誘電体内部立体目標に対する 高精度UWBレーダイメージング法

Accurate Imaging Algorithm for 3-D Targets in Dielectric Medium for UWB Radars

阿久根 憲

Ken Akune

木寺 正平 Shouhei Kidera **桐本 哲郎** Tetsuo Kirimoto

電気通信大学院 大学院情報理工学研究科

Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

1 はじめに

UWB(Ultra-wide Band) パルスレーダは,高い距離 分解能や誘電体透過性に優れることから,埋設水道管 の破裂検知等の非破壊検査への高分解能内部画像化技 術として有用である.我々は既に,RPM(Range Points Migration)法 [1]の原理を拡張した高精度内部目標画像 化手法を提案し,2次元問題においてその有効性を示し た[2].同手法は,RPM法による誘電体境界推定点群と 同法線ベクトルを用いて伝搬経路を決定することで,超 波長精度を保持する.本稿では,同手法を3次元問題へ 拡張し,数値計算によりその特性評価を示す.

2 システムモデル

図 1 にシステムモデルを示す.誘電体及び目標は明瞭な境界を持つと仮定する.但し,誘電体は均質媒質とし,同比誘電率 ϵ_r は既知とする.誘電体外部は真空とし,同伝搬速度を c とする.無指向性送受信素子を z = 0 平面上で走査する.送信信号をモノサイクルパルスとし,同中心波長を λ とする.素子及び物体が存在する位置を r = (x, y, z) で表す.簡単のため z > 0とする.素子位置 (X, Y, 0) での Wiener フィルタの出力を s(X, Y, R)とする.但し, tを時間とし, R = ct/2とする.その設定閾値を超える極大値を抽出し,距離点群 $q_p = (X_p, Y_p, R_p), (p = 1, ..., N_P)$ を得る.

3 提案法

RPM 法は誘電体境界推定点群及び同法線ベクトルを 得る [1].本手法では,同法線ベクトルからスネルの法則 により,誘電体内部の伝搬経路を決定する.各素子での第 一到来波に対応する距離点群にRPM 法を適用し,誘電体 境界点群を得る.更に,Envelope 法により同境界を内挿 補間する.第二到来波の距離点群を $q_{M,i}$, $(i = 1, ..., N_M)$ とする.目標境界点は,アンテナ位置,誘電体境界点及 び同法線ベクトルで決定される平面上にあると仮定する. 同平面上でスネルの法則に基づき, $q_{M,i}$ に対応する目標 境界候補点 $r_{M,j}$ ($q_{M,i}$)を得る [2].

一般に推定精度を保持するには,候補点の補間間隔を 十分密にする必要がある.推定精度を確保しつつ,処理 演算量の増大を抑えるために,[2]での評価関数を以下 の通りに修正する.

$$f\left(\boldsymbol{r}_{\mathrm{M},j}\left(\boldsymbol{q}_{\mathrm{M},i}\right),\boldsymbol{q}_{\mathrm{M},k}\right) = \exp\left(-\frac{\left|d_{\min}\left(\boldsymbol{r}_{\mathrm{M},j}\left(\boldsymbol{q}_{\mathrm{M},i}\right),\boldsymbol{r}_{\mathrm{M},l}\left(\boldsymbol{q}_{\mathrm{M},k}\right)\right)\right|^{2}}{2\sigma_{r}^{2}}\right) \quad (1)$$

但し, d_{\min} は $r_{M,j}$ ($q_{M,i}$)と同点に最も近接する候補点 $r_{M,l}$ ($q_{M,k}$)の3点で決定される平面との最短距離である. σ_r は定数であり,経験的に決定する.同評価関数を 用いて,[2]と同様の手順で内部目標の推定点 \hat{r}_{M} ($q_{M,i}$) を得る.

4 数値計算による特性評価

図 2 に提案法による推定像を示す.但し,雑音を考慮 しない. $\sigma_r = 0.1\lambda$ とする.同図より,本手法は高精度 目標境界形状を実現することがわかる.また各推定点と 目標境界との推定誤差平均は約 $3.5 \times 10^{-2}\lambda$ である.処 理時間は,Xeon 2.4GHz プロセッサで約 5.0×10^4 秒で ある.同計算量のさらなる軽減が今後の課題となる.

5 むすび

本稿では,内部立体目標物体の高精度形状推定法の有 効性を,数値計算により示した.

参考文献

- S. Kidera et al., *IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.*, vol. 48, No. 48, pp. 1993-2004, Apr., 2010.
- [2] K. Akune et al., *IEICE Gen. Conf.*, C-1-32, Mar., 2011.

