

GPS と歩行動作解析に基づくデッドレコニングの統合による パーソナルポジショニング

Personal positioning based on data fusion of
GPS and dead-reckoning with human walking locomotion analysis

興梠 正克*¹
Masakatsu Kourogi

蔵田 武志*¹
Takeshi Kurata

*¹産業技術総合研究所 情報技術研究部門
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

We propose a method of personal positioning with wearable self-contained sensors and a GPS receiver. The method is based on sensor fusion of estimates of relative displacement by dead-reckoning that measures human walking locomotion and estimates of absolute location by the GPS within a Kalman filtering framework.

1. はじめに

本研究の目的は、屋内・屋外に関わらず、歩行者の位置・方位を実時間計測することである。これにより、例えば、展示会などのイベント運営側や参加者に対して、位置に基づく密な情報サービスを提供することが可能となる。

移動距離と方位を外界のセンサの有無によらず計測するためには、従来から慣性センサ（加速度、ジャイロ）データを二重積分する手法が存在する。しかし、ドリフトの少ない結果を得るためには、重量と大きさの点で携帯困難なセンサモジュールを用いる必要がある。

そこで本研究では、歩行動作によって発生する運動パターンを MEMS 慣性センサを用いて計測し、歩行移動距離（歩幅）を推定する。移動方位に関しては、ジャイロデータの積分によって得られる方位と磁気方位センサ出力を、カルマンフィルタにより統合することで、ジャイロのドリフト誤差を修正する。これらの結果を用いたデッドレコニングにより、一歩ごとの位置・方位の実時間推定を実現する。

デッドレコニング単体では計測時間に比例した積算誤差の蓄積を回避することが困難である。提案手法では、GPS で得られる絶対位置とデッドレコニングにより更新される位置情報を統合することで屋外での性能向上を実現する。

2. 歩行動作の検出と計測

歩行動作によって人間の重心に印加される加速度には、その鉛直・進行の両方向成分において特徴的なパターンが出現する。慣性センサの姿勢は既知でないため、計測される加速度のうち、重力加速度ベクトルに沿った成分を鉛直方向の成分とし、直交する成分のうち、進行方向に沿った成分を進行方向の成分と見なす。その進行方向のキャリブレーションであるが、まず、慣性センサを装着して直線的に短時間歩行し加速度の時系列データを得る。次にその時系列データから鉛直方向成分を除いたものに対して主成分解析を行い、得られた第一主成分軸方向を進行方向とみなす。

2.1 重力加速度ベクトルの推定手法

重力加速度ベクトルを推定するために、慣性センサから得られる加速度と角速度データを情報源として用いる。カルマンフィルタの枠組において、加速度ベクトルは静的加速度である重力加速度の観測ベクトルとみなすことができ、角速度によって重力加速度の更新方程式をたてることのできる [2]。

2.2 一単位周期の歩行動作の検出手法

図 1 で示されるように、一単位周期の歩行動作においては、鉛直方向の加速度成分は、正のピークが先に現われ、負のピークがそれに続くというペアを成している。そこで、提案手法ではまず、鉛直方向の加速度成分について、この正・負ピークのペアを探索する。もし、このペアが検出された場合、引き続き、進行方向の加速度成分については逆に、負・正ピークのペアを探索する。両パターンが検出された場合、進行方向の加速度成分の正負のピーク間の勾配値が一定の閾値を超えるかテストする。これらの探索とテストにすべて通過した場合、一単位周期の歩行動作が検出されたものとみなす。

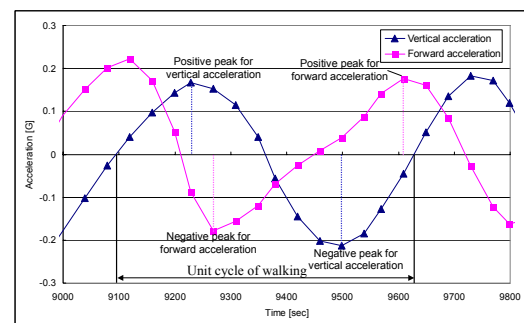


図 1: 一単位周期の歩行動作の解析

2.3 歩幅の推定

一周期の歩行動作中に発生する加速度の鉛直成分の振幅とその歩幅の間には統計的に線形な関係が成り立つことが実験的に知られている [2]。その線形関数の定数（傾きと切片）は個人によって異なるため、事前に歩行データを収集して統計解析によってこれらの定数を得ることで、歩幅を精度良く推定することが可能となる。また、線形関数の当てはめ誤差の分散を、歩幅の推定精度の信頼度として用いる。

連絡先: 興梠 正克, 所属: 産業技術総合研究所 情報技術研究部門, つくば市梅園 1-1-1 中央第 2, Tel: 029-861-2264, Fax: 029-861-3313, E-mail: m.kourogi@aist.go.jp

3. 移動方位の推定

移動方位は、加速度、角速度だけでなく、磁気方位データも用い、慣性センサのドリフトを補正しつつ推定する。

ただし、磁気方位センサが計測する地磁気は微弱であり、電子機器や建物の構造物などによって容易に乱されるため、その取り扱い是一般に困難である。そこで提案手法では、次に示す二つの検証方法によって磁気方位センサの出力の正当性を検証する。

1. 磁気方位センサによって計測された磁気方位ベクトルと重力加速度ベクトルとのなす角が、緯度・方位によって定まる伏角から得られる値と一致するか検証する [1]。
2. 一つ前の離散時刻の磁気方位と最新の角速度を用いて予測される最新の磁気方位ベクトルと実測値が一致するか検証する。

