

## 装着型センサの姿勢推定に基づく移動軌跡の可視化

坂 涼司†

梶 克彦‡

河口 信夫‡

†名古屋大学工学部

‡名古屋大学大学院工学研究科

### 1 はじめに

スマートフォンやタブレット端末等の普及により、多様なセンサを搭載した端末が広く携帯されるようになった。それらのセンサを利用したユーザの移動軌跡推定が研究されており、GPSの使えない屋内でのナビゲーションやライフログ等での応用が期待される。

移動軌跡を求める際には行動モデルを作成し、身長などの情報を事前に入力する手法が一般的である[1]。行動モデルを用いない移動軌跡推定が可能になれば、事前の情報入力が必要なくなるだけでなく、障害物回避などの不測の事態に強くなり、ロバスト性の向上が期待できる。そこで装着型センサ端末から得られる加速度センサ・角速度センサ・磁気センサ情報を利用して、センサ値から直接移動軌跡を推定する手法を提案する。

提案手法では、まずセンサ情報をカルマンフィルタにより統合し端末の姿勢を求める。そして、求めた姿勢に基づき加速度の平面成分と鉛直成分を抽出し、積分により移動軌跡を推定する。さらに、推定した移動軌跡を直感的に理解するためにHASC Tool\*を利用して可視化システムを作成した。

### 2 移動軌跡推定手法

センサ値は端末を基準とした座標系の値で取得される。移動軌跡の推定には加速度を相対的な座標系から絶対方位の座標系に変換する必要がある。そのために端末の姿勢を用いる。姿勢は回転行列で表現され、この行列を用いて座標系が変換できる。変換した加速度の積分により移動軌跡を求めるが、積分のみでは誤差が大きいため、周期モデルと方向推定によってより正確な移動軌跡推定を行う。本手法の処理フローチャートを図1に示す。

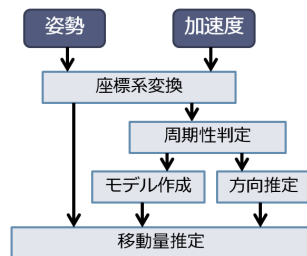


図1: 移動軌跡推定のフローチャート

#### 2.1 姿勢推定

提案手法では角速度の積分、重力方向、地磁気からそれぞれ推定される姿勢をカルマンフィルタにより統合して姿勢を求める(図2)。

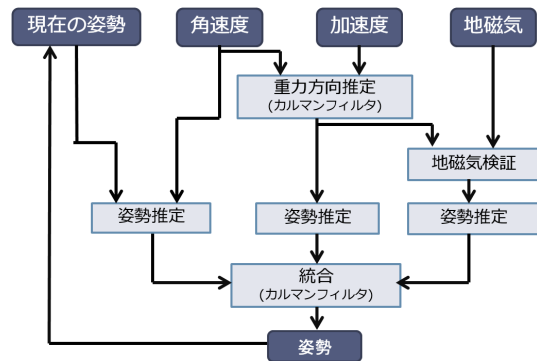


図2: 姿勢推定のフローチャート

磁気センサの検知する地磁気の値は微弱であり計測に雑音が乗りやすいため、その値が地磁気として扱えるのかを検証する必要がある。そのための手段として興梠らの研究[1]を参考にした。興梠らの研究では、加速度と角速度を観測として用いるカルマンフィルタにより重力方向を求める。そして、重力方向と地磁気ベクトルのなす角度を評価し、正当性を検証した。本手法ではさらに地磁気の大きさも検討し、正当性を検証する。すなわち、評価した角度や大きさを緯度・経度によって定まる値[2]と比較し、その差がしきい値を超えた場合は磁気センサの値を使用できないものとする。地磁気ベクトルから姿勢を推定する際には、それ単体ではベクトルの回転方向に自由度が残ってしまい、端末の姿勢を一意に決定できないため、重力方向と組み合わせる姿勢を推定する。

また、重力方向のみを用いた姿勢推定も行う。この場合も重力方向ベクトル(=Y軸)の回転方向に自由度が残るため、X軸とZ軸に関するパラメータのみを姿勢を求めるカルマンフィルタの観測として利用する。

#### 2.2 加速度変換

加速度センサが検知する値には重力加速度が含まれるため、センサ値から2.1節で求めた重力成分を除去する。その後、推定した姿勢に基づいて加速度の値を相対座標系から絶対方位座標系に変換する。以後、この値を加速度として扱う。

#### 2.3 周期モデル

歩く・走るなどのように人間の行動は周期性を伴うことが多い。そこで、周期的な動作をしている場合には過去の時系列加速度データから動作1周期分の行動モデルを作成し、モデルに基づいて現在の加速度を補正することで、より高精度な移動軌跡推定を行う。

