

カルマンフィルタとマップマッチングを用いた歩行者経路の 推定精度向上に関する研究

田川 達司† 内匠 逸‡ 打矢 隆弘§

†‡§ 名古屋工業大学 大学院 工学研究科

〒 466-8555 愛知県 名古屋市 昭和区 御器所町

1 はじめに

地下街などの発達により、GPS では測位困難な屋内・地下における位置情報の需要が増加している。これに対し、歩行者が所持・装着したセンサを用いて、進行距離・進行方向を算出し、移動量から相対位置を推定する手法 (PDR) が提案されている。

PDR では、角速度センサが計測した値を積分し、進行方向を算出する手法が多数提案されている [1]。しかし、角速度センサの出力誤差による、位置推定精度の低下が問題となる。そこで、本研究では、携帯端末のセンサを用いた位置推定における精度向上を目的として、カルマンフィルタとマップマッチングによる角速度センサの誤差低減手法を提案する。

2 角速度センサの出力誤差

携帯端末に搭載された 3 軸角速度センサには、実際の角速度と、出力される値との誤差オフセットが存在する。この誤差を確認するため、端末を卓上で静止させた状態での 1200 秒間の角速度出力を 100 秒間毎に平均をとった値を図 1 に示す。図から 3 軸センサの各出力は異なるオフセットを持ち、時間経過とともに変化していることがわかる。時間経過による誤差変化はセンサの駆動にともなうセンサ自身の温度上昇に起因すると見られる。誤差の幅・変化量は同機種の端末でも異なり、同一端末であっても各軸で異なることがわかっている。センサ温度によりずれ幅が変化するため、静止状態で誤差とその変化を計測しても、夏季と冬季では気温の差からセンサ温度の上昇の仕方が異なるので、静的な誤差除去は困難である。そのため、動的に誤差を推定する手法が必要となる。

3 従来手法

角速度センサの出力誤差を補正するため、現在までに様々な手法が提案されている。靴に取り付けたセンサを用いる手法 [1] では、歩行時に足が地面に接地し

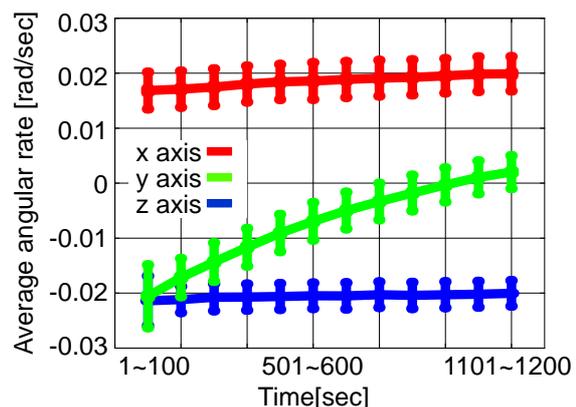


図 1: 静止状態での角速度センサ出力
(100 秒間毎の平均と標準偏差)

ている状態を静止状態であるとみなし、その状態での出力を誤差としてセンサの誤差低減を行っている。その他に、地磁気センサの出力方位を用いて角速度センサの蓄積誤差を除去する手法などが提案されている。

しかし、端末を手に保持している場合端末が完全に静止していることを判定するのは困難である。また、地磁気センサは鉄筋などの影響により出力が乱れることが報告されているため、屋内・地下などでの利用を想定する場合には適さない。

4 提案手法

3 軸加速度センサと 3 軸角速度センサを搭載した携帯端末を用いて歩行者の経路推定を行う。端末の所持方法は、手に携帯し、胸部前方で維持した状態での利用を想定する。進行距離は加速度ピークを歩数として検出し、歩行者の身長に対する比率 (45%) から設定した歩幅を用いて、歩数と歩幅から進行距離を推定する。進行方向は端末に加わる重力加速度から鉛直軸回りの角速度を求め、これを積分することにより変化角度を算出し、推定する。

角速度の積分により前述の誤差により、推定精度が低下するため、カルマンフィルタで誤差を低減する。加えて、時間経過にともなう誤差の蓄積をマップマッチングを用いて解消する手法を提案する。

