

センサを人体に固定しないデッドレコニング手法

上坂 大輔[†] 岩本 健嗣[†] 村松 茂樹[†] 横山 浩之[†]

[†]株式会社 KDDI 研究所

1. はじめに

歩行者向けのナビゲーションシステム (PNS; Pedestrian Navigation System) を実現するために、GPS の利用できない屋内で位置取得を行う様々な方式が提案されている。WiFi の基地局の電波を利用する方式などは既に実用レベルに至っているが、インフラ整備に多くの費用が必要である。インフラを必要としない自律的な測位手法としては、相対的な位置の変化を累積的に求める、デッドレコニング (Dead Reckoning) が知られている。加速度センサやジャイロを用いる慣性航法 (Inertial Navigation System) がその代表であるが、ノイズに弱く、主に自動車や航空機などの移動体を対象に、GPS と併用される場合が多い。複雑な運動を伴う歩行者へ適用可能なものとしては、センサによって人の歩行運動の特徴を検出し、歩数、歩幅、方向を推定して、相対位置を求めようとする方法 [1, 2] がある。しかし多くの場合、センサを腰など人体の安定した箇所に固定する必要があるため、携帯電話での実用化には問題がある。我々の簡易な調査によると、歩行者ナビゲーションシステムを利用しながら歩行している最中の携帯電話の保持方法としては、腕振り (携帯電話を手に持ち腕を振って歩行する) と手持ち (携帯電話を手に持ち画面を見ながら歩行する) が支配的であることがわかった。そのため、これらの持ち方において利用可能な測位手法が必要である。

我々はこれまでに、センサ搭載携帯電話をターゲットとした、手持ちの 6 軸センサ (3 軸の加速度センサと 3 軸の地磁気センサ) を利用した屋内位置推定手法を考案し [3]、センサアタッチメントと携帯電話を用いたデモシステムを構築した [4]。歩行者は携帯電話を人体に固定する必要が無く、携帯電話を持った手を振りながら歩行していても、位置推定が可能である。提案手法は従来の歩行者向けデッドレコニングと同様、歩数、歩幅、方向を推定する。本論では、特に従来法では困難な、腕振り歩行時における方位推定方式の詳細と、その評価について述べる。

2. 方位推定方式

センサ搭載端末が静止している状態では、観測される加速度ベクトルは重力方向すなわち鉛直下向きを示し、地磁気ベクトルは偏角・伏角を伴った北 (磁北) を示す。そのため、これらから比較的容易に端末姿勢を同定することができる。端末を腰など人体の一部に固定する場合は、人体の運動によるノイズが比較的少ない、安定したセンサデータを観測できるため、静止時と同様の手法によって、おおよその端末姿勢を得ることができる。端末の固定姿勢が予め決められていれば、端末姿勢から歩行者の進行方向も自動的に決定される。これに対し、端末を手に持ち腕振り運動を伴う歩行を行った場合、観測される加速度には重力のほかに腕振り運動による運動加速度や遠心力などが合成され、さらに端末姿勢が絶えず変動するため、従来法では正確な重力方向を得ることができない。

この問題を解決するため、我々は、加速度ベクトルの動きに着目した。単純化した腕振り運動は、歩行者の肩を中心とし、腕を半径とした、振り子運動であると見なすことができる。重力加速度のみを考えた場合、加速度ベクトルは腕振り運動と連動して扇形の平面 (加速度面) を描いて運動しているように観測される (図 1)。歩行中、腕は進行方向と平行に振られるとするならば、加速度面もまた、進行方向に平行である。これに基づき、加速度面を検出し、北に対する角度を求めることで、歩行者の進行方向を得ることが可能である。

加速度面は単位時間内の加速度ベクトル群から、最小二乗法により求める。遠心力と腕による運動加速度は、振り子運動の軌跡に対してそれぞれ接線方向と法線方向であり、加速度面の方向に大きな影響を与えないと考えられる。

進行方向を求めるには、加速度面のほかに、南北を示す平面 (方位基準面) を求める必要がある。方位基準面を求めるために、重力ベクトルと、それに対応する地磁気ベクトルを求める。重力ベクトルは直接観測することができないが、振り子運動の最下点において、重力ベクトルと遠心力の方向がほぼ等しく、その大きさは極大となることを利用し、加速度の極大点における加速度ベクトルの向きを重力方向と見なすこと

Dead Reckoning Method Using Unfixed Motion Sensor
Daisuke Kamisaka[†], Takeshi Iwamoto[†], Shigeki Muramatsu[†],
Hiroyuki Yokoyama[†]
[†] KDDI R&D Laboratories, Inc.

