

スマートフォンを用いたPDRのための 進行方向推定に関する一検討

星 尚志[†] 羽多野 裕之[†] 藤井 雅弘[†] 伊藤 篤[†] 渡辺 裕[†]

宇都宮大学大学院 工学研究科 情報システム科学専攻[†]

1 はじめに

センサを用いて歩行者の相対移動を推定することにより位置を追跡するPDR(Pedestrian Dead Reckoning)と呼ばれる技術の研究開発が盛んに行われている。このためには、距離と進行方向から構成される相対的な移動を推定する必要がある。本稿ではスマートフォンを用いたPDRを実現するために進行方向の推定手法について検討する。これまでの進行方向推定は、地磁気を用いた方位計測や、端末の向きを進行方向に固定するなど歩行環境や端末保持状態に大きく依存するものが多い。例として、興枘らは、センサ端末を腰に固定し、進行方向と鉛直方向のデータ値を用いたPDR手法を検討している[1]。しかし、端末の保持状態の制約があり、屋内では地磁気が不安定となる場合が想定され、様々な状況での実現には課題がある。

本稿では、端末の姿勢を推定することで端末の保持状態の変化を考慮し、地磁気情報を用いず歩行中の加速度と角速度の特徴を利用した主成分分析(Principal Component Analysis:PCA)による進行方向推定と、角速度の累積による進行方向推定の手法を提案する。これらの推定精度について、様々な保持状態での歩行実験により比較、評価を行う。

2 座標系

本節ではPDR環境における3つの座標系について説明する。端末に搭載されているセンサで取得できる3軸座標系をD座標系とし、図1に示すように画面水平右方向を D_x 軸、画面水平上方向を D_y 軸、画面鉛直上方向を D_z 軸と定義する。また図2に示すように、地表水平東方向を W_x 軸、地表水平北方向を W_y 軸、重力加速度逆方向の地表鉛直上空方向を W_z 軸とした座標系をW座標系と定義する。さらに図3に示すように、地表

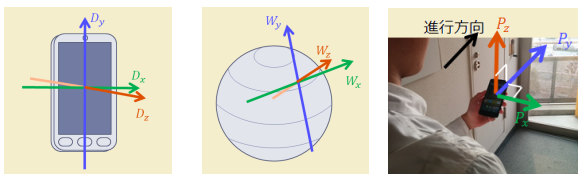


図 1: D 座標系 図 2: W 座標系 図 3: P 座標系

A study on traveling direction estimation for PDR using smartphone

Hisashi Hoshi[†], Hiroyuki Hatano[†], Masahiro Fujii[†], Atsushi Ito[†], Yu Watanabe[†]

[†]Department of Information Systems Science, Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

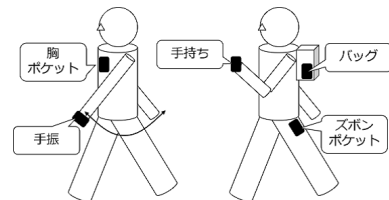


図 4: スマートフォンの保持状態

に対して水平方向に移動する歩行者の進行方向右手方向を P_x 軸、進行方向を P_y 軸、地表鉛直上空方向を P_z 軸(W_z 軸と同じ)とした座標系をP座標系と定義する。当然、これらの3座標系は端末姿勢と保持状態によって異なることに注意する。

3 座標系変換

図4に示すように、歩行時の端末の状態は様々考えられるため、D座標系でのセンサ情報から直接進行方向を推定することは不可能である。そこで、端末姿勢を推定することでセンサ情報をD座標系からW座標系に変換し、W座標系でのセンサ情報に基づいて進行方向である P_y 軸を推定する手法を検討する。D座標系からW座標系への変換は、D座標系で取得した加速度と角速度のフィルタリングで実装されたIMU(Inertial Measurement Unit)フィルタを利用する[2]。但し、初期姿勢でD座標系とW座標系を等しくする必要がある。W座標系からP座標系への変換は、 W_z 軸と P_z 軸が一致することを利用する。端末の姿勢推定のためには地磁気センサを用いる手法もあるが、地磁気は周囲の構造物等の影響を強く受けるという欠点がある。そこで、本稿では、全ての系において、加速度と角速度のセンサ情報のみを利用する。

4 進行方向推定

4.1 加速度の主成分分析による推定

歩行時の加速度には、歩行に伴う加減速の変化が現れる。図5に歩行時の $W_x - W_y$ 平面での加速度変化を示す。このグラフより3軸加速度の時間変動は進行方向と相関が高いことがわかる。そこで各標本時刻において、過去 N 時刻のW座標系加速度情報に対して3次元PCAを適用し、第一主成分を算出して進行方向軸とする。図5中の破線は、第一主成分を示す。この第一主成分の $W_x - W_y$ 平面への射影から時刻 i での進行方向 θ_i を決定する。しかしながら、この手法では $180[^\circ]$ の方向不確実性が生じる。そこで、本研究では、時刻0での θ_0 の不確実性はD座標系からW座標系への変換のための条件から排除可能とし、時刻 $i > 0$ においては、標本間隔内で $90[^\circ]$ 以上の進行方向変化が発生しないと想定し、

