

スマートフォンのセンサを用いた 保持状態に基づく歩行者デッドレコニングに関する一検討

星 尚志[†] 羽多野 裕之[†] 藤井 雅弘[†] 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

近年、スマートフォンの普及に伴い、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。GPS などによる絶対位置推定精度が十分に得られない環境においては、歩行者が保持するスマートフォンに搭載されているセンサ情報を用いて相対移動を推定するデッドレコニング (Dead Reckoning: DR) 技術があり、様々な研究が行われている。従来の DR に関する研究では、スマートフォンの保持状態と移動状態に特定の制約を設けた場合の検討が多いが、特にスマートフォンを保持した歩行者のナビゲーション環境においては、これらの状態は非常に自由度が高い。自由度の高い歩行者 DR を実現するためには、これらに状態推定を適切に行うことが必要であると考えられる。本稿では、基礎的な検討として、移動状態を歩行のみに制限し、加速度、角速度情報を用いて保持状態の推定について提案を行う。本検討では、保持状態として、「手持ち」、「ズボンポケット」、「手振」、「胸ポケット」の4状態を想定する。提案手法の推定精度について、フィールド実験により評価を行う。

2 座標系

本章では歩行者 DR 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

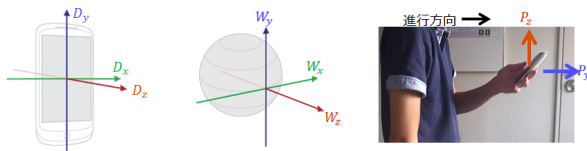


図 1: D 座標系 図 2: W 座標系 図 3: P 座標系

A study on pedestrian dead reckoning based on holding state using sensors on smartphone

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

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

した座標系をW座標系とする。さらに図3に示すように、地表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座標系とする。当然、これらの3座標系は、端末の保持状態によって異なることに注意する。

3 状態推定アルゴリズム

本章では提案する状態推定アルゴリズムについて説明する。ここでの目的は、D座標系で観測されるセンサ情報を、P座標系に変換し、保持状態を推定することである。P座標系は歩行に直結した座標系であるため、P座標系でのセンサ情報を用いることで精度の良い保持状態推定が可能であると考えられる。しかしながら、D座標系からP座標系への直接的な変換は困難であるため、一度、D座標系からW座標系に変換し、その後、W座標系からP座標系に変換することを考える。ここで、時刻 t でのD座標系からW座標系への回転を表す回転行列を ${}^W_D \mathbf{R}_t$ 、W座標系からP座標系への回転を表す回転行列を ${}^P_W \mathbf{R}_t$ と表す。

3.1 D座標系からW座標系への変換

まず、端末の姿勢を推定することで、D座標系からW座標系に変換する。 ${}^W_D \mathbf{R}_t$ の算出には、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) アルゴリズムを利用する [1]。ただし、初期姿勢でD座標系とW座標系を等しくする必要はある。

3.2 W座標系からP座標系への変換

W座標系からP座標系への変換は、 W_z 軸と P_z 軸が一致することより、進行方位を算出することと等価である。方位推定のためには地磁気センサを用いる手法が一般的であるが、地磁気は周囲の構造物等の影響を強く受ける欠点がある。そこで、本稿では、加速度と角速度を用いてP座標への変換を行うことを考える。これまで、 $W_x - W_y$ 平面での加速度を主成分分析することで、進行方向を推定する手法が検討されている [2]。 [2] では、腰に装着した端末を対象としているため、「手振」のように進行以外の要因で端末に大きな加速度が付加される場合には対応できない。逆に、「手振」の場合、進行以外の要因での端末に付加される角速度が進行方向と相関が高いと考えられる。そこで、本稿では、進行以外の要因で端末に付加される加速度が小さい場合は [2] の手法を採用し、大きい場合は $W_x - W_y$

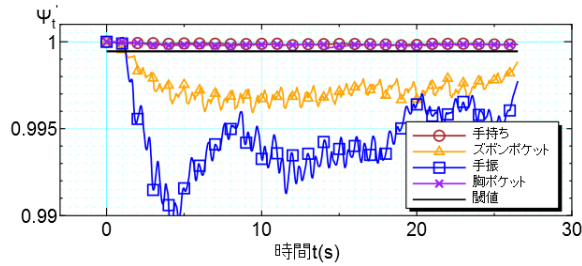


図 4: ψ_t の時系列と閾値

平面での角速度を主成分分析することで、進行方向を推定する手法を提案する。ここで、分析データは直近 1 秒間のものを用いる。これにより、進行方向を推定することにより、 ${}^P_W \mathbf{R}_t$ を算出することができる。

