

二重散乱波の距離点群を用いた 高速・高精度影領域レーダイメージング法

Fast and Accurate Extended Imaging Algorithm
using Range Points of Double Scattered Waves for UWB Radars

木寺 正平
Shouhei Kidera

電気通信大学 大学院情報理工学研究所
Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

1 はじめに

UWB(Ultra Wideband) レーダは距離分解能に優れ、かつ暗闇・粉塵環境下で適用可能なため、救助・資源探査ロボット等の環境計測に適する。以前に、二重散乱波合成開口法を提案している [1]。同手法は虚像の要因となる多重散乱波を用いて、従来の画像再現領域を飛躍的に増大させるが、受信信号の多重積分に基づくため膨大な計算量を要する。また、空間分解能は半波長程度であり、エッジ領域等の形状同定が困難である。本稿では、二重散乱波の観測距離点群の勾配情報を用いて、高速かつ高精度に目標境界点群を再構成する手法を提案する。数値計算により、提案手法の有効性を示す。

2 システムモデル

図 1 にシステムモデルを示す。目標は明瞭な任意境界を有する。伝搬速度 c を既知定数とする。無指向性送受信素子を x 軸上で走査する。素子及び目標が存在する空間を (x, z) で表わす。送信電流はモノサイクルパルスとし、中心波長 λ で空間を正規化する。送受信素子位置を $(X, 0)$ とする。 $s(X, Z)$ を Wiener フィルタ出力とする。但し $Z = ct/2\lambda$, t は時間である。

3 提案アルゴリズム

高速・高分解能画像化法として RPM 法を提案している [2]。同手法は、 $s(X, Z)$ から抽出される観測距離点群 (X, Z) の大域的特徴を利用して、高精度な目標境界抽出を実現する。しかし、同手法は単散乱波を想定するため、目標側面等は影領域に陥る。これに対し、本稿では同手法を二重散乱波へ拡張する。 $-s(X, Z)$ の設定閾値を越える極大値を求め、これを Z_D とする。二重散乱波が通過する各目標点 $\mathbf{p}_1 = (x_1, z_1)$, $\mathbf{p}_2 = (x_2, z_2)$ とし、 $\mathbf{p}_X = (X, 0)$ とする。 θ_1, θ_2 を $\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_X$, $\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_X$ の x 軸に対する角度とする。距離点 (X, Z_D) に対する、 $\hat{\mathbf{p}}_1$ を次式で求める。

$$\hat{\mathbf{p}}_1 = \arg \min_{\mathbf{p}_1 \in T_{\text{RPM}}} |Z(\mathbf{p}_1, X, \partial Z_D / \partial X) - 2Z_D|^2 \quad (1)$$

但し、 T_{RPM} は RPM 法による推定目標点群であり、 $Z(\mathbf{p}_1, X, \partial Z_D / \partial X) = \|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_X\| + \|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2\| + \|\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_X\|$ とする。ここで、 $\mathbf{p}_2 = (X + Z_2 \cos \theta_2, Z_2 \sin \theta_2) \equiv f(\mathbf{p}_1, X, \partial Z_D / \partial X)$ とし、 θ_2 及び Z_2 を次式で求める。

$$\theta_2 = \cos^{-1}(-2\partial Z_D / \partial X - \cos \theta_1) \quad (2)$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} \frac{Z_1^2 + (Z_D - Z_1)^2 + 2(Z - Z_1)(\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_X) \cdot \mathbf{e}_2}{(\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_X) \cdot \mathbf{e}_2 + Z_D - Z_1} \quad (3)$$

但し、 $Z_1 = \|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_X\|$, $\mathbf{e}_2 = 2(\mathbf{e}_n \cdot \mathbf{e}_1)\mathbf{e}_n - \mathbf{e}_1$, $\mathbf{e}_1 = (\mathbf{p}_X - \mathbf{p}_1) / \|\mathbf{p}_X - \mathbf{p}_1\|$, $\mathbf{e}_n = (\mathbf{p}_{X'} - \mathbf{p}_1) / \|\mathbf{p}_{X'} - \mathbf{p}_1\|$, $\mathbf{p}_{X'}$ は RPM 法で \mathbf{p}_1 を推定する素子位置である。式 (1) の $\hat{\mathbf{p}}_1$ から、 $\hat{\mathbf{p}}_2 = f(\hat{\mathbf{p}}_1, X, \partial Z_D / \partial X)$ を求める。

4 特性評価

図 2 に提案手法の推定目標点群を示す。但し、雑音を考慮しない。 $-2.5 \leq x \leq 2.5$ の領域を 401 点で観測する。黒及び白点は RPM 法の推定目標点及び $\hat{\mathbf{p}}_2$ である。同図より、RPM 法では影領域となる目標側面も高精度に画像化することが確認できる。推定精度平均は $1.3 \times 10^{-2} \lambda$ である。 $\hat{\mathbf{p}}_2$ のゆらぎは、観測距離の勾配誤差に起因する。処理時間は、Intel Pentium D 2.8GHz プロセッサで約 0.7 秒と高速である。

参考文献

- [1] S. Kidera, T. Sakamoto and T. Sato, *Proc. of PIERS 2009*, vol. 5, Np. 4, pp. 393–396, Aug, 2009.
- [2] S. Kidera *et al.*, *IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.*, vol. 48, no.4, pp. 1993–2004, Apr, 2010.

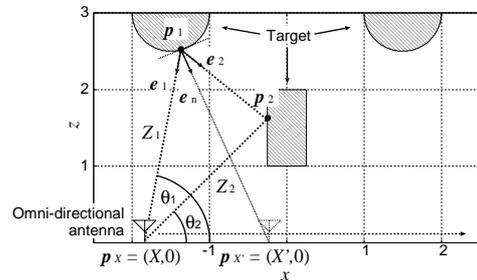


図 1 システムモデル

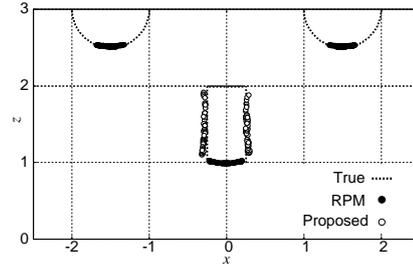


図 2 提案手法による目標推定点群