

屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/GPS/RFIDを統合した 組み込み型パーソナルポジショニングシステム

興 裕 正克[†] 酒田 信親^{†,††} 大隈 隆史[†] 蔵田 武志^{†,††}

[†] 産業技術総合研究所 情報技術研究部門 〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2

^{††} 筑波大学 システム情報工学研究科 〒 305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: {m.kourog, takashi-okuma}@aist.go.jp, sakata@esys.tsukuba.ac.jp, kurata@ieee.org

あらまし 本稿では、屋内外で利用可能な歩行者ナビを実現するため、歩行動作に基づくデッドレコニングと GPS、アクティブ RFID タグシステムを統合したパーソナルポジショニングシステムについて述べる。自蔵センサ群を情報源に用いたデッドレコニングでは位置と方位の累積誤差が補正されないと歩行者ナビの実現に要する精度が得られない問題があった。そこで、その累積誤差を GPS とアクティブ RFID タグシステムの測位結果に基づいて補正する手法を提案する。提案手法を実装し、組み込み型パーソナルポジショニングシステムとして実現した。Web ベースで利用可能なソフトウェアモジュールとして実装して組み込み型システムとして実現した。さらにハンドヘルド PC 上に Google Earth をビューアとして用い、歩行者のための携帯可能な屋内外ナビシステムを開発した。

キーワード 自蔵航法, 歩行者ナビゲーション, 組み込み型システム, アクティブ RFID タグ, GPS

An Embedded GPS/Self-contained Sensor System for Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation

Masakatsu KOUROGI[†], Nobuchika SAKATA^{†,††}, Takashi OKUMA[†], and Takeshi KURATA^{†,††}

[†] Information Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST) Umezono 1-1-1 Central 2, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568, Japan

^{††} Tsukuba University Tenodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0006, Japan

E-mail: {m.kourog, takashi-okuma}@aist.go.jp, sakata@esys.tsukuba.ac.jp, kurata@ieee.org

Abstract This paper describes a method of personal positioning integrated with dead-reckoning based on walking locomotion analysis, the GPS and an active RFID tag system for indoor/outdoor pedestrian navigation. The dead-reckoning by self-contained sensors degrades the precision of position and direction if their accumulated error is not compensated. Therefore, we propose a compensation method for both position and direction by using the GPS and the RFID tag system. We implemented software modules of personal positioning which can be easily called via Web services. The module is build in an embedded computing system. In addition, we developed a mobile indoor/outdoor navigation system for pedestrians by employing the Google Earth as a viewer running on a hand-held PC.

Key words self-contained navigation, pedestrian navigation, embedded system, active RFID tag, GPS

1. はじめに

近年、位置・方位情報をキーとして地図やその周辺の施設、建物、その地域の天候などのリアルタイム情報を引き出せる Web サービスなどが多数公開されている [1] [2]。特に、都市圏においては、多くの人々が利用する施設や建物について高い位置解像度で情報が提供されており、建物・施設の詳細な屋内外情報が提供されているケースも見られる。また、このサービスで

取得できる情報に基づいて、都市の景観などを 3 次元描画できる PC や PDA (スマートフォン) 向けのソフトウェア [3] [5] が提供されている。利用者の位置・方位をキーとしてサービスを呼び出すと歩行者向けの 3 次元ナビゲーションシステムが構築することが可能であり、すでに一部は実用化されておりさらなる可能性が開けている [6]。

しかしながら、キーとなる自己の位置・方位の精度が低いとこのようなサービスを必ずしも十分に活用することができな

い。測位手段としてもっとも良く使われている GPS や無線基地局による測量に基づく測位などでは、十分に高い位置分解能を得ることは困難であり、問題があった。本稿ではこのような背景を踏まえて、屋内外で利用可能な歩行者ナビゲーションを実現するために、筆者らが開発中である人の歩幅レベルの位置分解能が得られるパーソナルポジショニング手法とその実装システムについて述べる。

