

多周波近距離レーダの各種産業分野への応用開発

Developments of Multiple Frequency Radar for Various Industrial Field

秋田 学 稲葉 敬之

Manabu Akita 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

電気通信大学稲葉研究室では、多目標対処能力・耐干渉性に優れ、遠距離性と高距離分解能という原理的に相反する能力の両立を可能とする多周波ステップ CPC 方式を提案し、従来法に比べ同一電力・周波数帯域幅にて約 1.7 倍の検知距離延伸を可能とすることを実験的に明らかにしている。本方式は近年法整備がなされ広帯域化された 79GHz 帯 (4GHz 幅) に適合する新たなレーダ変復調方式の基盤技術となりうる。同変復調方式を搭載した実時間動作可能な多周波ステップ CPC レーダ (60GHz/76GHz 帯 RF 部 + リアルタイム信号処理装置) を開発し、遠距離における高距離分解能性能について実験的に検証している。本技術は、地上インフラ、踏切安全監視、車載レーダとして企業により実用化にむけ開発がなされている。本技術を簡素化し価格競争力を高めた多周波 CW 方式や 2 周波 CW 方式を各種センサ (列車速度計、重要施設等の侵入監視センサ、探査機の着陸時の高度計など) への応用研究も行っている。

2. 多周波ステップ CPC ミリ波レーダの開発

多周波ステップ CPC 法は、合成帯域法により狭受信機帯域幅にて高分解能を得る方法である。合成帯域法で生じる距離アンビギュイティ問題に対処するために、距離サイドローブのない完全自己相関が得られる 2 つの CPC 符号パルス圧縮を距離ゲートとして用い、この CPC 符号パルス圧縮と前記合成帯域法で誤差要因となるドップラシフトに対しパルスドップラフィルタを融合させた処理構成にて対処する方式である。図 1 に送信シーケンスと信号処理ブロック図を示す。パルスドップラフィルタ (PDF) により速度を求め、その信号を用いて合成帯域することで高分解能な距離を得る^{[1][2]}。

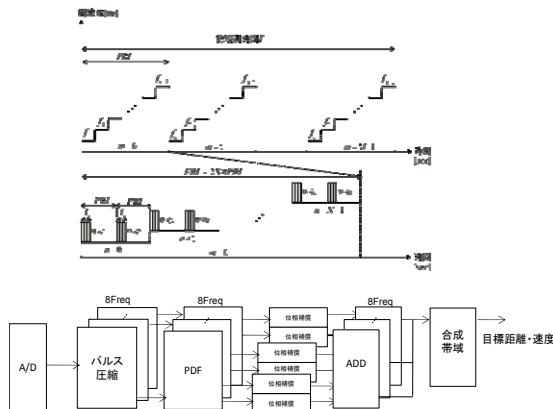


図 1. 多周波ステップ CPC 方式の送信シーケンスと信号処理ブロック図

2.1 探知距離性能比較^[3]

送信帯域幅、観測時間 (CPI)、送信ピーク電力、目標の RCS を同一条件とした多周波ステップ CPC 方式と従来法であるパルス圧縮方式の探知距離性能について比較検証した結果の一例を図 2 に示し、50 回計測した結果の平均値を表 1 に示す。表 1 に示すように多周波ステップ CPC 方式は、同じ距離分解能が得られる条件において、従来法に比べ探知距離性能が約 1.72 倍 (周波数ステップ 16) にまで延伸可能となる結果が得られている。

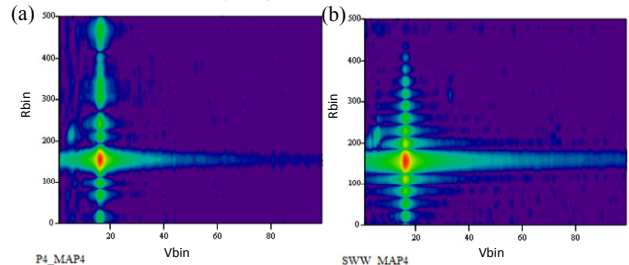


図 2. 探知距離性能比較実験の一例 ((a)パルス圧縮方式, (b)多周波ステップ CPC 方式)

表 1. 各方式による探知距離性能比較結果 (各 50 回計測)

