

複数反射点を有する目標に対する 車載レーダ追尾のフィールドデータ解析

瀬楽 瑞樹[†] 秋田 学[†] 小菅 義夫[†] 稲葉 敬之[†]

[†]電気通信大学大学院情報理工学研究科 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: mizuki.seraku@inabalab.ee.uec.ac.jp

あらまし 筆者らは、高距離分解能と遠距離性が両立する変復調方式として多周波ステップ CPC(Complimentary Phase Code)方式を採用したミリ波レーダを開発している。これまでに、本開発結果を車載レーダに適用すること想定し、点目標に対する目標追尾法を報告した。しかし、高分解能化にともない、1目標より多数の反射点が得られる場合がある。本稿では、複数反射点を有する目標に対する追尾法を提案し、そのフィールドデータによる解析結果を報告する。

キーワード 車載レーダ, 多周波ステップ CPC 方式, 目標追尾

Field data analysis of multiple reflection point target tracking in an automotive millimeter-wave radar

Mizuki SERAKU[†] Manabu AKITA[†] Yoshio KOSUGE[†] and Takayuki Inaba[†]

[†] Graduate school of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: mizuki.seraku@inabalab.ee.uec.ac.jp

Abstract We have been developing millimeter-wave radar that adopts a multi-frequency step CPC (Complimentary Phase Code) method with high range resolution ability and long range detection capability. We have reported a tracking method for one reflection point target in order to apply this development result to automotive millimeter-wave radar. However, we may obtain a number of reflection points from one target due to the effect of high range resolution. In this paper, we present a multiple reflection point target tracking method and its field data analysis.

Keywords automotive radar, stepped multiple frequency CPC, target tracking

1. まえがき

近年、ACC(Adaptive Cruise Control)や衝突被害軽減ブレーキ等のシステムが普及するとともに注目を集めている。これらのシステムでは、逆光・夜間、雨天等の悪天候下においても、高データレートで目標の距離・速度・角度が計測可能なセンサが要求される。これら要求を実現するセンサとして、ミリ波車載レーダが有望視されている。

そこで筆者らは、多目標環境下においても高い振幅アイソレーションと、送信帯域幅に比べ狭受信機帯域幅で高距離分解能が達成可能な多周波ステップ CPC方式[1]を提案している。また、この提案による変調方式を使用したミリ波レーダを開発している[2]。

さらに、上記レーダ装置での運用を想定した点目標に対する追尾法を報告した[3][4]。

本稿では、複数反射点を有する目標に対する追尾法を提案し、そのフィールドデータによる解析結果を報

告する。なお、本追尾法は、複数目標を集約し追尾するグループトラッキング[5][6]とは異なり、単一目標からの複数反射点を1個に絞り追尾することを目的としている。

2. 従来追尾法による先行車両追従実験

2.1. 多周波ステップ CPC ミリ波レーダ

図1に、多周波ステップ CPC方式を変調方式とするミリ波レーダの信号処理ブロック図を示す。また、表1に、レーダパラメータおよび本レーダの期待性能を示す。

2.2. 従来追尾法

図2は、本レーダ装置に対する従来追尾法のブロック図を示す[4]。

2.3. 先行車両追従実験

本レーダ装置を用いて、先行車両追従実験を三回実施した。表2に実験諸元、図3に実験風景、図4に各

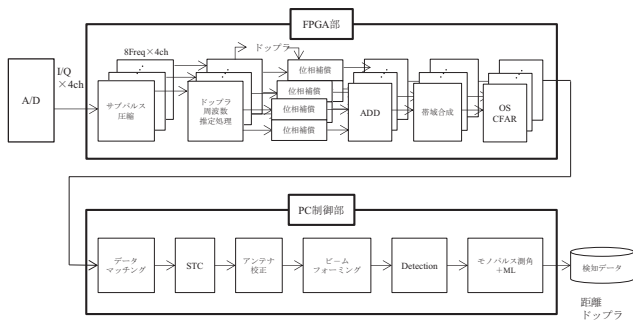
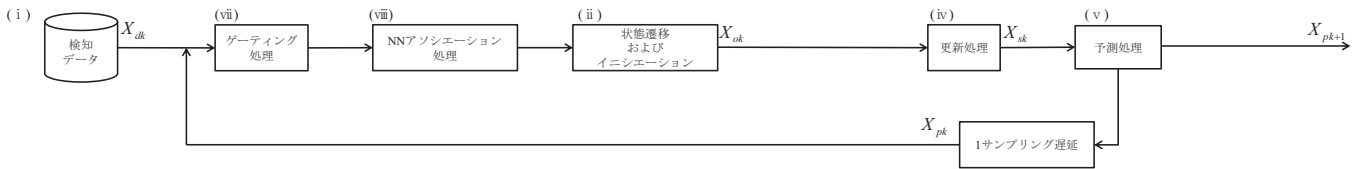


