

BM法を前処理とした離隔周波数帯コヒーレント合成による高分解能測距手法の検討

B-2 Investigation of Sparse Frequency Bands Coherent Processing with BM method for high resolution range estimation

山口 達輝 渡辺 優人 秋田 学 稲葉 敬之

Tatsuki Yamaguchi Masato Watanabe Manabu Akita Takayuki Inaba

電気通信大学 知能機械工学科

Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, The University of Electro-Communications

1. まえがき

レーダの距離分解能は一般に送信帯域幅に依存する。レーダで使用可能な帯域は電波法により制限されており、それらは離隔した帯域となっている。これらの離隔帯域で別々に運用されるレーダの観測信号に対するコヒーレントな信号処理により距離分解能の向上が期待される。

コヒーレントな信号処理のためには、目標毎に離隔帯域間の位相補正が必要となる。

本稿では、Blocking Matrix(BM)[1]の射影変換を前処理として、位相補正係数による目標毎のコヒーレント合成および目標距離の推定処理を再帰的に実行する測距手法を検討する。

2. BM法を前処理としたコヒーレント合成処理

本章ではBMの射影変換を前処理とした位相補正係数と目標距離の推定法について述べる。合成帯域レーダ(ステップ数 N 、周波数ステップ間隔 Δf [Hz]とする)で観測される周波数方向(n 方向)の計測信号 $\mathbf{x}^{N \times 1}$ は式(1)で表される。なお、目標の反射電力の帯域内周波数依存性は無視できるものとする式(2)で表される(以降の議論では、簡単のため式(2)を用いることとする)。

$$\mathbf{x}_i(n) = \beta_i \sum_{l=1}^P \left\{ \left(\frac{f_{c_l} + n\Delta f}{f_0} \right)^{\alpha_i} a_i e^{\frac{4\pi j R_i}{c} (f_{c_l} + n\Delta f)} \right\} \quad \dots(1)$$

$$\mathbf{x}_i(n) = \beta_i \sum_{k=1}^P \left\{ \alpha_{l_i} a_i e^{\frac{4\pi j R_i}{c} (f_{c_l} + n\Delta f)} \right\} \quad \dots(2)$$

ここで f_0 は基準送信周波数、 f_{c_l} は送波周波数、 l は帯域番号、 n は帯域内周波数番号、 i は目標番号、 α および β はそれぞれ目標反射電力の周波数依存性、スナップショット毎に変わる任意の複素振幅である。また a_i および R_i はそれぞれ目標 i の反射係数と目標距離に対応する。

BMは目標距離の情報から生成した射影行列 \mathbf{P} を用いて、観測信号 \mathbf{x} から任意の目標信号を除去する手法である。BMを用いてある目標 k のみとした信号 \mathbf{x}' は式(3)で表される。

$$\mathbf{x}'_{l,i} = \left[\mathbf{I} - \sum_{k,k \neq i} \frac{\mathbf{s}(R_k)\mathbf{s}(R_k)^H}{\mathbf{s}(R_k)^H\mathbf{s}(R_k)} \right] \mathbf{x}_l = \mathbf{P}_i \mathbf{x}_l \quad \dots(3)$$

$$\mathbf{s}(R) = \left[1 \quad \dots \quad e^{\frac{4\pi j R_i}{c} (n\Delta f)} \quad \dots \quad e^{\frac{4\pi j R_i}{c} (N-1)\Delta f} \right]^T \quad \dots(4)$$

BMを各帯域の信号に適用した後、目標毎の信号位相を式(5)により、補正しコヒーレント合成した信号に対し、式(9)で表される評価関数のピーク探索から推定値 R_i を得る。

$$\mathbf{x}'_i = \begin{bmatrix} \mathbf{x}'_{1,i} \\ 1 \\ \mathbf{x}'_{2,i} \end{bmatrix} \quad \dots(5) \quad \alpha'_i = \frac{\alpha_{2,i}}{\alpha_{1,i}} \quad \dots(6)$$

$$\alpha_{l,i} = [(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{x}_l]_{l,1} \quad \dots(7) \quad \mathbf{A} = [\mathbf{s}(R_1) \quad \dots \quad \mathbf{s}(R_p)] \quad \dots(8)$$

$$R_i = \arg \max_R \frac{|\mathbf{s}'_i(R)^H \mathbf{x}'_i|^2}{|\mathbf{s}'_i(R)|^2} \quad \dots(9)$$