3.2.1 進行以外の要因で端末に付加される加速度の変化率

ここでは、進行以外の要因で端末に付加される加速度の大きさを判別するための手法を説明する。加速度は、進行に起因する要素と進行に起因しない要素の合成で観測されるため、観測加速度からでは進行以外の要因で端末に付加される加速度の大きさを判別することは不可能である。そこで、本稿では、進行以外の要因で端末に付加される加速度の大きさを、端末の回転の大きさに置き換えて、判定を行う。D 座標系での時刻 t での正規化された重力加速度を $g_{D,t}$ とすると、3.1 節で推定した ${}^W_D \mathbf{R}_t$ を用いて $g_{D,t} = {}^W_D \mathbf{R}_t^{-1} [0, 0, 1]^T$ で表すことができる。この時、 $\|g_{D,t}\| = 1$ であることから、時刻 t での端末の回転角を θ_t とすると、余弦定理より $\cos \theta = \frac{g_{D,t-1}^T \cdot g_{D,t}}{\|g_{D,t-1}\| \|g_{D,t}\|}$ と表すことができる。次に、 $\cos \theta_t$ に対して $\psi_t = 0.95\psi_{t-1} + 0.05 \cos \theta_t$ なる処理を行う。観測された ψ_t の時系列データのサンプルを図 4 に示す。図 4 より、「手持ち」と「胸ポケット」の場合、 $\psi_t \approx 1$ となっている。「手振」と「ズボンポケット」の場合、 $|\theta_t|$ が大きくなるため、 ψ_t は 1 より小さくなる。そこで、本検討では、図 4 に示す閾値 λ を用いて、進行以外の要因で端末に付加される加速度を判断する。また、同時に、この閾値 λ よりも大きい場合、「手持ち」か「胸ポケット」と判定し、小さい場合、「手振」か「ズボンポケット」と判定する。

3.3 状態推定

歩行時の P 座標系での端末のセンサ情報は、進行方向などに依存して周期性を持つと考えられる。そこで、P 座標系での加速度と角速度に窓長 $N = 256$ 点 STFT を施し、その周波数特性を利用して保持状態を推定する手法を提案する。 $\psi_t < \lambda$ かつ、 $|2f_{P_x,a} - f_{P_x,v}| < 2(f_s/N)$ を満たす場合、「手持ち」と判定する。ここで、 $f_{P_x,a}$ 、 $f_{P_x,v}$ はそれぞれ、 P_x 軸加速度の最大周波数スペクトルをとる周波数と P_x 軸角速度の最大周波数スペクトルをとる周波数であり、 f_s はサンプリング周波数であり、本稿では $f_s = 25$ [Hz] とした。 $\psi_t < \lambda$ かつ、 $|a_{P_z,t}| > \eta$ を満たす場合、「胸ポケット」と判定する。ここで、 $a_{P_z,t}$ は P_z 軸加速度とし、 η は事前に設定した閾値である。

表 1: 状態推定結果 (左欄の状態が上欄の状態として認識された割合 (%))

状態	手持ち	ズボン ポケット	手振	胸 ポケット	不明
手持ち	92.41	0	0	3.68	3.91
ズボンポケット	0	67.59	32.41	0	0
手振	0	0	100	0	0
胸ポケット	0	0	0	100	0

また、 $\psi_t \geq \lambda$ かつ、 $|f_{P_y,a} - f_{P_x,v}| < 2(f_s/N)$ を満たす場合、「手振」と判定する。ここで、 $f_{P_y,a}$ 、 $f_{P_x,v}$ はそれぞれ、 P_y 軸加速度の最大周波数スペクトルをとる周波数と P_x 軸角速度の最大周波数スペクトルをとる周波数である。また、 $\psi_t \geq \lambda$ かつ、 $|f_{P_x,v} - f_{P_z,v}| < 2(f_s/N)$ を満たす場合、「ズボンポケット」と判定する。ここで、 $f_{P_x,v}$ 、 $f_{P_z,v}$ はそれぞれ、 P_x 軸角速度の最大周波数スペクトルをとる周波数と P_z 軸角速度の最大周波数スペクトルをとる周波数である。また、いずれの条件も満たされない場合、「不明」と判定するものとする。

4 評価実験

本章では、提案手法におけるスマートフォンの保持状態の推定精度について評価を行う。実験は、1 人の歩行者が数回の同一条件で歩行を行う。またサンプル毎に状態を識別しているので、識別された各状態を全サンプル数で除算した認識率で評価する。表 1 に状態推定結果を示す。「手持ち」、「手振」、「胸ポケット」は 90% 以上の認識率となったが、「ズボンポケット」に格納されている状態では手振と誤認識されることが多かった。「ズボンポケット」の状態は、回転角も大きく手振の状態と類似していることが原因と考えられる。

5 おわりに

本稿では、歩行時に得られたセンサ値から座標系変換を介し、保持状態推定法の提案、精度の評価を行った。「手持ち」、「手振」、「胸ポケット」の状態は精度よく推定することができ、精度の低い保持状態の推定手法については問題点を示した。また、保持状態推定時に周波数特性を利用しているため、即時性に欠けるといった問題点もある。今後は複数人での実験や、処理のリアルタイム化、他の保持状態・移動状態にも対応できるように改良する予定である。

参考文献

- [1] S. Madgwick: An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays, Technical report, Department of Mechanical Engineering, University of Bristol, (2010).
- [2] 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).