

誘電体内部目標に対する 高速・高精度UWBレーダイメージング法

Fast and Accurate Imaging Algorithm for 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) レーダは、高い距離分解能と透視性を有し、非破壊検査や乳癌診断等のための高分解能内部画像化技術として有望である。内部画像化手法として、Beamformer 法 [1] 等が提案されているが、十分な分解能と精度は得られていない。本稿では、高速目標境界推定法である RPM(Range Points Migration) 法 [2] を拡張し、誘電体内部目標に対する、高速・高精度内部画像化手法を提案する。本手法の有効性を数値計算により示す。数値計算により、比誘電率が既知の場合において、提案法が 1/20 波長規模の形状推定精度を保持することを示す。また、内部目標抽出に特化することで高速処理を実現できることを示す。

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。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の位置を x 軸上で走査する。送信信号をモノサイクルパルスとし、その中心波長 λ で空間を正規化する。素子及び目標物体が存在する位置を $\mathbf{r} = (x, z)$ で表す。簡単のため $z > 0$ とする。素子位置を $(X, 0)$ とし、 $s'(X, Z)$ を受信電界とする。但し、 t は時間とし、 $Z = ct/2\lambda$ とする。 $s(X, Z)$ を Wiener フィルタの出力とする。 $s(X, Z)$ の設定閾値を超える極大値を抽出し、距離点群を得る。

3 提案アルゴリズム

本手法では、内部目標境界を高速かつ高精度に求めるため、RPM 法 [2] の推定目標点群と同法線ベクトルを利用する。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 $\mathbf{r}_{S,j} = (x_j, z_j)$, ($j = 1, \dots, N_R$) を得る。上記以外の距離点群を $\mathbf{q}_i = (X_{M,i}, Z_{M,i})$, ($i = 1, \dots, N_M$) とする。スネルの法則に基づき、 $\mathbf{q}_i$ に対する内部目標境界点の候補点を以下で求める。

$$\mathbf{r}_{M,j}(\mathbf{q}_i) = \mathbf{r}_{S,j} + \frac{(Z_{M,i} - Z_{1,j}(\mathbf{q}_i)) \mathbf{e}_t}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

但し、 $Z_{1,j}(\mathbf{q}_i) = \sqrt{(X_{M,i} - x_j)^2 + z_j^2}$, $\mathbf{e}_n = ((X_{M,i} - x_j), -z_j)/Z_j$, $\mathbf{e}_t = R(\theta_t)(-\mathbf{e}_n)$ である。ここで、 $R(\theta)$ は回転行列であり、 $\theta_t = \sin^{-1}(\sin\theta_i/\sqrt{\epsilon_r})$ である。但し、 θ_i は図 1 に示す入射角である。内部目標の推定点 $\mathbf{r}_M(\mathbf{q}_i)$ を次式で求める。

$$\mathbf{r}_M(\mathbf{q}_i) = \arg \max_{\mathbf{r}_{M,j}(\mathbf{q}_i)} \left| \sum_{k=1}^{N_M} s(\mathbf{q}_k) \exp \left(-\frac{|X_{M,i} - X_{M,k}|^2}{2\sigma_X^2} \right) \times \exp \left(-\frac{\min_{j'} |\mathbf{r}_{M,j}(\mathbf{q}_i) - \mathbf{r}_{M,j'}(\mathbf{q}_k)|^2}{2\sigma_r^2} \right) \right| \quad (2)$$

但し、 σ_X 及び σ_r は定数である。

4 特性評価

図 2 に提案法による目標像を示す。但し、雑音を考慮しない。 $\sigma_X = 1.25\lambda$, $\sigma_r = 0.5\lambda$ とする。同図より、本手法では目標境界像を点群で表され、誘電体内の目標境界形状を再現することがわかる。各推定点と目標境界との推定誤差平均は約 0.05λ である。処理時間は、Xeon 2.4GHz プロセッサで約 3.2 秒である。

5 むすび

本稿では、任意形状誘電体境界に対する高精度内部形状推定法を提案し、数値計算によりその有効性を示した。参考文献

- [1] David W. Winters et al., *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 55, No. 1, pp. 247-256, Jan, 2008.
- [2] S. Kidera et al., *IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.*, vol. 48, No. 48, pp. 1993-2004, Apr, 2010.

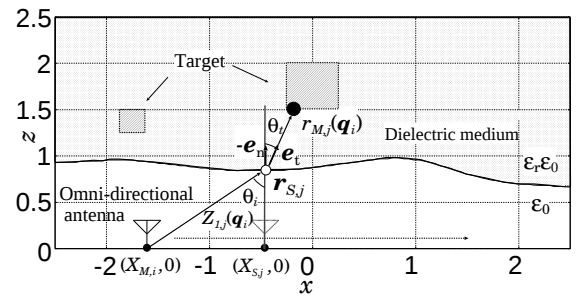


図 1 システムモデル

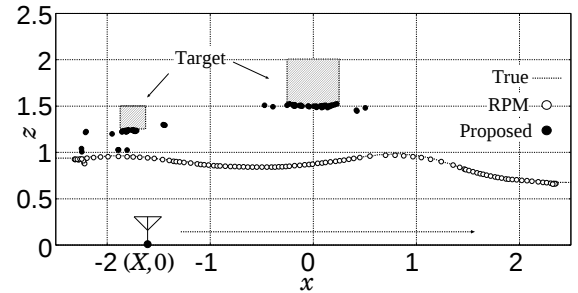


図 2 提案法による推定点