

1112 パルスドップラレーダにおける低 SNR 加速度目標の検出法

Target Detection Algorithm for Dim Accelerated Targets

亀田 洋志 三菱電機(株) 情報技術総合研究所

Hiroshi Kameda, Mitsubishi Electric Corp. Information Technology R&D Center

系 正義・三菱電機(株) 鎌倉製作所

和泉 秀幸・三菱電機(株) 鎌倉製作所

Masayoshi Ito, Mitsubishi Electric Corp. Kamakura works

Hideyuki Izumi, Mitsubishi Electric Corp. Kamakura works

Key Words: <Key Words>

レーダ, 目標検出, 検出前追尾, 加速度目標, シミュレーション: Radars, Target Detection, Track Before Detect, Simulation

論文要旨

高 PRF(Pulse Repetition Frequency)パルスドップラレーダで問題となる加速度目標の検出について検討する。加速度目標の検出においては積分中に目標のドップラセルが動き、積分損失が大きくなる。この対策として TBD(Track Before Detect)を拡張した積分アルゴリズムを適用し、目標の加速度運動によるドップラセルの遷移を探索しながら積分処理を実施する。本稿では積分アルゴリズムと、計算機シミュレーションによって積分損失の改善が期待されることを示す。

1. まえがき

高 PRF(Pulse Repetition Frequency)パルスドップラレーダは目標とクラッタを十分分離可能であり、積分時間を長くとることができ、正対低 SNR(Signal-to-Noise Ratio)目標に対する探知性能に優れている。但し、加速度目標の検出においては CPI(Coherent Pulse Interval:コヒーレント積分間隔、目標信号の位相変化がリニアとみなせる時間間隔)間の PDI(Post Detect Integration)処理で目標のドップラセルが動き、積分損失が大きくなる。従って、高 PRF パルスドップラレーダにおいては PDI における積分損失改善が課題である。この課題については文献[1]等においても検討済みで十分な効果が得られているが、一部の情報を外部から必要とするため適用範囲が限定される。また、加速度目標のドップラヒストリがほぼ直線状に変化すると仮定すれば、Hough 変換を適用する方法も考えられるが[2]、目標の加速度が途中変化した場合などにおいて積分路を誤る可能性がある。

本稿では、PDI における積分路を自ら探索する検出アルゴリズム、とくに目標の加速度が途中変化した場合においても頑強な方法について検討する。この目的のために、TBD(Track Before Detect, Viterbi アルゴリズム適用)[3]を適用する。TBD は、目標の運動モデルに基づきドップラセルの探索範囲を定め、かつ track score なる評価関数により探索路を評価する。track score の蓄積結果から画素の最適な推移を積分路として抽出することで CPI 間の PDI 処理を実施する。但し、従来の TBD では CPI 間のドップラセルの推移を選択する際に、1 セルが次 CPI において別々の異なるドップラセルに割り当てられる可能性がある。これは、積分損失や誤警報を発生させる要因の一つとなる。

そこで、セルの重複選択による誤警報を抑圧する対策として、一定の CPI 周期毎に割り当て結果を参照し、割り当ての重複回数が一定以上となっている画素に対しては track score による重複調整を行う。

本稿では、従来の TBD を拡張した CPI 間の積分方式の概要と、シミュレーションによる性能評価結果を示す。

2. 高 PRF パルスドップラレーダの積分処理

高 PRF パルスドップラレーダの信号処理のながれを図 1 に示す。受信データに対して、目標の位相変化が一定とみなせる時間間隔に対しては FFT を、そうでない CPI 間は PDI 処理を行うことで積分を実施し、目標検出する。但し、横行または旋回目標においては目標のドップラ周波数が図 2 のように CPI に対してシフトするような特性となり、PDI 処理時において積分損失が問題となる。



図1 高 PRF パルスドップラレーダの信号処理のながれ

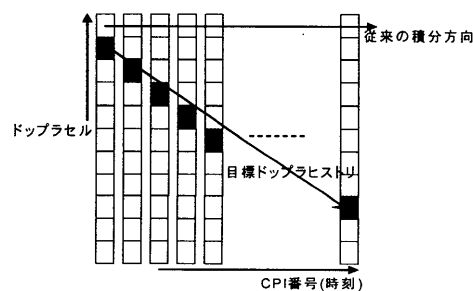


図2 目標ドップラ周波数の時間的変化

3. 提案手法の構成(APEX-HPRF)

前章で示した課題解決のため TBD による目標ドップラシフト探索アルゴリズムを示す。

3.1 TBD による探索アルゴリズム

TBD では目標軌跡の探索にあたり、track score なる評価指標を定義する。track score とは、図 3 で示すドップラセルの時系列の集まりが目標の軌跡であるかを判定する指標であり、score 値が最大となるドップラセルの組み合わせを最適な軌跡とみなす。ドップラセルの推移に対して一次のマルコフ性を仮定すると track score は式 (1) のように表すことができる。

$$s(A_k, A_{k-1}, L, A) = s(A_k, A_{k-1}) + s(A_{k-1}, A_{k-2}, L, A) \quad (1)$$

