

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

○興梠 正克, 大隈 隆史, 蔵田 武志
産業技術総合研究所 サービス工学研究センター

Indoor positioning system using a self-contained sensor module for pedestrian navigation and its evaluation

Masakatsu KOUROGI, Takashi OKUMA, Takeshi KURATA
Center for Service Research, AIST

Abstract: In this paper, we describe an indoor positioning system using self-contained sensors (accelerometers, gyroscopic sensors and magnetometers) for pedestrian navigation and its evaluation. We introduce a novel method of pedestrian dead-reckoning by accumulation of estimated walking displacement. The method is implemented on a wearable computing platform and is applied to pedestrian navigation applications in Science Museum. The implementations using three types of self-contained sensor modules are compared by their performance on accuracy of position and orientation.

Keywords: pedestrian navigation, self-contained sensors, indoor positioning, wearable computing

キーワード: 歩行者ナビ, 自蔵センサ, 屋内測位, ウェアラブルコンピューティング

1. はじめに

着用型システムによって人の位置と方位を取得する技術は、人のコンテキスト情報を把握し、計算機との知的なインタフェースを実現する上で欠かせない。また、歩行者ナビや遠隔作業支援における作業員の状況把握、博物館や大規模展示施設の展示ガイドなど、多くの応用への展開が期待されている[1]。

GPS (Global Positioning System) による測位精度は様々な拡張技術により向上しているが、衛星の見通し状況やマルチパス誤差によっては十分な精度が得られないほか、屋内環境で利用することは困難である[2]。一方で屋内環境においては、インフラ側に無線測位基地局を設置して、三辺測量に基づいて受信機の位置を計測する技術が報告されている[1]。しかしながら、広範囲の屋内環境をカバーするためにはそのインフラに要する設置・維持コストは無視できず、また屋内・屋外環境によらず、利用者の方位を取得できない問題がある[8]。

そこで、本稿では歩行者を測位の対象として、人に装着された自蔵センサ（加速度・ジャイロ・磁気センサ）からのデータに基づいてその歩行動作による移動距離と方位を推定し、基準位置からの相対移動量を推定するデッドレコニングによる位置・方位取得手法を紹介する。そして、筆者らが開発した自蔵センサモジュールを用いたウェアラブル測位システムの実装について述べ、科学技術館の一般来館者による歩行者ナビの実証実験結果の一例を報告する。

また、異なる自蔵センサモジュールを用いた場合における測位精度を比較評価した実験結果についても報告する。

2. 測位手法

歩行者の位置と方位を取得する手法として、本研究では、人に装着された自蔵センサモジュール（加速度・ジャイロ・磁気センサ各3軸）から得られるセンサデータ（加速度ベクトル、角速度ベクトル、磁気ベクトル）を入力とするデッドレコニングについて述べる。これらのセンサの装着部位については、たとえば足先にセンサを装着する先行研究例がある[6][7]。この装着部位の場合、歩行動作の立脚相においてセンサの速度が0になるため、デッドレコニングの計算におけるゼロ点補正 (ZUPT) が可能となる利点がある反面、適用可能な応用が限られるなどの問題がある。本研究では、人の重心位置に近い腰部にセンサを装着して動作する手法を開発する。腰部へのセンサの着脱は比較的容易であり、電池交換などのメンテナンスが容易であるほか、特殊な装着具を要しない利点があるため、幅広い応用に対して適用可能である。ここでは、いわゆる加速度積分に基づくデッドレコニングに拠らず、歩行動作をセンサ情報に基づいて認識して、その移動方位と歩行速度をそれぞれ推定し、その積算に基づいて基準位置からの相対移動量を算出するデッドレコニングを導入する。人の歩行動作には再現性の高い規則性と強い拘束条件が存在するため、安価な自蔵センサで組まれたシステムによって認識、計測することが十分

