

距離和とドップラー和観測値を用いたテイラー級数推定法による 目標の位置及び速度推定における初期値更新処理の評価

佐々木 裕央[†] 角田 智広[†] 秋田 学[†] 小菅 義夫[†] 稲葉 敬之[†]

[†] 電気通信大学情報理工学部 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: sasaki.hiroyuki@inabalab.ee.uec.ac.jp

あらまし マルチスタティックレーダでは、送信アンテナと目標間の距離と、受信アンテナと目標間の距離の和が観測可能である。同様に、ドップラーの和も観測できる。この距離和とドップラー和より、TOA方式などでも使われるテイラー級数推定法を用いて、三次元の目標位置及び速度が推定できる。テイラー級数推定法では、推定のための初期値(目標位置、速度)を仮に与えて推定し、その結果を初期値に再設定し、推定を繰り返す収束計算を行う。本稿では、交差点での車両監視を想定した受信アンテナ4個の場合に、収束に要する回数をシミュレーションにより評価した。この結果、初期値が真値と大きく異ならなければ、位置も速度も数回で収束することが判明した。また、初期値が真値と異なっても、距離和単独よりもドップラー和併用の方が、位置推定性能がよいことがわかった。

キーワード TSOA, TOA, マルチスタティックレーダ, 距離和, ドップラー和, テイラー級数推定法

Evaluating Updating the Initial Value for Location and Velocity Estimation by Taylor Series Estimation Method with Range Sum and Doppler Sum

Hiroyuki Sasaki[†] Tomohiro Kakuta[†] Manabu Akita[†] Yoshio Kosuge[†] Takayuki Inaba[†]

[†] Faculty of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: sasaki.hiroyuki@inabalab.ee.uec.ac.jp

Abstract In the multi-static radar, the sum of the distance between the transmitting antenna and the target and the distance between the receiving antenna and the target can be observed. Similarly, the Doppler Sum can also be observed. From these range sum and Doppler sum, the three-dimensional target position and velocity can be estimated by using the Taylor series estimation method that is also used in the TOA method and the like. In the Taylor series estimation method, an initial value (target position, speed) for estimation is provisionally set, and target position and velocity are estimated. Then, the estimation result is used to renew the initial value. This process is iterated until the convergence value is obtained. In this paper, the number of times required for convergence is evaluated by simulation in the case of 4 receiving antennas assuming vehicle surveillance at the intersection. As a result, it was found that if the initial value does not differ greatly from the true value, the position and velocity converge in several times. In addition, even if the initial value is different from the true value, the position estimation performance is better when using additional Doppler sum rather than only range sum.

Keywords TSOA, TOA, Multi-Static Radar, Range Sum, Doppler Sum, Taylor Series Estimation

1. まえがき

近年、道路交通の安全・安心のための高度道路情報システムITS(Intelligence Transport System)技術の研究が盛んに行われている。当研究室でも、狭受信機帯域で高分解能を実現する独自の変調方式を用いた車載レーダを開発している[1]。当研究室では、従来の研究を活かした、交差点の交通安全のためのレーダ開発を新たに目指している。

送信アンテナと受信アンテナが同じ位置にあるモノスタティックレーダでは、目標の距離と角度を観測し、目標の三次

元の位置を計測する[2]。一方、送信アンテナ1つと、異なる位置にある複数の受信アンテナを使用する方式は、マルチスタティックレーダと呼ばれる[2]。この方式では、異なる位置にある受信機で電波を複数観測し、目標の位置を推定する。

この場合、送信アンテナと目標間の距離と、受信アンテナと目標間の距離の和が観測できる。この距離和を使用すれば、三次元の目標位置を未知数とした連立方程式が作成できる。このため、目標の角度を観測する必要はなく、小型アンテナで三次元の位置が推定できる。また、距離和の観測だけでは

なく、送信アンテナと目標間のドップラーと、受信アンテナと目標間のドップラーの和を観測する方式も報告されている[2][3]。この方式では、三次元の位置を推定するだけでなく、三次元の速度も推定することができる。

