

超分解能法を用いた多周波ステップCPC方式における近接角度分離法

Angle Estimation Method using Super-Resolution in Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code Modulation

秋田 学 梅村 昇平 渡辺 優人 稲葉 敬之
 Manabu Akita Shohei Umemura Masato Watanabe 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

多周波ステップCPC方式^[1]は、目標を速度（パルスドップラーフィルタ）と距離（レンジゲート）で分離した後に、測角処理を施す。また、同一ビーム幅内に複数目標が存在する場合を想定して最尤推定法（ML法）とモノパルス測角を併用した測角法を提案している^[2]。ここで、モノパルス測角処理に入力する前段で複数目標を、超分解能法を用いて距離で分離することができれば、その距離情報を用いて測角対象以外の目標の距離にヌルを作るような直交変換^[3]を行い、その後通常のモノパルス測角を行う信号処理構成での対応が可能となる。本稿では、速度が同じで同一の距離ゲート内、同一のビーム内に2つの目標が存在する状況で、距離が微小（送信帯域幅で決まる分解能の1/2に相当する距離差）に異なる2目標の角度分離について、上記信号処理構成とシミュレーション結果について述べる。

2. 超分解能法を用いた近接角度分離法

図1に本稿で提案する超分解能法を用いた多周波ステップCPC方式における測角処理のブロック図を示す。ADD後の処理結果に対して、 $\mathbf{a}(r)$ をステアリングベクトルとして超分解能法（ここでは、MUSIC）を適用すると、MUSICスペクトルは、式(1)で表される。

$$P_{MW}(r) = \frac{\mathbf{a}^H(r)\mathbf{a}(r)}{\mathbf{a}^H(r)\mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H\mathbf{a}(r)} \quad (1)$$

$$\left(\mathbf{a}(r) = \exp\left[-j2\pi\left(\frac{2R}{c}Af\right)n\right], \mathbf{E}_N = [\mathbf{e}_{L+1}, \dots, \mathbf{e}_K] \right)$$

ここで、 $\mathbf{e}_{L+1}, \dots, \mathbf{e}_K$ は熱雑音電力に等しい固有値に対応する固有ベクトルである。所望波以外にヌルを形成する方法はDCMP法^[3]があげられるが、一般的に多くのスナップショットを必要とすることから、ここでは超分解能法により得られる2目標の距離(r_1, r_2)により、距離 r_1 の目標に対して $\mathbf{a}(r_2)$ を用いて射影行列 \mathbf{P} を生成する。各チャンネルにおけるADD後の結果 \mathbf{X}_{ch} に \mathbf{P} を左から掛けて $\mathbf{a}(r_1)$ との内積をとったものを距離 r_1 の目標に対するモノパルス測角処理の入力とする。同様の処理を距離 r_2 の目標に対しても行う。

$$\mathbf{y}_{ch} = \mathbf{a}^H(r_1)\mathbf{P}\mathbf{x}_{ch} \quad \left(\mathbf{P} = \mathbf{I} - \frac{\mathbf{a}(r_2)\mathbf{a}(r_2)^H}{\mathbf{a}(r_2)^H\mathbf{a}(r_2)} \right) \quad (2)$$

3. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションに用いる多周波ステップCPCレーダパラメータおよび目標条件を表1および表2にそれぞれ示す。図1におけるADD後の信号処理結果に対して、通常の合成帯域処理(SWW)および超分解能法を適用した結果の一例を図2に示す。図2(b)より、2つの目標の距離は、それぞれ0.85m、1.02mと求められる。超分解能法の通常のSignal Copyを施した後、モノパルス測角を適用すると、1.9度、2.8度となる。これに対し、それぞれの目標に対してヌルを形成するような射影行列を式(2)より求め、射影変換した後、SWWを行った結果を図3に示す。図3(a)および(b)より、それぞれの目標に対してヌルが形成されていることがわかる。これに、モノパルス測角を適用すると、1.1度、6.4度となる。

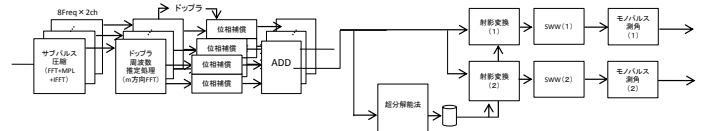


図1. 超分解能法を用いた多周波ステップCPC方式における測角処理

表1. 多周波ステップCPCレーダパラメータ

| | | | |
|-------------|--------------------|-----------|--------|
| 送信周波数 f_0 | 60.5GHz | パルス数: | 512 |
| アンテナ数 | 4 | 周波数ステップ幅 | 50MHz |
| 素子間隔 | 0.8λ (4mm) | 周波数ステップ数: | 8 |
| パルス帯域幅 | 80MHz | 送信帯域幅 | 430MHz |
| 符号長 | 16 | 全観測時間 | 29msec |
| PRI | 3.5us | 距離分解能 | 0.34m |

表2. 計算機シミュレーションにおける目標条件

| | | | |
|-----|--------|----|---------|
| | 距離 | 角度 | 速度 |
| 目標1 | 0.852m | 1度 | 3.1km/h |
| 目標2 | 1.023m | 6度 | 3.1km/h |

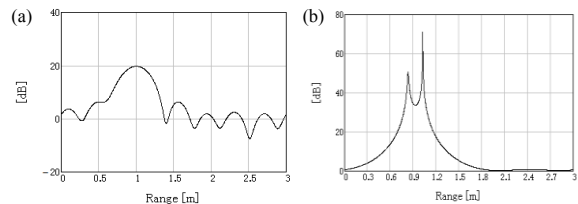


図2. ADD後の結果に対する合成帯域処理(a)および超分解能法(b)の結果

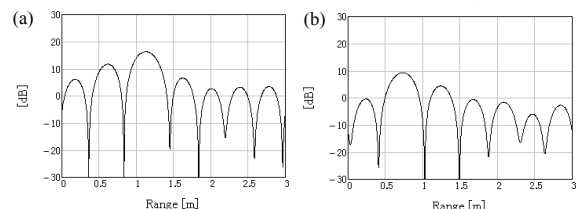


図3. 各目標に対して射影変換後のSWWの結果 (目標1(a)および目標2(b))

4. むすび

本稿では、多周波ステップCPC方式の測角処理の一検討として、超分解能法を用いた近接角度分離法および同法を用いたシミュレーション結果を示した。今後は、実験においても同法の有効性を確認する予定である。本稿に示す研究内容は、総務省の委託研究「電波資源拡大のための研究開発（狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダ技術の研究開発）」により実施されたものである。

参考文献

- [1] 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCレーダの提案と原理検証実験", 電気学会論文誌C, Vol. 135, No. 3, pp.285-291, 2015
- [2] 山下遼, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCミリ波レーダにおける最尤推定法を用いた到来方向推定", 信学技報SANE2014-111, 2015
- [3] 稲葉敬之, 三浦龍, 大堂雅之, "ビーム内干渉波環境での所望波到来角推定実験", 電子情報通信学会論文誌B, Vol. J87-B, No.5, pp.749-755, 2004