図 1. 信号処理ブロック図

表 1. レーダパラメータおよび期待性能

送信周波数	60.5GHz
パルス帯域幅	80MHz
パルス幅	0.2μs(30m)
符号長	16
パルス繰返し間隔 (PRI)	3.5μs
パルス数 M	512
周波数ステップ幅	50MHz
周波数ステップ数 N	8
送信帯域幅	430MHz
観測時間	28.6ms
A/D サンプリング周波数	160MHz
距離分解能	0.35m
測角域	±12deg
最大速度視野	±79.64km/h (±22.12m/s)
速度分解能	0.311km/h (0.0863m/s)



X_{dk} 検知データベクトル X_{ok} 観測値ベクトル X_{pk} 予測値ベクトル X_{sk} 平滑値ベクトル

図 2. 従来法ブロック図

表 2. 実験諸元

レーダ搭載車両	初期位置	進行方向 横方向	0m 0m
	速度	進行方向 横方向	30km/h (8.3m/s) 0km/h
	先行車両	初期位置 横方向	95m 0m
	速度	進行方向 横方向	18km/h (5m/s) 0km/h



図 3. 実験風景

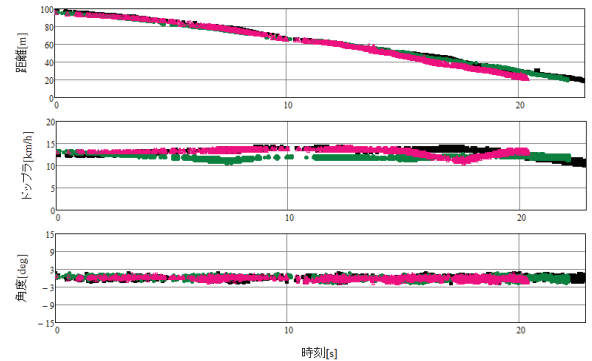


図 4. フィールドデータ

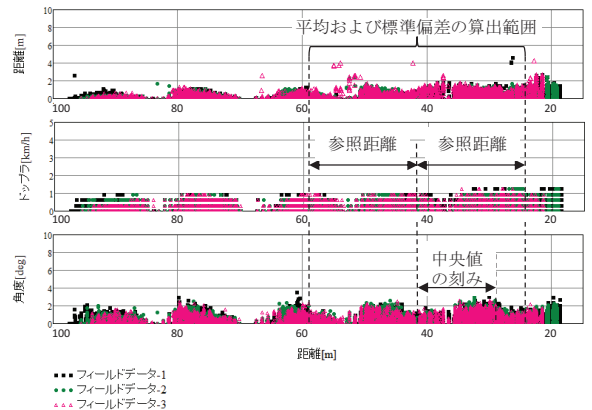


図 5. 検知データの広がり

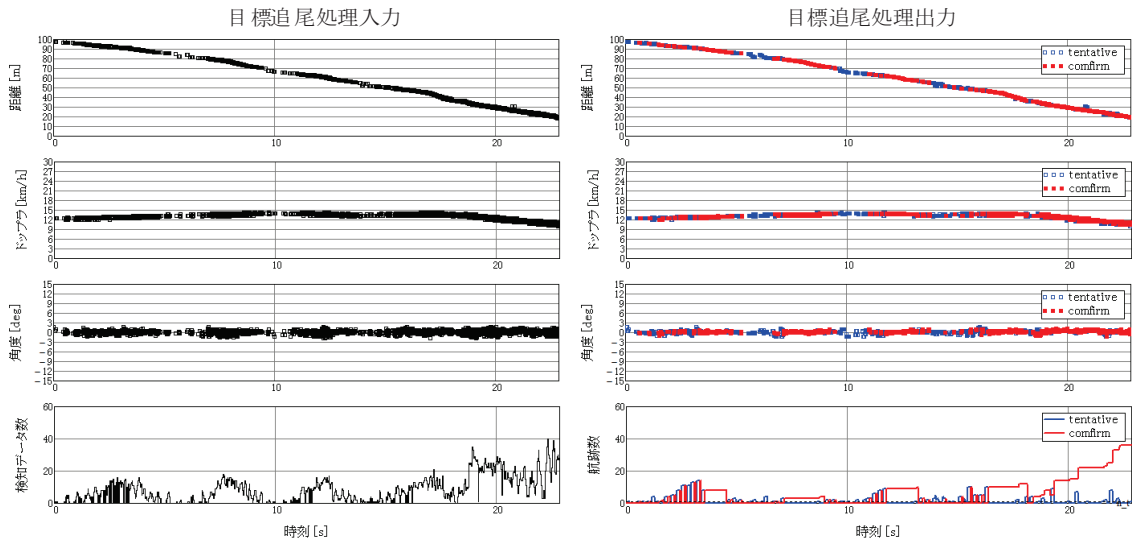


