

# UWB レーダのための二重散乱波の距離微分を用いた 立体影領域・高速イメージング法

Fast Shadow Region 3-D Imaging Algorithm

using Range Derivative of Double Scattered Waves for UWB Radars

木寺 正平  
Shouhei Kidera

桐本 哲郎  
Tetsuo Kirimoto

電気通信大学 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 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。上記用途に適する画像化手法として、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、特に3次元問題では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偏差分を用いて、高速かつ高精度に立体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  $z = 0$  平面上で走査する。素子及び目標が存在する空間を  $(x, y, z)$  で表わす。送信電流はモノサイクルパルスとし、中心波長  $\lambda$  で空間を正規化する。送受信素子位置を  $(X, Y, 0)$  とする。 $s(X, Y, Z)$  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 提案手法

高速・高精度画像化法としてRPM法を提案している[2]。同手法は、 $s(X, Y, Z)$  の極大値から抽出される観測距離点群  $(X, Y, Z_S)$  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。本稿ではRPM法を二重散乱波の画像化へ拡張する。 $s(X, Y, Z)$  の設定閾値を越える極小値を求め、これを二重散乱点の距離点  $q \equiv (X, Y, Z_D)$  とする。二重散乱波が通過する各目標点を  $p_i \equiv (x_i, y_i, z_i) = p_L + (Z_i \cos \theta_i \cos \phi_i, Z_i \sin \theta_i \cos \phi_i, Z_i \sin \phi_i)$ , ( $i = 1, 2$ ) とする。この時、次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \partial Z_D / \partial X &= \frac{1}{2} (\cos \theta_1 \cos \phi_1 + \cos \theta_2 \cos \phi_2) \\ \partial Z_D / \partial Y &= \frac{1}{2} (\sin \theta_1 \cos \phi_1 + \sin \theta_2 \cos \phi_2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

本手法ではまず、距離点  $q$  に対する  $p_1$  を次式で求める。

$$\hat{p}_1(q) = \arg \min_{p_1^{\text{rpm}} \in T_{\text{rpm}}} |p_2^A(q, p_1^{\text{rpm}}) - p_2^B(q, p_1^{\text{rpm}})|^2 \quad (2)$$

但し、 $p_1^{\text{rpm}}$  及び  $T_{\text{rpm}}$  はRPM法による推定目標点とその集合であり、 $p_2^A(q, p_1^{\text{rpm}}) \equiv$

$p_L + Z_2(\cos \theta_2 \cos \phi_2, \sin \theta_2 \cos \phi_2, \sin \phi_2)$  である。 $Z_2$  は反射の法則より、 $(q, p_1^{\text{rpm}})$  から求まる。また、 $p_2^B(q, p_1^{\text{rpm}}) \equiv p_1^{\text{rpm}} + Z_3 e_3^{\text{rpm}}$  であり、 $Z_3 = 2Z_D - Z_2 - \|p_1^{\text{rpm}} - p_L\|$ ,  $e_3^{\text{rpm}} = e_1^{\text{rpm}} - 2(e_n^{\text{rpm}} \cdot e_1^{\text{rpm}})e_n^{\text{rpm}}$  である。但し、 $e_1^{\text{rpm}} = (p_1^{\text{rpm}} - p_L) / \|(p_1^{\text{rpm}} - p_L)\|$ ,  $e_n^{\text{rpm}}$  は、 $p_1^{\text{rpm}}$  上の法線ベクトルである。 $\hat{p}_2(q) \equiv \{p_2^A(q, \hat{p}_1(q)) + p_2^B(q, \hat{p}_1(q))\} / 2$  として、二重散乱点位置を求める。

## 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。 $-2.5 \leq x, y \leq 2.5$  の領域を  $101 \times 101$  点で観測する。灰色及び黒色点はRPM法及び提案法の推定目標点である。同図より提案法は、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  $2.8 \times 10^{-2} \lambda$  である。処理時間は、Intel Pentium D 2.8GHz プロセッサで約10秒である。

## 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.

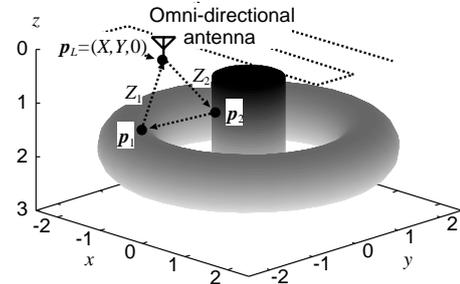


図1 システムモデル

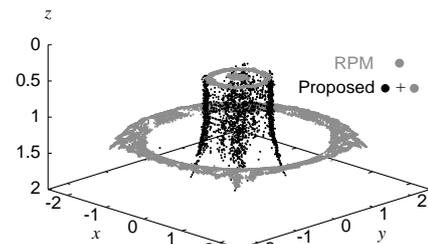


図2 提案手法による目標境界点群