以前、ドップラー和観測による距離と観測精度の劣化がなければ、ドップラー和も考慮した三次元の位置の推定精度が、距離和のみによる位置推定精度より良好な結果が得られるため、ドップラー和は位置推定において有効性があることを報告した[4]。なお、位置推定にはテイラー級数推定法を使用した[5]。

テイラー級数推定法では、目標の位置・速度の初期値を仮に設定して位置・速度を推定し、推定結果を初期値に再設定して推定を繰り返す収束計算を行う。ドップラー和の有効性を報告した際は、初期値に目標の真値を用い、収束計算をせずに評価した。しかし実際は、与えた初期値により推定精度が劣化することがあるが、初期値を更新して繰り返し推定処理を行うことで、推定精度を向上させることができる。本稿では、このことを定量的に評価するため、シミュレーションにより、収束に要する回数を評価する。

2. マルチスタティックレーダによる位置・速度推定

2.1. マルチスタティックレーダ

送信機に対して受信機を全て異なる位置に設置したものを、マルチスタティックレーダという。このとき観測される信号は、送信機と目標間、受信機と目標間の距離の和及びドップラーの和である。この観測情報から、三次元の目標の位置・速度を未知数とした連立方程式を立て、目標の測位・測速を行う。本稿では、テイラー級数推定法を適用した。

2.2. 初期値の設定及び更新処理

テイラー級数推定法では、入力諸元として目標の位置・速度を仮に定めた初期値が入力として必要である。この値は、入力された距離和とドップラー和観測値をテイラー展開する際に用いられるため、目標位置・速度の真値が理想的である。しかし実際は、真値を初期値とすることは不可能であり、初期値によって推定精度が劣化することがある。そのため、推定結果を初期値に再設定し、推定を繰り返す収束計算を行う必要がある。以下で、この処理を初期値更新処理と呼ぶ。

2.3. 位置推定におけるドップラー和の有効性

距離和のみを用いて目標の位置推定を行う方式を距離和単独方式とし、ドップラー和も考慮した方式をドップラー和併用方式とする。シミュレーションにより、目標位置の他に目標速度が推定可能なドップラー和併用方式は、目標位置のみ推定可能な距離和単独方式より良好な目標位置推定精度であることが示され、従ってドップラー和の有効性が確認できた[4]。ただし、初期値は目標の真値を使用していた。本稿では、初期値が真値と異なる場合におけるドップラー和の有効性も評価する。

3. シミュレーションによる評価

計算機シミュレーションにて、収束に要する回数を評価

した。本シミュレーションでは、交差点における車両監視を想定し、送信機1機、受信機4機をそれぞれ異なる位置に設置して固定し、点目標を1つ定めた。図1に、模擬した交差点の平面図を示す。この環境で目標推定を5000回行い、推定誤差標準偏差を求めた。このとき、以下の4つに場合分けし、それぞれで初期値更新処理を0~10回行い、初期値に真値を用いたものと比較して評価した。ただし、受信アンテナそれぞれの観測雑音標準偏差は全て同一とし、観測雑音の平均は0とした。また、距離和とドップラー和の観測雑音に相関はないものとする。表1~2に、目標の真値と、シミュレーションパラメータと、位置・速度の初期値パターンを示す。ただし、三次元の目標位置・速度の座標を三次元直交座標で定義し、 $(x[m], y[m], z[m], vx[m/s], vy[m/s], vz[m/s])$ で表す。

3.1. 距離和単独方式による評価

位置の初期値を真値と異なる値に設定して、位置推定を行った結果を図2.1~2.4に示す。初期値に真値を用いた場合と比較して、初期値更新処理を2回行うとほぼ一致する結果となった。このことから、距離和単独による位置推定の場合、初期値更新処理を2回行うと収束計算が完了することがわかった。

3.2. ドップラー和併用方式による評価

3.2.1. 初期値の位置成分の評価

位置の初期値を真値と異なる値に設定して、位置推定を行った結果を図3.1~3.4に示す。なお、速度の初期値は真値を使用した。初期値に真値を用いた場合と比較して、初期値更新処理を4回行うとほとんど一致する結果となった。このことから、ドップラー和併用による位置推定の場合、初期値更新処理を4回行うと収束計算が完了することがわかった。

