

# 人の動線推定に関する研究開発（第3報）

— フィルタアルゴリズムの改良とランドマークによる位置補正 —

山田 俊郎, 渡辺 博己, 棚橋 英樹

## A study on a human tracking (3<sup>rd</sup> report)

- An advanced filtering algorithm and a position adjustment using landmarks -

Toshio Yamada, Hiroki Watanabe, Hideki Tanahashi

**あらまし** スーパーマーケット等の大型量販店を利用する買い物客の行動履歴を得るため、ショッピングカートを利用した位置計測システムを構築している。これまでに、光学マウスと方位センサ・ジャイロを用いた測定システムを試作し、測定データを確率フィルタとマップマッチングで補正して動線をプロットするアプリケーションを開発した。開発システムではおおむね良好な動線推定ができるものの、条件によっては動線推定ができなくなる場合や、推定された動線に誤差が残る問題が確認された。本報では、これらの問題を解決するために導入した、フィルタアルゴリズムの改良およびランドマークについて報告するとともに、店舗実験用に1ボックス化した測位モジュールおよび動線推定例についても報告する。

**キーワード** 動線推定, 測位技術, デッドレコニング, 確率フィルタ

### 1. はじめに

大型量販店における店舗設計や経営戦略の立案にあたって、店舗を利用する買い物客の回遊行動データは有用な情報であると考えられている。現時点では、動線追跡にかかるコストが高く、個別の動線情報(追跡調査)や従業員の感覚で得られる情報(〇〇売り場は人が少ない, など)しか利用できていないが、多くの買い物客の動線データを得てビッグデータ解析を行うことで、従来の経験的なデータからは得られない新たな知見が得られるのではないかと期待されている。

位置情報の取得技術については、屋外においてはGPSが標準技術として確立しているが、屋内の測位においては確立した技術が存在していない。現状では測位の目的に応じてさまざまな方式の測位技術が提案されているが、それぞれに一長一短がある<sup>[1]</sup>。

このようなニーズや技術背景のもと、我々は測位対象を店舗内のショッピングカートに限定することで、「実用的な動線データ」を「低コスト」で取得する技術の開発をおこなっている<sup>[2,3]</sup>。前年度までに開発した技術では、パソコン用の光学マウスを移動量測定センサとして用いてカートの移動量( $\delta x, \delta y$ )を測定し、ジャイロまたは電子コンパスからカートの回転角速度( $\delta \theta$ )を得ている。汎用的な部品の組み合わせで測定デバイスを構築することで、測定システム全体の低コスト化を実現した。また、センサで得られた値は、それぞれ誤差をもっているため、

確率フィルタとマップマッチングを用いて動線を推定することで誤差補正を行った。

これらの開発技術を用いて実際の大型量販店で動線推定実験を行ったところ、限られたエリアにおいてはおおむね正しい動線推定ができることを確認した。しかしながら、確率フィルタの候補点が生成できなくなる、売り場の通路が1本ずれる、といった問題も確認された。

本報では、これらの課題を解決するために行ったフィルタアルゴリズムの改良およびランドマークによる位置補正について報告する。さらに、図1に示すように計測装置を1ボックス化して現場での取り扱いを容易にした測位モジュールについても報告する。



図1 測位モジュールつきショッピングカート

## 2. フィルタアルゴリズムの改良

各センサから得られる値( $\delta x, \delta y, \delta \theta$ )はいずれも変化量であって、開発システムではセンサから0.5秒ごとに値を取得している。現在位置を得るには、( $\delta x, \delta y, \delta \theta$ )を0.5秒ごとに加算するの必要があり、誤差の蓄積が問題となる。前年度の報告で、誤差を補正するため確率フィルタとマップマッチングを併用する手法<sup>[3,4,5]</sup>を提案したが、マップ制約によって確率フィルタで新たな候補点が生成できない場合が発生した。

確率フィルタでは、センサデータから得られた移動ベクトルに誤差を割り振ったベクトルを複数作成し、現在の候補点から複数の移動先候補点群および各点の存在確率を生成する(図2)。移動先候補点群の確率にマップの存在確率を積算してマップマッチングを行い、存在確率の高い点から規定数を次の候補点群として絞り込んでいる(図3)。この操作によって、移動が許された通路内に複数の候補点を生成しているが、確率の高い点が密集すると次の移動先候補点すべてが進入禁止エリア内となることがあり、動線の生成が不可能になる。確率フィルタのロバスト性を確保するためには、単に確率の高い点を選ぶだけでなく、空間的な広がりも考慮して候補点を選

