

歩行者自律航法をベースとしたハイブリッド屋内測位手法の提案

松下 裕介† 蛭子 貴文† 吉澤 史男† 金崎 克己†

株式会社リコー リコー技術研究所†

1 はじめに

スマートフォンの台頭に伴い、歩行者自律航法(PDR)に基づくハイブリッド測位が注目されている。当測位技術はGPSの届かない屋内でのナビや行動計測など、多分野での活用が期待されている[1]。しかし、既存のPDRでは、端末の姿勢によりセンサ値が大きく変化するため、体に固定して使用するか持ち方を指定するものがほとんどである。地磁気と加速度から手持ちか腕振り歩行かを区別してアルゴリズムを切り替える手法が提案されているが[2]、オフィスや地下等では地磁気センサの精度が得られない問題がある。一方、PDRの速度推定については、歩行検出が1歩単位であるため、1歩未満の分解能を再現することが出来ない。速度分解能の向上および持ち方制約の緩和は、位置精度向上において重要である。本研究では、ユーザーの持ち方制約を緩和し、速度・位置分解能を向上させる新たなPDR手法を開発する。

2 提案手法

2.1 歩行速度モデリング

歩行者の首部に取り付けられたマーカーのトラッキングにより、歩行速度の時間変化を可視化した。人は重心移動と蹴り出し運動によって、位置エネルギーと運動エネルギーの相互変換をしながら歩行し、速度の変化が1歩ごとにピークとして表れる。水平方向の速度には足接地に伴い特徴的なピークが表れる。図2に示すように、これらは複数のGauss関数を用いてピーク分離できることが判明した。