に可能である。本デッドレコニング手法の処理のダイアグラムを図1に示す。

以下、本節では、歩行者の移動方位の推定手法と歩行速度の推定手法について述べ、次にそれらを外

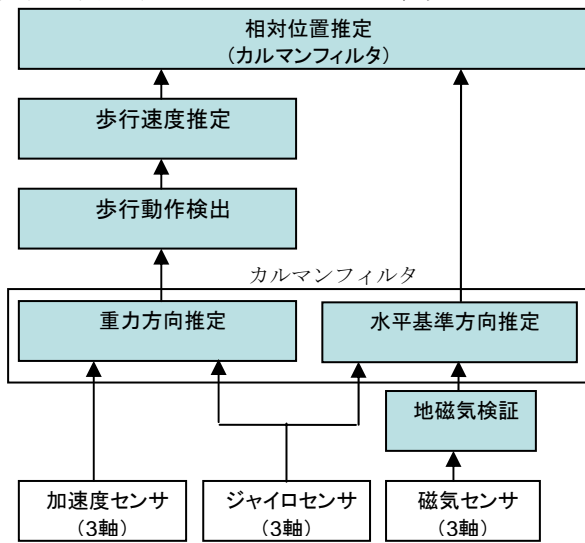


図1 デッドレコニング手法のダイアグラム

部の絶対位置取得手段と統合する手法について述べる。

2.1. 移動方位の推定手法

歩行者の方位を自蔵センサの姿勢として表現し、センサ座標系における水平基準方向ベクトル (=北方向) と重力方向ベクトル (=鉛直方向) の二つをトラッキングするカルマンフィルタの枠組みを用いて実現する。

2.1.1. 重力方向のトラッキング

加速度センサ (3軸) によって重力加速度ベクトルを観測することが可能であるが、歩行動作などの運動によって発生する加速度成分がその観測結果には含まれる。多くの場合、これらの成分は重力加速度ベクトルに対するランダム誤差として正規分布を取るものと見なすことができる[3]。

そこで、ジャイロセンサ (3軸) から得られる角速度ベクトルを積算して重力加速度ベクトルをトラッキングすると同時に、加速度センサから得られる加速度ベクトルを観測として用いるカルマンフィルタを構成する。すなわち、状態ベクトルを重力加速度ベクトルと角速度ベクトルとして、状態ベクトルの更新には角速度ベクトルによる重力加速度ベクトルの積算を行い、状態ベクトルの観測には加速度センサによって得られる加速度ベクトルとジャイロセンサによって得られる角速度ベクトルを用いる。

2.1.2 水平基準方向のトラッキング

磁気センサ (3軸) によって絶対方位のリファレンスとなる地磁気ベクトルを観測することが可能である。しかしながら、特に屋内環境では磁場の外乱や歪みが存在することが多く、そのような場所で観

興裕, 大隈, 蔵田

測される磁気ベクトルは必ずしも地磁気ベクトルとは一致しない。また、磁場の外乱や歪みによって引き起こされる誤差は一般的に正規分布であらわすことはできず、その誤差を含む磁気ベクトルをカルマンフィルタへの観測として用いることは適切ではない。したがって、得られた磁気ベクトルが地磁気の観測結果として利用することが適切であるかを事前に検証することが必要である。

そこで、各時刻で観測される磁気ベクトルと水平面との成す角である伏角 (図2) を求め、これが地

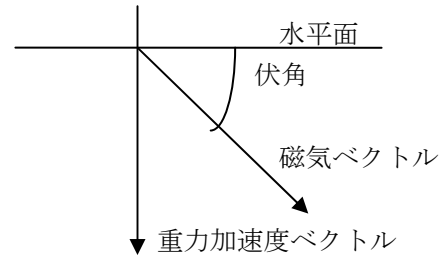


図2 伏角

磁気ベクトルの伏角と一致するかを検証する[4]。なお、水平面の検知は2.1.1節で述べた手法により得られる重力方向に基づくものとする。地磁気の伏角は広範囲にわたって一定であることが知られている (例 東京: 49.6度、鹿児島: 45.2度)。このため、伏角が一致しない磁気ベクトルは信頼できないものとして事前に除外できる。しかしながら、鉛直方向を軸とした回転方向への外乱が存在する場合は伏角が一致するため、この検証方法だけでは必ずしもすべての磁場の外乱や歪みを除外できない。そこで、歩行動作による移動中において連続的に伏角の検証に成功する場合には、磁気センサから得られる磁気ベクトルを地磁気の観測としてカルマンフィルタに入力する。

