

3D 軌道情報を活用した GNSS/IMU による位置推定の高精度化 GNSS/IMU Position Estimation Using 3D Trajectory Information

田中 冠成 目黒 淳一
Kanna Tanaka Junichi Meguro

名城大学 理工学研究科 メカトロニクス工学専攻
Meijo University, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Science and Technology

1. はじめに

車両の高精度な位置推定技術として、GNSS(Global Navigation Satellite System)/IMU(Inertial Measurement Unit)を統合する手法[1]が提案されている。しかし、一般的なGNSS/IMUでは、高架下や都市部などの衛星信号が遮蔽される区間ではIMUのみの慣性航法となり、IMUの累積誤差により速度及び位置・姿勢推定精度が大きく劣化する問題が知られている。特に速度推定には、高精度なピッチ角の推定が必要となり、衛星信号が遮蔽されIMUの誤差を補正できない環境では、解決が困難な問題となっている。

一方、地図を利用したマップマッチングが実用化されている。ただし、従来のマップマッチングは、二次元の地図情報が活用されるだけに留まるため、高精度な位置精度を実現することは困難となる。ただし、電車やバスなどの車両では、あらかじめ設定された走行軌道が存在しており、その三次元の軌道情報を活用することが可能である。そのため、GNSS信号が遮蔽される環境でも、位置／姿勢／速度推定の高精度化ができる可能性がある。

そこで本研究では、高さおよび姿勢角を含む3D軌道情報を活用した位置推定手法を提案する。提案手法では、パーティクルフィルタを用いて、平面だけでなく、高さ、姿勢に拘束を加えることで、位置／姿勢／速度の高精度化を目指す。

2. 提案手法

提案手法は、パーティクルフィルタを用いて推定する。まず、式(1)に状態量を示す。

$$\mathbf{X} = [\mathbf{p}^T, \mathbf{R}_{enu}^T, V, \delta \mathbf{a}_{bias}]^T \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{p} : [p_E, p_N, p_U]^T$ は位置、 $\mathbf{R}_{enu} : [\phi, \theta, \psi]^T$ は姿勢角(ロール ϕ , ピッチ θ , ヨー ψ)、 V は速度、 $\delta \mathbf{a}_{bias}$ は加速度誤差である。そして、IMUの計測値により状態遷移を行い、3D軌道情報を用いた観測更新を実施することで、位置／姿勢／速度の推定精度の向上を目指す。

観測はFIX解による位置、Dopplerから推定した速度、3D軌道を利用する。3D軌道情報を用いた観測更新では、主に2つの尤度を用いる。1つ目は、3D軌道情報から外れたパーティクルの選別を行うための尤度である。状態遷移により予測された各パーティクルの位置 \mathbf{p}^i に対し、軌道上の最近傍点 \mathbf{p}_{MAP} を探索し、その点までの距離 d^i を用いて計算する。これにより計算される尤度 L_d^i は、距離 d^i が短いほど高くなるように、ガウス分布に基づき式(2)で計算される。

$$L_d^i \propto \exp\left(-\frac{(d^i)^2}{2\sigma_d^2}\right) \quad (2)$$

ここで、 $d^i = \|\mathbf{p}^i - \mathbf{p}_{MAP}\|$ であり、 σ_d^2 は3D軌道情報に対する信頼度を示す分散である。

2つ目の尤度には、3D軌道情報の姿勢角を利用する。これにより、姿勢角変化の大きい地点でより局所的な絞り込みを行う。具体的には、各パーティクルの最近傍点 \mathbf{p}_{MAP} における姿勢角 \mathbf{R}_{MAP} を観測値として利用し、各パーティクルの予測姿勢 \mathbf{R}_{enu}^i との差分で整合性を評価する。姿勢角の差分が小さいほど尤度が高くなるように、ガウス分布に基づき尤度 L_R^i を式(3)で計算する。

$$L_R^i \propto \exp\left(-\frac{1}{2}(\mathbf{R}_{enu}^i - \mathbf{R}_{MAP})^T \mathbf{Q}^{-1}(\mathbf{R}_{enu}^i - \mathbf{R}_{MAP})\right) \quad (3)$$

ここで、 $(\mathbf{R}_{enu}^i - \mathbf{R}_{MAP})$ は姿勢角の残差ベクトルであり、 \mathbf{Q} は姿勢情報に対する信頼度を示す共分散行列である。

3. 評価試験

評価試験では、名古屋駅周辺で取得したデータを用いて、提案手法の3D軌道情報を用いたパーティクルフィルタと、軌道情報を用いない従来のGNSS/IMUの位置推定精度の比較評価を行う。図1に走行軌跡を示す。本評価において、リファレンス及び軌道情報として、GNSSと慣性航法装置(INS)、車輪速計を統合した高精度なGNSS/INS複合システムPOS LV 220を利用する。

図2に位置推定結果の三次元位置誤差の累積度数分布を示す。従来のGNSS/IMUでは、IMUのドリフト誤差により位置推定精度が劣化しているのに対し、3D軌道情報を用いる提案手法では、ドリフト誤差を抑制し位置推定精度が向上している。図2から、0.3m以内の割合が従来のGNSS/IMUと比較して、21%から90%まで向上していることが確認でき、提案手法の有効性が確認できる。

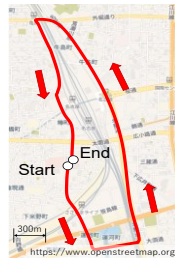


図1 評価経路

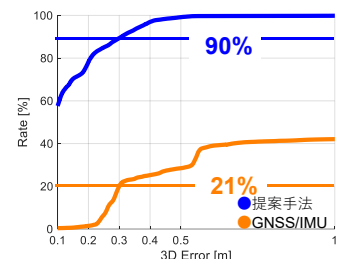


図2 累積度数分布

参考文献

- [1] Aoki Takanose, et. al., Localization System for Vehicle Navigation Based on GNSS/IMU Using Time-Series Optimization with Road Gradient Constrains, Journal of Robotics and Mechatronics, VOL.35, No.2 p.387-397, 2023