ここで A_k は図3に示す CPI k におけるドップラセルの集まりである。

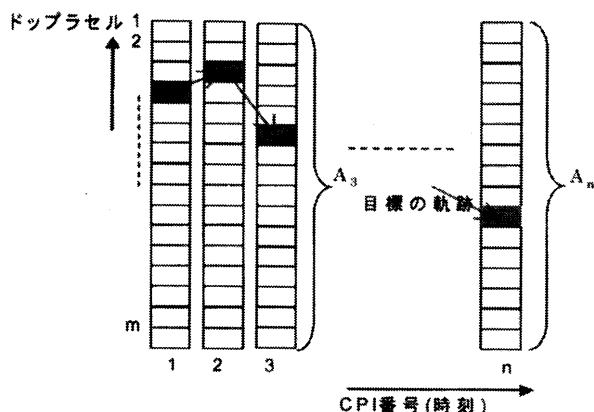


図3 TBDによる積分路の探索

式(1)記載の track score 算出の要素としては、各ドップラセルの持つ振幅値、セル間の距離による推移に対する重み付け(推移確率)である。式(1)記載の track score 値が最大となるセルの探索を繰り返すことで目標ドップラシフトに対応した積分路が抽出可能であるが、ドップラセル毎に式(1)が最大となるセルを選択する点が問題である。

3.2 ドップラセルの重複選択回避

TBDにおけるドップラセルの重複選択の弊害としては、比較的 SNR の高い目標のドップラセルに対して目標セルの近傍が高い評価値となり、誤警報を発生させる点である。重複選択回避策としては、多目標追尾で検討されている相関アルゴリズム[4]の適用が有効と思われるが、全セルに適用するには処理負荷が大きなインパクトとなる。そこで以下(1)~(4)の手法を適用する。

- (1)3.1 で示した 1CPI の探索毎に各画素は探索にて決まった 1CPI 前の推移セルと式(1)で定義される track score 値をセル毎に記録する。
- (2)(1)の処理と同時に各セルは決まった探索路によって、1CPI 前の推移セルに該当するセルの座標に投票処理を実施する。理想的には投票結果はすべてのセルが投票値 1 となる事である(矛盾なく割り当てが起こる)。但し、従来 TBD の場合、強度が高い目標信号の場合は、重複して割り当てが起こり投票結果が 1 を超えることがある。そこで処理(3)(4)を実施する。
- (3)全セル分の投票が終了すると投票値が一定値を超える推移セルについては割り当て重複超過とみなし track score 値を調整する。投票結果に対する閾値は投票結果を参照し、式(2)のように設定する。

$$Th_{const} = \mu_n + K \times \sigma_n \quad (2)$$

ここで

μ_n : 割り当て結果の平均値

σ_n : 割り当て結果の標準偏差

K : 閾値設定用定数(7 固定)である。

- (4)track score の調整としては超過となった推移セルに割り当てられたセルのうち、track score 値が大きいものの評価値を保持し、それ以外の超過セルは評価関数値を調整する。調整値としてはフレーム毎の track score 中間値を与える。

以上に示した処理により積分路抽出を行い、かつ従来の TBD 法のようにドップラセル重複選択による誤警報を抑圧する。この重複回避法を本稿では APEX(Adaptive Plot

EXtraction)-HPRF と呼ぶことにする。

4. シミュレーション

シミュレーション条件を図4に示す。

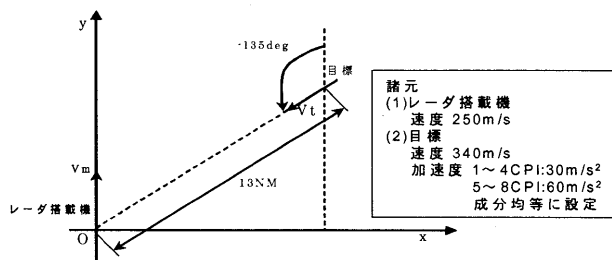


図4 シミュレーションシナリオ

目標の 1 ヒット辺りの SNR を -15 ~ 0 dB とし、256 点コヒーレント積分処理を 8 回実施(8CPI), 8CPI 間で PDI する状況を想定する。処理利得を比較した結果を図5に示す。

同図において横軸が 1 ヒット辺りの SNR を縦軸が PDI 後の SNR を表す。また、グラフ凡例においては、TBD PDI が提案手法、Hough PDI が Hough 変換による手法、PDI が積分路補償をしない従来の PDI の結果である。提案手法の場合、他手法に比べて処理利得の改善が確認できる。

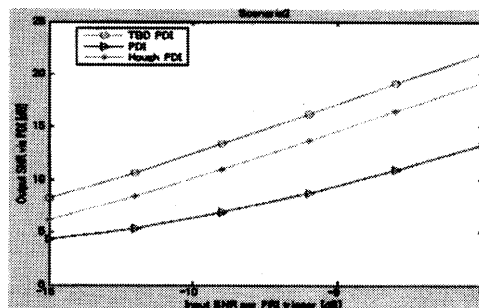


図5 処理利得の比較

5. むすび

本稿において、TBD による加速度目標に対する積分アルゴリズムを示した。計算機シミュレーションの結果、積分損失が改善される可能性を得た。引き続き性能検証をすすめると共に検出性能に関する効果についても検証する。

参考文献

- [1] 福島, 岡本, 辻道, 藤坂, 小菅, “PDI 方式を用いたドップラレーダーの加速度目標検出性能の改善”, 信学論 (B-II), Vol. J82-B, no. 11, pp. 2161-2169, Nov. 1999.
- [2] 安心院, 長尾, “C 言語による画像処理入門”, 昭晃堂, 2000 年 11 月.
- [3] J. Arnold, S. Shaw and H. Pasternack, “Efficient Target Tracking Using Dynamic Programming”, IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, Vol.29, No.1, Jan. 1993.
- [4] D.B.Reid : “An Algorithm for tracking multiple targets”, IEEE Trans. Autom. Control, vol.24, no.6, pp.843-854, Dec. 1979.