信頼可能な磁気センサの観測が得られないときは、ジャイロセンサから得られる角速度ベクトルを積算することで水平基準方向を更新する。

カルマンフィルタの状態ベクトルを、水平面上に投影されるセンサ座標系における北方位ベクトルと角速度ベクトルとおく。

2.1.3. 拡張カルマンフィルタによるトラッキング

前述の重力方向と水平基準方向のトラッキングを拡張カルマンフィルタにより実現する。ここで、状態ベクトル S は以下の通りである。なお、 $[g_x, g_y, g_z]$ はセンサ座標系における重力加速度ベクトル、 $[m_x, m_y, m_z]$ は北方向ベクトルであり、 $[\omega_x, \omega_y, \omega_z]$ は角速度ベクトルである。

$$S = [g_x, g_y, g_z, m_x, m_y, m_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z]^T \quad (1)$$

重力方向ベクトルの観測として、加速度センサに

よって観測される加速度ベクトルを用いて、基準方向ベクトルの観測としては、磁気センサによって観測される磁気ベクトルの水平成分のうち、磁北と真北の差となる地磁気の偏角を補正したものを用いる。

また、拡張カルマンフィルタの状態ベクトルの更新方程式は以下の式(2)の通りである。式(2)は非線形であるため、テイラー展開により線形近似する。

$$\begin{bmatrix} m_{x_{t+1}} \\ m_{y_{t+1}} \\ m_{z_{t+1}} \\ g_{x_{t+1}} \\ g_{y_{t+1}} \\ g_{z_{t+1}} \\ \omega_{x_{t+1}} \\ \omega_{y_{t+1}} \\ \omega_{z_{t+1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{x_t} - (\omega_{y_t} m_{z_t} - \omega_{z_t} m_{y_t}) \Delta t \\ m_{y_t} - (\omega_{z_t} m_{x_t} - \omega_{x_t} m_{z_t}) \Delta t \\ m_{z_t} - (\omega_{x_t} m_{y_t} - \omega_{y_t} m_{x_t}) \Delta t \\ g_{x_t} - (\omega_{y_t} g_{z_t} - \omega_{z_t} g_{y_t}) \Delta t \\ g_{y_t} - (\omega_{z_t} g_{x_t} - \omega_{x_t} g_{z_t}) \Delta t \\ g_{z_t} - (\omega_{x_t} g_{y_t} - \omega_{y_t} g_{x_t}) \Delta t \\ \omega_{x_t} \\ \omega_{y_t} \\ \omega_{z_t} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.1.4 角速度ベクトルのオフセット誤差補正

一般的に MEMS ジャイロセンサにおいては、温度変化などの影響によってゼロ点出力（オフセット誤差）が時間経過に伴って著しく変化する。そこで本研究では、人の動きが比較的少なく歩行動作が発生していない状態を検知し、そのオフセット誤差をカルマンフィルタの枠組みを用いて推定する。状態ベクトルを以下の式(3)によってあらわす。

$$S = [g_x, g_y, g_z, m_x, m_y, m_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, b_x, b_y, b_z]^T \quad (3)$$

ここで、 $[b_x, b_y, b_z]$ はジャイロセンサのオフセット誤差ベクトルである。これらの成分の時間微分を 0 と仮定し、その変動要因をホワイトノイズとすることでカルマンフィルタを構成する。また、人の動きの有無は重力加速度ベクトルを除去後の加速度ベクトルの分散に着目し、これが一定の閾値以下であれば、動きが小さいものとして見なす。

