

2.

スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニング

基
専

—センサで人の位置が分かる仕組み—

上坂 大輔 村松 茂樹 (株) KDDI 研究所

センサを持ち歩く時代の到来

Android や iPhone といったスマートフォンの普及はめざましく、2012年4Qの全世界における販売台数は、前年同期比 38.3% 増の約 2 億台を記録した¹⁾。スマートフォンにはさまざまなセンサが搭載されており、図-1の通り、その種類は年々増加している。

センサを人体に装着し、人の姿勢、動作、状態、周囲の状況を認識する技術は、古くから研究されている分野である。さまざまなセンサを搭載し、通信機能と計算能力を備え、ユーザがいつでもどこでも持ち歩くスマートフォンが普及したことによって、それを利用した、より実用的な環境での評価が行われるようになってきている。

人の状態の中でも特に位置に関しては、屋内ではGPSが利用できないことから、これに代わる測位技術が必要とされている。そのうちの1つが、センサを利用して人の位置を求める、歩行者デッドレコニング (PDR) である。

歩行者デッドレコニング

デッドレコニングとは、位置を直接検出するのではなく、移動を検出し、その蓄積として位置を得るものである。航空機や船舶に用いられる慣性航法がよく知られているが、ロボット等にも用いられる車輪の回転角から移動距離を認識するオドメトリや、航海術といったものもこれに分類される。

PDRには、従来、専用のセンサを腰や足、頭などに固定した例が多かったが、最近ではスマートフォンを前提とし、固定しない例も増えてきた。慣性航法を利用したものもあるが、歩行の特徴量である、歩数、歩幅、進行方向を推定する方法が多く研究されており、本稿でもこちらを対象とする。図-2に歩数、歩幅、進行方向の関係を示す。1歩ごとに^{☆1}、直前の位置からどちらの方向に(進行方向)どれだけの距離を(歩幅)移動したかを推定し、現在位置を更新する。

歩数推定

歩数は一般的に加速度センサを用いて検出する。

図-3は歩行中の加速度(Low Pass Filter : LPFを適用したもの)の例である。センサの位置は、腰(Waist)、ズボンのポケット(Pocket)、

^{☆1} ストライド(2歩)を単位としている例もある。

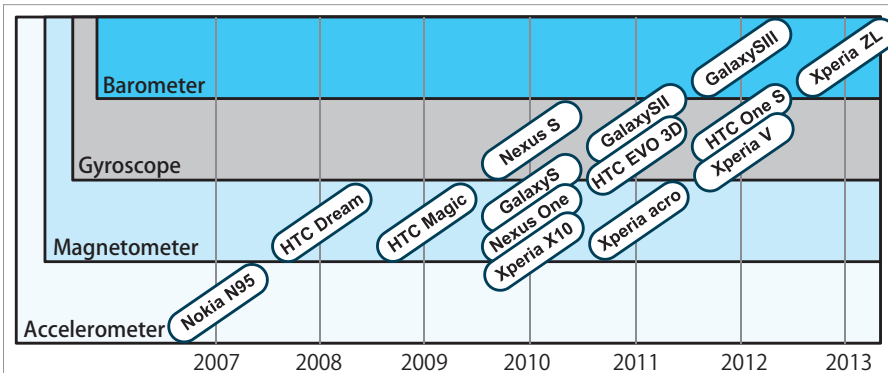


図-1 スマートフォン搭載センサの変遷

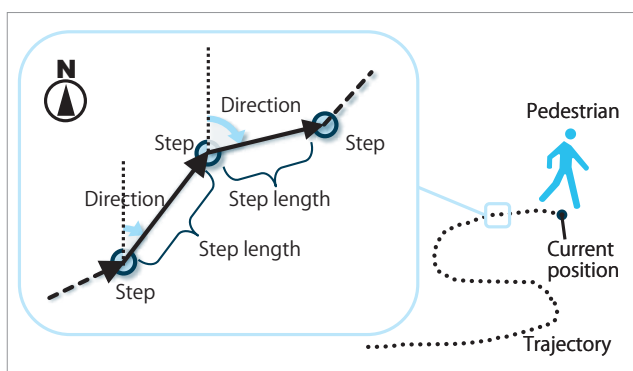


図-2 歩数, 歩幅, 進行方向

鞆 (Bag), 手持ち (Hand, 端末を手に持ち画面を見ながら歩行する状態) で, いずれも 5 秒 (約 10 歩) 分である。3 軸それぞれと, 合成加速度の大きさ (amp) を示している。