3.2.2. 初期値の速度成分の評価

速度の初期値を真値と異なる値に設定して、速度推定を行った結果を図4.1~4.4に示す。なお、位置の初期値は真値を使用した。初期値に真値を用いた場合と比較して、1回行うと推定誤差標準偏差が近づき、4回行うとほぼ一致する結果となった。このことから、ドップラー和併用による速度推定の場合、初期値更新処理を2~4回行うと収束計算が完了することがわかった。ただし速度①では、初期値更新処理を行わないと良好な精度が得られた。

3.2.3. 初期値の位置・速度成分の評価

位置・速度の初期値を真値と異なる値に設定して、位置・速度推定を行った結果を図5.1~5.16に示す。初期値に真値を用いた場合と比較して、2回行うと推定誤差標準偏差が近づき、4回行うとほぼ一致する結果となった。このことから、ドップラー和併用による位置・速度推定の場合、初期値更新処理を2~4回行うと収束計算が完了することがわかった。また、距離和単独方式の結果を示した図2.1~2.4と比較して、収束後の位置推定精度が良好であることがわかった。このことから、初期値が真値でなくても、ドップラー和の有効性が確認できた。

4. むすび

本稿では、テイラー級数推定法における、距離和とドップラー和を観測値とした目標の位置・速度推定において、初期値が真値と異なる際に収束計算を要する回数を評価し、報告した。その結果、初期値が真値と大きく異ならなければ、位置も速度も数回で収束することが判明した。また、初期値が真値と異なっても、距離和単独よりもドップラー和併用の方が、位置推定性能がよいことがわかった。

謝 辞

本研究開発は総務省 SCOPE(受付番号 175003002)の委託を受けたものです。

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] 稲葉敬之, 千葉 勇, “CW波を用いたマルチスタティック測位・測速法”, 信学論(B), vol.J90-B, no3, pp.298-310, March.2007.
- [3] 小菅義夫, 古賀 禎, 宮崎裕己, 呂 暁東, 秋田 学, 稲葉敬之, “距離和とドップラー和を観測値とするマルチスタティックレーダによる位置及び速度推定”, 電子情報通信学会論文誌(B), vol. J100-B, no.8, pp.558-568, Aug.2017
- [4] 佐々木裕央, 藤村嘉一, 秋田 学, 小菅義夫, 稲葉敬之, “マルチスタティックレーダにおける距離和単独とドップラー和併用方式の目標位置推定精度の比較”, 信学総大, B-2-54, March.2017.
- [5] W. H. Foy, “Position-location Solutions by Taylor-series Estimation”, IEEE Trans. Aerosp. & Electron.Syst. vol.12, no.2, pp.187-194, March 1976.

表1. 目標, シミュレーションパラメータ

目標位置・速度 (真値)		(0, 0, 1.5, 20, 20, 0)	
距離和観測雑音標準偏差		0.8	
ドップラー和観測雑音標準偏差		0.025	
送信機位置			
(−6, 0, 6.5)			
受信機①位置	(4, 4, 6.5)	受信機②位置	(4, −4, 6.5)
受信機③位置	(−4, −4, 6.5)	受信機④位置	(−4, 4, 6.5)

表2. 初期値パターン

位置①	(3, 3, 1.5)	速度①	(0, 0, 0)
位置②	(5, 0, 1.5)	速度②	(40, 40, 0)