2.2 歩行動作の検出と歩行速度の推定手法

2.2.1 歩行動作の検出手法

人の歩行動作の特徴は、重力加速度ベクトルを取り除いた加速度ベクトルのうち、鉛直方向の成分と進行方向の成分の二つに現れる。すなわち、進行方向の成分に正と負のピークが現れ、それに遅れて鉛直方向の成分に正と負のピークが現れる。一定の閾値を超える二つの正負ピークを検出し、それらのピーク間の遅れ時間が一定の範囲内であることを検知した時点で歩行動作が検出されたものとみなす。図 3 に歩行動作時に発生する加速度の鉛直成分と進行方向成分のグラフの一例を示す。なお、図 3 において進行方向成分の向きは着用者の進行方向が負とな

っており、鉛直方向成分の向きは重力方向が正となっている。

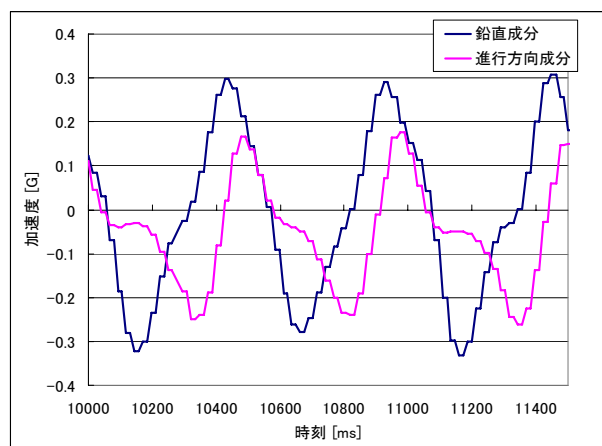


図 3 歩行動作時に発生する加速度成分

2.2.2 歩行速度の推定手法

前述の手法によって歩行動作が検出されたとき、鉛直方向の加速度成分の正負ピークの高差である振幅と歩行速度の間には強い線形の相関関係があることが経験的に知られている[3]。図 4 にその一例を示す。

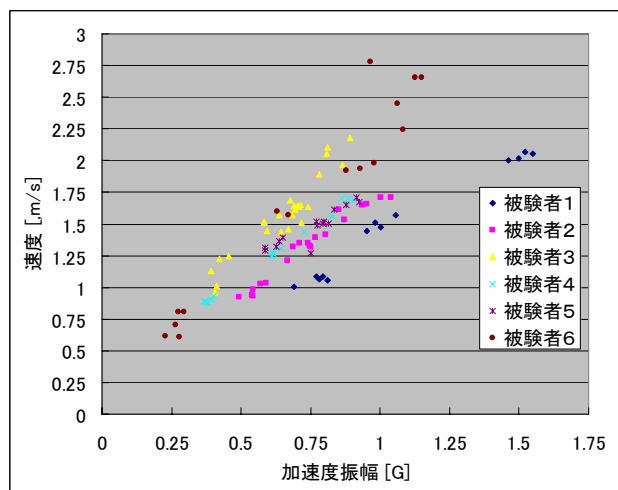


図 4 加速度振幅と歩行速度の相関関係

図 4 に示すグラフから読み取れるように、この相関関係を表す直線には個人間の分散がある（図 4 のデータにおける相関係数は 0.78 であった）。個人間の分散はより小さいため、事前にその個人差を表す直線回帰パラメータを取得しておくことでさらに精度の高い歩行速度の推定が可能である。このためには、既知の一定速度で歩行したときに計測される加速度成分の振幅と実際の歩行速度との対応関係を複数回に分けて歩行速度を変えて計測する必要がある。これらの計測結果を直線に当てはめることでその個人差をあらわすパラメータを求めることができる。

2.3 相対位置推定手法

2.1 節と 2.2 節の手法により移動方位と歩行速度が推定されたとき、それをカルマンフィルタの枠組

みによって統合する。ここでは、状態ベクトルを着用者の位置 (x, y) と速度 (v_x, v_y) によって表現する。歩行動作が検出されたとき、推定された移動方位と歩行速度に基づいて得られる移動速度ベクトルをこのカルマンフィルタの観測とする。検出されないときは、内部の状態ベクトル（速度）に基づく位置の更新を行う。

