

# NLOS 衛星の棄却による GNSS 整数アンビギュイティ決定不要な Particle Filter の位置推定性能の向上

## Improving the Position Estimation Performance of a Particle Filter without Integer Ambiguity Resolution by Rejecting NLOS Satellites

新美大樹 藤野杏 鈴木太郎 目黒淳一  
Daiki Niimi An Fujino Taro Suzuki Junichi Meguro  
名城大学 理工学研究科メカトロニクス工学専攻  
千葉工業大学未来ロボット技術研究センター

### 1. はじめに

近年、様々な分野で GNSS(Global Navigation Satellite System) が活用されている。特に、RTK(Real-Time Kinematic)-GNSS では、GNSS 搬送波位相の観測値に含まれる整数アンビギュイティを正しく決定することにより、リアルタイムに cm 精度の位置推定が可能である。しかしながら RTK-GNSS には、誤った整数アンビギュイティの決定により位置推定精度が劣化するという問題が存在する。

これに対し、筆者らの以前の研究[1]では、PF(Particle Filter)を用いて、GNSS 搬送波位相の観測残差からパーティクルの尤度を決定する手法を提案し、整数アンビギュイティを推定することなく cm 精度での位置推定を実現した。しかしこの手法は、特に都市環境で、状態遷移に使用される速度推定精度が劣化した場合に PF のトラッキングが失敗し、その後の位置推定が困難になる問題がある。

そこで、本論文では従来の PF[1]の改良により、状態遷移の性能を改善することで、都市環境における位置推定性能の向上を図る。

### 2. 提案手法

従来の PF では、Ambiguity Function Method(AFM)[2]と PF を組み合わせ、搬送波位相の小数部分のみを用いて三次元空間中のパーティクルの尤度を推定することで、搬送波位相の整数アンビギュイティの推定することなく、cm 精度の位置推定を実現した。しかし、この手法は、パーティクルの尤度の計算に、パーティクルの位置そのものを利用するため、パーティクルの分布が真の位置を含むように状態遷移しない場合、PF が破綻するという課題があった。さらに、この手法では、GNSS ドップラー観測値から推定した速度を状態遷移に使用するため、特に速度推定性能が劣化しやすい都市環境では、PF の性能が大きく劣化する。そのため、位置推定性能の向上には、状態遷移の性能(速度の推定性能)の向上が重要となる。

そこで、本論文では、従来の PF に対して2つの改良を加えることで、状態遷移の性能を改善し、位置推定性能を向上させる。

1 つ目に、PF のトラッキングが失敗した際のパーティクルの再配置を導入する。具体的には、パーティクルの位置のばらつきと、PF の推定位置と GNSS 疑似距離の残差により信頼性を判定した単独測位解との距離に閾値を設け、その2つの条件に基づいて、パーティクルの再配置を行う。

2 つ目に、速度推定精度の向上を目的として、GNSS 疑似距離の二重差残差から NLOS(Non-Line-Of-Sight)衛星を判定し、NLOS 衛星のドップラー観測値を棄却することで、衛星を限定して速度の推定を行う。具体的には、パーティクルの平均の位置  $x$  における二重差疑似距離残差  $d(\rho_k, x)$  を次式により計算する。

$$d(\rho_k, x) = \rho_k - r^k(x) \quad (1)$$

ここで、 $\rho_k$  は  $k$  番目の衛星における疑似距離の二重差であり、 $r^k(x)$  は衛星とパーティクルの平均位置間の幾何学距離の二重差である。この疑似距離の二重差残差に閾値を設けることで、NLOS 衛星のドップラー観測を棄却する。

以上により、都市環境において継続的に位置を推定することが可能となり、速度の推定精度が向上することで、位置推定性能が向上することが期待できる。

### 3. 評価試験

図1に評価に使用した走行コースを示す。提案手法を評価するために、愛知県名古屋駅周辺で取得した GNSS データを用いて、従来の PF および RTK-GNSS と位置の推定精度を比較する。ここで、前提条件として、使用する衛星は GPS, Galileo, BeiDou, QZSS とし、データの取得周期は 1Hz とする。また、提案手法および従来の PF では、パーティクル個数は 5000 個とする。さらに、従来の RTK-GNSS 手法には RTKLIB をキネマティックモード、仰角マスク  $15^\circ$ 、信号強度マスク 35dB-Hz、その他のパラメータは全てデフォルトの設定で利用した。リファレンスには GNSS、慣性航法装置 (INS)、車輪速を統合した高精度な GNSS/INS 複合システムである POS LV 220 を利用する。

ここで、図2に三次元位置誤差の累積度数分布を示す。0.3m 以下の位置推定精度の割合は、従来の PF で 46.6%、従来の RTK-GNSS で 52.7%であったのに対し、パーティクルの再配置の実装後は 68.3%、さらに NLOS 衛星の棄却実装後は 72.2%に向上した。以上の結果から、提案手法は従来の PF と比較して、都市環境において継続的に位置を推定することが可能となり、速度の推定精度が向上したことで、精度の高い位置推定が可能であることを確認した。

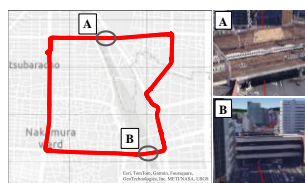


Fig.1 Trajectory

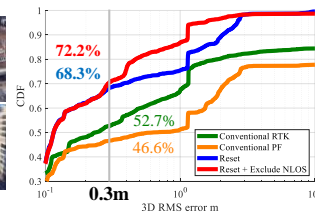


Fig.2 Evaluation result

### 参考文献

- [1] T. Suzuki, "Multiple Update Particle Filter: Position Estimation by Combining GNSS Pseudorange and Carrier Phase Observations," 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Yokohama, Japan, 2024, pp. 13680-13686.
- [2] C. C. Counselman and S. A. Gourevitch, "Miniature Interferometer Terminals for Earth Surveying: Ambiguity And Multipath with Global Positioning System," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, no. 4, pp. 244-252, 1981.