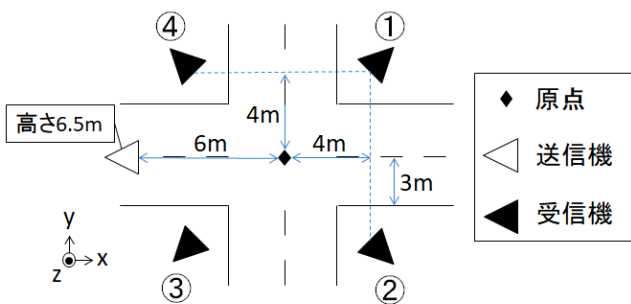


図1. 目標と送受信機の xy 平面位置

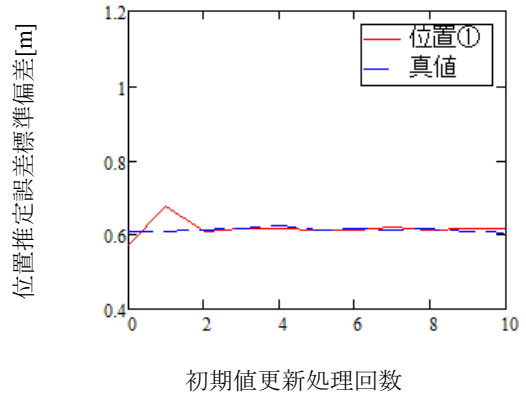


図2.1. 距離和単独方式による x 方向位置

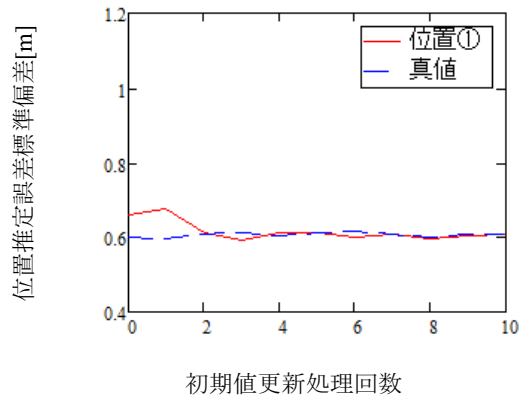


図2.2. 距離和単独方式による y 方向位置

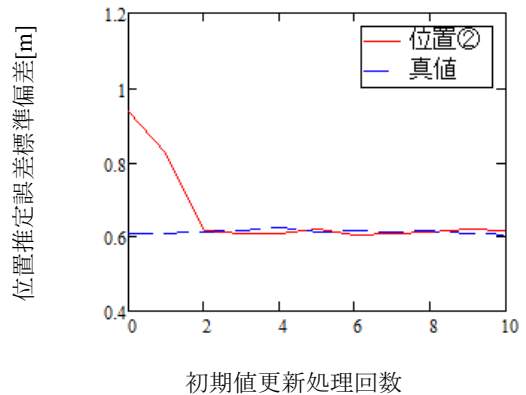


図2.3. 距離和単独方式による x 方向位置

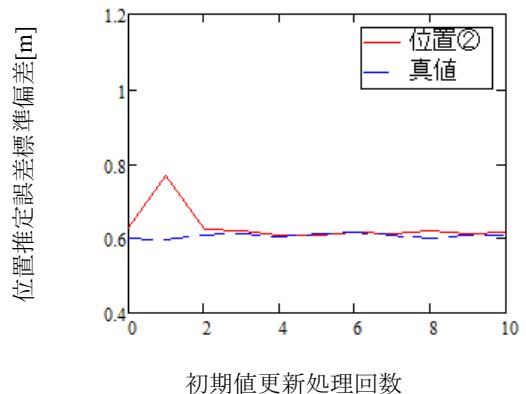


図2.4. 距離和単独方式による y 方向位置

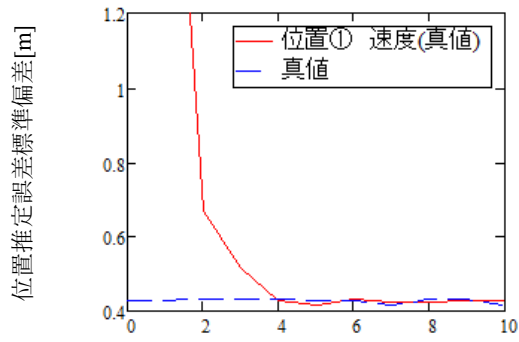


図3.1. ドップラー和併用方式による x 方向位置