腰の場合, 歩の周期と同じ周期性を確認することができ, たとえばピークを検出・計数することで歩数を知ることができる。一般に 1 秒間に 2 歩程度と言われており, 腰のようにきれいな波形が得られる条件であれば, 8Hz 程度の低いサンプリングレートでも高い精度が期待できる。同様の周期性は, 手持ちでも確認することができる。鞆の場合も図の例では周期性を確認できるが, 鞆の種類や持ち方, 収納方法によって結果は大きく異なる。一方で, ポケットの場合は腰の場合のようなきれいな波形とはなっていない。これは, 端末が収納されている側の足の動きの影響を受けたためであり, 2 歩ごとの周期

性を抽出するなどの対策がある。

歩幅推定

1 歩で進む距離が歩幅である。個人の体格や歩き方の個性のほか, 靴や路面状況, 同伴者の有無や混雑度, 心理状態など, さまざまな要因が影響して変化していると言われている。

ウォーキングなどにおける「適切な歩幅」として, 身長から 1m を減じた長さを目安とする例もあるが, 学術的根拠は不明であり, 当然ながら歩き方の変化には追従できない。歩幅が加速度の鉛直成分の最大最小差の 4 乗根に比例するとして求める例も複数見られる。最適な係数は, 所持方法や個人ごとに異なると考えられる。

人が歩行速度を変えるとき, 歩幅とともにケーデンス (1 分間あたりの歩数) を変えることを利用した方法もある。図-4 は, ある被験者のケーデンスと歩幅の関係を示したものである。おおむね回帰直線上に乗っていることが分かる。ただしこの回帰直線の傾きは人により異なる (歩行速度を変える際, 主に歩幅を調整する人もいれば, 主にケーデンスを調整する人もいる)。歩数推定ができればケーデンスは得られるため, 加速度の大きさを利用するものに比べ端末の所持方法の制約が緩いのが利点である。