周期性の判定にはFFTを利用する。HASC2011corpus[3]によると、歩く・走る・ス

\*HASC Tool: <http://svn.sourceforge.jp/svnroot/hasc/>

キップ・階段登り・階段降りの各行動の周波数は1.5～3Hz程度であったため、加速度をFFTにかけて周波数成分のピークが1.5～6Hzの範囲であった場合に、次の条件の判定を行い、全て満たした場合に現在の行動は周期的であると判断する。

- (1) 周期ごとの鉛直方向の加速度が最大となる間隔が一定である。
  - (2) 1の加速度の最大値が一定である。
- この場合の一定とは、標準偏差を平均で割った値がしきい値0.3以下に収まることを示す。

モデルの作成には、周期ごとに切り取った過去の時系列加速度データを利用する。鉛直方向の加速度が0より小さい値から0以上となった瞬間を周期の切れ目とした。過去の周期データの平均を取ることでモデルを作成する。

作成したモデルを利用し、以下の式によって加速度を補正する。

$$a' = (1 - \alpha)a + \alpha m \quad (1)$$

ここで、 $a$ は入力加速度、 $a'$ は補正後の加速度、 $m$ はモデル、 $\alpha$ はモデルをどれほど反映させるかを調節するパラメータであり、今回は0.8とした。

### 2.4 進行方向推定

周期的な行動をしている際は、端末の姿勢に対して一定の方向に進行すると考えられる。そこで、端末のXY面(=ディスプレイ面)と絶対方位座標系のXZ面(=水平面)の交わる直線のベクトルと、加速度ベクトルの平面成分との二つのベクトルがなす角度を求め、その平均を進行方向のモデルとする。そして、現在の速度ベクトルと、進行方向ベクトルのなす角度を調べ、その角度を小さくするように速度ベクトルを回転させることで、速度ベクトルを補正する。

### 2.5 移動軌跡推定

加速度の積分により速度を求め、進行方向を利用して補正した速度の積分により移動軌跡を求める。この際、加速度のノルムが5回連続してしきい値0.02[G]を下回った場合は、静止していると判断し速度を0にリセットする。

以上の手法を用いて推定した移動軌跡を可視化するシステムをHASC Toolを利用して実装した(図3)。図3の左側は端末の姿勢を可視化しており、右側はS字に歩行した際の移動軌跡を可視化している。端末の姿勢や移動軌跡のリアルタイム表示や、オフラインでの再生が可能である。

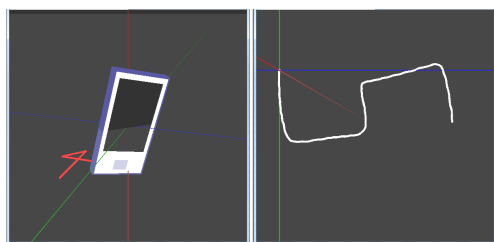


図3: 可視化システム

## 3 評価

図4の経路に対し本手法の評価実験を行った。本実験では、HTC社のEVO 3Dを腰の前方中央に装着した20代男性の被験者3名がそれぞれ3回ずつ図4の経路を歩行したデータを収集し、移動軌跡の推定を行った。

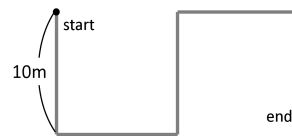


図4: 評価経路

表1に動作終了時の正解状態と推定した状態との誤差を示す。距離は位置のずれを示し、角度は進行方向のずれを示す。

表1: 評価結果

	誤差	
	距離 [m]	角度 [°]
person1	7.5	8.5
	4.4	33.4
	6.1	6.4
person2	9.6	5.1
	3.5	7.6
person3	15.3	21.4
	15.1	40.7
	18.5	25.9
平均	9.5	17.1

推定された移動量の誤差の平均は9.5mであり、角度の誤差の平均は17.1°であった。歩行動作は、数歩の加速期間を経てその後定常となるため、加速期間に速度や進行方向の推定を正しく行えないと、定常時の移動軌跡推定も誤った結果となることが誤差の原因と考えられる。精度向上のために、動作開始時の速度変化を正確に認識する手法の検討が必要である。

## 4 今後の課題

本稿では端末の姿勢推定手法と、姿勢を利用した移動軌跡推定手法及びその可視化について提案した。今後の課題として、精度・確度の向上を目的としたアルゴリズムの改善や、鉛直方向の移動軌跡推定を検討している。

## 参考文献

- [1] 興梠正克, 大隈隆史, 蔵田武志. 歩行者ナビのための自蔵センサモジュールを用いた屋内測位システムとその評価. シンポジウム「モバイル08」, pp. 151-156, 2008.
- [2] 国土地理院. 磁気図(伏角). 国土地理院技術資料 B-1 No.49, 2012.
- [3] Kawaguchi, N., Yang, Y., and Yang, T. et al. HASC2011corpus: Towards the Common Ground of Human Activity Recognition. *UbiComp2011*, pp. 571-572, 2011.