

# パーティクルフィルタを用いた 気圧高度計と GNSS/IMU 統合による位置推定の基礎検討

## Basic Study of Position Estimation

by Integrating Barometric Altimeter and GNSS/IMU Using Particle Filter

田中冠成 河田一将 目黒淳一

Kanna Tanaka Kazumasa Kawata 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

自動運転システムにおいて、車両の高精度な位置推定が重要である。これまで、GNSS(Global Navigation Satellite System)/IMU(Inertial Measurement Unit)、および車輪速センサを統合して車両の位置や姿勢角を推定する手法が提案されてきた[1]。しかし、近年では車輪速の取得が難しい車両への実用の検討も行われており、車輪速センサを使用しない位置推定手法の需要が高まっている。さらに、衛星測位が困難な環境では、IMUセンサのみを用いた慣性航法に頼ることになり、センサの累積誤差により位置推定の精度が低下する問題がある。そこで本研究では、気圧高度計から得られる高さ変動を観測として活用したパーティクルフィルタを用いることで、高精度なピッチ角と速度推定を実現させ、衛星測位が難しい環境における位置推定精度の改善を目指す。

### 2. 従来手法

従来手法[2]では、IMUの加速度から速度を推定するために、次のモデル式(1)が用いられる。ここで $V$ は車両進行方向速度、 $ACC$ はIMU進行方向加速度、 $\delta ACC$ はIMU加速度誤差、 $g$ は重力加速度、 $\theta$ は車両ピッチ角である。

$$V = \int (ACC + \delta ACC - g \sin \theta) dt \quad (1)$$

加速度積算による速度の推定には、ピッチ角 $\theta$ と加速度誤差 $\delta ACC$ の推定が不可欠である。そのため、従来手法では、GNSSのFIX解を用いてそれらの推定を行っている。ここで図1に、従来研究[2]におけるピッチ角推定の概要を示す。図1では、FIX解の移動量から、水平移動距離と高さの変動量を求めることでピッチ角を求めている。

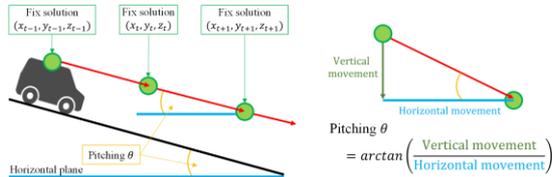


図1 従来手法[2]におけるピッチ角推定概要

次に加速度誤差の推定では、FIX解の単位時間における移動量を速度 $V_{\text{Fix}}$ として利用し、式(2)、式(3)より誤差が最小となる加速度誤差を探索している。

$$V = \int (ACC - g \sin \theta) dt \quad (2)$$

$$\delta ACC = \operatorname{argmin} \sum (V - V_{\text{Fix}})^2 \quad (3)$$

一方、従来手法[2]の問題として、ピッチ角、加速度誤差の推定に衛星測位が必要不可欠な点があげられる。そのため、衛星測位ができない場合にはセンサの累積誤差により位置推定精度が劣化する問題がある。

### 3. 提案手法

そこで提案手法では、気圧高度計を観測に用いることで、衛星測位ができない場合への対応を目指す。またパーティクルフィルタにより、ピッチ角、加速度誤差の同時推定を行う。提案するパーティクルフィルタでは、まず、加速度誤差 $\delta ACC$ と、ピッチ角 $\theta$ に対して、正規分布 $\mathcal{N}(\mu_{\delta ACC}, \sigma_{\delta ACC}^2)$ 、 $\mathcal{N}(\mu_{\theta}, \sigma_{\theta}^2)$ に従い、パーティクルを生成する。また、式(4)によりピッチ角 $\theta$ の状態遷移を行う。さらに、生成したパーティクルを用いて、式(1)から速度 $V$ を、式(5)により高さ $H$ を推定する。

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \dot{\theta}_t * dt \quad (4)$$

$$H_t = H_{t-1} + V_t * \sin \theta_t * dt \quad (5)$$

そして、各パーティクルの尤度を計算するため、5秒間の高さ変動の予測値 $\Delta H$ を求める。この高さ変動と気圧高度計の高さ変動 $\Delta H^{\text{barometer}}$ を比較し、式(6)により尤度計算を行う。ここで、 $\sigma_{\Delta H}^2$ は高さ変動の分散となる。

$$L = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Delta H}^2}} \exp\left(-\frac{(\Delta H - \Delta H^{\text{barometer}})^2}{2\sigma_{\Delta H}^2}\right) \quad (6)$$

式(6)による尤度計算の結果に基づきリサンプリングを行い、パーティクルの更新を行うことでセンサの累積誤差による位置推定精度の劣化を低減することを目指す。

### 4. まとめ

本研究では、車輪速センサを用いないGNSS/IMUシステムでの衛星不可視状態での性能の劣化に注目し、ピッチ角と加速度誤差を同時推定可能な、気圧高度計の高度変動を観測に用いたパーティクルフィルタの提案を行った。

### 参考文献

- [1] Junichi Meguro, et. al., "Low-cost Lane-level Positioning in Urban Area Using Optimized Long Time Series GNSS and IMU Da-ta", 2018 IEEE ITSC, 2018
- [2] 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