

慣性計測と主成分分析を用いた 歩行者の進行方向推定の改善に関する一検討

佐久間 裕弥[†] 藤井 雅弘[†]

宇都宮大学大学院工学研究科[†]

1. まえがき

近年、スマートフォンの普及に伴い、歩行者向けナビゲーションなどの位置情報を用いた様々なサービスが提供されている。移動端末の絶対位置を推定する代表的な方法として、GNSS(Global Navigation Satellite System)があるが、都市部などの高層建築物が多い場所では位置推定が困難であり、さらに屋内では測位不能になることがある。このように断続的に絶対位置情報が得られるとき、相対移動量の推定によって歩行者の動きを追跡する手法が有効である。歩行者の相対移動量を推定する技術は PDR (Pedestrian Dead-Reckoning : 歩行者自律航法) と呼ばれる。この相対移動量は、過去の位置から現在の位置までの移動距離と進行方向で構成される。そこで本稿では、PDR における進行方向推定に着目し、スマートフォンに内蔵されたセンサを用いて、端末姿勢を計測しつつ、進行方向を推定する手法について検討する。

2. 座標系定義

本稿では、歩行者の進行方向推定のために3つの座標系を定義し使用する。まず、センサ値が計測される端末に対応した座標系を、本稿では図 1 (a) に示す端末座標系(D座標系)と呼ぶ。D座標系は端末の画面に正対した時に右手方向を D_x 、上方向を D_y と定め、 D_z は D_x と D_y の右手座標系での外積方向、すなわち、画面鉛直上向き方向で規定されるものとする。また、W座標系は図 1 (b) で示すように、地球上での東方向を W_x 、北方向を W_y と定め、 W_z は W_x と W_y の右手座標系での外積の方向、すなわち、地球中心から地表への鉛直方向で規定されるものとする。歩行者の進行方向を規定する座標系を歩行者座標系(P座標系)と名付ける。P座標系は3次元空間上で規定され、図 1 (c) で示すように、歩行者の進行方向を P_y 、歩行者の進行方向から眺めて右手方向を P_x と定め、 P_z は P_x と P_y の右手座標系での外積の方向とする。

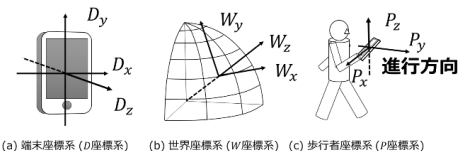


図 1 座標系の定義

3. 進行方向推定手法

本研究での目的は、端末座標系で計測されるセンサ値を用いて、世界座標系に対する歩行者座標系の回転量を推定することである。そこでこの3つの座標系上での計測センサ値の変換によって進行方向を推定する方法について議論する。

3.1. D座標系とW座標系の回転推定手法

まずD座標系からW座標系への変換、すなわち、D座標系とW座標系の相対的な回転を推定することを考える。この変換は端末の姿勢推定に相当し、D座標系で計測された3軸加速度センサと3軸角速度センサの6軸での計測値を融合させるMadgwickのIMU (Inertial Measurement Unit) フィルタを用いることで実現できる[1]。但し、IMU フィルタは地磁気センサを利用しないため、端末の初期姿勢で、D座標系とW座標系が一致することが制約される。

3.2. W座標系とP座標系の回転推定手法

次に、W座標系でのセンサ値を用いて、W座標系に対するP座標系の相対回転、すなわちW座標系における歩行者の進行方向を推定する事を考える。本検討では、歩行動作の特性に着目し、歩行に伴う前後運動と進行方向の相関性を利用した、加速度PCA (Principal Component Analysis) 法を用いて進行方向推定を行う[2]。この手法はW座標系に現れる加速度の前後運動パターンの方向をPCAを用いて求めるものである。PCAを適用し、第一主成分軸を進行方向軸として進行方向推定を行う。しかしながら、PCAにおける主成分は向きを持たず、主成分のみでは方向が確定できない方向不確定性問題が発生してしまう。つまり、 180° 反転した方向を進行方向として推定しまう。従来の加速度PCA法では、一時刻前の進行方向に近い方向を進行方向とすることでこの問題を回避したが、連続して 90° 以上の誤差が発生すると、 180° 間違った方向を進行方向として推定し、この選択ミスは、その後、継続してしまうという問題がある。

A study on improvement of travelling direction estimation by IMU and PCA for PDR

[†]Yuya Sakuma, Masahiro Fujii, Department of Information Systems Science, Utsunomiya University