ができる。同じ時点における地磁気ベクトルと合わせ、方位基準面を決定する。加速度面と方位基準面のなす角は、進行方向を反映し、また、端末の姿勢によらず一定である。ただし、この時点で得られる角度は、劣角(0-180度)となる。

加速度面の両端における加速度の大きさは双方とも極小値をとるが、腕振り運動の前後非対称性を反映し、腕が前方にあるとき小さく、後方にあるとき大きいという性質がある。これを利用して、加速度面の前後を識別(前後判定)、劣角から0-360度の方位角に変換する。

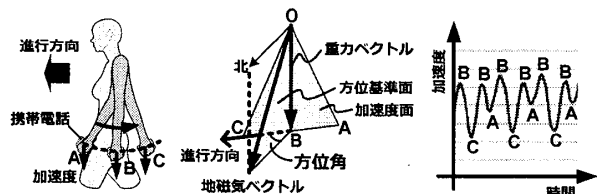


図1 加速度面と方位基準面

Figure 1 The acceleration plane and the azimuth plane.

3. 評価

歩行時における加速度と地磁気データを収集し、提案方式の精度を評価した。被験者は、我々が実装した6軸センサタッチメントと既存の商用携帯電話から構成されるシステム[4]を手に持ち、決められた直線経路を自然な速度(customary walking speed, [5])で歩行する。6軸センサタッチメントで計測されたデータは逐次シリアルケーブルを介して携帯電話に転送され、携帯電話上の記録アプリケーションにより保存される。歩行経路は8方位(方位角0度から45度刻み)を設定した。被験者は2名、各2回ずつ計測した。評価はセンサデータ回収後、PC上で実施した。

表1に、加速度面と方位基準面のなす角の平均絶対誤差を、被験者別・方位別に示す。各値は2回の計測の平均である。これによると、誤差は概ね10度強であり、方位を8段階で識別するには十分な精度を持つことがわかった。被験者・方位によって顕著な違いは認められなかった。今回、個々の推定誤差の符号に偏りは確認できなかったが、腕振り方向の個人差(進行方向に対するオフセット)に関して検証するには、より多くの歩行データが必要であると考えられる。

表1 加速度面・方位基準面のなす角の平均絶対誤差(度)

Table 1 Mean absolute error of estimated angle (deg).

	0	45	90	135	180	225	270	315	Avg.
Subj. A	10.5	23.2	15.0	13.5	5.5	7.2	9.5	10.2	11.8
Subj. B	10.0	14.1	9.9	9.3	11.3	11.7	9.3	9.5	10.6
Avg.	10.3	18.6	12.4	11.4	8.4	9.4	9.4	9.8	11.2

続いて表2に、前後判定の評価結果として、正しく前後判定が行えた点の割合を、被験者別・方位別に示す。これによれば、被験者Aは平均約75%の精度で判定が行えているが、被験者Bについては判定に失敗する点の割合の方が高い。また、全体的にばらつきが大きい結果となった(前後判定は加速度データのみを用い、地磁気データは利用しない)。前後判定処理過程において、加速度面の両端における加速度の大きさの差が僅かしかなかったり、大・小・大・小と規則正しく交互に出現していなかったりすることで、判定失敗していると考えられる。前後判定を失敗した場合、最終的な0-360度の方位角が正しい方位角の正反対を示してしまうことになる。腕振りの大きさが小さい場合、足の運動による加速度成分が支配的となり、前後非対称性が検出し難くなる可能性がある。今後検討が必要であると考えられる。

表2 前後判定の平均精度(%)

Table 2 Mean accuracy of for/backward detection (%).

	0	45	90	135	180	225	270	315	Avg.
Subj. A	91.5	57.6	73.8	64.7	88.2	77.8	77.8	69.0	75.0
Subj. B	48.7	11.2	27.0	19.0	51.2	27.4	48.6	28.8	32.7
Avg.	70.1	34.4	50.4	41.9	69.7	52.6	63.2	48.9	53.9

4. おわりに

本稿では、センサを人体に固定しないデッドレコニングを提案し、要となる方位推定方式の詳細と、その評価結果について述べた。加速度面と方位基準面のなす角の推定精度は、8方位を判別するには良好と言えるが、前後判定の精度は被験者により異なり、精度向上が課題として明らかとなった。今後、被験者や計測回数を増やした実験の実施やアルゴリズムの改良などを含め、検討を進める予定である。

参考文献

- 1) Seon-Woo Lee and Kenji Mase, "Activity and Location Recognition Using Wearable Sensors," Pervasive Computing 2002, pp. 24-32, 2002.
- 2) Masakatsu Kourougi and Takeshi Kurata, "Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera", ISMAR'03: Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 103-112, 2003.
- 3) 上坂 大輔, 岩本 健嗣, 村松 茂樹, 西山 智, "携帯電話における加速度・地磁気センサを用いた位置取得システム", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2008)シンポジウム, pp. 761-767, 2008.
- 4) 上坂 大輔, 岩本 健嗣, 村松 茂樹, 横山 浩之, "手持ちの6軸センサを利用した屋内位置推定手法", 第16回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS 2008), pp.243-244, 2008.
- 5) Jacquelin Perry, "Gait Analysis: Normal and Pathological Function," SLACK Incorporated, ISBN: 1-55642-192-3.