人の移動は主として歩行動作によって引き起こされるため、その運動を自蔵センサ群（各 3 軸の加速度・ジャイロ・磁気方位センサ）によって一步単位で検出・計測して積算するデッドレコニング手法を用いて相対的な移動を高い精度で推定できることが筆者らの研究 [9] [12] によって示されている。しかし、自蔵センサ群を情報源とするデッドレコニングによる測位は、相対移動量を積算する手法であるため誤差の累積の影響によって、長期間に渡って高い精度を達成することは困難であった。本研究ではこの問題に対して、測位結果の累積誤差を補正する手段として、GPS とアクティブ無線タグシステムによる測位を組み合わせるデッドレコニングと統合する手法を提案する。また、地磁気による絶対方位の補正が困難な環境においても、方位を補正する手法を提案する。そして提案手法を、人が携帯できるサイズの組み込み型システムによって構築し、位置・方位情報をキーとする Web サービスとの連携が容易なソフトウェアとして実装する。最後に、本システムを実際に運用した結果について述べる。

2. 歩行動作に基づくデッドレコニング

歩行動作に基づくデッドレコニング手法 [12] による測位誤差は、歩幅の推定誤差と方位の推定誤差を合成した構造を持つため、単純な誤差の確率分布を取らない。そこで、一步単位の方位誤差を正規分布で近似することによって、デッドレコニングによる測位誤差のモデルを提案した [8]。このモデルに基づいて、カルマンフィルタによって位置・方位の推定結果を更新し、分散共分散行列によってその不確からしさを出力する。GPS などの外部の観測結果が得られたときは、カルマンフィルタの枠組によって統合する。

このデッドレコニング手法では、磁気方位センサが検出した地磁気が信頼できると見なせる地点でジャイロセンサによる方位の累積誤差を補正する。ところが、屋内だけではなく屋外環境においても地磁気が地下の構造物や周辺の電子機器などによって広範囲に渡って乱されていることがしばしばある。このため、方位を補正できないまま累積誤差の影響により測位誤差が大きくなる問題があった。

そこで本研究では、外部の絶対位置手段を用いて方位誤差を補正する手法を提案する。具体的には、GPS とアクティブ無線タグシステムによる測位手段との組み合わせによって実現する。

3. GPS による位置・方位補正

GPS による測位結果は位置の真値を中心とした単純な正規分布をとらないため、その確率論的な取り扱いが難しい。測位結果に含まれるオフセット誤差とマルチパスによる測位誤差が正

規分布とは異なる分布であることがその主な原因である。GPS による誤差に対する取り扱いについて以下の節で述べる。

3.1 GPS 測位のオフセット誤差

GPS による単独測位では、衛星からの信号が電離層や対流圏を通過するときの伝搬遅延などにより、オフセット誤差が付加されている。同一地域で同一衛星セットによる測位において、この誤差はほぼ一定であるため、DGPS などではこの誤差成分を FM 電波などに乗せて放送することで、誤差を補正する仕掛けを提供している [10] [11]。また、より細かい位置間隔で GPS の信号観測局を配置して、その誤差成分を各測位点において補間計算する高度なシステムも存在する [7]。

本研究では、利用者の近傍に GPS 観測基地局を設置してそのオフセット誤差を観測し、ネットワーク経由で利用者側に伝達する簡易な仕組みとした。GPS 測位に用いられている衛星セットが利用者側の GPS 測位のそれと一致することを確認する仕掛けを組み込み、十分な精度を確保した。測位に用いる衛星セットが異なるとバイアス誤差も異なるためである。

3.2 GPS のマルチパス誤差

GPS による測位誤差のうち、最も取り扱いが難しいのは信号のマルチパスによる測位誤差である。筆者らはすでに文献 [8] でデッドレコニングによる測位結果と組み合わせることでマルチパスが引き起こす誤差を除去、低減させる手法を提案している。

3.3 GPS によるデッドレコニング方位の補正

GPS による測位結果はマルチパス誤差が除去されているとき、相対的な移動方向について精度の高い推定結果を与えることができる。オフセット誤差は、短期間ではほぼ一定値を示すことが多く、方位の推定には大きな影響を及ぼさず、必ずしも除去されている必要はない。

筆者らが提案したデッドレコニング手法 [12] では、ジャイロセンサと磁気方位センサを組み合わせることで絶対方位を推定していた。しかしながら、広範囲に渡って地磁気の信頼性が低い地域では、ジャイロセンサの積算によって累積する方位誤差を地磁気によっては補正できない問題があった。