検証方法 1 では、緯度・経度によって一意に定まる地磁気の伏角と、計測結果から算出される伏角が一致するか検証し、その誤差の大きさを磁気方位センサの信頼性に関する第一の評価値とする。検証方法 2 では、離散時刻 t にジャイロで得られる角速度ベクトル $(\omega_x|t, \omega_y|t, \omega_z|t)$ 、及び時刻 $t-1$ で得られる磁気方位ベクトル $(m_x|t-1, m_y|t-1, m_z|t-1)$ より、時刻 t に計測される磁気方位ベクトルを以下の式によって推定する。

$$m'_x|t = m_x|t-1 - (\omega_y|t m_z|t-1 - \omega_z|t m_y|t-1) \Delta t, \quad (1)$$

$$m'_y|t = m_y|t-1 - (\omega_z|t m_x|t-1 - \omega_x|t m_z|t-1) \Delta t, \quad (2)$$

$$m'_z|t = m_z|t-1 - (\omega_x|t m_y|t-1 - \omega_y|t m_x|t-1) \Delta t, \quad (3)$$

ここで推定された磁気方位ベクトル $(m'_x|t, m'_y|t, m'_z|t)$ と、実際にセンサによって計測された磁気方位ベクトルとのなす角を求め、その角の大きさを第二の評価値とする。これら二つの検証方法によって得られる評価値に基づいて、磁気方位ベクトルの観測誤差と更新方程式の誤差の分散共分散行列を設定する。

4. GPS と歩行動作解析に基づくデッドレコニングの情報統合

GPS で得られる位置 (緯度・経度) 精度は、GPS 衛星の見通し状態に依存するが、その計測誤差は一定の値でおさえられる。一方、デッドレコニングでは、一步単位での相対的な移動については高い精度で得ることができるが、絶対位置の推定結果の誤差は時間経過に伴って増大する。

そこで提案手法では、これら二つの出力をカルマンフィルタの枠組によって統合する。GPS レシーバが捕捉している衛星の個数とそれぞれの信号強度、衛星の配置状態によって位置精度が決まるものと見なし、これらの値によって観測方程式の誤差分散共分散行列を設定する。また、更新方程式においては、デッドレコニングによる位置更新の精度は歩幅の推定精度のみによって決定されるものと見なし、更新方程式の誤差分散共分散行列を設定する。

図 2 に提案手法の流れ図を示す。

図 3 上に GPS (I-O DATA 社製 SDGPS) と慣性センサ (MicroStrain 社製 3DM-G) の出力を統合した結果の一例である移動軌跡を示す (歩行距離: 約 1650m、所要時間: 約 12 分間)。なお、ここでは、GPS による測位精度の信頼度には、GPS モジュールより得られる HDOP 値を用いている。図 3 下左には、GPS 単体の位置追跡結果と提案手法による追跡結

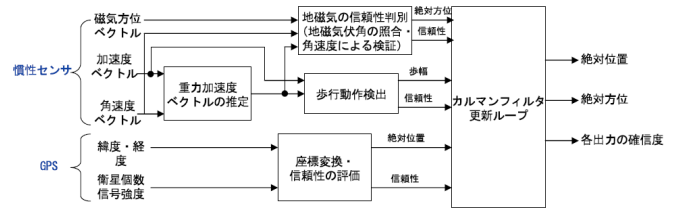


図 2: 提案手法の流れ

果、実際の移動軌跡を示した。また、図 3 下右には、GPS から得られる位置情報を約 20 秒間仮想的に遮断した場合のシミュレーションによって得られた移動軌跡を示した。

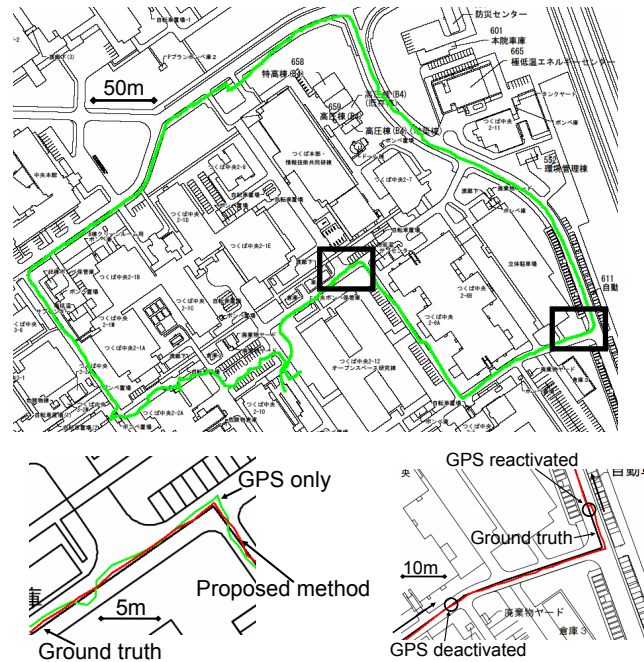


図 3: 移動軌跡

これらの結果より、提案手法は捕捉している GPS 衛星の不足による測位精度の低下をデッドレコニングによって防止し、GPS による測位ができない区間ではデッドレコニング単体で動作して補うことができることが分かる。また、デッドレコニングによる蓄積誤差は GPS によって補正されている。しかしながら、現実装においては、屋外での測位精度は GPS に強く依存する設定となっており、GPS の系統的な誤差に対しても十分な精度を確保できようとするのが今後の課題である。

参考文献

[1] M. Kouroggi and T. Kurata, "A method of personal positioning based on sensor data fusion of wearable camera and self-contained sensors," in *Proc. MFI2003*, pp. 287-292, 2003.

[2] M. Kouroggi and T. Kurata, "Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera," in *Proc. IS-MAR2003*, pp. 103-112, 2003.