

UWB レーダのための距離点群を用いた高精度楕円体境界外挿法

Accurate ellipsoid boundary extrapolation algorithm with range points for UWB radars

阿部頼明
Yoriaki Abe

木寺正平
Shouhei Kidera

桐本哲郎
Tetsuo Kirimoto

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

1 はじめに

UWB(Ultra Wideband) レーダは高い距離分解能を有し、粉塵、高濃度ガス等の環境下での計測が可能ため、救助ロボット等の画像センサとして有望である。同レーダのための影領域画像化手法として、距離点群を用いた目標境界外挿法を提案している [1]。しかし、複数の目標が存在する場合、各目標からの散乱波が干渉することで観測距離に誤差が生じ、外挿精度が劣化する問題がある。本稿では、[1] を 3 次元問題に拡張するとともに、局所的な距離分布に基づく干渉抑圧法を導入し、外挿精度を高める。数値計算により本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。目標は明瞭な楕円体境界面を有する。素子を $z = 0$ の平面上で走査する。素子及び目標が存在する空間を (x, y, z) で表す。送信信号を中心波長 λ のモノサイクルパルスとする。伝搬速度 c は既知定数とする。送受信素子の位置を $(X, Y, 0)$ とし、 $s(X, Y, R')$ を受信信号の Wiener フィルタ出力とする。ただし $R' = ct/2$ 、 t は時間である。 $s(X, Y, R')$ の極大値のうち、設定閾値を超えるものをすべて抽出し、これらを距離点と呼び (X, Y, R) で表す。

3 楕円体目標境界外挿法

2 次元問題における楕円目標境界外挿法として、距離点群分布を利用した手法を提案している [1]。本稿では、同手法を 3 次元問題に拡張するとともに、複数の目標間で生じる干渉波の影響を抑圧する手法を導入する。距離点群 (X, Y, R) に対し RPM(Range Points Migration) 法 [2] を適用して得られる目標境界点群をユークリッド距離を基準にクラスタ化する。ここで、 i 番目のクラスタの k 番目の目標境界点に対応する距離点を $R_{i,k}$ とする。楕円体のパラメータを P で表現し、各クラスタに対する \hat{P}_i を次式で推定する。

$$\hat{P}_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ R_{i,k} - R_k(P) \right\} \left(\frac{d_{i,k}^2}{\alpha} + 1 \right) w_{i,k} \quad (1)$$

ここで、 $R_k(P)$ は $(X_{i,k}, Y_{i,k}, 0)$ と P の楕円体との最小距離であり、 N_i は i 番目のクラスタに含まれる距離点の総数である。 $d_{i,k}$ は $(X_{i,k}, Y_{i,k}, 0)$ から P へ下した垂線と楕円体の中心との距離である。 α は定数である。 $w_{i,k}$ は干渉抑圧のための重みであり、次式で与えられる。

$$w_{i,k} = \prod_{j=1}^{M_k} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{l_{i,j,k}^2}{2\sigma^2} \right) \right\} \quad (2)$$

M_k は $(X_{i,k}, Y_{i,k}, 0)$ および隣接素子位置で得られる他クラスタの距離点の総数、 $l_{i,j,k}$ は図 2 に示すように $(X_{i,k}, Y_{i,k}, R_{i,k})$ と他の距離点の観測距離差である。 σ は定数である。

4 性能評価

図 1 および図 3 に RPM 法による推定像および重み $w_{i,k}$ 無しと有りの場合の外挿結果を示す。 $\alpha = 60\lambda^2$, $\sigma = 0.3\lambda$ とする。受信信号に白色性ガウス雑音を加える。 $S/N = 30\text{dB}$ とする。最小化アルゴリズムとして Levenberg-Marquardt 法と焼鈍法を用いる。同図より、式 (2) の重みにより干渉波による距離誤差の影響が軽減され、複数目標境界を高精度に推定可能であることがわかる。RMS 誤差は重み無しの場合で 0.32λ 、有りの場合で 0.037λ である。

5 むすび

本稿では、複数散乱波の干渉を抑圧する手法を導入し、楕円体目標境界を高精度に推定可能であることを示した。

参考文献

- [1] Y. Abe *et al*, *Proc. of URSI GASS 2011*, Aug., 2011.
- [2] S. Kidera *et al*, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.48, no. 4, pp. 1993–2004, Apr., 2010.

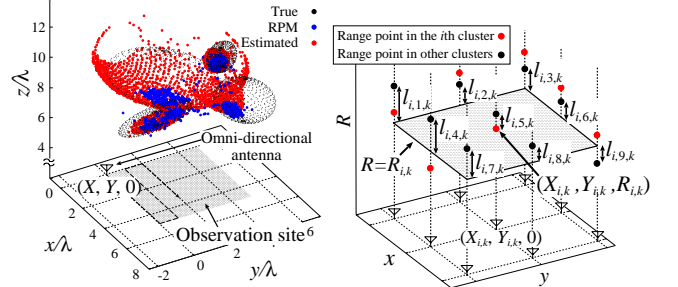


図 1 システムモデルおよび $w_{i,k}$ 無しの場合の推定例

図 2 $l_{i,j,k}$ の概念図

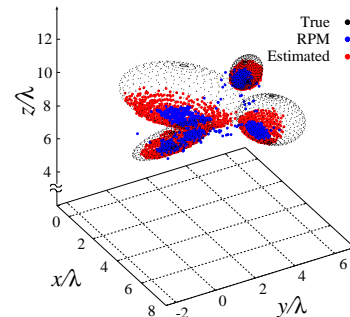


図 3 $w_{i,k}$ 有りの場合の推定例