

## ポケットに入れたセンサを用いた進行方向推定

村松 茂樹

渡邊 孝文

上坂 大輔

杉山 敬三

株式会社 KDDI 研究所

### 1 はじめに

近年、屋内等の GPS の利用が困難なエリアにおける測位のニーズが高まっている。屋内での測位手法についてはこれまでに様々な研究が行われており、インフラが不要な測位手法として、歩行者向けデッドレコニングが研究されている。従来の歩行者向けデッドレコニング手法の多くは、センサを人体の安定した部位（腰など）や、歩行の特徴が得られやすい部位（足の甲など）に固定する必要があったが、近年では、センサの搭載された携帯電話の利用を想定し、ズボンのポケットに収納した状態にも適用可能な手法が提案されている。ズボンのポケットにセンサを収納した場合、歩行時に観測される加速度は進行方向と鉛直方向広がりをもって分布することから、Steinhoff らは主成分分析（PCA）によって進行方向を推定する方法を評価している [1]。一方で、歩行動作によって端末の姿勢が変化することから、ジャイロを用いない場合には正確な端末姿勢を求めることができず、この手法は適用できない。

そこで本稿では、加速度センサと地磁気センサのみで進行方向を推定する手法を提案し、公開されているデータを用いて検証する。

### 2 進行方向推定

進行方向を推定するためには、センサ座標系とグローバル座標系との関係 ( $T_{sg}$ )、および端末のどの向きが所有者の前方か、を求める必要がある。

#### 2.1 センサ座標系とグローバル座標系との関係

端末が静止状態にあれば、観測される加速度は鉛直下向きの重力加速度のみであることから、十分な時間にわたる加速度の平均を重力として利用することができる。一方、歩行時には、観測される加速度は重力加速度と運動による加速度の合成となることから、そのままでは重力の向きを示さない。また、センサをズボンのポケットに収納している場合のように、歩行動作によって端末の姿勢が変化する

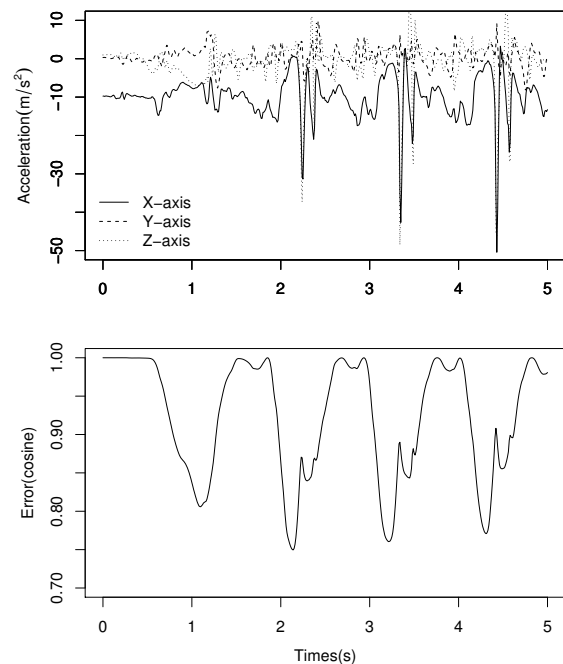


図 1: 加速度データ（上）静止時の鉛直方向と歩行時の鉛直方向の誤差の例（下）

状況においては、人間の歩行周期に対して十分に長い時間にわたる加速度データの平均を用いても、各時点の重力の向きを推定することはできない。

図 1 は、センサをズボンのポケットに収納して歩行した際の、加速度のデータと静止時の加速度のデータから推定した鉛直方向とジャイロを用いて算出した鉛直方向の誤差の例である。

歩行周期に 2 回（立脚期および遊脚期にそれぞれ 1 回ずつ）、鉛直方向が静止時における鉛直方向と一致する時点 ( $t_d$ ) があることが確認できる。この時点においては、観測される地磁気データと静止時に推定した鉛直方向を用いることで、 $T_{sg}$  を決定可能である。

#### 2.2 進行方向の推定

各時点における  $T_{sg}$  の代わりに、 $t_d$  において決定した  $T_{sg}$  を用いて水平成分を求める場合、実際と異なる  $T_{sg}$  を適用することから結果は影響を受ける。特に、地磁気の分布は進行方向によって変わることが

Direction Estimation using Motion Sensors in Pockets  
Shigeki Muramatsu, Takafumi Watanabe, Daisuke Kamisaka  
and Keizo Sugiyama  
†KDDI R&D Laboratories Inc.