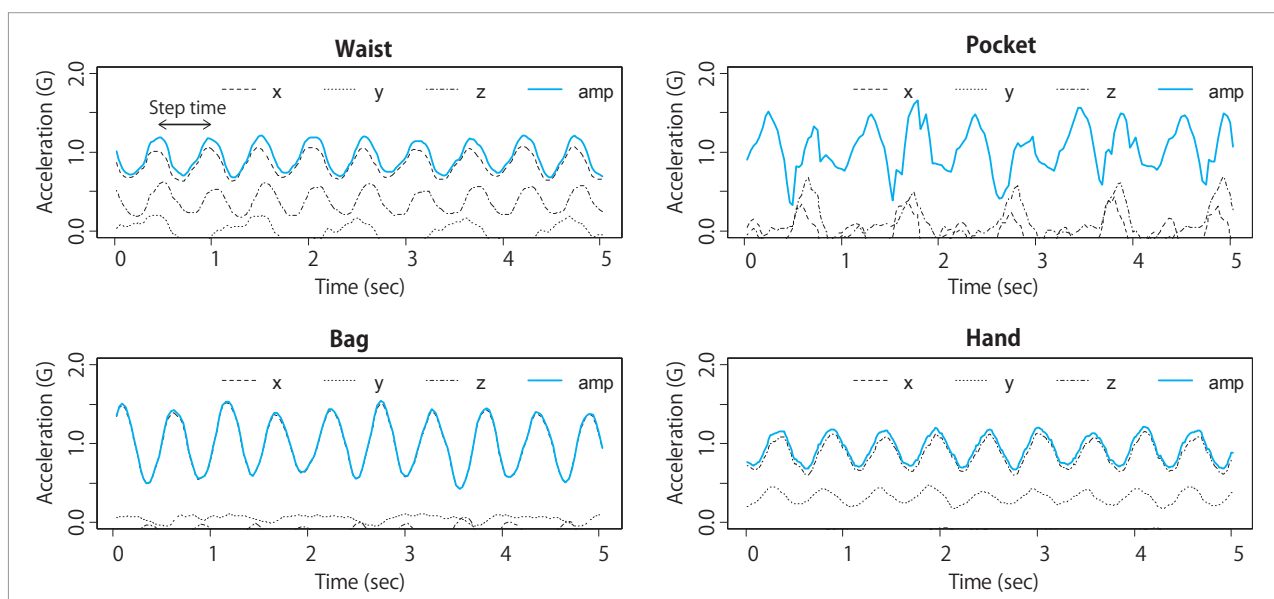


図-3 加速度センサデータと歩数の検出

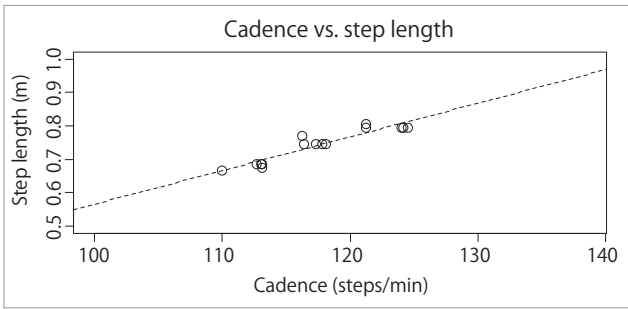


図-4 ケーデンスと歩幅

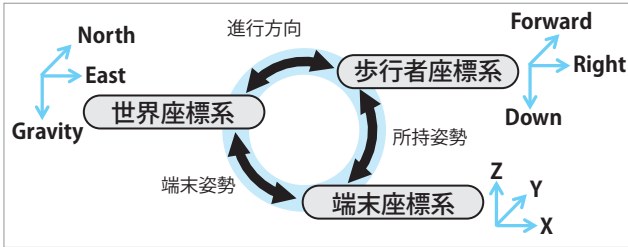


図-5 3つの座標系の関係

進行方向推定

歩行者の進行方向とは、世界座標系と歩行者座標系の関係であり、これを求めるには、端末座標系と世界座標系の関係（端末姿勢）、および、端末座標系と歩行者座標系の関係（所持姿勢）を知る必要がある（図-5）。

静止時には、加速度センサは重力加速度（鉛直下向き）のみを検出する。地磁気センサの検出した地磁気と組み合わせることで、端末姿勢は一意に求まる（図-6）。端末を固定した場合などは、所持姿勢は明らかであるため、歩行者の進行方向も求まる。しかし、端末がたとえばポケットや鞆の中に収納されている場合は、端末座標系から見た歩行者の前方を推定することによって、所持姿勢を同定する必要がある。

歩行時には、端末姿勢の変動や、重力加速度以外の成分によって、加速度は広く分布する。鉛直方向上方から見ると、加速度は楕円状に分布する。長軸方向が歩行者の前後方向であり、主成分分析等によって同定することができる²⁾。前後の認識には、たとえば加速度の前後方向成分と鉛直方向成分の位相差などを用いる。

