

# 多周波ステップ ICW レーダへのプリサムを前処理とした距離・速度二次元超分解能法の適用 Application of two dimension distance and speed super resolution method after pre-sum to stepped multiple frequency interrupted CW radar

大森 翔太  
Shota Omori

稲葉 敬之  
Takayuki Inaba

電気通信大学大学院 電子工学専攻

Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications

## 1. まえがき

レーダの距離高分解能化を図る方式として、送信周波数を多周波に拡張し、かつパルス化された送信波を送信する多周波ステップ ICW (Interrupted Continuous Wave) レーダ方式[1]が提案されている。本方式は通常のフーリエ変換による目標速度検出処理を前処理として距離推定に超分解能法を用いることで、従来の up/down 掃引 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式に比べ短い観測時間と、パルス圧縮方式や FMCW 方式に比べ少ない送信周波数占有帯域にて所望の目標距離分解能を得ることを可能としている(一次元超分解能法)。一次元超分解能法を適用した場合、目標速度検出処理に通常のフーリエ変換を用いているため、観測時間より得られる速度分解能以下の速度差の複数目標分離は困難である。これに対して、距離・速度二次元超分解能法を用いることにより、速度分解能の向上を図ることで、極めて小さい速度差の複数目標分離が可能となる。二次元超分解能法を適用した場合、実用上の計算負荷を考慮すると、計算量を低減する必要がある。そこで、二次元超分解能法の前処理としてパルスヒット方向に対しプリサム処理を行い計算負荷の低減を図る。

本稿では、多周波ステップ ICW レーダ方式に二次元超分解能法を適用し、速度差が極めて小さい移動 2 目標分離実験を行う。また、距離・速度二次元超分解能法における信号処理パラメータが目標分離性能に与える影響を評価する。

## 2. 距離・速度二次元超分解能法

図 1 に二次元 MUSIC 処理を適用した多周波ステップ ICW レーダの信号処理ブロック図を示す。

送信信号は、観測時間  $T$  内でコヒーレント(観測時間内で位相一定)な CW 波  $f_n(n=0,1,\dots,N-1)$  を発生させ、それらを図 1 に示すタイミングで  $T_{PRI}$  毎にパルス化し出力する。目標から反射した送信波は、目標までの往復時間に相当する時間遅延の後、受信波として受信アンテナに入射する。受信信号は、時間遅延によるステップ方向位相回転情報、ドップラ周波数によるパルスヒット方向位相回転情報を含んでいる。 $f_n(n=0,1,\dots,N-1)$  で復調された受信信号に対し、計算負荷を低減するため、各々のステップ周波数毎にプリサム処理を施し(pre-sum)、空間平均処理後(Freq. smoothing)、距離・速度方向の二次元 MUSIC 処理(Multiple Signal Classification, Super resolution)により、目標距離・速度推定を行う。

目標分離性能に影響を与える信号処理パラメータは、プリサム数(Nps)、空間平均処理時のステップ方向およびプリサム方向サブアレー数(ステップ方向: NsbL, プリサム方向: NsbN)である。本稿では、計算量、目標分離性能に影響を与えるプリサム数について評価を行う。

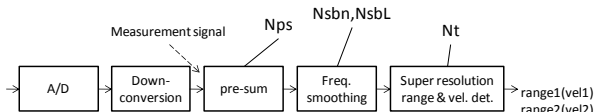


図 1 信号処理ブロック図

## 3. 移動 2 目標分離試験

観測時間から得られる速度分解能の 4 分の 1 の速度差をもたせた移動 2 目標分離試験を行う。図 3 に距離・速度二次元 MUSIC スペクトル、目標距離・速度推定結果を示す。

表 1 送信信号パラメータ

搬送波周波数 $f_0$	24GHz
周波数ステップ幅 $\Delta f$	1.4MHz
ステップ数 $N$	8
パルス幅 $T_w$	133ns
送信周波数帯域幅 $B$ ( $B$ から得られる距離分解能)	17.3MHz(6.0m)
観測時間 $T_c$ ( $T_c$ から得られる速度分解能)	30ms(0.74km/h)
目標設定値 (距離-速度)	目標 1 (4.65m-4km/h) 目標 2 (4.64m-3.82km/h)
目標間速度差 $\delta v$	0.18km/h
MUSIC 処理時のターゲット数 $N_t$	3