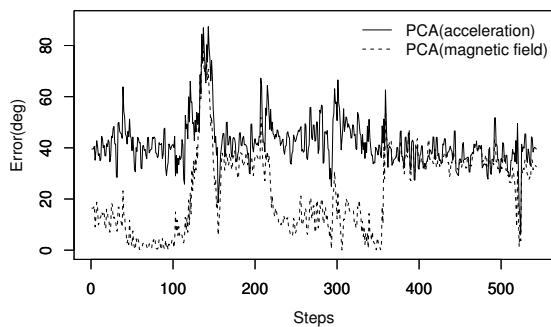


図 2: PCA を用いた場合の進行方向誤差

ら、影響も進行方向によって変わると考えられる。  
 図 2 は、図 3 と同じコースにおいて  $t_d$  において決定した  $T_{sg}$  を利用して算出した水平方向成分に対して 2次元の PCA によって進行方向を推定した場合の誤差の例である。加速度センサの水平方向成分を用いた場合の誤差はおおよそ一定であるが、地磁気センサを用いた場合には、進行方向によって誤差が変動することが確認できる。

### 2.3 推定手順

進行方向の推定手順は次の通りである。

1. 歩行前の静止状態に観測された加速度から鉛直方向を決定する。
2. 立脚期における  $t_d$  を決定する。[2] と同様、鉛直方向加速度の極小の中間時点とする。
3.  $t_d$  の  $T_{sg}$  を用いて、前回からの方向の変化を算出する。
4. PCA を用いて進行方向を推定する。より信頼できる推定結果が得られたら、その値に基づきそれまでの進行方向を再計算する。

### 3 評価

ズボンポケットに入れたセンサを用いた進行方向推定を、公開されているデータを用いて評価した。評価に用いたデータは [1] で用いられたもののうち、被験者 Ch, Ka, Kr, Ms による garden の歩行の際に左右のポケットに収納されたセンサのデータである。評価用データの加速度センサと地磁気センサの値から 2 節の手順によって進行方向を算出した。また、背部に固定したセンサのデータから求めた進行方向を正解とし、1 歩ごとに誤差を求めた。

表 1 は、進行方向の誤差である。被験者欄の R は右側のポケット、L は左側のポケットにセンサを収納したことを表す。誤差の 75% は、8 回の歩行のうち 6 回で 20 度以内であった。また、比較のために [1] に記載された、加速度の水平成分の PCA を用い

表 1: 進行方向の誤差 (度)

被験者	median	75 % <sup>ile</sup>	95 % <sup>ile</sup>
ChR	4.7	7.6	14.3
ChL	17.9	26.3	36.0
KaR	13.1	15.8	26.2
KaL	3.7	6.0	15.4
KrR	15.8	19.9	25.7
KrL	23.7	28.0	34.0
MsR	8.0	13.2	25.3
MsL	9.5	16.0	31.8

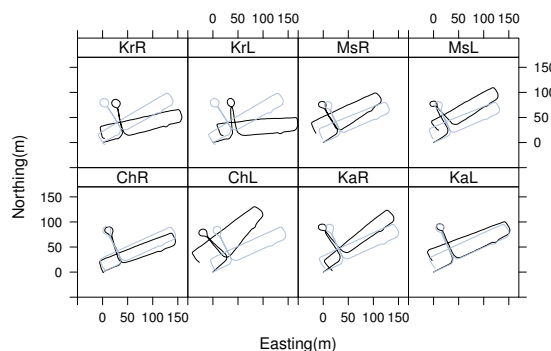


図 3: 推定歩行軌跡

る手法を実装したところ、median, 75 %<sup>ile</sup>, 95 %<sup>ile</sup> の中央値はそれぞれ、9.4 度、12.9 度、19.7 度であり、提案手法によりジャイロを用いた従来法と同等の精度が得られた場合もあった。

図 3 は、一定の歩幅で歩いていると仮定して、推定された進行歩行から得られた軌跡である。灰色の線は、正解である。歩行停止位置の誤差は平均 18.2m、標準偏差 8.6m であった。誤差が大きくなる原因として、進行方向の変化を正しく推定できていない場合と、全体的に回転している場合が確認できる。

### 4 おわりに

本稿では、ズボンポケットに収納した加速度センサと地磁気センサを用いた歩行時の進行方向について報告した。引き続き、評価を進める予定である。

### 参考文献

[1] Steinhoff, U. and Schiele, B.: Dead Reckoning from the Pocket - An Experimental Study, *Proceedings of eighth annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp. 162–170 (2010).

[2] Hoseinitabatabaei, S. A., Gluhak, A. and Tafazolli, R.: uDirect: A Novel Approach for Pervasive Observation of User Direction with Mobile Phones, *Proceedings of ninth annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp. 74–83 (2011).