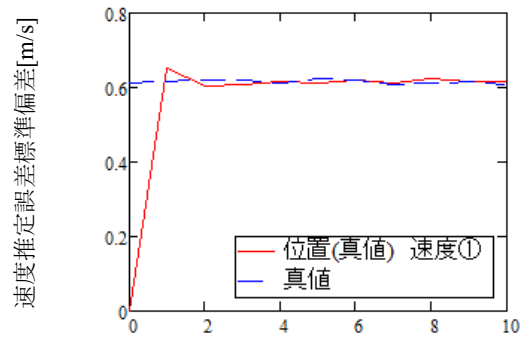


図4.1. ドップラー和併用方式による x 方向速度

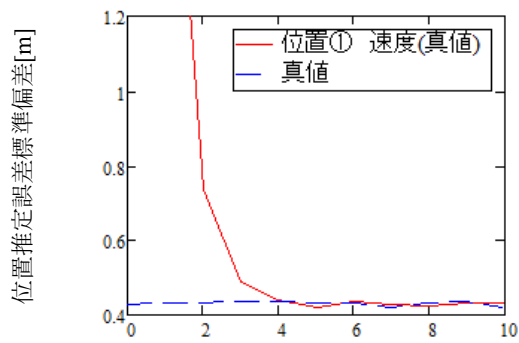


図3.2. ドップラー和併用方式による y 方向位置

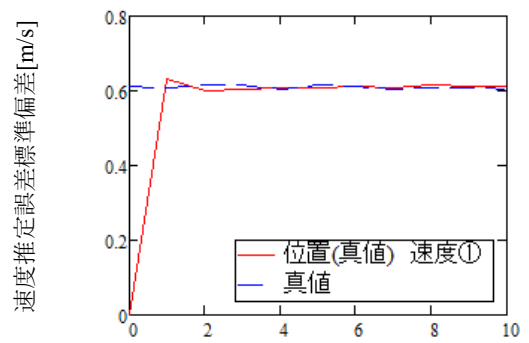


図4.2. ドップラー和併用方式による y 方向速度

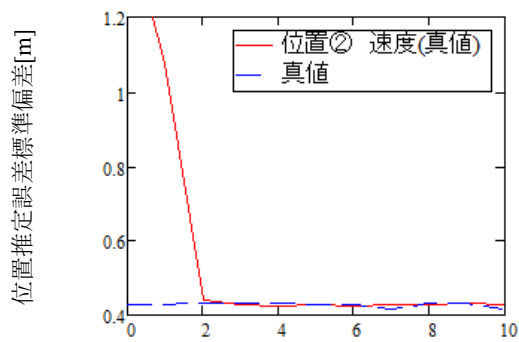


図3.3. ドップラー和併用方式による x 方向位置

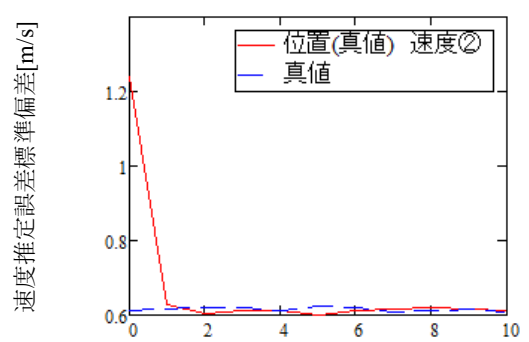


図4.3. ドップラー和併用方式による x 方向速度

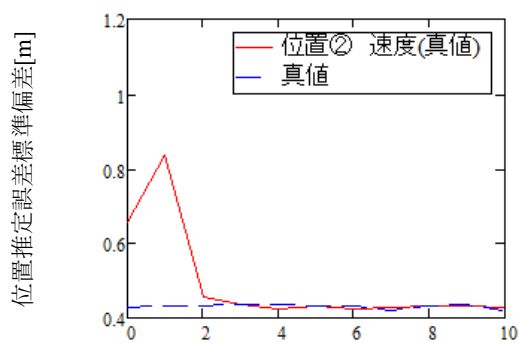