そこで本研究では、GPS による測位結果が信頼できるとき、一定の距離区間ごとに GPS によって測位される 2 点間から算出される移動方位 θ_G とデッドレコニングの移動方位 θ_D は区間 i において以下の式を満たす。

$$\theta_{D_i} = \theta_{G_i} + \theta_M + e_i \quad (1)$$

ここで、 θ_M は移動方位に対する相対的な体の方位である。移動方位と体の方位は必ずしも一致していないが、十分に長い連続的な歩行動作については、 $\sum_k \theta_{M_k} = 0$ が成り立つ。右足左足の歩行動作と左足右足の歩行動作がこの方位に影響を与えるため、歩数を奇数としておけばその影響を相殺できる。

式 (1) より、

$$\sum (\theta_{D_i} - \theta_{G_i}) = \sum e_i + \sum \theta_M \quad (2)$$

となる。前述した通り、十分に長い連続した区間を取ると、 $\sum \theta_{M_k} = 0$ を満たすため、

$$\sum (\theta_{D_i} - \theta_{G_i}) = \sum e_i \quad (3)$$

が成り立つ。

この方位の誤差 e_i には二つの成分が含まれている。ジャイロセンサが出力するバイアス誤差 e_b と平均 0 の正規分布をとるランダム誤差 e_{r_i} であり、 $e_i = e_b + e_{r_i}$ となる。

したがって、

$$\sum_i^n e_i = ne_b + \sum e_{r_i} \quad (4)$$

を満たす。 $\sum e_{r_i}$ は平均 0 の正規分布であるため、バイアス誤差の推定値 \hat{e}_b は以下の式によって得られる。

$$\hat{e}_b = \frac{1}{n} \sum (\theta_{D_i} - \theta_{G_i}) \quad (5)$$

この推定値は正規分布をとり、その分散はジャイロセンサのランダム誤差と GPS による方位推定誤差の分散によって定まる。次に、ランダム誤差による誤差は最後の一步の時点で推定すれば十分であり、その推定値 \hat{e}_{r_n} は、

$$\hat{e}_{r_n} = \sum_i^n (\theta_{D_i} - \theta_{G_i}) - \sum_i^{n-1} (\theta_{D_i} - \theta_{G_i}) - n\hat{e}_b \quad (6)$$

として得られる。

ここで得られた推定結果を観測ベクトルとしてデッドレコニングの方位推定のカルマンフィルタループに入力する。その概要を図 1 に示す。

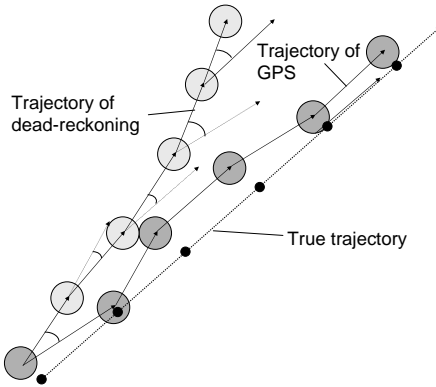


図 1 GPS の軌跡による方位の補正

4. アクティブ無線タグシステムによる位置補正

アクティブ無線タグシステムでは、タグリーダが送出する信号の到達範囲が狭いため、原理的にはピンポイントな位置補正を提供できる。例えば、人側に小型で安価な無線タグを配置し、タグリーダ側でタグが返信した ID 信号を受信してその情報をネットワーク経由で人側に伝えることで位置を補正できる。筆者らは文献 [8] でその簡易的な手法を提案、実装した。

しかしながら、無線タグリーダが利用している無線信号の周波数にも依存するが、比較的高い周波数の信号を用いると、信号が人体を通過するときその信号強度が減衰するため、結果

として信号の到達距離の分散が大きくなる問題がある。したがって、無線タグリーダと無線タグの位置関係（人体を通過するかしないか）によって信号到達範囲が異なるため、そのままでは精度の良い（すなわち分散が小さい）位置補正は期待できない。

