

# 曲線走査軌道を用いた高精度UWBレーダイメージング法

Accurate UWB Radar Imaging Algorithm Using Curvilinear Scanning of Antenna

阿部頼明  
Yoriaki Abe

木寺正平  
Shouhei Kidera

桐本哲郎  
Tetsuo Kirimoto

電気通信大学 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 Wideband) レーダは、室内用ロボットのイメージングセンサとして有用である。超波長分解能を実現するイメージング手法として、RPM(Range Points Migration) 法が提案されている [1]。本稿では、RPM 法を任意の軌道曲線上で素子を走査する場合にも適用できるようにアルゴリズムを拡張する。拡張により虚像が発生することを示し、これを除去する手法を提案する。

## 2 システムモデル

目標は明瞭な境界面を持つ完全導体とする。伝搬速度  $c$  は既知かつ一定とする。送信信号をモノサイクルパルスとし、中心波長  $\lambda$  で正規化した空間を  $(x, z)$  で表す。送信素子の位置を  $(X, Z)$  で表し、 $s(X, Z, R')$  を受信信号の Wiener フィルタ出力とする。ただし  $R' = ct/2\lambda$ ,  $t$  は時間である。 $s(X, Z, R')$  の極大値のうち、設定閾値を超えるものをすべて抽出し、これらを  $(X, Z, R)$  で表す。

## 3 RPM 法の任意軌道曲線への拡張

RPM 法を全方向の目標推定が可能なアルゴリズムへ拡張する。到来方向推定の為の評価値を以下に示す。

$$F_k(\theta; \mathbf{q}) = \sum_{i=1}^{N_q} s(X_i, Z_i, R_i) \exp \left[ -\frac{\{\theta - \theta_k(\mathbf{q}, \mathbf{q}_i)\}^2}{2\sigma_\theta^2} \right] \times \exp \left[ -\frac{(X - X_i)^2 + (Z - Z_i)^2}{2\sigma_X^2} \right], \quad (k = 1, 2) \quad (1)$$

ただし  $\mathbf{q} = (X, Z, R)$ ,  $\mathbf{q}_i = (X_i, Z_i, R_i)$  であり、円の 2 交点を  $k$  で区別する。 $\theta_k(\mathbf{q}, \mathbf{q}_i)$  は  $(X, Z)$ ,  $(X_i, Z_i)$  を中心とし、 $R, R_i$  を半径とする円の 2 交点と  $x$  軸のなす角度である。 $\sigma_X$  および  $\sigma_\theta$  は定数、 $N_q$  は距離点の総数である。各素子位置で目標の到来方向  $\theta_{\text{opt}}$  を次式で求める。

$$\theta_{\text{opt}} = \arg \max_{\theta \in \Theta} \{F_1(\theta; \mathbf{q}) + F_2(\theta; \mathbf{q})\} \quad (2)$$

ただし  $\Theta = \{\theta | 0 \leq \theta < 2\pi\}$  とする。目標境界点  $(x, z)$  を  $x = X + R \cos \theta_{\text{opt}}$ ,  $z = Z + R \sin \theta_{\text{opt}}$  とする。図 1 に本手法による推定像の一例を示す。同図では素子を  $(2.5, 2.5)$  を中心とし、半径を 2 とする円上で走査させた。また、観測雑音として SNR=10dB の白色性ガウス雑音を加えた。式 (1) を用いることで、曲線走査軌道により目標の境界を推定できることがわかる。一方、拡張の影響によりアンテナ軌道の外側に虚像が生じていることがわかる。

## 4 虚像除去アルゴリズムと性能評価

虚像を除去するため、式 (2) における  $\theta$  の探索範囲を制限する手法を提案する。一般に、虚像は素子位置変化に対して不規則に移動する。これに着目し、素子位置

$(X_i, Z_i)$  での、到来方向の探索範囲に関する評価関数を次式で与える。

$$G(i, \theta) = \sum_{k=1}^{N_T} \exp \left\{ -\frac{(\theta - \theta_k)^2}{2\sigma_g^2} \right\} \quad (3)$$

ここで  $\sigma_g$  は定数、 $N_T$  は推定点の総数、 $\theta_k$  は点  $(x_k - X_i, z_k - Z_i)$  と  $x$  軸のなす角度である。 $\theta$  の探索領域  $\Theta_i$  を以下で定義する。

$$\Theta_i = \{\theta | G(i, \theta) \geq \gamma \max_{\theta} G(i, \theta), 0 \leq \theta < 2\pi\} \quad (4)$$

ここで  $\gamma$  は閾値である。 $\Theta_i$  を式 (2) 右辺の探索範囲として  $\theta_{\text{opt}}$  を再計算する。図 2 に提案法による推定像を示す。虚像除去前と後の目標点位置精度の平均は約 0.58 $\lambda$ , 約 0.035 $\lambda$  であり、推定精度は約 17 倍に改善される。

## 5 むすび

本稿では、RPM 法を任意の走査軌道曲線に適用できるように拡張し、高精度な目標境界推定法を提案した。

## 参考文献

[1] S. Kidera et al, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.48, no. 4, pp. 1993–2004, Apr., 2010.

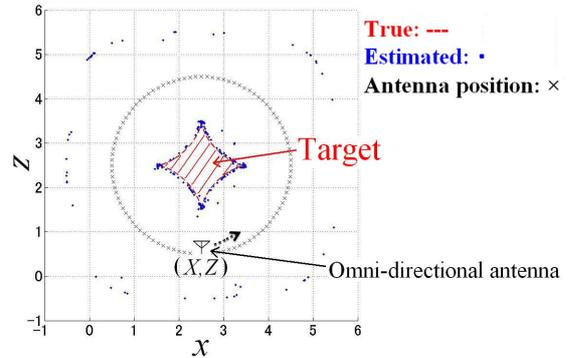


図 1 拡張 RPM 法による推定点 (虚像除去処理前)

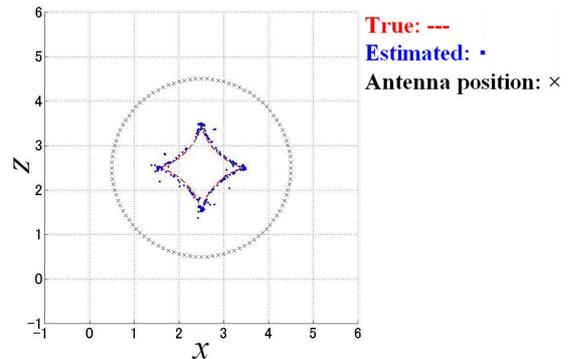


図 2 拡張 RPM 法による推定点 (虚像除去処理後)