図3.4. ドップラー和併用方式による y 方向位置

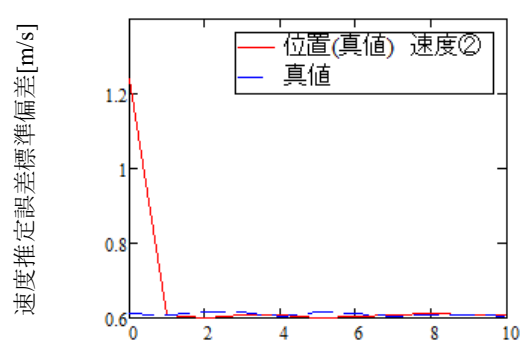


図4.4. ドップラー和併用方式による y 方向速度

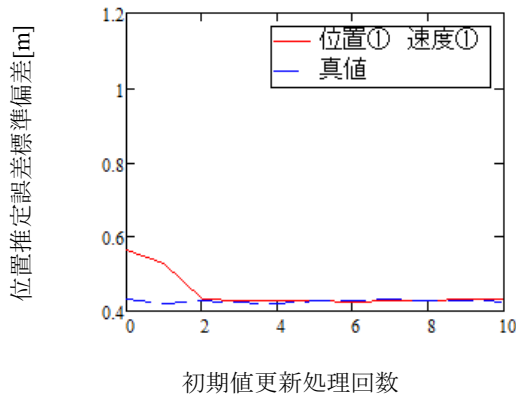


図5.1. ドップラー和併用方式による x 方向位置

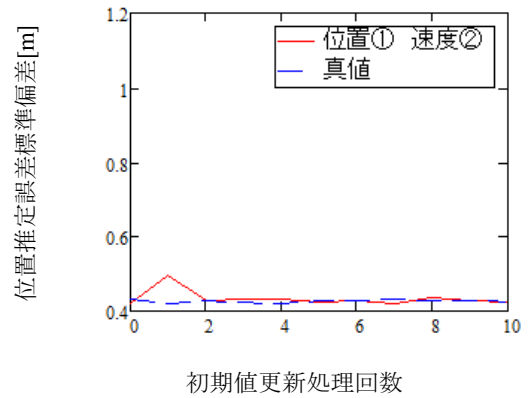


図5.5. ドップラー和併用方式による x 方向位置

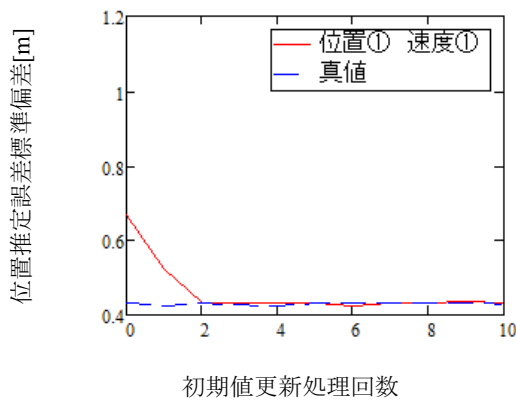


図5.2. ドップラー和併用方式による y 方向位置

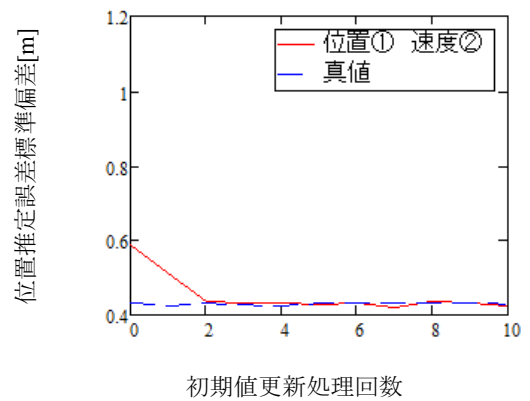


図5.6. ドップラー和併用方式による y 方向位置

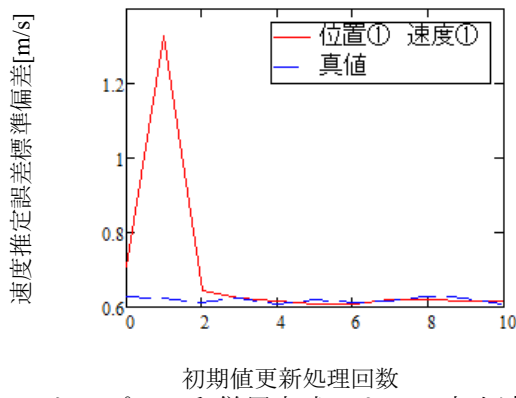