そこで本研究では、タグリーダを配置する際に、建物や施設の構造に着目し、信号が到達できる範囲が制限されるように設計することでこの問題を回避した。例えば、大型の建物では冷暖房の効率などを考慮して、外部に通じる出入口には二つの扉を設置してその間に緩衝区画（風除室）を設けたり、回転ドアを設置していることが多い。この閉じられた区画にタグリーダを配置すると、信号の到達範囲はその区画内に制限され、補正精度を向上させることができる。また、エレベータの箱の中にタグリーダを配置すれば、信号はその箱内にしか届かないため同様に高い精度の位置決めが可能である。

そのような高精度の位置決めが困難なオープンスペースなどにタグリーダを配置する場合、人体等による信号の減衰を考慮して信号の到達範囲の幅を分散値として表すことで補正に用いることで、不確からしさを適切に反映できる。ただし、この場合は、ピンポイントの位置補正の目的には利用できない。

また、3.3 節で述べた方位補正手法は、タグシステムでは連続的に高い位置決め精度を実現するようにタグリーダを配置することは難しいため、その実現は困難である。GPS の信号が遮蔽される屋内環境においては、以下の 5. 節で述べる手法によって方位を補正する。

5. 地図との照合に基づく位置と方位の補正

デッドレコニング手法が保持する現在位置と方位の確率分布は地図との照合によって原理的には補正できる。しかしながら、地図上のすべての地点において補正のために照合できるようにコンテンツを整備することはコストの面で問題がある。

筆者らは文献 [12] の研究で、自蔵センサ群に組み込まれている加速度センサとジャイロセンサの出力に基づいて、エレベータの昇降と階段上の人々の昇降動作を検出する手法を提案している。エレベータの昇降運動は設置されているエレベータによってその仕様が決まっており、極めて再現性が高い運動を示すため、フロア間の移動（高さ）を確実に検出できる。階段の昇降動作についても同様に高い精度で検出できることが示されているため、階段とエレベータの位置について地図と照合することで、位置の補正が可能である。また、階段の段数は地図から得られるものとすれば、エレベータの場合と同様に高さを得ることができる。

建物によっては、複数個のエレベータが設置されていることがあり、そこまでに至るデッドレコニングによる測位結果の分散共分散行列（不確からしさ）によっては、搭乘したエレベータを一意に絞りこめないことがある。この場合は高さ方向の補正のみを行なう。

直線的な通廊は多くの建物においてしばしばよく見られる構造である。そのような通廊上で連続した歩行動作を検出した場合、移動方位はその通廊の方位とほぼ一致し、位置もその通廊

の幅の内側へ補正できる(図2)。このため、通廊の幅によって定まる不確かからしさで測位結果に関する分散値を定め、デッドレコニングの位置推定に関するカルマンフィルタのループに、観測値として入力することで補正する。

方位については、式(5)によってバイアス誤差を補正することで、遡及してバイアス誤差を除去して方位を再計算して最新の推定値を更新する。一方で、ランダム誤差による成分についてはGPSのケースのようには除去しない。短い各区間における移動方位と通廊の方位の差は無視できないほど大きいためである。

最後に、得られた方位の推定値を方位推定のカルマンフィルタのループに観測値として入力することで補正する。

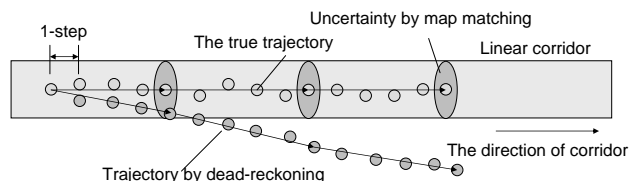


図2 直線通廊の連続歩行動作検出による補正

6. 実装システム

本研究では、歩行者ナビとして以下の機能を備えるシステムを実装する。

- (1) 自己の位置・方位を取得し、外部に通知する。
- (2) 他者の位置・方位を外部から取得する。
- (3) 位置・方位に応じて地図や建物、施設などの3次元景観、注釈、画像などの付加情報を取得して表示する。

まず、歩行者ナビとして利用するためには、人が携帯できるサイズ・重量であることがそのハードウェアの要件である。また、ナビゲーション等の画面を出力するためには十分な描画能力を有する装置が必要であるが、こちらは常時起動している必要はない。一方で、利用者の位置・方位を常時把握する必要があるため、パーソナルポジショニングシステム(以下、PPシステム)は常時起動している必要があり、同一システム上で動作することは効果的ではない。