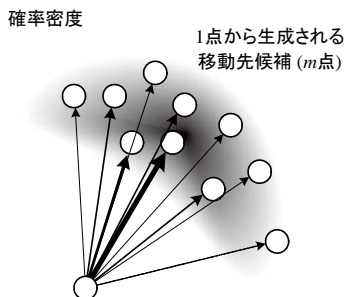


図2 移動候補点の生成

ぶ必要があることがわかった。

改良したアルゴリズムでは、図3の右に示すように一定の範囲内に1つの候補点しか存在できないよう、候補点の占有半径( $r_p$ )を定義した。候補点は先のアルゴリズムと同様にマップマッチング後の確率の高い点から順に抽出し、選ばれた候補点の占有半径内に存在する他の候補点の確率を0にする。この操作によって、次以降の候補点抽出で占有半径内の点が抽出されることがなく、空間的な広がりを持った候補点の生成が可能となった。

## 3. ランドマークによる位置補正

確率フィルタによってある程度の誤差補正はできるものの、長距離の直線移動では店舗の通路1本分程度の誤差が生じることがある。量販店の売り場は商品棚と通路が規則的に並んだ繰り返しパターンを生成しているため、通路が1本ずれても動線推定アルゴリズムは破綻なく計算が可能である。しかしながら、その後の推定は通路1本分ずれた情報を基に計算されるため、誤った動線を推定し続けることになる。光学マウスセンサの精度検証から、20mの移動で $1\sigma$ 誤差が約50cmであることがわかっており、広いエリアの動線推定では一定間隔で位置を補正するための機能が必要となる。

位置を補正するためには、環境側に何らかのランドマークが必要となる。本研究のランドマークに求められる機能は、ピンポイントで通路上の位置を特定する、移動方向を検出するであり、さらには本研究の開発コンセプトである「低コスト」を考慮する必要がある。複数手法で技術的な検討を行い、赤外線発光マーカでランドマークを実現することとした。指向性のある赤外線発光器の光軸が通路に垂直になるように設置し、カートの受光部がランドマークのIDを検出する。この方法では、通路の幅方向の位置の特定はできないため、ランドマーク前

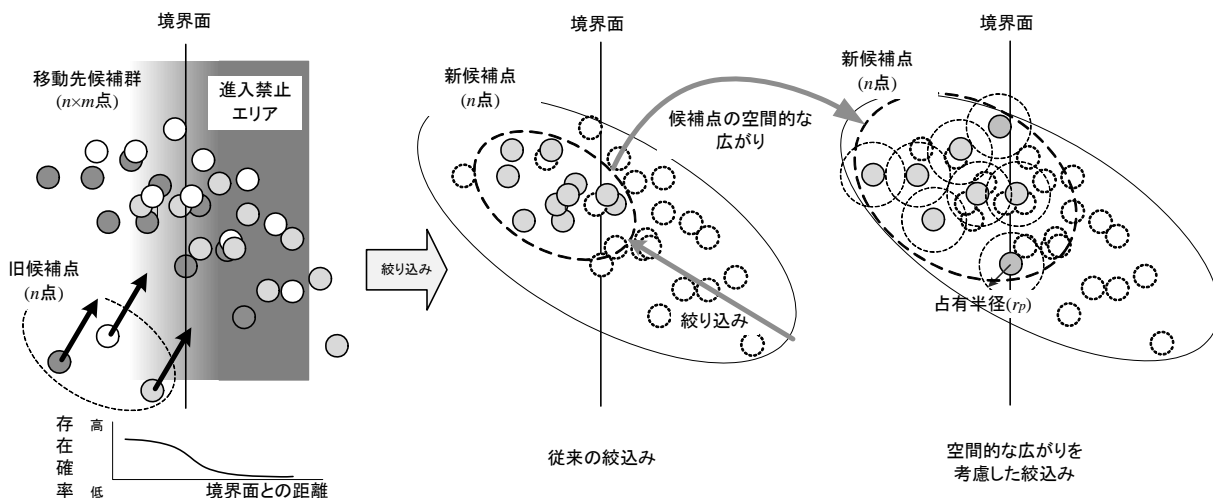


図3 候補絞込みアルゴリズムの改良

の一定の距離の位置を通ったものとして位置補正を行った。

ランドマークは図4に示す箱型 (W=60mm, H=120mm, D=25mm) のものであり, 商品棚下部のベースの高さに収まるサイズである. 赤外線LEDからは0.5秒おきにランドマークIDが発信されており, バッテリー駆動で1週間以上の連続可動が可能である. 赤外線IDは, 誤り検出機能を持った1バイトデータを2400bpsの通信速度で, 一般的なリモコンで用いられる38kHzのデジタル振幅変調をかけて送信している. このような符号化をかけることで, 環境赤外線の影響等による誤認識を避けることができるとともに, カート側では汎用的なリモコン受光センサをマイコンのUARTに接続するだけでIDの検出が可能となった. また, 赤外受光センサをカートの両側に取り付けることで, 進行方向の検出も可能である.