図5.3. ドップラー和併用方式による x 方向速度

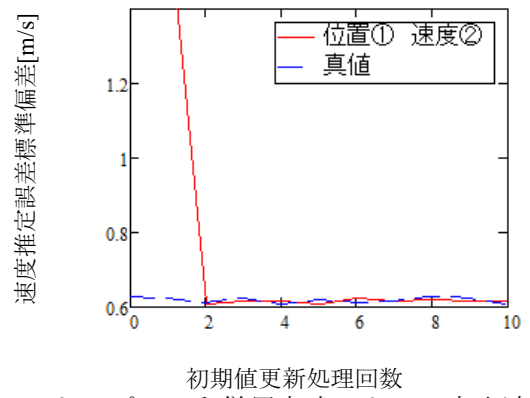


図5.7. ドップラー和併用方式による x 方向速度

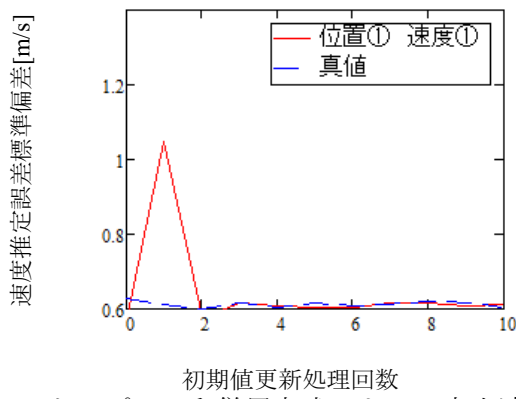


図5.4. ドップラー和併用方式による y 方向速度

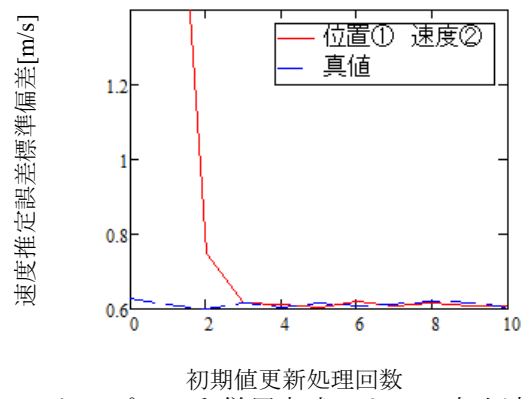


図5.8. ドップラー和併用方式による y 方向速度

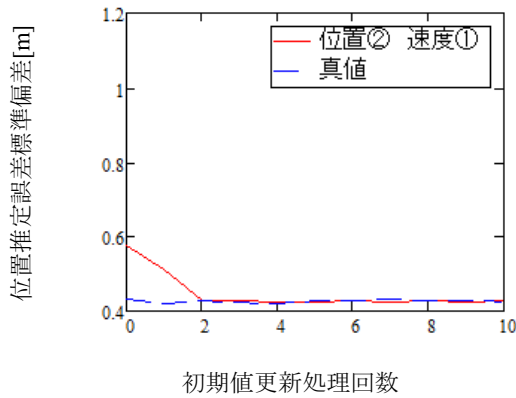


図5.9. ドップラー和併用方式による x 方向位置

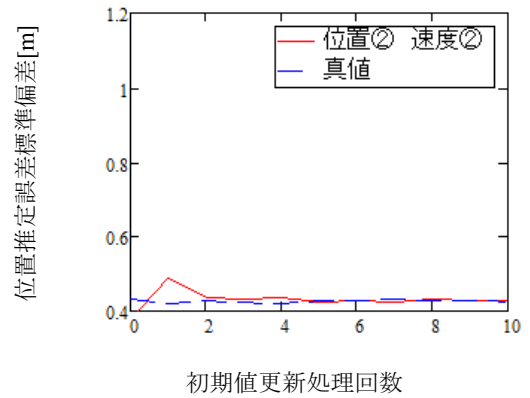


図5.13. ドップラー和併用方式による x 方向位置