そこで、PPシステムを実装するハードウェアとナビゲーション等の描画のためのハードウェアは切り離して実装する。このPPシステムは組み込み型システムとして集約して、実現する。

Google Maps や Yahoo! Maps では、すでに Web サービスとして(3)に含まれる情報を取得する仕組みが提供されている。このようなサービスへのアクセスを容易にするには、Webベースのアプリケーションとしてソフトウェアを実装すると効果的である。そこで、PPシステムと描画のためのシステム上で動作するアプリケーションを Web アプリケーションとして実装する。

本実装システムの構成要素は以下の3つである。

- (1) 組み込み型パーソナルポジショニングシステム
- (2) 描画/通信システム
- (3) 位置・方位・コンテンツ管理サーバ

(4) 無線タグシステムによる位置補正システム

以下の節でそれぞれについて述べる。

6.1 パーソナルポジショニングシステム

外部のサービスとの連携を容易とするため、標準的な Web ベースの CGI 呼び出し (POST/GET メソッド) によって情報取得と制御、補正ができるように設計する。さらに、この呼び出しによってストリームデータとして位置・高さ・方位を NMEA-0183 形式 (多くの GPS モジュールがサポートし、対応する地図ソフトウェアが多い) と CSV 形式のいずれかを出力する設計とする。

本実装では、CGI 呼び出しに必要な Web サーバを備え、無線ネットワーク (IEEE802.11b) 経由の通信機能と自蔵センサ群と GPS モジュールを接続するためのシリアルポートを備える組み込み型システムとして、日本 SGI 社の ViewRanger を用いた。自蔵センサ群としては、MicroStrain 社の 3DM-GX1 (各 3 軸の加速度、ジャイロ、磁気方位センサを備える) を用いた。本実装のダイアグラムを図3に示す。

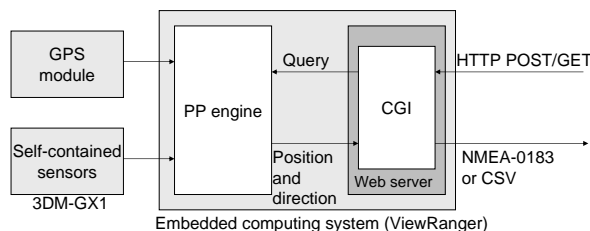


図3 パーソナルポジショニングシステムのダイアグラム

6.2 描画/通信システム

十分に強力な描画能力を持つ携帯型システム (例えば、PDA や携帯電話、ハンドヘルド PC) は外部ネットへの接続機能を与えていることが多い。そこで、自己の位置や方位、画像などを Web サービス経由でサーバにアップロードしたり、外部の情報を取得する機能を描画側に持たせる。通信機能を備える携帯型システムは標準的な Web ブラウザを備えるので、その Web ブラウザ上で動作する Web アプリケーションとして記述する。

本実装では、描画/通信システムとしてハンドヘルド PC であるソニー社の VAIO type U (VGN-UX50) を用いた。このハンドヘルド PC が備える画像撮影機能などを直接利用するほか、ローカルにコンテンツを高速生成する目的でハンドヘルド PC 上に Web サーバを立てた。Web アプリケーションは JavaScript (Ajax) によって記述され、位置・方位を PP システムを取得し、それをキーとして外部の Web サービスにアクセスする機能を実現している。

位置・方位に応じて地図と景観、付加情報を表示するソフトウェアとして、Google 社の Google Earth を用いた。このソフトウェアは位置と高さ、方位 (視点) を指定すると、それに対応する画像 (衛星写真または航空写真) を適切な解像度で描画し、さらにその上に 3 次元景観を表現できる KML (Keyhole Markup Language, XML データの一種)[4] で記述されたデータ (3 次元構造とテクスチャを持たせることができる) を配置

すると、位置に対応して建物や施設がその画像上に重畳表示される仕組みを持つ。

前述の JavaScript のコードは外部の Web サービスから情報を取得した後、ローカルの Web サーバに対して CGI 経由でデータをキャッシュさせ、その情報を Google Earth が CGI 経由で KML 形式で取得できるよう実装した。図 4 にその概要を示した。