図 6. 従来法による追尾結果

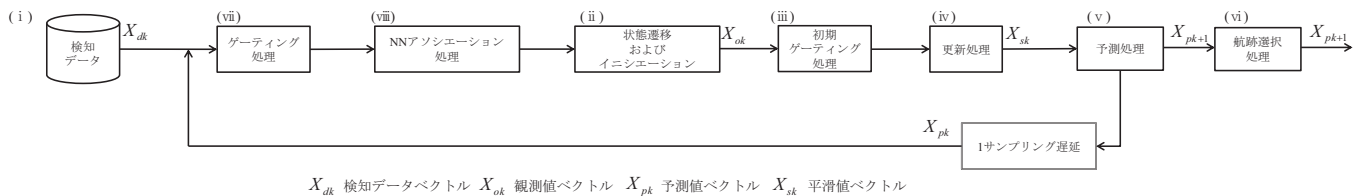


図 7. 提案法ブロック図

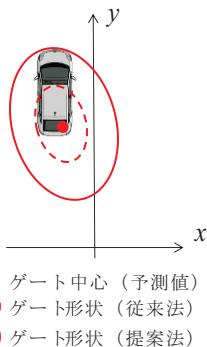


図 8. ゲート幅の変更のイメージ

実験のフィールドデータを示す。ここで、図 5 に、図 4 のフィールドデータに対する検知データの広がりとして、複数反射点から得られる各観測値とその最小値との差を示す。また、図 5 において、横軸は、複数反射点から得られる距離観測値の最小値である。

3. 従来追尾法のフィールドデータ解析

図 6 は、先に報告した追尾フィルタ-A (外挿なし・ゲイン 1) [4]によるフィールドデータ-1 (■印)の追尾結果を示す。図 6 の右最下段のグラフは、追尾処理で作成した航跡 (検知データの時系列データ) 数が、目標数である 1 を大きく上回っていることを示す。これは、従来法が、複数反射点を有する目標の各反射点を追尾しているからである。

4. 複数反射点を有する目標に対する追尾法

ここでは、複数反射点を有する単一目標から多数の航跡が作成される従来法の改善方法を提案する。この提案法のブロック図を図 7 に示す。図 7 において、提案法は、従来法に対して、(vii)ゲート処理におけるゲート幅の変更、(iii)初期ゲート処理及び(vi)航跡選択処理の追加を行った追尾法である。以降、従来法との相違点を報告する。