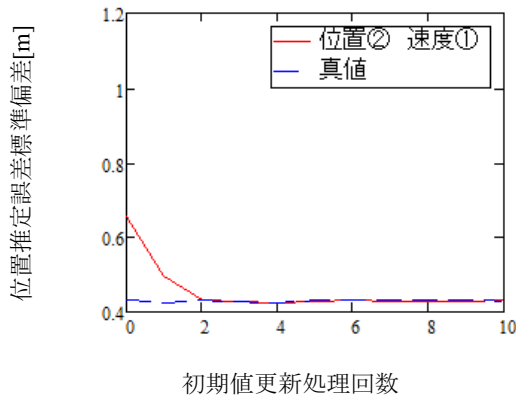


図5.10. ドップラー和併用方式による y 方向位置

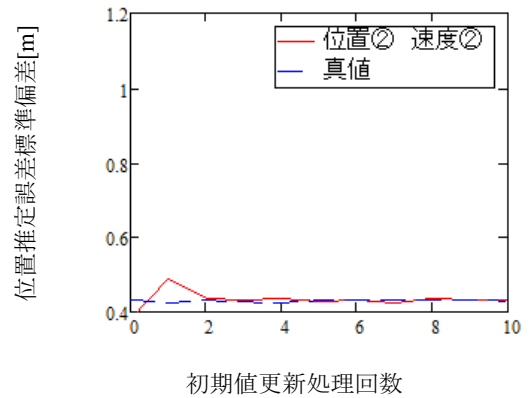


図5.14. ドップラー和併用方式による y 方向位置

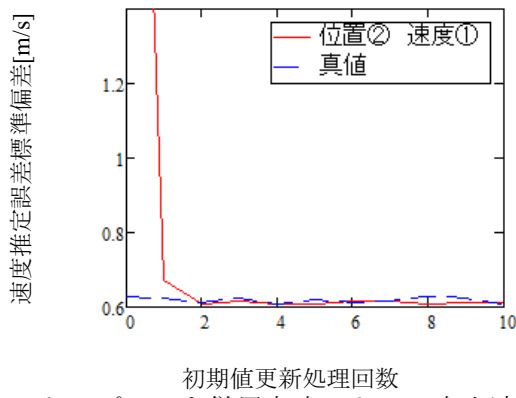


図5.11. ドップラー和併用方式による x 方向速度

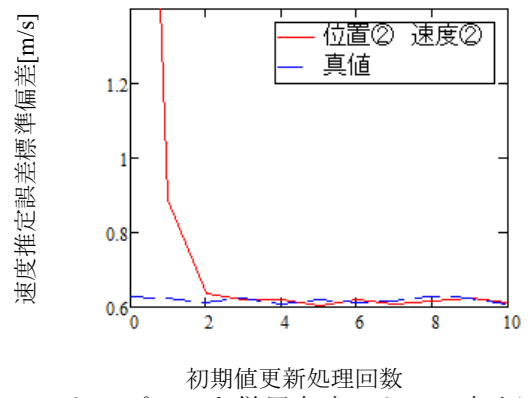


図5.15. ドップラー和併用方式による x 方向速度

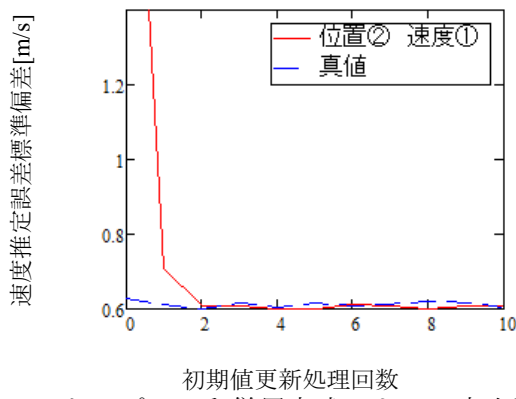


図5.12. ドップラー和併用方式による y 方向速度

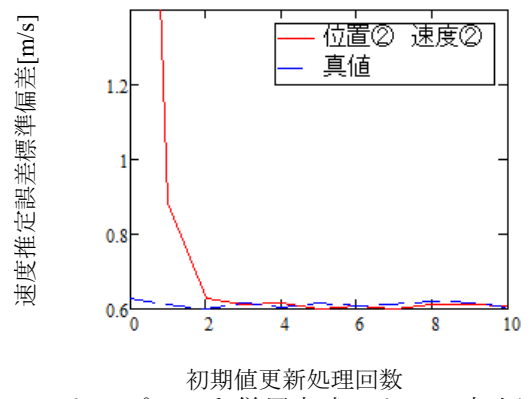


図5.16. ドップラー和併用方式による y 方向速度