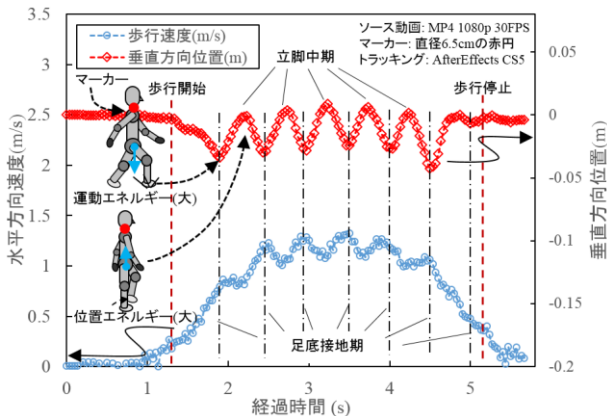


図1：マーカートラッキングで得られた歩行速さの時間変化

よって、足接地を加速度センサで検出し、1歩ごとの速度ピーク波形を生成し合成することで、水平方向速度の時間波形を再現することが可能である。

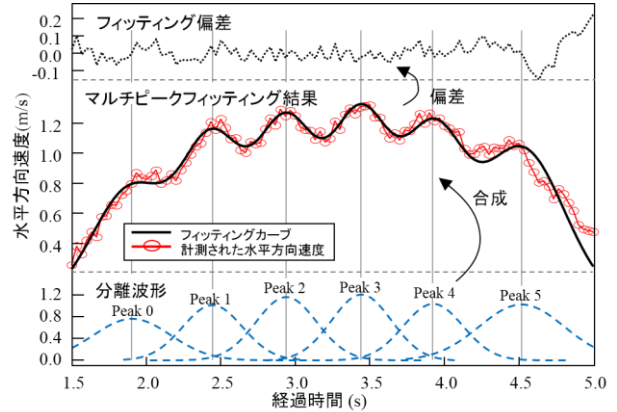


図2：水平方向の速度変化波形のピーク分離

2.2 歩行速度の推定

実際のアルゴリズムでは、Gauss関数のテールによる処理遅れを低減するため、ソース波形としてsin関数の半波長部分(山)を用いて水平方向速度を再現する。ピークの時間位置は歩行検出の時刻 t_n (図3(a))によって決め、ソース波形の波長は歩行周期 T_n に比例させて決める。実験の結果、歩行速度の大きさ $|v|$ とワールド座標系における鉛直方向移動加速度のピーク値 $a_z^{w,peak}$ の間には $|v|=c_1|a_z^{w,peak}|+c_2$ の相関があると判明したのでそれを振幅とした。決定されたソース波形に対し2.3で求める進行方向単位ベクトル \mathbf{v}_n^* (図3(b))を乗算し、1歩ごとの速度ベクトル $\mathbf{Peak}(n)$ を生成する。歩行動作は足を交互に踏みだし $n-1$ 歩目と n 歩目の波形は重なるため、 $\mathbf{Peak}(n-1)$ と $\mathbf{Peak}(n)$ を合成し歩行速度ベクトル \mathbf{V}_t を生成する。これにより歩行速度推定の分解能を向上させる。

2.3 歩行動作の認識・進行方向の推定

歩行動作(0.5~2Hz)をFFT等の周波数解析で扱う場合、周波数が低いことから窓関数の時間幅が大きくなる。そのため認識までの処理遅れとレスポンスが問題となる。そこで特徴量の閾値判定のみで歩行動作か非歩行動作かを認識させる方法をとる。

歩行動作認識に用いた特徴量：

鉛直方向移動加速度のピーク値 $a_z^{w,peak}$ 、歩行周期 T_n 、水平方向移動速度ベクトル \mathbf{v}_n 、進行方向の左右に対する速度ぶれベクトル \mathbf{dh}_n

図3(a)に示すように、 \mathbf{v}_n はノイズの重畳を抑えるため、時刻 t_n を中心とした水平成分加速度ベクトルの区間積分(τ_n の間)により生成した。人は体幹を左右

Proposal for Hybrid Indoor Positioning technique based on Pedestrian-Dead-Reckoning

Yusuke Matsushita†, Takafumi Ebesu, Fumio Yoshizawa†, Katsumi Kanasaki†

†Ricoh Institute of Technology, RICOH COMPANY, LTD.

にぶらしながら歩行する。実験の結果、それを反映する特徴量として dh_n を採用した(図 3(b))。一方、進行方向単位ベクトル v'_n は v_n と v_{n-1} をベクトル合成した上で正規化して求めた。

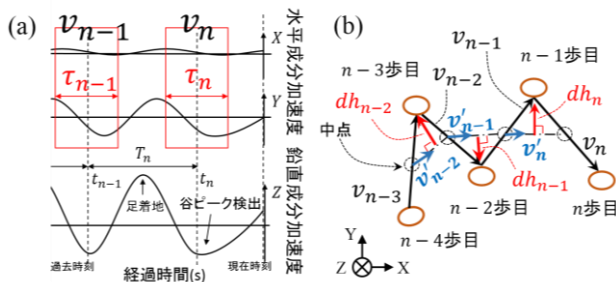


図 3: (a)水平成分移動速度ベクトル v_n の算出方法
(b)歩行時における各ベクトルおよび特徴量の関係

ワールド座標系の加速度に基づいて進行方向単位ベクトルを決定するため、端末の持ち方によらない進行方向の推定が可能となる。

2.4 ハイブリッド測位の手法

図 4 に処理フローを示す。推定された歩行速度ベクトル V_t を第 2 のカルマンフィルタの時間発展に入力し、時間積分で相対位置/精度を推定する。また、観測された絶対位置補正情報(座標/精度)で観測更新処理を行い、相対位置の推定値を補正する。推定される精度は誤差共分散行列として取得する。カルマンフィルタを用いる利点は、観測が非同期かつ多入力で行えるため、複数の測位手段の融合に適している点と、観測に伴うホワイトノイズを低減し精度の高い状態推定を可能にする点である。これらの手法によってハイブリッド測位を実現する。