2.4 絶対位置補正手段との統合

前述のデッドレコニング手法は基準位置からの積算ベースの測位手法であるため、時間経過に伴う累積誤差の蓄積は免れない。そこで、累積誤差をキャンセルするためには、外部の絶対位置取得手段との統合が欠かせない。本研究では、デッドレコニングによる位置（速度）・方位の出力と複数の絶対位置補正手段からの出力を観測ベクトルとして受ける上位のカルマンフィルタを構成することで、複数の絶対位置リファレンスの統合を図る。その処理のダイアグラムを図5に示す。

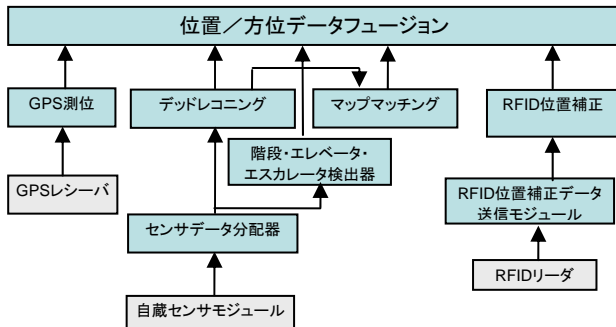


図5 絶対位置取得手段との統合

本研究では、絶対位置の補正手段として、RFID測位システムとGPS、階段・エレベータ・エスカレータの動作認識によるマップマッチングの3つを導入する。以下、これらの3つの補正手段について述べる。

2.4.1 RFID 測位システム

着用型システム側のハードウェアを簡易化するため、固有のID信号を発信するアクティブRFIDタグを個々の利用者が保持し、屋内環境にネットワーク接続された複数のRFIDリーダを配置する利用状況を想定する。

RFIDリーダが特定のIDを持つタグを検知したとき、そのIDに対応する利用者に対してそのRFIDリーダの設置位置の情報とその検知時刻をネットワーク経由で通知する。一般にRFIDリーダがタグを検知した時刻と利用者へ到達する時刻には遅延が存在するため、正確な時刻情報を併せて通知することで伝播遅延を補償することが可能となる。

なお、RFIDリーダとタグはそのハードウェア構成（特にアンテナ周り）によっては信号の到達可能範囲の特性が大きく異なる。その特性を踏まえた上でRFIDリーダによって捕捉される位置情報の観測
興侶, 大隈, 蔵田

誤差の分散共分散行列を適切に設定することが必要である。

2.4.2 GPS

屋外やスードライトが配置された屋内環境において、GPSによる測位結果を取得可能であるとき、デッドレコニングに基づく測位結果を補正することができる。GPSの測位精度は衛星の見通しとその幾何学的な配置条件、電離層による信号遅延、マルチパス誤差の有無などによって影響を受ける。これらの誤差の性質は必ずしも正規分布を取るランダム誤差として取り扱うことはできず、その測位結果を単純にカルマンフィルタへの観測として入力することはできない。

そこで本研究では、位置・方位を統合するカルマンフィルタでトラッキングされる位置の誤差分散共分散行列に着目し、GPSによる測位結果がその位置誤差の分散があらゆる一定の信頼領域内に入らないとき、測位結果を外れ値として観測から除外する[5]。

GPSの測位誤差をあらゆる観測誤差の分散共分散行列については、GPSレシーバから得られるHDOP (Horizontal Dilution of Precision) 値を参考にして、経験的に決定される数値を用いる。

2.4.3 マップマッチング

壁や構造物などの人が通過できない領域を事前に環境マップとして保持しておき、これと交差する移動ベクトルを除外することが可能である。デッドレコニングによって得られた歩行動作による移動ベクトルとその不確からしさを用いて複数の仮説をあらゆる分布を生成し、通過不可領域を交差する分布を仮説から除去することで、マップに対して整合性の取れる移動ベクトルの分布だけを生存させることでマップマッチングを実現する。