4.1. (vii)ゲート処理

図 8 に、ゲート幅の変更のイメージを示す。従来のゲート処理では、ゲート幅を観測誤差の分散と予測誤差の分散のみから設定していた。本変更では、ゲート幅の算出に、後述する検知データの広がりを付加する。この結果、従来法より広いゲートから検知データを 1 つ選び追尾に使用することになる。

4.2. 検知データの広がり

図 6 の左最下段のグラフは、複数反射点からの検知データ数は一定でないことを示す。この結果、図 5 が示すように、検知データの広がりも一定ではない。このため、本稿では、フィールドデータより、この広がりを距離の関数として推定し使用する。ただし、三回のフィールドデータのみからでは、推定に十分なサンプル数が確保できない。このため、本稿では、図 5 に示すように、中央値に対する検知データの広がりの平均および標準偏差を参照距離内の全データより推定した。なお、本稿では、参照距離 15m, 中央値 1m に設

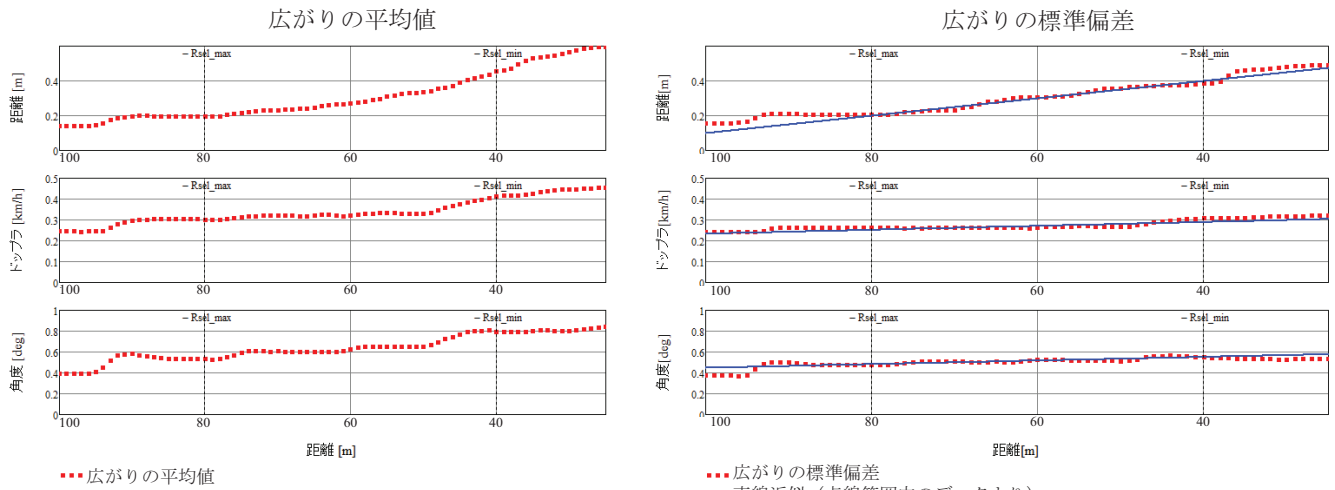


図 9. 広がり の 平均 および 標準偏差

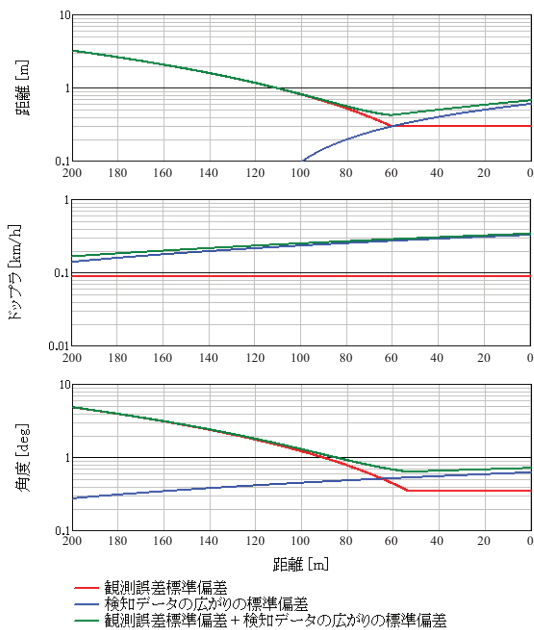


図 10. 観測誤差と検知データの広がり の 標準偏差

