

# 離隔周波数帯コヒーレント合成処理による高距離分解能化

## Coherent Processing for Sparse Frequency Bands

渡辺 優人 秋田 学 稲葉 敬之  
 Masato Watanabe Manabu Akita 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

レーダにて使用可能な周波数帯域は、電波法により割り当てられている。このため高分解能化等を狙い、より広帯域信号を得るために、使用可能な離隔した複数の周波数帯域を用いて、それぞれの周波数帯域の受信信号を合成することが考えられる。合成処理としては、それぞれの信号を時間積分して平均化する方法が考えられるが、ここでは2つの周波数帯の位相差を補償し、コヒーレントに合成することを考える。本稿では、これら複数の離隔周波数帯をコヒーレントに合成する処理(2L-ML)について、それぞれ目標の帯域間周波数依存が一定という信号モデルにおいて、2つの周波数帯をコヒーレントに合成(すなわちベクトル長が伸びること)による距離推定精度について評価する。

### 2. 計測信号モデル

パルス圧縮レーダの出力(周波数領域で参照関数の複素共役と乗算したもの)または合成帯域レーダの帯域合成前の周波数方向の信号は、式(1)のように目標距離が周波数として表される信号が得られる[1]。

$$X_l(m, n) = \beta_{l,m} \sum_{k=0}^{K-1} \left( \frac{fc_m}{f_0} \right)^{\alpha_k} \cdot a_k \cdot e^{\frac{4\pi R_k}{c}(fc_m + \Delta f \cdot n)} \quad (1)$$

$$X_l(m, n) = \beta_{l,m} \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_k \cdot a_k \cdot e^{\frac{4\pi R_k}{c}(fc_m + \Delta f \cdot n)} \quad (2)$$

$f_0$ : 基準送信周波数,  $f_c$ : 搬送波周波数,  $l$ : 帯域番号,  $n$ : 帯域内周波数番号,  $m$ : スナップショット番号,  $k$ : 目標番号,  $\alpha, \beta$  はそれぞれ目標の帯域間周波数依存性, スナップショット毎に変わる任意の複素振幅である。ここで、簡単のため、各目標の反射電力の周波数の異存性は一定であり、帯域内では無視できるものとする。式(1)は、式(2)で表され、目標数を2としたモデルを用いることとし、以降の議論では搬送波周波数として、60GHz, 76GHzの2つの帯域を用いることとする。

### 3. コヒーレント合成処理(2L-ML)

図1に2L-MLのブロック図を示す。2.にて述べたようにそれぞれの周波数帯域のレーダでの計測される周波数軸上信号  $X_{60}$ ,  $X_{76}$  を入力とする。2L-MLは位相差推定処理, 最大尤度探索処理, 判定処理からなる。位相差推定処理では、任意の初期値  $R_1, R_2$  もしくは各周波数帯での推定距離の平均, 探索途中の推定値を入力として、一般逆行列等で周波数帯間の位相差  $\alpha$  を推定する。最大尤度探索では、推定した位相差  $\alpha$  を用いて、式(3)に示す最大尤度探索を実施する。このとき位相差  $\alpha$  は更新する

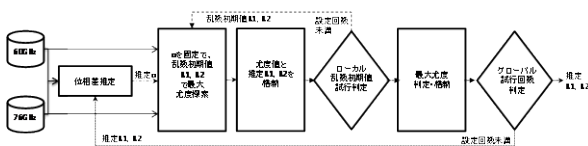


図1 離隔周波数帯コヒーレント合成処理 (2L-ML)

まで固定とし,  $X_{60}$ ,  $X_{76}$  を縦に結合した  $X$  を入力とする。尤度が最大となる  $R_1, R_2$  を、非線形探索を行い,  $R_1, R_2$  を推定し結果を格納する。このとき探索初期値は、任意の初期値もしくはグローバル試行回数判定出力を用いる。

$$(R_1, R_2) = \arg \max_{R_1, R_2} \left( \text{trace} \left[ C(C^H C)^{-1} C^H X X^H \right] \right) \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot 0}{c} R_1} & e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot 0}{c} R_2} & \vdots \\ e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_1} & e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_2} & \vdots \\ \alpha_1 \cdot e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot 0}{c} R_1} & \alpha_2 \cdot e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot 0}{c} R_2} & \vdots \\ \alpha_1 \cdot e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_1} & \alpha_2 \cdot e^{\frac{4\pi \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_2} & \vdots \end{bmatrix}$$

判定処理は、ローカル判定, 最大尤度値判定, グローバル判定からなり、ローカル判定では試行回数が設定回数を満たすまで探索初期値である距離  $R_1, R_2$  に対して乱数値を付与して初期値を更新し、最大尤度探索を実行する。最大尤度判定では、格納した最大尤度探索結果の中から最大尤度を示す距離  $R_1, R_2$  を取り出し、グローバル判定へと送る。グローバル判定では、試行回数を満たすまで最大尤度を示した推定距離  $R_1, R_2$  を位相推定処理へと入力し、最大尤度探索処理を再度実行する。

### 4. シミュレーション

シミュレーション条件は以下の通りである。

- 離隔周波数帯: 60GHz, 76GHz
  - 周波数サンプリング間隔: 50MHz
  - サンプリング点数: 8
  - 目標数2 (目標の振幅は同じ, 周波数依存性一定)
- 目標信号の S/N を 20[dB], 目標の距離をそれぞれ 100, 100.17[m]とした。雑音を変え、50回試行したときの推定値の平均と標準偏差を表1に示す。また表1に、距離推定(インコヒーレント)の結果も合わせて示す。表1よりコヒーレント合成処理により、推定精度の向上が確認される。

表1 シミュレーション結果

	R1 平均 [m]	R2 平均 [m]	R1 標準偏差 [m]	R2 標準偏差 [m]
コヒーレント合成	100.00	100.17	0.006	0.006
インコヒーレント合成	100.00	100.17	0.012	0.013

### 5. むすび

本稿では2L-ML法について、目標毎の周波数依存が一定という信号モデルにおいて、2つの周波数帯をコヒーレントに合成したときの距離精度について評価した。今後の課題として、最大尤度判定処理の改良、別の信号モデルへの適用が考えられる。

### 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 (2015) No. 3, pp.285-291