2.4.4 動作認識に基づく位置補正

屋内環境ではフロア間の上下移動手段は、主として階段とエレベータ、エスカレータに限られる。そこで、階段昇降動作とエレベータ・エスカレータへの乗降を検知することで、フロア間の上下方向への移動を認識すると同時に、事前に与えられた環境マップの情報と照合して、検知された階段もしくはエレベータ、エスカレータの位置へ推定結果を補正することが可能である。

階段の昇降動作は、その進行方向の軸を中心とした角速度成分に着目すると精度よく認識できることが分かっており、また、エレベータとエスカレータの動作検出については、低域通過フィルタをかけた加速度ベクトルに着目すれば認識できることが分かっている[3]。

3 実装

3.1 自蔵センサモジュール

2 節で述べたデッドレコニング手法へのセンサ入力手段として、3 種類の自蔵センサモジュールをそれぞれ用いて実装する。そのうち 2 つは独自に製作したモジュール (タイプ 1 とタイプ 2) で、もう 1 つは市販のモジュール (MicroStrain 社・3DM-GX1) である。それぞれの仕様と特徴を表 1 に示す。

3.2 磁気センサのキャリブレーション

タイプ 1 とタイプ 2 における磁気センサについては、その感度と着磁状態がキャリブレーションされている。また、3DM-GX1 についても、工場出荷時に同様にキャリブレーションされている。

	タイプ 1	タイプ 2	3DM-GX1
ジャイロセンサ	Analog Devices ADIS16100×3 (12bit デジタル)	エプソントヨコム XV3500CB×3 (16bit ADC)	Analog Devices ADXRS300×3 (16bit ADC)
加速度センサ	日立金属 H34C×1 (8bit デジタル)	STMicroelectronics LIS3LV02DQ×1 (16bit デジタル)	Analog Devices ADXL202×2 (16bit ADC)
磁気センサ	旭化成エレクトロニクス AK8971N×1 (8bit デジタル)	愛知製鋼 AMI302×1 (16bit ADC)	Honeywell HMC1052×2 (16bit ADC)
温度センサ	ジャイロセンサに内蔵	基板上に温度センサを実装	基板上に温度センサを実装
特徴	ジャイロセンサの分解能が低い ため、方位精度に やや劣る	ジャイロセンサの ゼロ点出力が安定 しているため、方位 精度に優れる	ジャイロセンサ のゼロ点出力を 内部で自動補正 する
I/O	Bluetooth (シリアル)	Wi-Fi, USB (シリアル)	RS-232/485 (シリアル)
電源	電池内蔵	外部	外部
ケース	8cm × 3.5cm × 2cm	8cm × 3.5cm × 2cm	6cm × 6cm × 2.5cm

表 1 自蔵センサモジュールの仕様

4. 科学技術館における実証実験

筆者らが開発している測位手法と実装システムを用いて、科学技術館 (東京都千代田区、5 階建て、床面積：約 2,500 m²/階) における館内ナビゲーションシステムを構築し、一般来館者に装着してもらい、測位性能を含めた使いやすさなどについて評価した。

4.1 ウェアラブル屋内測位システム

本実証実験で用いるウェアラブル屋内測位システムは、利用者端末側はタイプ 1 の自蔵センサモジュールとハンドヘルド PC (VAIO type U)、RFID タグ (ワイマチック社製 SNODE2) から成る。

本システムの外観を図 6 に示し、システム内のデータの流れを図 7 に示す。各ソフトウェアモジュール間は TCP/IP ソケットによってプロセス間通信を実現している。本システムにおいては、利用者自身

が位置と方位を補正する仕組みを GUI インタフェースとして備えている。また、無線 LAN を介して測位結果を外部のサーバにアップロードすることにより、各利用者の位置・方位をリアルタイムでモニタリング機能も併せて実現している。