動線推定アプリケーションでは, 新たにランドマークの位置, IDを定義する機能を追加し, 定義されたIDのランドマークを検出すると位置補正を行う処理を追加した. 位置補正では, 候補点の位置をランドマークによる補正点の1点に特定すると2章と同様な問題が発生してロバスト性が低下するため, 図5に示すように候補点群全体を移動させている. 候補点群内の最も確率の高い代表点を補正点に移動させ, ランドマークの光軸に垂直な方向に向きを補正する. 他の点群は代表点の移動量と同じベクトルで全体を移動させ, 向きについても代表点の補正量と同じ量の補正をおこなう.



図4 赤外線IDランドマーク

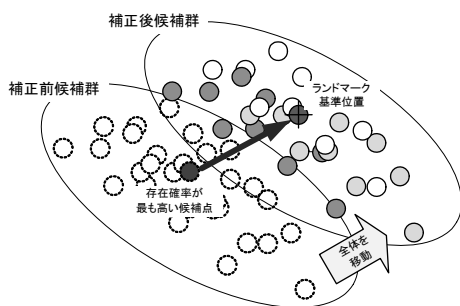


図5 ランドマークによる位置補正

#### 4. 計測装置のモジュール化と計測実験

店舗での実験の利便性を高め, より実用的なシステムとするため, 図6に示すようにマイコンやセンサ類, バッテリーをまとめて測位システムをモジュール化した. モジュール化に伴い, microSDカードへの記録機能, リアルタイムクロックによる測位時間の記録機能, 赤外線ランドマークIDの検出機能を追加した. 測位モジュールのブロック図を図7に示す.

測位モジュールを取り付けた改良型カート, および赤外線ランドマークを用いて, 店舗で測位実験をおこなった. ランドマークの配置は, 玄関自動ドアに1個と約20mの間隔をあけて通路に2個設置した. ランドマークによって推定された動線の位置の補正ができるだけでなく, 玄関のランドマークによって初期位置の特定が容易になり, 位置推定の再現性も上がっている. 従来は手作業で入力した初期位置を基に動線を計算しており, 初期位置のばらつきが動線推定の再現性に影響を及ぼしていた.

動線推定アプリの表示例を図8に示す. 動線は平面図左下の玄関位置からスタートし, 店内を巡回した後にレジを通り, 玄関まで戻っている. マップ上の△がランドマークの場所を示し, その上の数字がランドマークのIDを示している. この例では, ID=4のランドマークによって  $l_{adj}$  の距離 (約通路1本分) の位置補正がなされている. なお, アプリケーションでは動線の色によって移動スピ

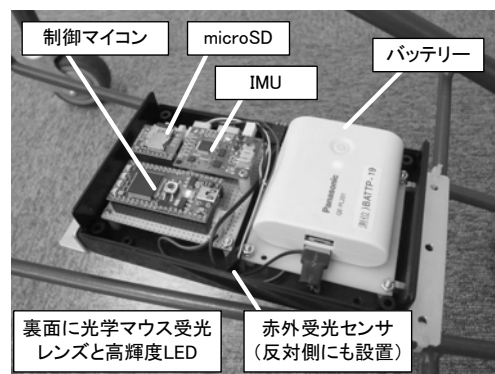


図6 測位モジュール

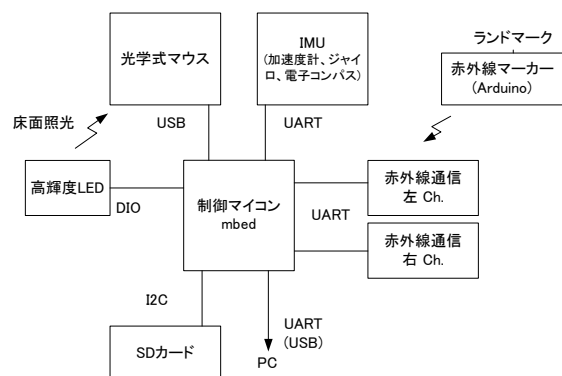


図7 測位モジュールの構成

ードを示しており、買い物客が立ち止まった場所もわかるようになっている。

## 5. まとめ

大型量販店を利用する買い物客の動線推定を目的とした屋内測位システムを実現するため、ショッピングカートを利用した測位システムを提案した。安価なハードウェアでシステムを構築し、確率フィルタとマップマッチングで誤差を補正することで、動線解析に実用的なレベルの結果が得られることが店舗実験で確認できた。

