

多周波ステップCPC方式における距離プロファイル最大比合成法の実験的検証と評価

Experimental Study and Evaluation of Maximum Ratio Combining of Range-Profile in Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code modulation

矢野 公大 稲葉 敬之
Takahiro Yano Takayuki Inaba

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

1. まえがき

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距離分解能である距離プロファイルを得ることが可能となりつつある。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(Maximum Ratio Combining)を適用することで、低 S/N 目標の検出確率向上を図る方法(距離プロファイル最大比合成法[1]) (提案法と呼ぶ)が提案され、シミュレーションによる評価結果が報告されている。文献[2]では、電波暗室で複数の点目標(コーナリフレクタ)を用いた提案法に対する実験的評価を実施した。今回、独自の変復調方式(多周波ステップCPC方式)を用いた高分解能ミリ波レーダ装置を用いて、大型車両のミリ波帯における距離プロファイルの実データを取得した。その解析結果を踏まえ提案法を適用し、さらに目標移動に伴うレンジビン移動を補正することで低 S/N 目標の検出性能が向上することを検証したので報告する。

2. 高分解能距離プロファイルへの最大比合成法の適用

今回距離プロファイルを得る方式として用いた多周波ステップCPC方式は、二つのCPC(Complementary Phase Code)符号からなるサブパルスをパルス繰り返し間隔(PRI)で交互に送受信するとともに時分割で送信周波数を切り換える方式である。

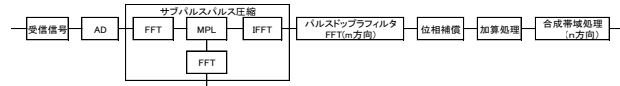


図1 多周波ステップCPC方式信号処理

提案法は、多周波ステップCPC方式信号処理の出力である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)に相当する複数レンジビン内の信号を合成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間にはノンコヒーレント積分を行う。

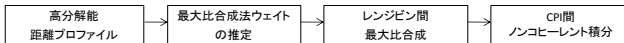


図2 距離プロファイル最大比合成法

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。多周波ステップCPC方式ミリ波レーダを用いて、実フィールドにて約10km/hで等速走行する大型車両(全長約12m)を目標として連続4CPIの計測を行った。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 (緑線鎖線)
- (2) 時間軸(CPI方向)距離方向のノンコヒーレント積分 (青線点線)
- (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に計測距離プロファイルを示す。目標が大型車両という距離広がりを持つ目標でありながら、第一強反射点と第二強反射点との電力差は15dB程度と比較的大きい値であった。提案法は低S/N時に適用されるため、今回の評価では最大比合成ウェイト推定処理における距離ゲートを第一強反射点(6レンジサンプル程度(約70cm))周囲に限定することとした。なお、図3に示す計測距離プロファイルは高S/Nであるが遠距離低S/N目標に対する統計的な検出性能評価を行うために、計測距離プロファイル信号に対し白色正規分布雑音を付加し各入力S/N値に対する目標検出率の評価を実施した。

表1 レーダパラメータ

送信周波数	60.25-60.75GHz
送信帯域幅(距離分解能)	500MHz (0.3m)
周波数ステップ数	8(ステップ幅60MHz)
CPIの数	4
PRI(パルス繰り返し間隔)	3.5μsec
パルス幅	0.2μsec
目標(長さ, 相対速度, 相対距離)	大型車両(全長約12m, 10km/h, 65m)

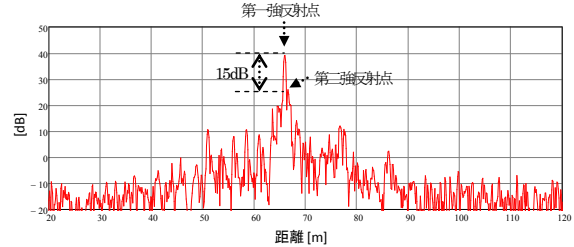


図3 計測距離プロファイル

以下、各方法に対する検出確率評価法について説明する。擬似的に生成した白色正規分布雑音に対し(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(Pfa)が 10^{-6} となる閾値を決定した。計測データの各出力距離プロファイルに対し、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目標反射信号部分であるレンジビンの振幅値が、前記各閾値を超える確率を算出した結果が図4である。また、CPI間における目標移動に伴う目標反射信号部分のレンジビン移動を、パルスドップラフィルタ処理結果より算出し、各CPIの計測距離プロファイルに対し補正(レンジワーク補正)した場合の目標検出確率比較結果を図5示す。結果よりたとえば検出確率80%を得られるためのS/N値として、提案法はレンジワーク補正を行った場合、従来法に対し1~2.5dB程度の改善が得られた。

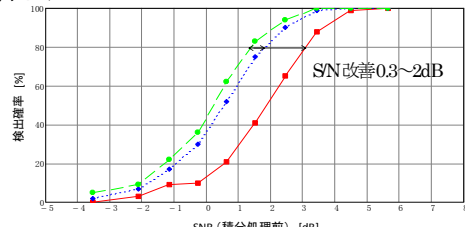


図4 目標検出率(SNR(積分処理前)) : Pfa=10⁻⁶

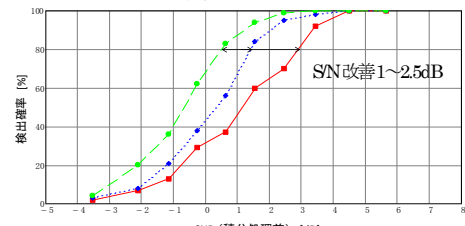


図5 目標検出率(SNR(積分処理前)) (レンジワーク補正あり) : Pfa=10⁻⁶

4. むすび

多周波ステップCPC方式ミリ波レーダを用いて、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として、大型車両を目標とした実フィールド試験を行った。提案法に加え、目標移動に伴うレンジビン移動の補正を行うことで低S/N状況において検出確率80%(Pfa=10⁻⁶)を得るための入力S/N値が1~2.5dB改善されることを確認した。本研究の一部は、鉄道・運輸機構 基礎研究制度(No.2009.02)により行われた。

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ノン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.
- [2] 矢野 公大, 稲葉 敬之, “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,” 信学総大, B_2_38, Mar. 2010