進行方向の変化を検出するのに、角速度センサを用いる例もある。角速度センサ単独では方位は分からないが、周辺環境の影響を受けないという利点がある。

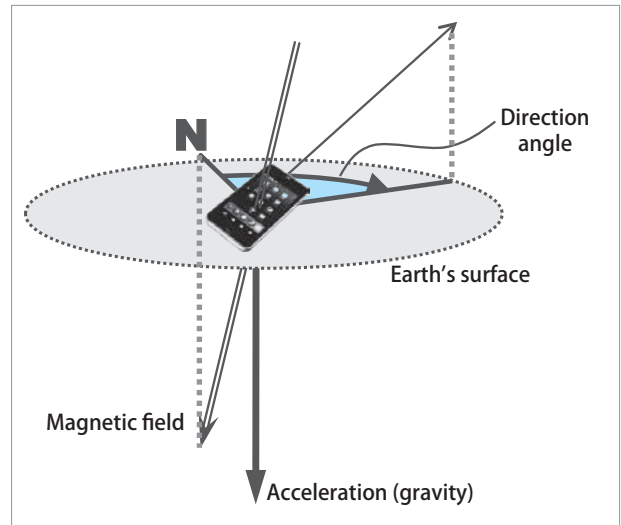


図-6 加速度、地磁気と端末姿勢

ある。端末の持ち方が変わったときなどに端末姿勢の変化を追跡するのに用いられることもある。

我々の取り組み

筆者らもセンサが搭載された携帯電話を想定したさまざまな所持方法におけるデッドレコニング手法の検討を行ってきた。ナビゲーションを利用中の自然な持ち方として、手持ちに加え、手振り（端末を手にとって腕を振って歩く状態）も対象としている。

歩数推定では、運動による影響が少ないということに着目し、地磁気の向きの変化量を観測することで、評価実験において99%を超える精度を確認した。進行方向推定では、腰同様の前後方向への加速度の広がりを確認し（図-7）、加速度のピーク間の時間差の大小を利用して前後を判定している³⁾。

消費電力が比較的大きいことと、当初は搭載された機種が少なかったことから、角速度センサは使用していない。しかし、地磁気センサは、周辺に存在する電気製品や建物内部の金属、電線、鉄道等の影響を受けるため、環境によっては精度劣化が起こる。図-8は公園（上）と地下街（下）で、方位を変えながら観測した地磁気の分布の例である。公園では円環状に分布するが、地下街では向き、大きさともにばらばらであることが分かる。補正には、地磁気の伏角を用いて観測値の信頼性を評価する方法や、

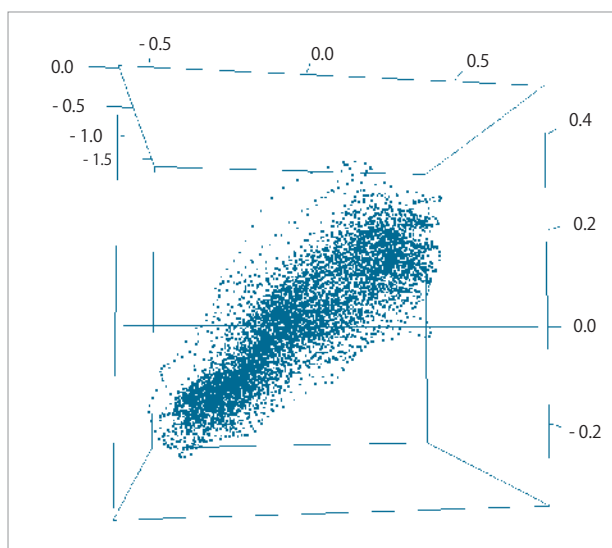


図-7 加速度の分布の例（手振り）

地磁気データ群から楕円体近似によりオフセットと感度を逆算する方法⁴⁾などが利用できる。

明らかになった課題も多い。同じ人が歩く場合でも、シチュエーションによって歩き方はさまざまである。いつもの通勤路を黙々と歩く場合は比較の実験歩行に近いが、街中をぶらぶらと歩いたり、誰かと談笑しながら歩いたりする場合には、歩行速度も規則性・周期性も低下し、推定が難しくなる。見守りサービスなどの需要があると考えられる子供（未就学児童）の場合はさらに難しい。筆者らも実験を行ったことがあるが、走行や急激な方向転換のほか、飛び跳ねたり寝転んだりといった動作が現れる。端末をストラップで首に掛けている例も見られるが、端末姿勢の不規則な変動が大きく、推定を難しくしている。

