

複雑立体目標のためのファジィ推定を用いた 高分解能UWBレーダ画像化手法

High-Resolution UWB Radar Imaging Algorithm with Fuzzy Estimation for 3-D Complex Boundaries

木寺 正平
Shouhei Kidera

阪本 卓也
Takuya Sakamoto

佐藤 亨
Toru Sato

京都大学大学院 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

1 はじめに

ロボット・自動車等の空間精密計測としてUWBレーダが有望である。上記用途に適する立体画像化手法としてEnvelope法を提案している[1]。同手法は観測距離点群から目標境界点群への変換を用いて、単純目標に対し、高速・高精度立体像推定を実現する。同手法は、観測距離波面の正確な連結を必要とする。しかし複雑境界目標では同連結処理は困難となり、推定像が劣化する。本稿ではファジィ推定を導入し、波面連結処理に基づかない立体画像化手法を提案する。提案手法は観測距離の大域分布から直接的に目標位置を決定し、従来の不安定性を解決する。数値計算により本手法の特性評価を示す。

2 システムモデル

図1にシステムモデルを示す。目標境界は明瞭な任意曲面とする。伝搬速度 c は既知定数とする。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、その中心波長 λ で空間を正規化する。素子位置を $(x, y, z) = (X, Y, 0)$ 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。 $s(X, Y, Z')$ の設定閾値を越える極大値を求め、これを Z とする。曲面 (X, Y, Z) を擬似波面と呼ぶ。

3 従来手法

高速・安定画像化手法としてEnvelope法を提案している[1]。同手法は、目標境界が $(X, Y, 0)$ を中心、 Z を半径とする球群の内・外包絡線上に存在するという原理を用いる。同手法は対雑音性能に優れ、単純目標に対して高速・高精度画像化を実現する。図2左に複雑目標への適用例を示す。図1の目標境界を仮定する。但し雑音は考慮せず、推定点に平滑化処理を適用する。同図の推定像は大きな誤差を有する。これは同手法が適切な波面連結処理を要するためである。複雑目標境界では各素子で複数距離 Z が観測されるため、多数の波面連結候補が存在し、誤連結が生じる場合に推定像が劣化する。

4 提案手法とその特性

上記問題を解決するため、ファジィ推定に基づく画像化手法を提案する。目標境界点 (x, y, z) は、 (X, Y, Z) から定まる球上に存在する。同条件より、本逆問題は (x, y) の決定問題と等価になる。 (x, y) に関するメンバシップ関数を、 $f(x, y, \mathbf{q}, \mathbf{q}_i) = \exp\left\{-\frac{d(x, y, \mathbf{q}, \mathbf{q}_i)^2}{2\sigma_d^2}\right\}$ で与える。

但し、 $\mathbf{q} = (X, Y, Z)$, $\mathbf{q}_i = (X_i, Y_i, Z_i)$ とする。各球の交線は $z = 0$ 平面上で直線となり、同直線と $(x, y, 0)$ との最小距離を $d(x, y, \mathbf{q}, \mathbf{q}_i)$ とする。各擬似波面 \mathbf{q} に対応する (x, y) を、

$$(x, y) = \arg \max_{x, y} \left| \sum_{i=0}^{N_q} s(\mathbf{q}_i) f(x, y, \mathbf{q}, \mathbf{q}_i) e^{-\frac{D(\mathbf{q}, \mathbf{q}_i)^2}{2\sigma_D^2}} \right|, \quad (1)$$

で求める。但し $D(\mathbf{q}, \mathbf{q}_i) = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}$ である。 $z = \sqrt{Z^2 - (x - X)^2 - (y - Y)^2}$ により目標境界を決定する。但し σ_d , σ_D は定数である。本手法は観測距離点群から直接的に目標境界位置を計算し、波面連結処理手順を排する。このため波面連結に起因する不安定性を本質的に解決する。図2右に提案法による推定像を示す。図2左と共通の推定点平滑化を適用する。 $\sigma_d = 0.01\lambda$, $\sigma_D = 0.5\lambda$ とする。同図の通り、提案法は高精度目標境界を実現する。但し計算時間は約50秒であり、計算量の軽減が今後の課題となる。

参考文献

- [1] S. Kidera, et al., *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 46, no. 10, Oct, 2008 (in press).

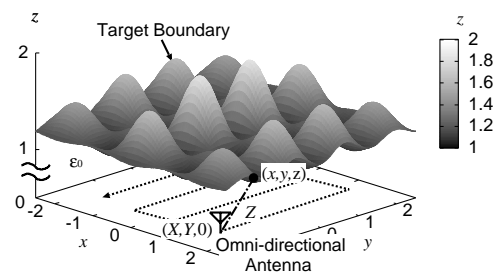


図1 システムモデル及び真の目標境界

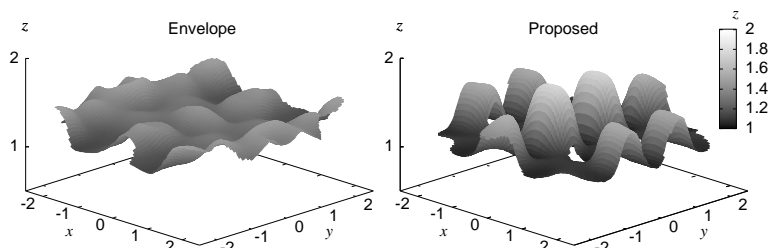


図2 Envelope法(左)及び提案手法(右)による推定像