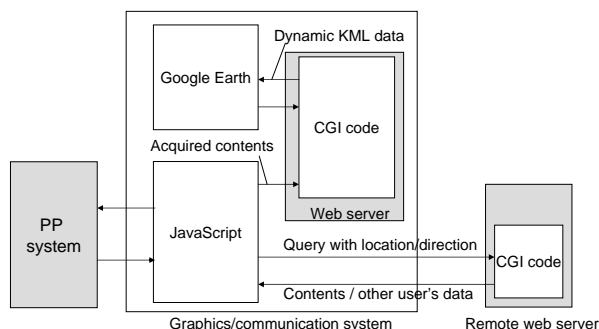


図 4 描画 / 通信システムのダイアグラム

6.3 位置・方位・コンテンツ管理システム

複数のユーザが本システムを利用している場合、サーバ側は全ユーザの位置・方位情報を把握できるため、個々のユーザの画面に、お互いの位置・方位の情報が表示できれば、例えば複数の作業員による協調作業において、お互いの状況が把握できるため作業を効率的に作業が進められる。また、遠隔地からこれらの作業員の状況を確認し、各々の作業員の位置に応じて指示を適切に与えることができる。

自己の視点に応じて見える視野内に存在する他のユーザやコンテンツを動的に表示することで、計算機に不必要な負荷をかけることがない。

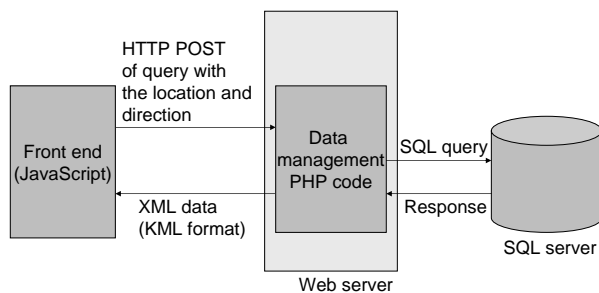


図 5 位置・方位管理データベース

6.4 アクティブ無線タグ位置補正システム

4. 節で述べたアクティブ無線タグシステムを用いた位置補正を実現する装置として、本実装ではワイマチック社の無線モジュール SNODE を用いた。このタグシステムは微弱無線 (300MHz 帯) を用いてリーダ側がタグを検索する信号を発信し、それを受信したタグは自身の ID 番号を返信する。本実装では、無線タグを人が装備して、タグリーダを環境側に外部ネットワークと接続して設置し、受信した ID 番号をサーバに POST することで、そのサーバを介して各ユーザが自身が装備

するタグの ID 番号が登録されたかを取得する。

このシステムの無線信号は人体を通過するときに信号強度が減衰するため、オープンスペースに設置した場合の最大信号到達距離は約 1 メートルから 5 メートルの間であり、比較的大きな分散値を設定する必要があった。一方で、風除室や回転ドア、エレベータのような閉じられた区画にタグリーダを設置する場合は、信号到達距離がその区画内に限定されるため、区画の広さの幅を表すように分散値を設定した。区画の形状は多くの場合、矩形であったがそれを包含するような分布となるよう設計した。

7. 本システムの動作結果

7.1 複数のユーザによる同時利用した動作例

本システムを同時に複数のユーザが利用したときの動作結果の出力画面を図 6 と図 7 に示す。Google Earth の画面上で視野内に入る自分自身を含むすべてのユーザについて、その位置と建物内の位置関係が表示されていることが分かる。各ユーザの画面では、利用者の方位 (自蔵センサ群が装着されている腰部の方位に一致する) が前方となるように視点が自動的に追従するよう設定されており、ユーザ自身とその周辺情報との対応付けが容易である。

同様の画面はリモートサーバ側でも表示されており、こちらの画面では視点はマウス等のインタフェースによって操作できる。全ユーザがどこにいて、どちらの方向へ移動しているか (もしくは停止しているか) を把握することができる。



図 6 同時利用した場合の動作例 (1)

7.2 産総研一般公開イベントにおける様子

産総研の一般公開イベント (2006 年 7 月開催) において、本システムを稼働させた。歩行者ナビシステムとして、ハンドヘルド PC を手に持つタイプとその出力を HMD に出力するタイプの二つを提供した。一般の見学者のうち合計 32 名 (ほぼ全員が小学校低学年の子供たち) がこの歩行者ナビシステムを着用体験して利用した。なお、個人ごとの対応は、体験者の身長をパラメータとして、デッドレコニング手法が推定する歩幅を補正している。図 8 と図 9 に着用体験時の様子を示す。

