

高分解能レーダにおける最大比合成法を用いた低 S/N 目標検出

Detection of Low S/N Target by Using the Maximum Ratio Combining in High Resolution Radar

矢野 公大 稲葉 敬之
Takahiro Yano Takayuki Inaba

電気通信大学 電子工学科
Department of Electronic Engineering, The University of Electro-Communications.

1. まえがき

近年、レーダにおける高距離分解能化により、目標寸法よりも小さい分解能の距離プロファイル信号を得ることが可能となりつつある。低 S/N 目標の検出確率向上を図る方法として、低 S/N 高分解能距離プロファイルに対し距離方向へ最大比合成法を適用するコヒーレント積分法が提案されている[1]。振幅情報のみを用いて距離方向にノンコヒーレント積分する方法に対し、提案法はさらなる検出性能向上が期待される。

本稿では、複数のコーナリフレクタからのレーダ反射信号を計測し、提案法と二つの従来法に対し検出確率を比較することで提案法の有効性を実験的に確認したので報告する。

2. 高分解能レーダ出力距離プロファイル信号への最大比合成法の適用

今回、狭い受信機帯域にて高距離分解能を得るレーダ方式として合成帯域法を採用した。合成帯域法はパルス毎に周波数をステップさせ送信する。アンテナで受信された信号は、各周波数で周波数変換され狭帯域 I/Q ベースバンド信号を得る。この I/Q ベースバンド信号を周波数ステップ方向に逆フーリエ変換 (IFFT) することで、送信帯域幅に相当する高い分解能を持つ距離プロファイル信号が得られる。

提案法では、時間的に連続した複数 (CPI 数) の計測距離プロファイル信号から、各距離ゲート (目標の距離広がり) に相当する 3 レンジビン内の信号をコヒーレント積分するために最大比合成ウェイトを推定し合成する処理を、距離 (レンジビン) 方向にスライドさせていく。最後に、CPI 間はノンコヒーレント積分を行う。

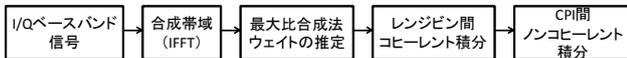


図1 合成帯域法を前処理とした距離プロファイル最大比合成法

3. 実験による性能評価

実験に用いたレーダパラメータを表 1 に示す。今回の実験では図 2 に示すセットアップにて 10CPI 間の信号を 5 回計測した。距離分解能 2.1m に対し、ほぼその距離分解能に相当する間隔で 3 ヶの反射体 (コーナリフレクタ) を配置している。

性能評価は、以下の 3 種を比較した。

- (1) 提案法：距離プロファイル最大比合成法 (緑線実線)
- (2) 時間軸 (CPI 方向) 距離方向のノンコヒーレント積分 (青線実線)
- (3) 時間軸 (CPI 方向) のみのノンコヒーレント積分 (赤線実線)

図 3 が上記各方法による出力距離プロファイル例である。図 3 から、提案法が反射信号距離での信号レベルが高く、かつ雑音領域のレンジビンでの分散が小さいことが分かる。電波暗室内という近距離での高 S/N 条件でデータ計測を行ったが、低 S/N 目標に対する検出確率の統計的評価を行うために白色正規分布雑音を実験的に計測した各 I/Q 信号に適宜付加した。

表 1 レーダパラメータ

送信周波数	24GHz
送信帯域幅 (距離分解能)	72MHz (約 2.1m)
周波数ステップ間隔	0.55MHz
周波数ステップ数	128
CPI の数	10
PRI (パルス繰返間隔)	2 μ s
パルス幅	500ns
反射体数 (距離)	コーナリフレクタ 3 個 (1.6m, 3.6m, 5.6m)

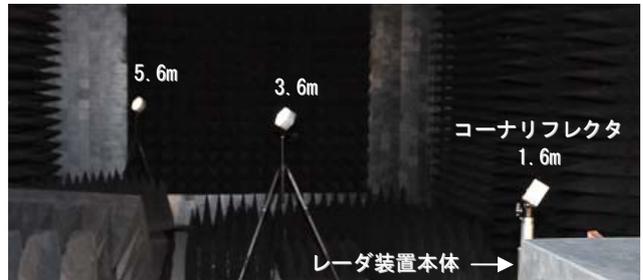


図 2 電波暗室における実験風景

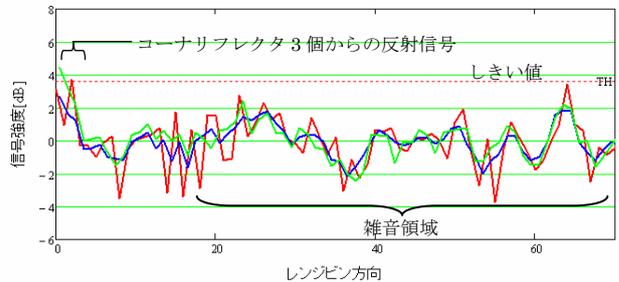


図 3 出力距離プロファイル例 (合成帯域後 SNR:3.2 [dB])

以下、各方法に対する検出確率評価法について説明する。疑似的に生成した白色正規分布 I/Q ベースバンド雑音に対し (1)~(3) の各処理を施し出力距離プロファイルを、合計各 100 回求めた。各出力距離プロファイルの雑音領域レンジビンの振幅ヒストグラムを、正規分布 (平均値シフト) にフィッティングし、その正規分布関数から誤警報率が 10^{-6} となるしきい値を決定した。実験的に計測した各 I/Q 信号に所定の S/N 値となる雑音を付加し、(1)~(3) の各処理を実施した後の出力距離プロファイルにおいてコーナリフレクタが存在する距離ゲートでの振幅値が、前記各しきい値を超える確率を算出した結果が図 4 である。図 4 より、今回の実験では反射点数が 3 ヶのみであるにもかかわらず、提案法 (1) では、たとえば検出確率 80% (誤警報率 10^{-6}) が得られるための入力 S/N 値として、従来法 (2), (3) に比べ 0.7 dB ~ 1.0 dB 程度の改善が得られた。

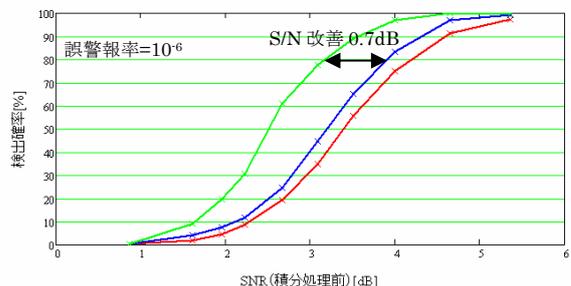


図 4 検出確率の比較

4. むすび

24GHz 帯の合成帯域レーダを用いて、提案法である距離プロファイル最大比合成法の性能評価実験を行った。入力 S/N が 2~3dB という低 S/N 状況において、提案法は検出確率 80% (誤警報率 10^{-6}) が得られるための入力 S/N 値として約 0.7dB ~ 1.0dB 程度の改善が得られることを確認した。

参考文献

[1] 影目 聡, 福岡雄一郎, 原 照幸, 稲葉敬之, “目標レンジプロフィールのコヒーレント積分による目標検出性能改善アルゴリズムの原理検証,” 信学技報, SANE109 (69), pp. 19-24, May 2009.