	距離 1m に補正後の S/N の平均 [dB]	探知距離性能
パルス圧縮方式	108.16	1
多周波ステップ CPC 方式	117.61	1.72

2.2 遠距離における高距離分解能性能検証実験^[4]

多周波ステップ CPC レーダを用いたフィールド実験結果の一例を示す。図 3 に、実験結果 ((a)実験風景, (b)距離・速度マップ, (c)目標速度に対応する距離プロファイル, (d)目標周辺拡大図) を示す。図 3(d)において青色の実線は超分解能モードによる結果であり、本事例に関しては、距離 150m、距離差 34cm (帯域幅に相当) の二つのコーナリフレクタの分離が確認される。

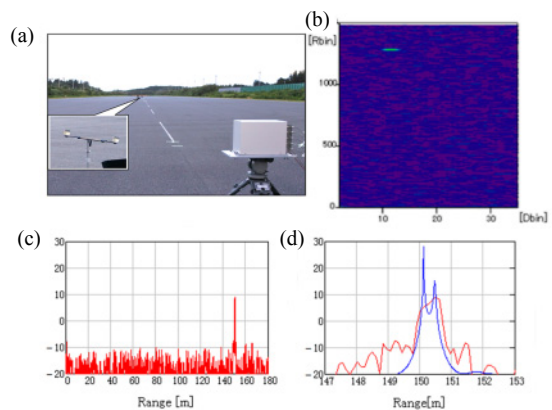


図 3. 遠距離における高距離分解能性能検証実験結果

3. 多周波 CW 方式に基づく電波高度計の開発^[5]

機体と地表面の相対速度と距離を測定する着陸レーダは、機体の安全な着陸を補助するセンサとして開発がなされている。着陸レーダとして、送信ピーク電力が抑えられ、かつ数十 kHz 程度の低速の A/D 変換機および低速の信号処理にて高い距離分解能が得られる多周波ステップ CPC 方式を簡素化した多周波 CW 方式が有力な候補である。超分解能法を用いた多周波 CW 方式によりシミュレーションにおいて、バイアス誤差に関して高度の 1% 程度、ランダム誤差について 0.8%~1.0% 程度という結果が得られている。また、屋外実験において、クレーン車にレーダを取り付け、基礎実験を実施し、図 4 に示すように高度 1.0m~7.0m の間で安定した計測結果が実験的にも得られることが確認された。

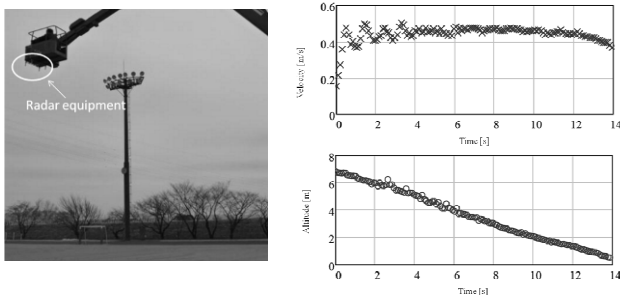


図 4. 多周波 CW レーダによる屋外実験における高度推定結果

4. 2 周波 CW レーダを用いた歩行者認識技術^[6]

人物の動作認識で用いられる Mean Velocity, Step Frequency, Appendage Ratio に加え、目標までの距離を測定し受信電力とあわせて算出される Normalized Power を特徴量として用いる。距離測定が可能なレーダ方式のうち簡易な構成で実現可能でコストの面で有利な 2 周波 CW 方式を採用する。レーダに対して人物、自転車および犬が直進して近づくという基本的な条件のもと実験を行った。図 5 に示すように本方式で得られる Normalized Power が歩行人物と他物体の識別において有効な特徴量のひとつであることを示されるとともに、観測時間を 0.8 秒程度で 95% 以上の識別率を確保できることが確認された。

5. 2 周波 CW 方式に基づく列車速度計の開発^[7]

