

完全相補符号を用いた MIMO 多周波ステップ CPC レーダの検討

A Concept of MIMO Stepped Multiple Frequency CPC Radar using Complete Complementary Code

秋田 学 渡辺 優人 稲葉 敬之
Manabu Akita Masato Watanabe Takayuki Inaba

電気通信大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

1. まえがき

筆者らが提案している多周波ステップ CPC 方式[1]は、狭帯域受信機で、低距離サイドローブと送信周波数帯域に相当する距離分解能を得られる方式である。本方式においては測角の前処理として目標の距離と速度検出を行い、目標を距離と速度で分離しておくことで、測角処理の入力において、各速度ビン、距離ビンにおいては多くの場合単一目標となることからモノパルス測角を用いている[1]。一方で、開口の大きなアレーアンテナを用いることで、狭帯域受信機で高距離分解能かつ高角度分解能が得られる多周波ステップ CPC レーダの MIMO 化を検討している。ここで、アンテナ間の直交性を保つために異なる組同士の相互相関の和がすべて 0、自己相関の和が $\tau=0$ のみ 1、その他すべて 0 である完全相補符号 (Complete Complementary Code) を用いる[2]。多周波ステップ CPC 方式の MIMO 化に伴う完全相補符号系列の増加は、速度視野の低下につながるから、多周波ステップ CPC 方式の速度視野の回復が課題となる。

2. MIMO 多周波ステップ CPC レーダ

2.1 送受信シーケンスおよび信号処理概要

図 1 に MIMO 多周波ステップ CPC の送信シーケンスを示す。本研究では、多周波ステップ CPC 方式の MIMO 化にあたり、まえがきで述べたように完全相補符号を用いる[2]。 L_{tx} 個の各送信アンテナ L_{tx} ごとに L_{tx} 組 (図 1 では $L_{tx}=4$) の完全相補系列を割り当てる。ここで符号長については、文献 [1] で用いられている 16 とし、各組は 4 つの系列をもつ完全相補符号を用いる。各送信アンテナに割り当てられた相補系列系を同時に送信し、受信系では、各アンテナで受信された信号に対し、図 2 に示すように多周波ステップ CPC 方式の信号処理を行った後に、送信 L_{tx} 個、受信 L_{rx} 個の等価開口長 L_{tx} ($L_{rx}-1$) d をもつアレーアンテナに対して、DBF を行うことにより目標推定角を得る[3]。

2.2 速度視野について

多周波ステップ CPC 方式の速度視野 V_{max} は、 $\lambda/4T_{PRI}NC_N$ であたえられる[1]。

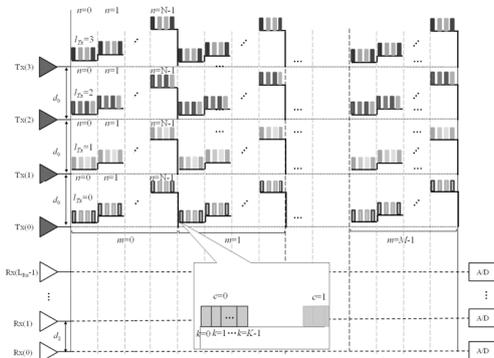


図 1. MIMO 多周波ステップ CPC 方式の送信シーケンス (同時送信)

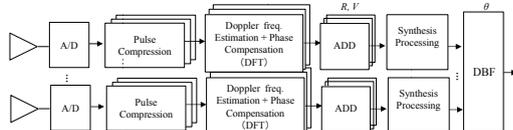


図 2. MIMO 多周波ステップ CPC 方式の信号処理

ここで、 λ は波長、 C_N は系列数、 N は周波数ステップ数である。速度視野は、PDF における同一符号列の同一レンジビンのサンプリング間隔で決まり、各送信アンテナの増加に伴う系列数 C_N の増加によりそのサンプリング間隔が長くなるため、速度視野の低下につながる。本稿では速度視野回復の一検討として、送信アンテナにおける送信周波数の切り替えをランダム、同一符号列の同一レンジビンのサンプリング間隔を不等間隔とし速度の折り返しを、PDF における FFT を DFT とする方法をとる。

3. 不等間隔サンプリングによる速度視野拡張検討結果

表 1 に示すレーダパラメータを用いて、距離 11.7m、速度 162km/h (>速度視野) の目標に対して疑似信号を作成し、MIMO 多周波ステップ CPC 方式における ADD 処理まで信号処理をした結果を図 3 に示す。(a) 従来の送信周波数の切り替え、(b) 切り替えランダム。図 3(a)において、速度視野の 2 倍の間隔で速度の折り返しが発生していることがわかる。一方、図 3(b)においてはその速度間隔におけるピークはなくなり、ドップラ方向に電力が拡散していることがわかる。そのピーク対フロアの電力比は 25dB 程度となる。

表 1. 検討に用いた MIMO 多周波ステップ CPC レーダパラメータ

Parameters	Specification	パルス繰り返し数 M	256
送信周波数	60.5GHz	観測時間	29ms
CPC パルス帯域幅	80MHz	パルス間隔	3.5us
符号長	16	周波数ステップ数 N	8
符号組数 (アンテナ数)	4	周波数ステップ幅	50MHz
符号列数 (Code 数)	4	速度視野 (従来)	39km/h

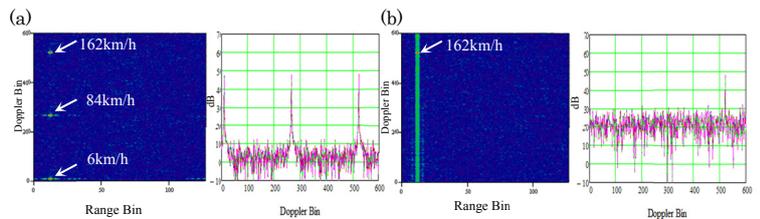


図 3. MIMO 多周波ステップ CPC 方式における ADD 後の信号処理結果 ((a) 従来の送信周波数の切り替え、(b) 切り替えランダム)

4. むすび

本稿では、完全相補符号を用いた多周波ステップ CPC レーダの MIMO 化についてそのコンセプトを述べた。符号列数の増加に伴う速度視野の低下への対処の一検討として送信周波数の切り替えをランダムとする方法について述べ、シミュレーションにより結果の一例を示した。

謝辞

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」および科研費 26820154 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 (2015) No. 3, pp.285-291, 2015
- [2] 韓承鎬, 末広直樹, 伊本俊明, 系列長 MN の完全相補系列の生成法, 電子情報通信学会論文誌 A, J88-A(3), pp.357-363, 2005
- [3] 稲葉 敬之, 荒木 純道, サーキュレータとスイッチを組み合わせた合成開口レーダアンテナ構成法, 電子情報通信学会論文誌 B, J88-B(11), pp.2423-2427, 2003