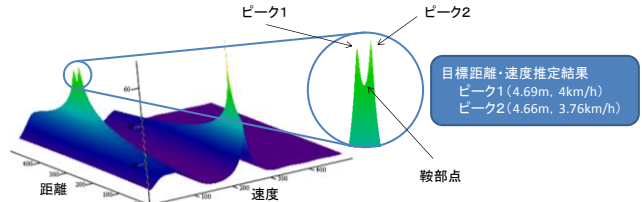
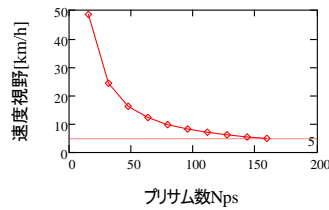


図 2 距離・速度二次元 MUSIC スペクトル

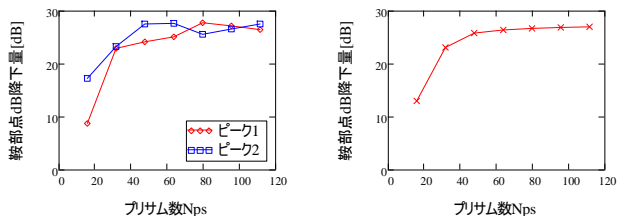
多周波ステップ ICW レーダへ距離・速度二次元超分解能法を適用することで、観測時間から得られる速度分解能の 4 分の 1 の速度差、かつ送信周波数帯域幅  $B$  より得られる距離分解能 6 m に対し目標距離が 0.03m である 2 目標の分離が可能であることを確認した。

目標分離性能に影響を与えるプリサム数を増減させ、その影響を評価する。分離性能評価基準を距離・速度の二次元 MUSIC スペクトルにおける 2 つのピーク-鞍部点間の dB 降下量(図 2)とし、dB 降下量が大きい程、分離性能が高いとする。尚、評価には観測時間から得られる速度分解能(=0.74km/h)を 2 目標間の速度差とした条件で評価を行った。



プリサム数を増加することにより、速度視野が低下すること(図 3)。ここでは、速度視野が最大目標速度(4km/h)より 1km/h 以上の余裕があるようにプリサム数を決定する。(最大プリサム数=160)

図 3 プリサム数 Nps と速度視野の関係



(a) 両ピーク-鞍部点間 dB 降下量 (b) 両ピークと鞍部点間の鞍部点 dB 降下量平均値

図 4 プリサム数とピーク-鞍部点間 dB 降下量

図 4 はプリサム方向のサブアレー数 NsbL を 16、ステップ方向サブアレー数 NsbN を 2 と固定し、プリサム数を 16 から 160 までの範囲で目標分離に成功した結果(プリサム数 16 から 112)を用いて、プリサム数とピーク-鞍部点 dB 降下量の関係を示したものである。尚、(a)はピーク 1、ピーク 2 と鞍部点間の dB 降下量であり、(b)は両ピークと鞍部点間の dB 降下量の平均をとったものである。図 4 より、プリサム数を増加する程、ピーク-鞍部点間の dB 降下量が増加することが分かる。つまり、表 1 に示される送信パラメータを用いた場合、プリサム数を増加させる程、目標分離性能が向上することが分かる。

## 4. むすび

多周波ステップ ICW レーダへプリサムを前処理とした距離・速度二次元超分解能法の適用を提案した。また、送信周波数帯域幅から得られる距離分解能、観測時間から得られる速度分解能を超える分解能が得られることを実験により示した。

### 参考文献

- 稲葉敬之, “多周波ステップ ICW レーダによる多目標分離法,” 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J89-B No.3, pp.373-383, Mar. 2006.
- 稲葉敬之, 福島冬樹 “多周波ステップ ICW レーダによる距離・角度の超分解能推定法,” 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J91-B No.7, pp.756-767, Jul. 2008.