また、次のような感想が着用体験者からは得られた。



図 7 同時利用した場合の動作例(2)

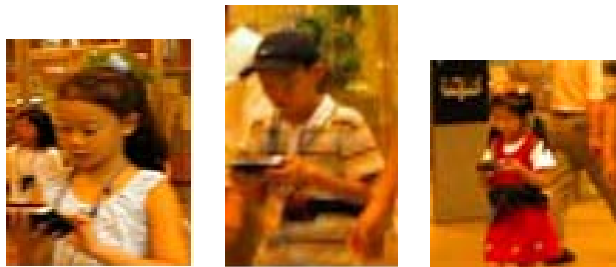


図 8 歩行者ナビシステムの着用体験者の外観(1)



図 9 歩行者ナビシステムの着用体験者の外観(2)

- 自分の位置が分かった。自分が回ると地図が回るのは分かりやすかった(ハンドヘルドタイプの体験者)。
 - (少しずれていたけれど)場所はよく分かった。CGで柱などがあったので、このくらいの精度でも十分分かった(ハンドヘルドタイプの体験者)。
 - (少しずれていたけれど)建物や周りのものがあまり分らなかったが、自分の動きにあわせて動いた様子が良く分かった(ハンドヘルドタイプの体験者)。
 - おもしろかった。自分の位置が分かり、少しずれているというも分かったが、これでも十分使える(ハンドヘルドタイプの体験者)。
 - 自分の場所が分かるのが良かった。少しずれていたけれどあまり気にならなかった。HMDはおもしろかった。歩いても問題はなかった(HMDタイプの体験者)。
 - HMDが単眼で片目をつぶりながら見ててちょっと危なかった。更新の様子は良く分かった(HMDタイプの体験者)。
- なお、一般公開においては体験者の歩行コース上ではGPS

の信号を捕捉することができず、位置と方位の補正は実行されなかった。幅の狭い直線的な通廊による補正も実行されていない。

8. む す び

歩行動作に基づくデッドレコニング手法による位置と方位の累積誤差を、アクティブ無線タグとGPS、直線通廊の連続歩行動作検出によって補正して、その結果を統合する手法を提案した。提案手法は、Webサービスに対するアクセスが容易なソフトウェアモジュールとして実装され、携帯可能な組み込み型システムとして実現された。

この歩行者ナビシステムを、事前に特別な経験や知識をまったく持たない複数の一般利用者(子供)が実際に体験利用した。その結果、屋内外でのナビゲーションとして利用できることが評価された。

文 献

- [1] “Google Maps API,” <http://www.google.com/apis/maps/>
- [2] “Yahoo! Maps Web Services,” <http://developer.yahoo.com/maps/>
- [3] “Google Earth,” <http://earth.google.com/>
- [4] “Google Earth KML format,” <http://earth.google.com/kml/>
- [5] “Pocket Cortona,” <http://www.parallelgraphics.com/products/cortonace/>
- [6] “EZ ナビウォーク 3D ナビ,” http://www.au.kddi.com/ezweb/service/ez_naviwalk/
- [7] “高精度 GPS 測位サービス PAS,” <http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/>
- [8] “組み込み型 GPS・自蔵式センサシステムによる屋内外歩行者ナビ,” 興梠, 蔵田, 信学技報, PRMU2006-33, pp75-80, 2006.
- [9] “慣性センサ群とウェアラブルカメラを用いた歩行動作に基づくパーソナルポジショニング手法,” 興梠, 蔵田, 信学技報, PRMU2003-260, pp. 25-30, 2004.
- [10] “Global Positioning System: Theory and Applications,” Vol. 1, Ed. by B. W. Parkinson and J. J. Spilker, 1996.
- [11] “GPS: 理論と応用”, B. ホフマン-ウェレンホフ, H. リヒテネガー, J. コリンズ, シュプリンガー・フェアラーク東京, 2000.
- [12] M. Kourogi and T. Kurata, “Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera,” in *Proc. ISMAR2003*, pp. 103-112, 2003.