Pedestrian Dead Reckoning using kalman filter and map matching

†Satoshi TAGAWA ‡Ichi TAKUMI §Takahiro UCHIYA

†‡§Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi, 466-8555 Japan

4.1 カルマンフィルタ

カルマンフィルタ（以下 KF）は正規分布に従う誤差を含む観測値 y_k から、時変な状態値 x_k を推定する。角速度センサの誤差を状態値とし、直線歩行時の振動に伴い入力される角速度を誤差とみなしモデル化を行う（式 1,2）。進行方向が変化する場合、角速度は正規分布に従わないため、KF での推定は行わず、それ以前の推定結果の平均・標準偏差を用いる。

$$x_{k+1} = x_k + N(0, \sigma_1^2) \quad \sigma_1 = 4.0 \times e^{-6} \quad (1)$$

$$y_k = x_k + N(0, \sigma_2^2) \quad \sigma_2 = \text{計測値から算出} \quad (2)$$

4.2 マップマッチング

KF を用いて誤差の低減を行っても、低減後の誤差は時間経過とともに蓄積され、経路の推定結果に影響を及ぼす。そこで、地図データを用いたマップマッチングを行い、誤差の蓄積を解消する。マップマッチングには自動車の GPS 測位結果を用いてマッチングを行う Brakatsoulas のアルゴリズム [2] を用いる。このアルゴリズムでは現在位置と 1 ステップ前の位置、道路リンクを用いる。現在位置 p_i とリンク e_i との距離 $d(p_i, e_i)$ 、現在の進行方向と e_i がなす角 $\alpha_{i,j}$ を用いて式 (3), (4) により評価値を算出する。評価値が最大となるリンク e_i をマッチング先として選定し、現在位置から e_i へ下した垂線の足へマッチングを行う。PDR に適用する環境では GPS に基づく正確な進行方向が得られないので、進行方向をマッチング先のリンクの向きと一致させ、角速度センサの蓄積誤差を除去する必要がある。

$$s_d(p_i, e_j) = 10 - 0.17 \cdot d(p_i, e_j)^{1.4} \quad (3)$$

$$s_\alpha(p_i, e_j) = 10 \cdot \cos^4(\alpha_{i,j}) \quad (4)$$

5 評価実験

KF とマップマッチングの有効性を確認するため、iPod touch を手に所持した状態で経路を歩き計測した加速度・角速度を用いて計算機上で経路の推定実験を行った。試行には 2 種類の経路を用いて、各 5 回の試行を行った。

5.1 KF によるセンサ誤差推定実験

実験には直線約 200m の経路を用いた。直線では端末の保持方法が変化しなければ、角速度の平均値はゼ

表 1: KF 適用前後での角速度の平均値変化

	平均	標準偏差
KF 適用前	0.1501	0.0078
KF 適用後	0.001144	0.000829

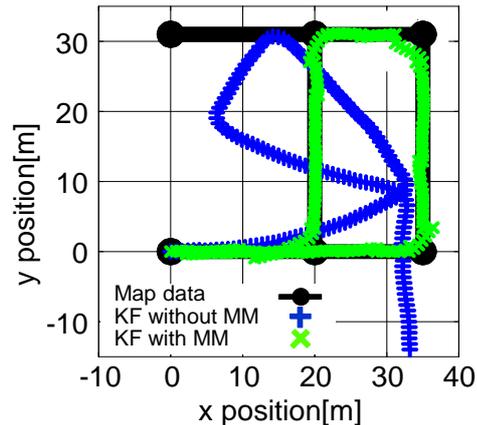


図 2: マップマッチングによる経路推定結果の変化 (5 歩毎にマッチングを実行)

表 2: KF, MM の適用による位置推定精度 [m]

	平均誤差	最大誤差	標準偏差
No reduction	33.0	36.0	3.2
Only KF	13.1	27.1	9.7
KF with MM	0.5	0.9	0.4

口となる。そこで、KF の適用前後で、平均の絶対値について調査を行った（表 1）。その結果、角速度のゼロからのずれは減少し、KF の有効性を確認できた。KF によりセンサ誤差は減少したが、減少後の誤差でも時間とともに蓄積されるのでマップマッチングを用いる。

5.2 マップマッチングによる蓄積誤差除去

実験には右左折を含む始点と終点在同一である約 132m の経路を用い、5 歩毎にマッチングを実行した。一定間隔でマッチングを実行することにより、蓄積された誤差を除去し、歩行経路の推定精度が向上することが確認できた（図 2、表 2）。

6 まとめ

本研究では歩行経路推定における推定精度の向上を目的として、カルマンフィルタとマップマッチングを用いた角速度センサの誤差低減と蓄積誤差の除去を提案した。端末で計測したデータを用いた計算機実験を行い、その有効性を確認した。

参考文献

- [1] A.R. Jiméms etc., “Indoor Pedestrian Navigation using an INS EKF framework for Yaw Drift Reduction and a Foot-mounted IMU”, WPNC 7th, pp.135-143, 2010.
- [2] S.Brakatsoulas etc., “On Map-Matching Vehicle Tracking Data”, VLDB 31st, pp.853-864, 2005.

謝辞

本研究の一部は、JST CREST uDialogue プロジェクトの助成によります。