車輪の空転や滑走により誤差を生じない列車速度の測定法として、2 周波 CW 方式に基づく推定法を提案し、レー

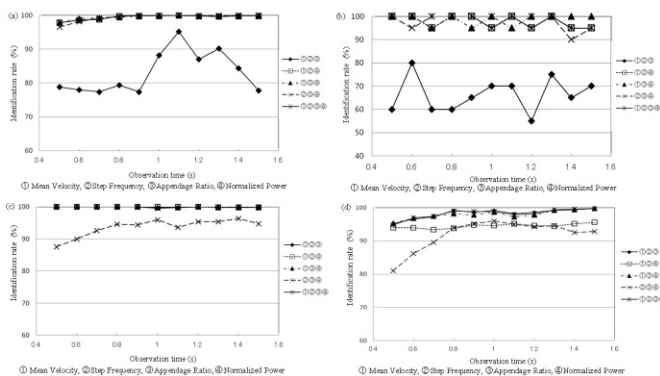


図 5. 2 周波 CW 方式に基づく特徴量を用いた目標識別率

ダを列車に搭載した鉄道環境下における基礎実験を行った。2 周波 CW 方式に基づく速度推定法により、GPS による速度計測で課題となる上方に遮蔽物のある環境においても、他の区間と同等の観測精度で列車速度推定結果が得られることを実験的に示されている。非線形最小二乗法 (1 変数) による速度推定結果は、レーダ設置高度の変化のない区間においては、推定速度の標準偏差が小さく、非線形最小二乗法 (2 変数) による速度推定結果は、GPS 速度計とのバイアス誤差が小さいことが図 6 に示す鉄道環境における基礎実験結果よりわかる。

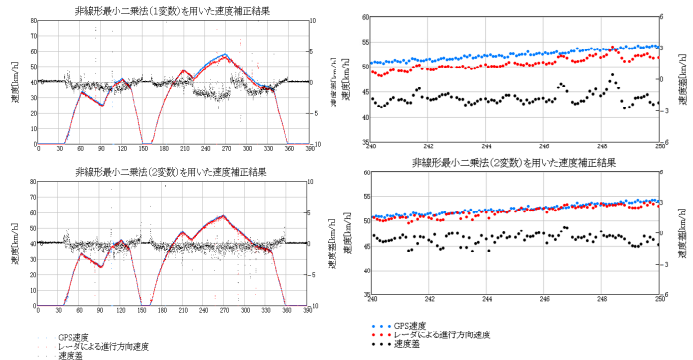


図 6. 2 周波 CW 方式に基づく各推定法による列車速度推定結果

5. むすび

本稿では、電気通信大学稲葉研究室が提案する次世代の近距離レーダの変復調方式である多周波ステップ CPC 方式について述べ、本方式を簡素化し価格競争力を高めた方式の各種センサ (列車速度計、重要施設等の侵入監視センサ、探査機の着陸時の高度計など) へのフィージビリティ研究結果について報告した。また本研究室は、近距離レーダの車載レーダ以外への普及のため、人体呼吸計測、交通量計測、駐車サポート、機械式駐車場の安全監視、バス周辺安全監視、シロアリ計測などへの応用研究の実績を有する。

謝辞

本稿に示す研究内容の一部は、総務省委託研究「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, 秋田, 稲葉, 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
- [2] 渡辺, 秋田, 稲葉, 多周波ステップ CPC レーダの鉄道環境への応用のための基礎実験, 電学論 D, Vol. 135, No. 5, pp.513-520, 2015
- [3] 秋田, 太田, 渡辺, 稲葉, 多周波ステップ CPC 方式とパルス圧縮方式の探知距離性能比較実験, 信学技報, vol. 116, no. 252, pp. 51-56, 2016
- [4] 秋田, 渡辺, 稲葉, 多周波ステップ CPC ミリ波レーダによる遠距離高分解能の実験的検証, 2017 年信学会ソサイエティ大会
- [5] M. Akita, D. Nakashima, M. Watanabe, T. Inaba, A Feasibility Study on Multiple Frequency CW for Landing Radar, IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 4, No. 2, pp. 91-97, 2015.
- [6] 秋田, 深町, 渡辺, 稲葉, 2 周波 CW レーダを用いた歩行人物の特徴量抽出, 信学論 B, Vol. J97-B, No. 8, pp.677-687, 2014
- [7] M. Akita, T. Tamura, R. Yamashita, M. Watanabe, T. Inaba, H. Tsubota, A. Asano, Estimations for Train Speed based on Two-Frequency CW and Initial Experiments on Railway Environments, ComEX, Vol. 4, No. 6, pp. 192-197, 2015