今後は、複数のカートを用いて長期的な実用実験を行うとともに、工場内など量販店以外の場所にも適用の範囲を広げる。

## 文 献

- [1] “活用始まる屋内測位 高精度化で広がる用途”, 日経エレクトロニクス2-20 No.1076, pp.65-71, 2012.
- [2] 山田俊郎, “人の動線推定に関する研究開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, Vol.13, pp43-46, 2012.
- [3] 山田俊郎, 渡辺博己, 棚橋英樹, “人の動線推定に関する研究開発 (第2報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, Vol.14, pp -, 2013.
- [4] 石川智也, 興梠正克, 蔵田武志, “サービス現場での従業員トラッキングシステムの評価と応用”, 日本VR学会論文誌, Vol.16, No.1, pp23-33, 2011.
- [5] 大瀧保明, 胡丹, 猪岡光, 鈴木明宏, “携帯型装置による人間の移動行動の推定”, 計測自動制御学会東北支部第222回研究集会, 2005.

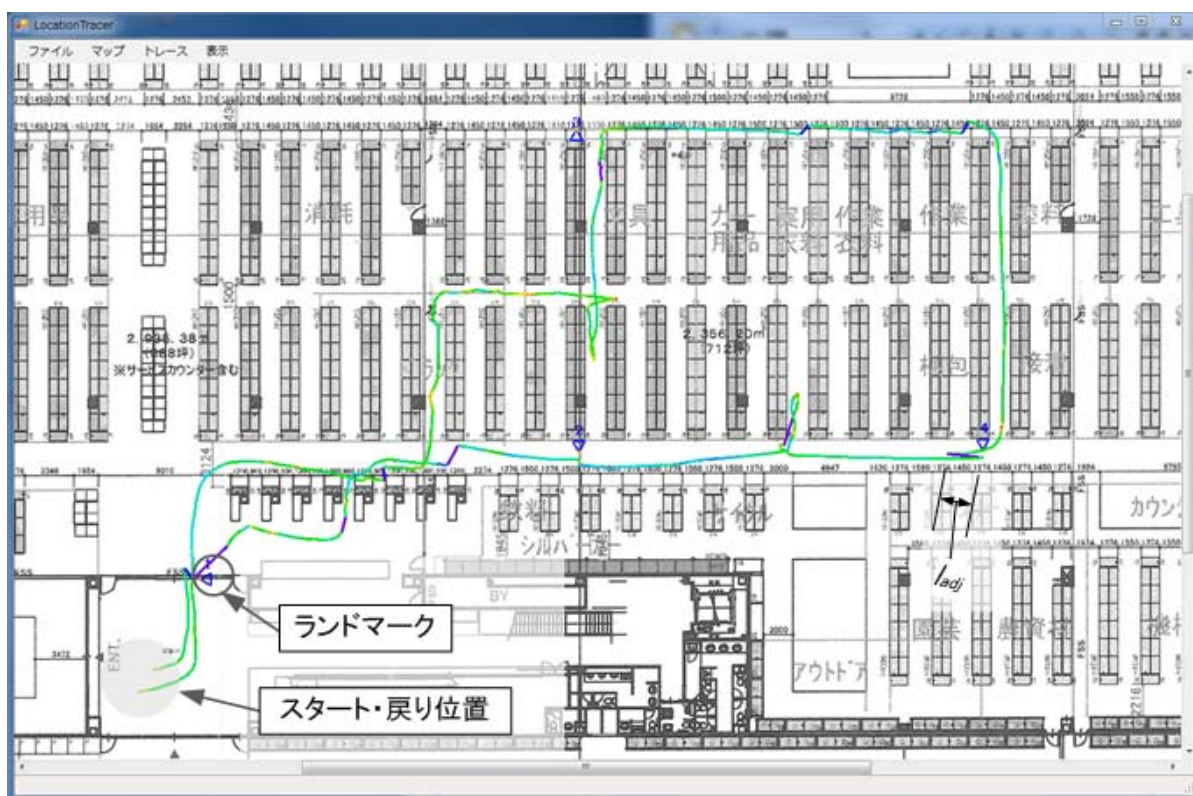


図8 動線推定の例