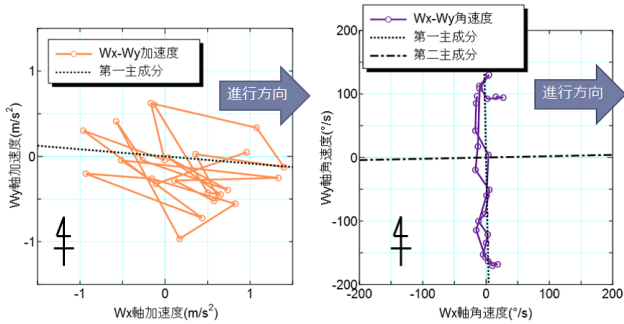


図 5: 歩行時の加速度変化 図 6: 歩行時の角速度変化

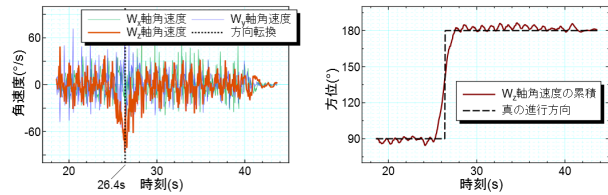


図 7: 角速度時系列の例 図 8: W_z 軸角速度の累積

時刻 $i-1$ での推定進行方向 θ_{i-1} に近い進行方向を時刻 i での推定値として採用する。この想定は通常成立すると考えられる。

4.2 角速度の主成分分析による推定

図 6 に歩行時の $W_x - W_y$ 平面での角速度変化を示す。この図より 3 軸角速度の時間変動は進行方向と直交した方向と相関が高いことがわかる。これは手振などの場合に多く見られるが、腕の動きによって P_x を軸に末端が回転するためであると考えられる。そこで、前節と同様に、各標本時刻において、過去 N 時刻の W 座標系角速度情報に対して 3 次元 PCA を適用し、第二主成分を算出して進行方向軸とする。この手法でも、 $180[^\circ]$ の方向不確実性が生じるが、前節と同様の規範に基づき、進行方向の推定値を決定する。

4.3 W_z 軸角速度の累積による推定

歩行において方向転換は、 W_z 軸周りの回転と等価である。つまり、方向が変わった時に W_z 軸角速度に変化が現れると考えられる。図 7 に手持ち歩行時の角速度時系列の例を示す。時刻 i での W_z 軸角速度を $\omega_{z,i}[^\circ/\text{s}]$ 、標本時刻 $i-1$ から i までの時間間隔を $\Delta T_i[\text{s}]$ とする時、 $\theta_i = \theta_{i-1} + \omega_{z,i}\Delta T_i$ として進行方向を推定した結果を図 8 に示す。この異なる時刻での進行方向差 $\theta_i - \theta_{i-1}$ が角速度とその標本間隔の積 $\omega_{z,i}\Delta T_i$ に一致するという恒等関係から導ける本手法により良好な進行方向推定が可能であることが示された。但し、この手法では、初期方向 θ_0 が既知である必要がある。

5 実験

本節では、提案する三種の進行方向推定手法の性能を評価する。端末の保持状態として、図 4 に示す「手持ち」、「手振」、「ズボンポケット」、「胸ポケット」、「バッグ」で実験を行った。実験環境は宇都宮大学工学部情報棟 2 階廊下で、図 9 に示すように曲がりを含む L 字のルートである。被験者は 10 名で複数回歩行実験を行った。センサのサンプリングレートは $25[\text{Hz}]$ 、端末は初期姿勢とし

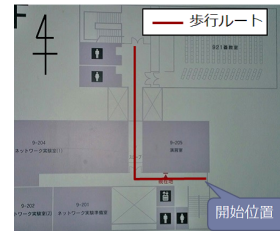


図 9: 実験環境

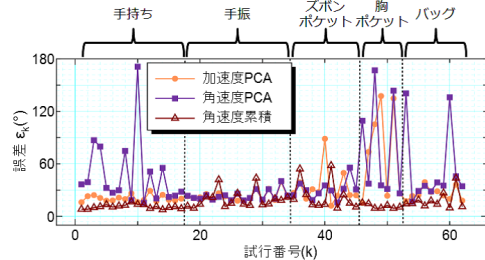


図 10: 第 k 番目の試行における RMS 誤差 ε_k

て D 座標系= W 座標系の状態とした。また方向転換時刻とセンサ取得時刻の同期はビデオカメラでの撮影に基づいて行った。第 k 番目の試行において、真の進行方向と推定方向の RMS 誤差 $\varepsilon_k = \sqrt{\frac{1}{N_k} \sum_{i=0}^{N_k-1} (\hat{\theta}_{k,i} - \theta_{k,i})^2}$ を算出し、評価を行う。ここで、 N_k は第 k 番目の試行での標本数であり、 $\theta_{k,i}$ 、 $\hat{\theta}_{k,i}$ は時刻 i における真の進行方向と推定方向である。

5.1 実験結果

図 10 に RMS 誤差 ε_k を示す。端末がどの状態でも、第 4.3 節で説明した角速度累積法が安定して一番誤差が少なく、平均で $15[^\circ]$ 程度の誤差であった。PCA を用いた手法では「胸ポケット」や「手持ち」の場合、精度の劣化が見られた。一方、累積法の場合、端末が「バッグ」に格納されていても精度よく推定することができた。しかし、誤差要因として角速度のドリフトの影響を受けることが考えられる。そこで、PCA を用いるような絶対推定と組み合わせることで、ドリフトの影響を軽減することが可能であると考えられる。

6 終わりに

本稿ではスマートフォンを用いた PDR のための進行方向推定手法について検討した。またフィールド実験により三種類の手法の比較を行い、 W_z 軸角速度の累積によって進行方向を追従する手法で精度よく推定できることを示した。今後はより高精度に推定するために、複数の推定手法の統合方法を検討する予定である。

参考文献

- [1] 興梠正克, 蔵田武志: 慣性センサ群とウェアラブルカメラを用いた歩行動作解析に基づくパーソナルポジショニング手法, 信学技法, PRMU2003-260, pp.25-30(2004).
- [2] Madgwick, S.: An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays, Technical report, Department of Mechanical Engineering, University of Bristol, (2010).