図 4: ハイブリッド測位の処理フロー

3 評価

3.1 進行方向推定

本手法を適用することにより、5 種類の携行形態に対して、アルゴリズムを替えることなく進行方向 (v'_n) の推定ができた(図 5)。

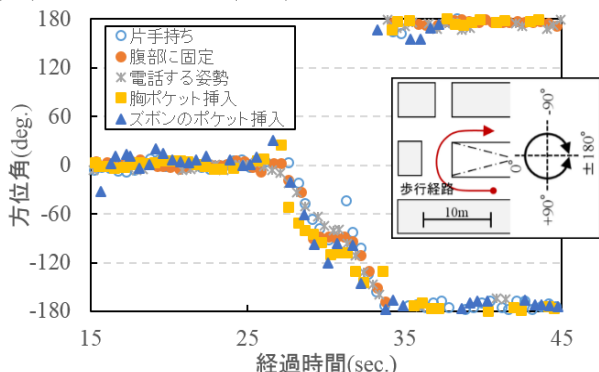


図 5: 進行方向の推定結果

3.2 歩行速度推定

図 6 に示すように、PDR による速度推定 (V_t) と 2.1 の手法によるマーカートラッキングの結果とを比較した。両者はピークの形態が類似し、水平方向の速度変化に対しマッチングを示した。また、PDR 速度の時間分解能は、1 歩の単位(約 1 秒)と比較すると、サンプリング周期である 10msec まで高分解能化された。

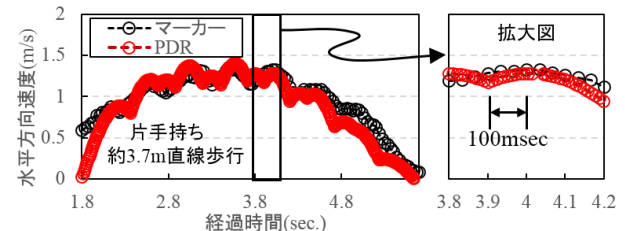


図 6: マーカートラッキングと PDR の速度推定結果

3.3 現在位置推定

図 7 に 2.4 に基づく測位結果を示す。3.1 の速度を反映し 1 歩未満の位置分解能が再現された。一方、重畳する誤差は絶対位置補正情報の観測により補正され、ハイブリッド測位の様子が観測された。

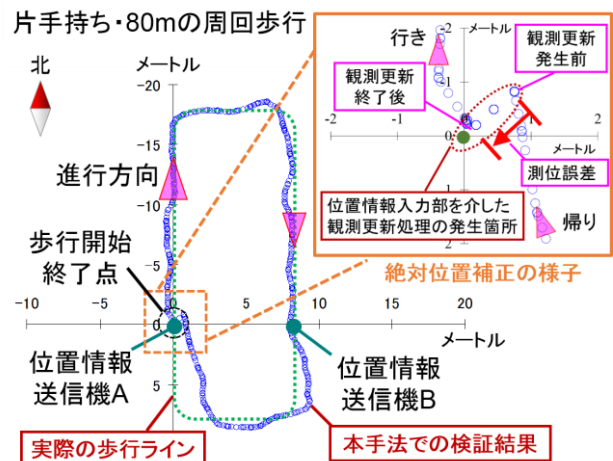


図 7: 現在位置の推定結果および補正

4 結論

提案手法を適用することで、手持ち・ズボンポケット・胸ポケット・電話する姿勢での進行方向推定が可能であることが分かった。また、歩行モデリングに基づく歩行速度ピーク合成手法を適用することで、1 歩以下の分解能で歩行速度推定が可能だと分かった。更に、推定された歩行速度と絶対位置情報とをカルマンフィルタの枠組みで融合することで、持ち方制約が緩和され、かつ、1 歩以下の位置・時間分解能を実現するハイブリッド屋内測位手法を提案した。今後の課題は、被験者の N 数を増やし、適用性、精度を詳細に評価することである。

参考文献

[1] 蔵田ら, "屋内外での行動の測る化とそのサービス工学への展開", THE JOURNAL OF SURVEY 測量, pp.8-13 (2013).
[2] 上坂ら, "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, pp558-570 (2011).