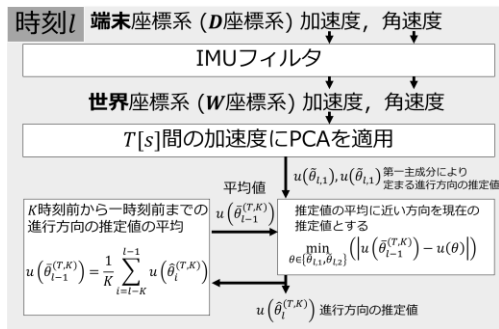


図 2 提案手法

3.3. 提案手法

そこで本稿では、第一主成分軸の示す2つの方向から一つを選択する方法について改良した。提案手法では、 K 時刻前から一時刻前までの進行方向の推定値の平均値に近い方を選択するように改良した。スマートフォン端末で取得したセンサ値から進行方向を求めるまでのフローチャートを図2に示す。

4. 実験結果

本節では、第3.2節で示した従来手法と第3.3節で示した提案手法の進行方向推定の性能比較を行う。本稿では通常のスマートフォンの保持状態の例として、端末を手に保持し通常の歩行のように腕を振って歩く「手振り」と、手を振らずに手に保持した状態の「手持ち」、端末を背部リュックサックに入れる「バッグ」の3つの保持状態について検証を行う。歩行者は、方向転換回数異なる3つのルート（直進ルート、U字のルートS字のルート）を可能な限り等速で歩行するものとする。被験者数は10名で、全92試行である。また、本歩行実験における方向転換の時刻は、歩行試行の様子を撮影したビデオカメラの映像より、人手により整合した。第 n 番目の試行 ($n = 1, \dots, N = 92$) において、PCAの適用期間 $T[s]$ 、提案手法の平滑化期間 K （従来手法では $K = 1$ に相当）とした時の時刻 l でのビデオ映像から得られた真の進行方向を $u(\theta_l[n])$ とし、その推定値を $u(\hat{\theta}_l^{(T,K)}[n])$ と改めて置く。この時、第 n 番目の試行標本に対するRMSE (Root Mean Squared Error) を

$$E^{(T,K)}[n] \equiv \sqrt{\frac{1}{4L_n} \sum_{l=0}^{L_n-1} \|u(\hat{\theta}_l^{(T,K)}[n]) - u(\theta_l[n])\|^2} \quad (1)$$

と定義する。全92の歩行試行毎の従来手法と提案手法のRMSE特性を図3に示す。ここでは、各試行データに対して、PCAの適用期間 T を1sから5sまで0.1s刻みで変化した時のRMSEの最大(max), 最小(min), 平均(avg)を示す。直線ル

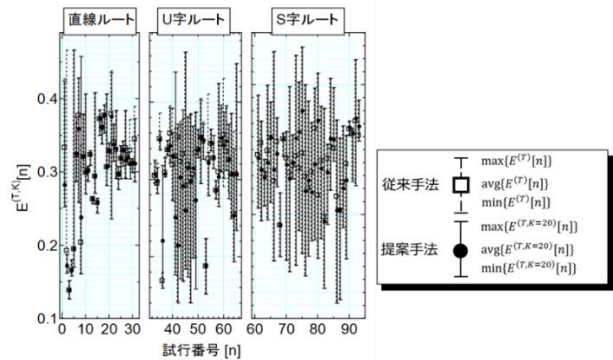


図 3 歩行試行毎の進行方向推定誤差

ートでは、 $28/31 = 90.32\%$ の試行にて、提案手法の誤差の平均値が従来手法のそれを下回った。U字ルート、S字ルートでもそれぞれ、 $17/26 = 65.38\%$ 、 $20/33 = 60.60\%$ の試行で平均誤差を低減できた。この結果から、本手法は方向転換の少ない直線歩行時に特に優れた反転補正を行えるものであると考えられる。今後、提案手法で使用される平滑化パラメータ K の決定方法について検討する予定である。

5. まとめ

本稿では、PDRのためのIMUとPCAを用いた進行方向推定について検討した。従来の推定手法では、連続する推定誤差の累積が一定値を超えると、 180° の方向推定値の反転が発生し、それが継続してしまうという問題があったが、本手法では、数時刻前まで遡った推定値の平滑値を参照することで、この現象を抑圧することに試みた。結果として、方向転換数が増加するにつれ従来手法に対する提案手法の優位性は下がっていくものの、多くの試行にて従来手法より誤差が低減された。今後の課題として、様々な環境での歩行実験の実施と、提案手法で使用される平滑化パラメータ K の決定方法について検討する予定である。

参考文献

- [1] Madgwick, S.: An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays, Technical report, Department of Mechanical Engineering, University of Bristol, (2010).
- [2] 星尚志, 藤井雅弘, 羽多野裕之, 伊藤篤, 渡辺裕: スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニングのための進行方向推定に関する研究, "情報処理学会論文誌, vol. 57, no. 1, pp. 25-33 (2016).