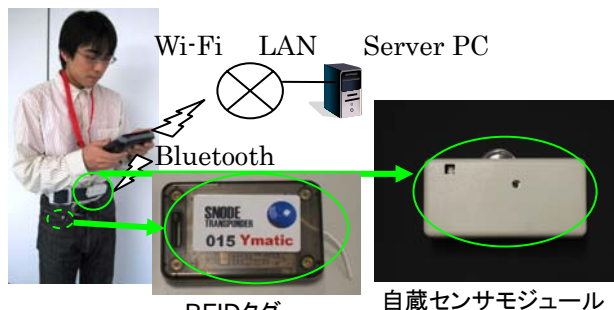


図 6 ウェアラブル測位システムの外観

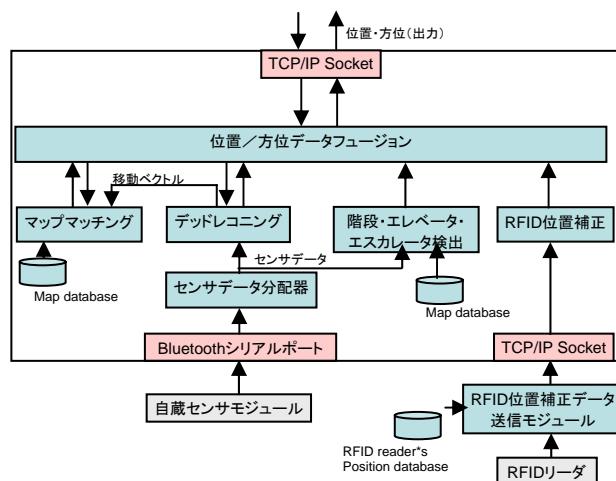


図 7 ウェアラブル屋内測位システムのダイアグラム

館内には、ネットワーク接続された RFID リーダが各フロアに 2 箇所ずつ設置されており、床面上で半径約 2 メートル以内に入る RFID タグの ID を検知するように設置条件を整えた。

4.2 測位精度評価結果の一例

被験者の一人が館内を歩き回って本システムによる館内展示サービスの提供を受けたときの測位結果の平均誤差は約 3.7m であった。なお、この実験結果においては、エスカレータ検出と階段検出によってそれぞれ 1 回ずつ自動位置補正が実行されている。また、被験者による手動の位置・方位補正が 3 回行われている。

5. 評価実験

本節では、本手法とその実装による測位性能を評価する。特に、測位システムへの入力として、異なる自蔵センサモジュールから得られるセンサデータを用いたときの測位性能の優劣について評価する。

5.1 実験内容と評価方法

本実験では、産総研・本部情報棟内の屋内コース (総距離：約 86m) を 6 名の被験者が前述の 3 種類

興梠, 大隈, 蔵田

の各自蔵センサモジュールを装着してそれぞれ 5 回ずつ、計 15 回を立ち止まらずに歩行する。そのときに得られたセンサデータは 50Hz のサンプリングレートで計算機に取得、蓄積される。なお、実験を行なった屋内環境では磁場の歪みが広範囲に渡って存在し、地磁気の観測は限定的にしかできないことが事前に確認されている。また、個人差をあらかじめ歩行速度と加速度振幅の直線回帰パラメータについては個人ごとに事前に計測されている。

蓄積されたセンサデータに対して、本稿で述べたデッドレコニング手法を適用するオフライン実験を行い、移動方位と移動距離、位置の推定誤差を評価する。移動方位の推定精度は歩行開始時の方位と終了時の方位（いずれも実験設定から既知）の差によって評価し、移動距離の推定誤差については、推定された移動軌跡の総距離と実測距離との差によって評価する。

5.2 実験結果

表 2 に各自蔵センサモジュールごとの位置の推定誤差（地磁気補正を有効／無効にした場合の二通り）の平均と分散（括弧内）を示す。また、地磁気補正を有効（白線）と無効（黒線）にした場合にそれぞれ推定された軌跡の一例を図 8 に示す。