なお、式(9)で用いる $\mathbf{s}'_i(R)$ は式(3)の減算を考慮したステアリングベクトル(= $\mathbf{P}_i \mathbf{s}(R)$)である。

本手法では乱数または各帯域で運用されるレーダから出力される距離情報を初期値として、上述の処理を再帰的に実行することで目標距離を推定する。再帰的処理は目標距離推定を行う第一イテレーションと、位相補正係数の推定を行う第二イテレーションをからなる。それぞれの処理ブロック図を図1、2に示す。

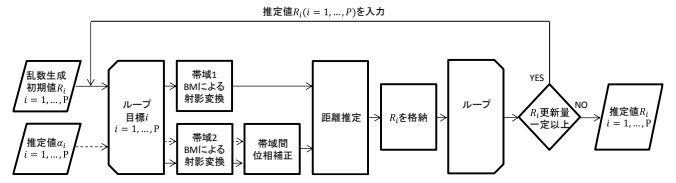


図1. 第一イテレーションのブロック図

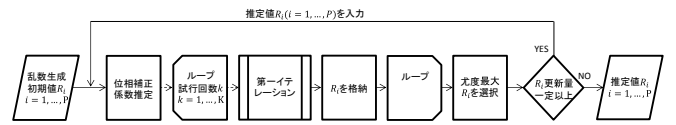


図2. 第二イテレーションのブロック図

なお第一イテレーションの推定値は局所解となる可能性があるため、複数回試行した後、各推定値を最尤推定法[2]を距離方向に適用した尤度関数に入力し、尤度の最も高い値を選択して第二イテレーションに入力する。

3. 計算機シミュレーション

以下の条件にて計算機シミュレーションを行い本手法の検証を実施した。

- 離隔周波数帯：60.0, 76.0GHz
- 周波数ステップ間隔：50MHz
- ステップ数：8
- 目標数：2(両目標の反射電力は同じ)
- スナップショット数：4

図3に本条件において50回試行し、エラー試行を除外した推定値の平均と標準偏差を求めた結果を示す。MUSIC[2]を各帯域に適用し推定値を平均した出力と比べ、本手法はバイアス誤差およびランダム誤差ともに小さいことが確認された。

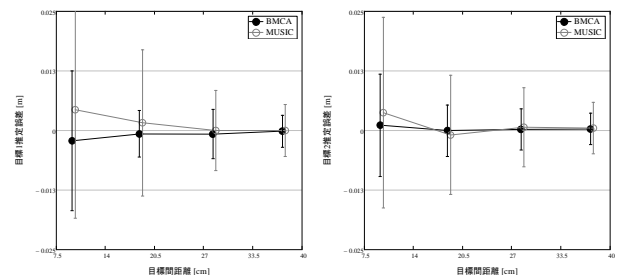


図3. 目標距離推定誤差の比較(左図:目標1,右図:目標2)

4. むすび

本稿では、BMとコヒーレント合成を前処理とした目標距離および位相補正係数の推定を再帰的に実行する測距手法を検討し、その計算機シミュレーション結果を示した。今後は、多目標環境の条件における評価および検討を進める。また当研究室により提案されている多周波ステップCPC方式[3]の合成帯域前データへの適用を検討する。

参考文献

- [1]Kleemann, Space-Time Adaptive Processing Principles and Applications, IEE Press, London, 1998.
- [2] 稲葉敬之, 荒木純道, 干渉波環境での車載用レーダ信号処理構成の検討, 信学論B, Vol.J87-B, No.2, pp.199-212, 2004
- [3]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, 電学論C, Vol. 135, No. 3,pp.285-291, 2015