一方で、必ずしも世界座標系における位置が分からなければならない、ということはない。別行動をとっていた相手との待ち合わせなど、状況によっては、相手が自分から見てどの方向・距離にいるのかが分かれば良いこともある。筆者らは、進行方向推定の難しい所持方法であっても、2人の位置関係を推定できる手法を提案している⁵⁾。Bluetoothを近接センサとして利用し、2人が近接して歩行している間にPDRのパラメータを調整するものである。

参考文献

1) <http://www.gartner.com/newsroom/id/2335616>

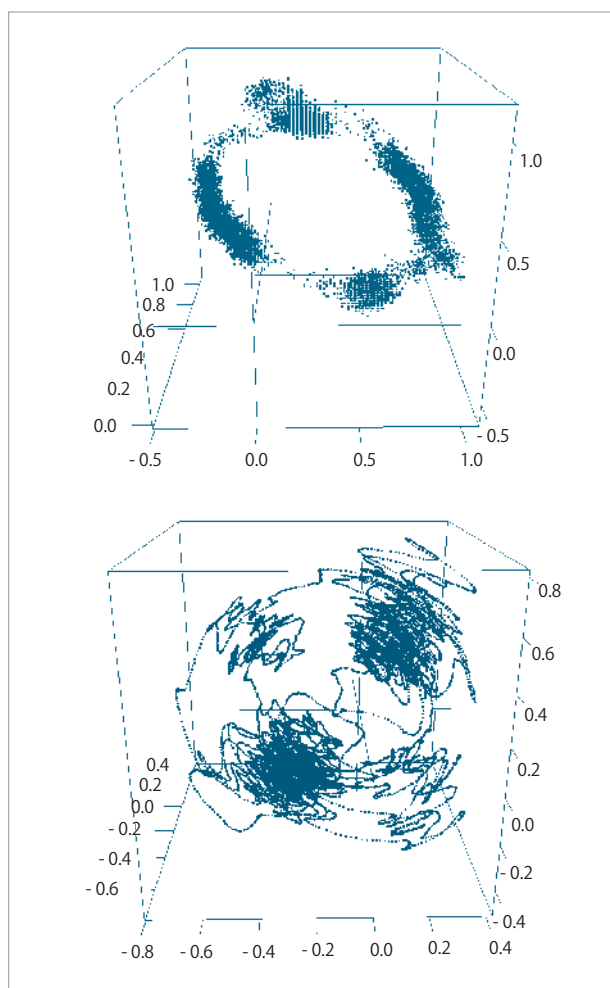


図-8 地磁気の分布の例（上：公園，下：地下街）

- 2) Kourogi, M. and Kurata, T.: Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera, Proc. ISMAR2003, pp.103-112 (2003).
- 3) 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 小林亜令, 横山浩之: 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.2, pp.558-570 (2011).
- 4) 旭化成の電子コンパス, <http://www.s3sensor.com/s3/compass.html>
- 5) Kamisaka, D., Watanabe, T., Muramatsu, S., Kobayashi, A. and Yokoyama, H.: Estimating Position Relation between Two Pedestrians Using Mobile Phones, Pervasive Computing, Lecture Notes in Computer Science Vol.7319, pp.307-324 (2012).

(2013年2月20日受付)

上坂大輔 (正会員) | da-kamisaka@kddilabs.jp

(株) KDDI 研究所データマイニング応用グループ。2005年和歌山大学大学院システム工学研究科修了。同年KDDI(株)入社。位置推定等の研究に従事。

村松茂樹 (正会員) | mura@kddilabs.jp

(株) KDDI 研究所データマイニング応用グループ。1999年東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻修士課程修了。同年KDDI(株)入社。位置推定、行動認識等の研究に従事。