	タイプ 1	タイプ 2	3DM-GX1
磁場補正有効	1.85m (0.24)	1.75m (0.32)	1.84m (0.65)
磁場補正無効	2.05m (0.22)	1.73m (0.30)	2.10m (0.57)

表 2 各自蔵センサモジュールごとの測位誤差

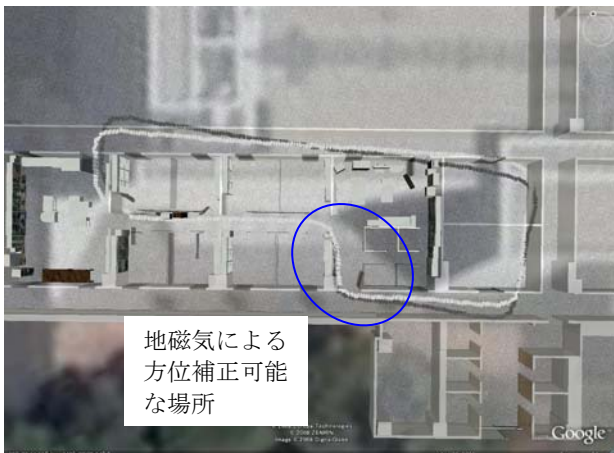


図 8 移動軌跡の一例

5.4 考察

移動方位の推定精度は、地磁気補正を行なわない場合、タイプ 2 の各自蔵センサモジュールが最も高いことが分かる。3DM-GX1 にはジャイロセンサのオフセット誤差を自動的に補正する機能があるが、歩行中に誤った補正が実行されたために平均誤差が増大している（分散も同様に増大している）。

地磁気補正を有効にした場合の結果では、実験コ
興裕, 大隈, 蔵田

ースの中間地点に地磁気補正可能な磁場が存在するため、タイプ 1 とタイプ 2 の各自蔵センサモジュール間には大きな性能差は見られない。一方で、3DM-GX1 のモジュールにおいては、前述のケースと同様に、誤ってオフセット誤差を補正することがあったため、その測位性能が低下している。

7 まとめ

本稿では、人の腰部に装着された各自蔵センサモジュールから得られるセンサデータに基づくデッドレコニング手法と外部の絶対測位手段との統合手法について述べ、本手法の実装とその評価結果について述べた。

鉛直方向の加速度成分の振幅から歩行速度を求める推定過程において、十分な精度を得るためには事前に個人ごとに直線回帰パラメータを求めることが欠かせない。そのためのキャリブレーションには、各利用者が既知の速度で歩行したときの計測結果を取得する必要があり、やや煩雑な作業を要する。より簡易な手法によってキャリブレーションを実現する手法を開発することが今後の課題である。

参考文献

- [1] K. Kolodziej, J. Hjelm: "Local Positioning Systems – LBS Applications and Services", CRC Press, 2006..
- [2] "Global Positioning System: Theory and Applications", Volume II, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, 1996.
- [3] M. Kouroggi and T. Kurata: "Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera," In Proc. of ISMAR2003, pp. 103–112, (2003).
- [4] M. Kouroggi and T. Kurata: "A method of personal positioning based on sensor data fusion of wearable camera and self-contained sensors", In Proc. of MFI2003, pp.287–292 (2003)
- [5] M. Kouroggi, N. Sakata, T. Okuma, and T. Kurata: "Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/Rfid/Self-contained Sensor System", In Proc. of ICAT2006, pp.1310–1321 (2006)
- [6] 佐川, 煤孫, 猪岡: 加速度積分による 3 次元歩行移動量の無拘束計測, 計測自動制御学会東北支部 第 202 回研究集会, 202-10, (2002).
- [7] E. Foxlin: "Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25, No. 6, pp. 38–46, Nov.–Dec. 2005.
- [8] 蔵田, 興裕, 大隈, 遠隔協調作業支援のための位置姿勢計測とインタフェース技術, 人工知能学会学会誌, Vol. 23, No. 4 (2008)