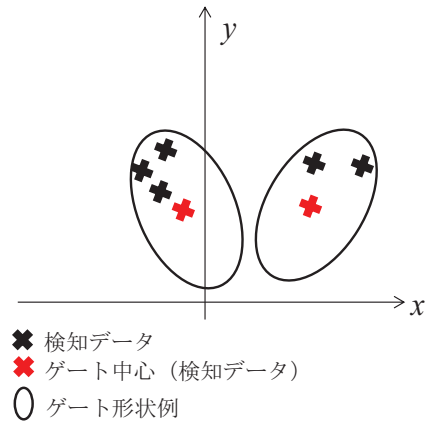


図 11. 初期ゲーティング処理概要

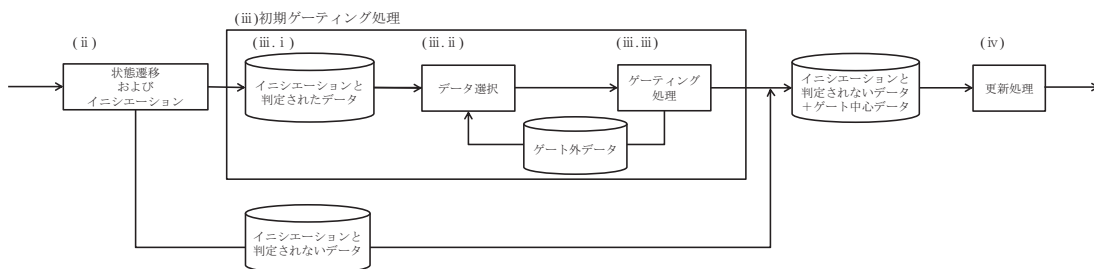


図 12. 初期ゲーティング処理ブロック図

定した. さらに, 図 9 に示すように, 40m から 80m の広がり の 標準偏差 を直線近似した値より, 検知データの広がり の 標準偏差 を設定した. また, 図 10 に, 観測誤差と検知データの広がり の 標準偏差 の関連を示す.

4.3. (iii)初期ゲーティング処理

図 11 に, イニシエーション (初期値算出時) の初期ゲーティング処理の概要を示す. また, 図 12 に, その処理ブロック図を示す. 本提案では, 図 12 の (iii.ii) データ選択において, イニシエーション対象と判定された検知データの中から距離最短 (同一データがある

表 3. 近接 2 目標の目標諸元

レーダ搭載車両	初期位置	進行方向	0m
	速度	横方向	0m
		進行方向	30km/h
実目標	初期位置	横方向	0m
	速度	進行方向	18km/h
		横方向	0km/h
疑似目標	初期位置	進行方向	95m
	速度	横方向	-3m
		進行方向	18km/h
		横方向	0km/h

