

# 階層的最適化を導入した干渉環境下でのUWBレーダ画像化

UWB Radar Imaging in Interference-Rich Environments with Multi-Level Optimization

阪本 卓也  
Takuya Sakamoto

木村 和也  
Kazuya Kimura

松本 浩志  
Hiroshi Matsumoto

佐藤 亨  
Toru Sato

京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻  
Dept. of Communications and Computer Eng., Kyoto University

## 1 はじめに

UWB (超広帯域) レーダは高い分解能を有し、多くの応用に有望である。SEABED 法 [1] は疑似波面と呼ばれる受信信号の等位相面を用いて高速画像化を実現する。しかし、散乱中心が複数ある場合には干渉による影響で疑似波面推定が困難となる。この問題を解決するため、疑似波面推定を最適化問題に帰着させる手法が提案され [2]、さらに三次元化された [3]。本稿では同手法の処理時間を短縮させるため、最適化変数を分割する手法を導入する。

## 2 最適化による疑似波面推定法

無指向性 UWB アンテナを走査するモノスタティックレーダを仮定する。アンテナの位置  $(x, y, z) = (X, Y, 0)$  で測定される受信信号を  $s(X, Y, Z)$  とする。但し、 $Z$  は遅延時間に対応する距離である。信号  $s(X, Y, Z)$  の等位相面  $(X, Y, Z)$  を疑似波面と呼ぶ [1]。次次の評価関数  $e(V)$  を最小化する最適化による干渉環境下での疑似波面推定法が開発された [3]。

$$e(V) = \int |s(X, Y, Z) - s_c(X, Y, Z; V)|^2 dXdYdZ \quad (1)$$

ただし、 $V$  は疑似波面を定めるパラメータ行列であり、第  $i$  列第  $n$  要素は第  $n$  の疑似波面  $Z_n(X, Y)$  を離散点  $X_i, Y_i$  にて標準化した値  $Z_n(X_i, Y_i)$  とする。ただし  $1 \leq n \leq N$  とする。 $s_c(X, Y, Z; V)$  は  $V$  により計算される疑似信号であり、標本点  $X_i, Y_i$  における値を B スプライン補間することで計算される。特に凸形状の目標の疑似波面は必ず滑らかとなるため、補間による内挿処理が可能となる。疑似波面の標準化間隔を狭くすることで  $V$  の次元を低くすれば、最適化の処理時間を短くできる。

しかし、標本点数および疑似波面数が大きくなるにつれて最適化変数  $V$  の自由度が大きくなり、計算時間が長くなる問題がある。例えば、 $3 \times 3$  の標本点および疑似波面数  $N = 2$  を仮定すると、最適化の自由度は  $3 \times 3 \times 2 = 18$  となる。最適化の際に疑似波面の交差について全探索を行う場合には  $2^{3 \times 3 - 1} = 256$  回の評価関数呼出が必要となる。

## 3 提案する階層的最適化法

提案法では以上の高自由度の最適化問題を低自由度の最適化問題の繰り返しにより近似する。図 1 に標本点数  $3 \times 3$  の場合の提案法の手順を示す。まず最初に a で囲まれる 4 点のみを変数にして最適化を行う。ただし、この場合は式 (1) の  $X, Y$  についての積分範囲はこの 4 点

を頂点とする正方形内のみとする。次に b の 4 点のうちで a において最適化されていない黒丸 2 点が最適化変数となる。同様に c も 2 点、d においては 1 点のみが最適化変数となる。最適化変数以外もスプライン補間に影響を及ぼすため、以上の最適化の後に逆方向 d, c, b, a の順に同様の最適化をもう一度行う。

## 4 提案法による高速化

提案法における交差の可能性は疑似波面数  $N = 2$  のとき、 $(2^{4-1} + 2^2 + 2^2 + 2^1) \times 2 = 36$  通りとなる。このため評価関数呼出回数は 36 回となるが、提案法の評価関数の計算は積分範囲が狭く、式 (1) の全体を積分する場合の  $1/4$  の計算量となるため、実質的には  $36/4 = 9$  回となり、全探索の 256 回に比べて約 28.4 倍の高速化が実現される。

雑音なしの場合の [3] と同一条件 (標本点数  $5 \times 5$ ,  $N = 2$ ) にて提案法の特性を調べる。得られる画像の RMS 誤差は従来法と提案法はいずれも  $0.028\lambda$  と同一となり、交差に関する最適化処理に要する時間は Core2Duo1.86GHz プロセッサで従来法の約 15 秒に対して提案法は約 1.2 秒と約 12.5 倍の高速化が実現される。ただし  $\lambda$  は送信パルスの中心周波数である。従来法 [3] は全探索よりも効率の良いランダム探索法を採用しているため、提案法の改善度が上述の理論値よりは小さくなっている。以上より、干渉環境下での UWB レーダ画像化について、提案法により高速に、かつ従来と同程度の精度の画像化が実現されることが明らかとなった。

## 参考文献

- [1] T. Sakamoto and T. Sato, IEICE Trans. on Commun. vol. E87-B, no. 5, pp. 1357–1365, 2004.
- [2] 阪本卓也, 他, 信学会総合大会 CS-1-2, Mar. 2008.
- [3] 松本浩志, 他, 信学技報, AP(巻号未定), July 2008.

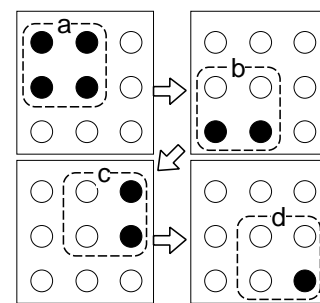


図 1 提案する階層的最適化の初期値推定