(X, Y, Z)$ のピークを求め、 (X, Y, Z) で構成される曲面を擬似波面と呼ぶ。

バイスタティックシステムにおける Envelope 法では、任意の凸形状境界が送受信位置を焦点とする楕円体の外包絡面に一致することを利用し、各 x, y に対して目標境界 z を次式で得る。

$$z(x, y) = \max_{(X, Y)} \sqrt{Z^2 - d^2 - (y - Y)^2 - \frac{(Z^2 - d^2)(x - X)^2}{Z^2}}. \quad (1)$$

しかし、雑音環境下では擬似波面に多くの不規則成分が生じる。この誤差を除去するため、我々は S/N に応じた適応的な擬似波面平滑化法を提案している [3]。Envelope 法と同手法の併用により、S/N=20dB 程度で最大推定誤差が送信波長の 1/100 程度となることを数値計算により確認している。

3 実験検証

超音波イメージング実験システムの外観を図 1 に示す。目標として直径 3.17mm のステンレス球を水中に設置し、送受信素子を $d=6.6\text{mm}$ として目標から 61.7mm の位置に設置した。送信パルスの中心周波数は 2MHz、-6dB 帯域幅は 1.2MHz である。 $0 \leq X, Y \leq 25\text{mm}$ の

範囲を 1mm 間隔で走査し、各位置にて信号を取得する。取得した信号から擬似波面を抽出し、適応平滑化処理 [3] を適用する。平滑化後の擬似波面に式 (1) を適用して求めた推定像を図 2 に示す。推定誤差の RMS 値は $6.1\mu\text{m}$ である。これは送信波長の約 8.2×10^{-3} 倍に相当し、極めて高解像度なイメージングを実現している。計算時間は 8.3 秒であり、最大 1 分程度とされる製品検査に適用可能である。本稿では球のみを検証したが、今後は複雑な形状の目標について特性評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 阪本卓也, 木寺正平, 佐藤亨, 杉野聡, 信学会論文誌, vol.J90-B, no.1, pp.66-73, 2007.
- [2] 阪本卓也, 木村智樹, 瀧宏文, 佐藤亨, 信学総大, A-11-8, 2008.
- [3] 佐保賢志, 木寺正平, 阪本卓也, 佐藤亨, 信学技報, vol.108, no.30, AP2008-21, pp.59-64, 2008.
- [4] K. Saho et al., IEICE Tech. Rep., vol.108, no.318, SANE2008-84, pp.119-124, 2008.

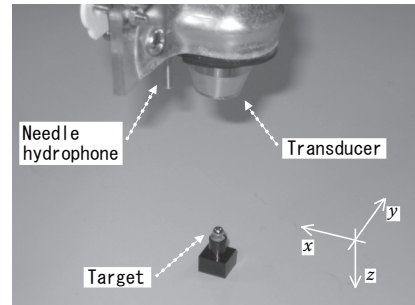


図 1 超音波イメージング実験システム

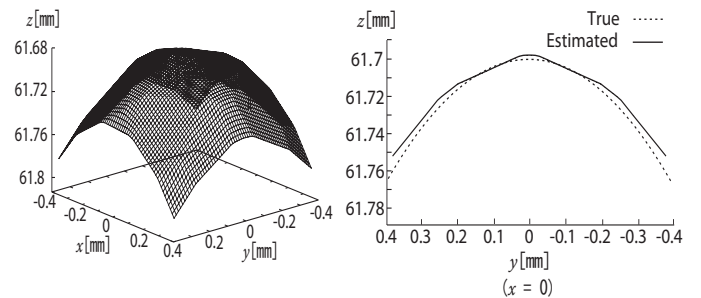


図 2 推定像 (左), 真の形状と推定像の $x = 0$ 断面 (右)