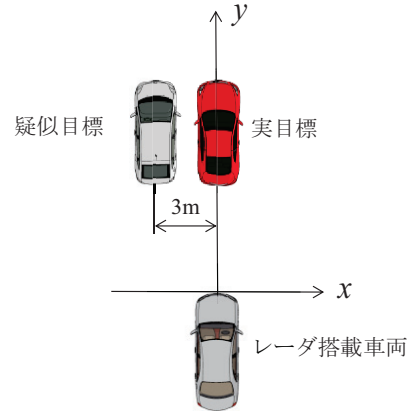


図 13. 近接 2 目標の目標条件

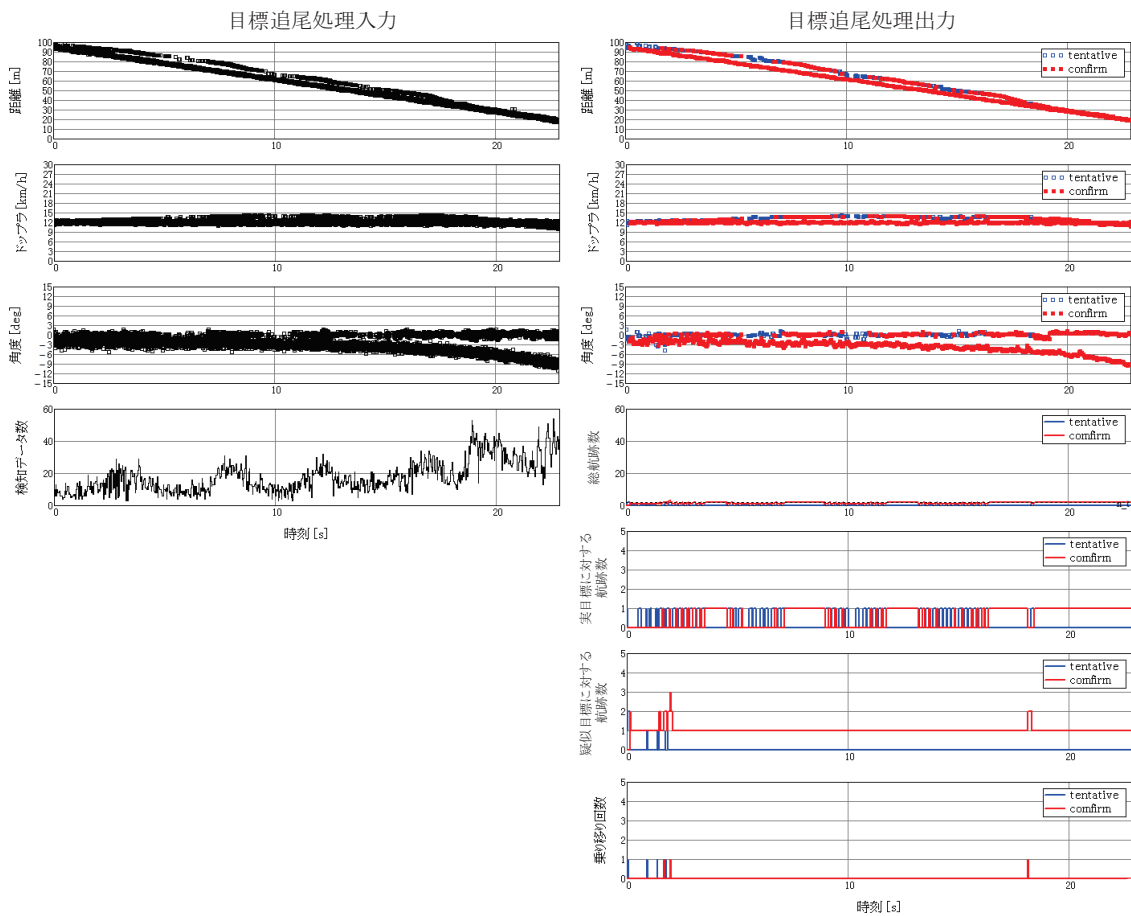


図 14. 近接 2 目標の提案法による解析結果

場合は角度の絶対値最小、次にドップラ最大) であるデータを 1 つ選択する。これをゲート中心として、ゲート内と判定された他の検知データは破棄する。一方、ゲート外と判定されたデータは、再び、(iii.ii)データ選択へと送る。(iii)初期ゲーティング処理は、(iii.ii)データ選択へと送るデータがなくなるまで繰り返し行う。なお、従来は、イニシエーション対象と判定された検知データおのおのに対してイニシエーションを行っていた。

4.4. (vi)航跡選択処理

本処理は、異なる航跡が同一の検知データを共有している場合、その中から最も長い時間追尾している航跡を選択・出力する処理である。

5. 近接 2 目標に対する評価

ここでは、表 3 および図 13 に示す先行車両が 2 台並走している近接 2 目標に対して、提案法の追尾性能を評価する。

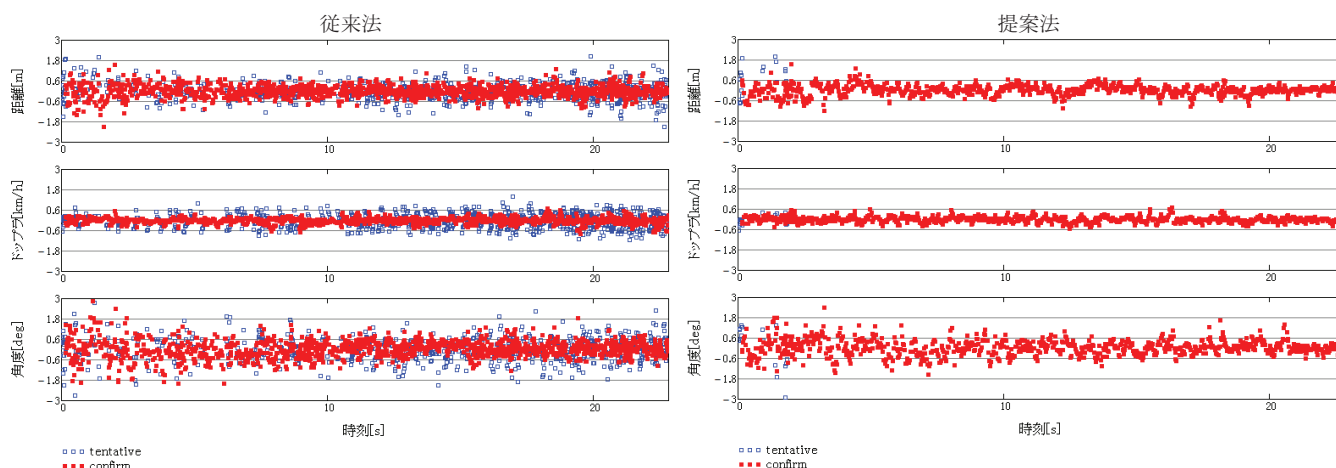


図 15. 疑似データに対する予測誤差

図 13 において，正面に位置する先行車両の追尾性能は，実目標からのフィールドデータ（図 3 の■印のデータ）を使用して評価した．一方，側方に位置する疑似目標は，疑似データを使用して評価した．なお，この疑似データは，図 9 の平均値及び標準偏差をもとに複数反射点を有するように設定した．

図 14 に，近接 2 目標に対する提案法の追尾結果を示す．また，図 15 に従来法および提案法の疑似データに対する追尾誤差を示す．

図 6 の航跡数と図 14 のフィールドデータに対する航跡数から，提案法は，従来法と比較し追尾性能が向上していることが確認できる．

また，図 15 は，提案法は，個々の反射点を追尾する従来法と同程度の追尾精度を確保していることを示す．

6. むすび

フィールドデータの解析により，従来法では，複数反射点を有する単一目標から多数の航跡が作成されることを示した．本稿では，従来法の改善方法を提案した．具体的には，ゲート幅の算出に検知データの広がりや付加するとともに，新たに初期ゲーティング処理と航跡選択処理を追加した．また，提案法の有効性を，単一目標から数十の反射点が観測される場合の先行 2 車両同時追尾において確認した．

横切り車両等の先行車両とは異なる目標条件に対する有効性の検証が今後の課題である．

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（狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発）」により実施されたものである．

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, No.3, pp. 285-291, 2015.
- [2] Masato Watanabe, Takayuki Inaba, Hikaru Tsubota, Takahiro Yano, "Development of Millimeter wave Radar using Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code modulation", ICSANE2011-81, Oct.2011.
- [3] 深町弘毅，渡辺優人，稲葉敬之，小菅義夫，“車載レーダにおける NN アソシエーションを適用した先行車両追尾”，電子情報通信学会，信学技報，SANE2012-133, Jan, 2012.
- [4] 瀬楽瑞樹，秋田学，稲葉敬之，小菅義夫，“車載レーダ用目標追尾における半干渉形フィルタの基礎検討”，電子情報通信学会，信学技報，SANE2014-114, Jan, 2014.
- [5] S.Blackman, R.Popli. "Design and Analysis of Modern Tracking Systems," ARTEC HOUSE, 1999.
- [6] 木林知子，系正義，平井俊之，“目標間の相対位置を保持するグループ追尾方式”，電子情報通信学会，信学技報，信学技報，SANE2004-15, May, 2004.