

PDR のオフィスビル向け改良方式の提案

岡里篤¹ 西尾信彦²

概要：屋内測位手法の1つであるPDR(*1)は、歩行距離が長くなるにつれて計測誤差が大きくなるため、マップマッチングによる位置補正と組み合わせて適用することが一般的である。しかし、通路幅の狭いオフィスビルではマップマッチングによる位置補正を行っても、近未来で壁との衝突が発生する補正結果が採用されると、計測誤差が増大する課題があった。本課題を解決するため、本稿では、オフィスビル向けに改良したPDRを提案する。提案手法は、従来手法であるPDRで推定した歩行軌跡を屋内で滞在可能な場所に補正するマップマッチングに対し、近未来の歩行軌跡を予測して評価する改良を追加した。本改良により、近未来に壁と衝突すると予測される歩行軌跡へ補正されることを抑制し、推定精度向上を図る。評価は、オフィスビルにおける直進及び曲進を交えた約24mを歩行した時の推定位置と正解位置との間の距離(=誤差)を計測した。そして、(1)ゴール地点での誤差、(2)壁衝突発生後の歩行ルートでの誤差を、従来手法と提案手法で比較した。その結果、壁衝突の発生頻度は、従来手法で平均1.76回、提案手法で平均1.40回となり、減少効果を確認した。また、(1)ゴール地点での平均誤差は、従来手法が1.02m、提案手法が0.97mとなり、位置推定の精度向上を確認した。さらに、(2)壁衝突発生後の歩行ルートでの平均誤差は、提案手法の位置推定の精度が従来手法に比べて約0.3m向上した。

(*1) スマートフォンに搭載されているセンサを使って人の歩き方を検知し、ある地点からどのように動いたかを計算しながら位置を測定する技術。

キーワード：PDR, 屋内測位, マップマッチング, 歩行軌跡, 軌跡補正, オフィスビル

A Proposal of Improved Method of PDR for Office Building

ATSUSHI OKAZATO^{†1} NOBUHIKO NISHIO^{†2}

1. はじめに

企業・事業所部門(オフィスビル等)のエネルギー消費は、最終エネルギー消費全体の約6割を占めており[1]、省エネルギー化が求められている。著者らは、ビルの省エネルギー性能を向上させるために、人の位置に応じたビル設備制御に取り組んでいる。人の位置に応じたビル設備制御の実現には、ビル内の人の位置・行動を推定する必要がある。そのため、著者らは、ビル内の人の位置・行動を推定する技術として、オフィスビル向けに改良したPDRの開発に取り組んでいる。

本稿では、オフィスビル向けに改良したPDRを提案・評価して、位置推定の精度向上効果を検証した結果を述べる。提案手法では、PDRで推定した歩行軌跡と滞在可能な場所をルールとして定義した屋内地図を照合し、滞在不可能な場所を歩行していると分かたらPDRで推定した歩行軌跡を滞在可能な場所に収まるように補正する[2]。補正の際、

近い未来に再び滞在不可能な場所を歩行すると予測される歩行軌跡は採用しない。これにより、位置推定の精度向上を図る。

本稿の構成を以下に述べる。2節で、従来手法であるPDRで推定した歩行軌跡を屋内で滞在可能な場所に補正する手法とその課題を述べる。3節で、提案手法であるオフィスビル向けに改良したPDRの歩行軌跡を補正する手法を述べる。4節で評価計画、5節で評価結果について述べ、6節で考察を、7節で本研究のまとめと今後を述べる。

2. 従来手法とその課題

PDRは、スマートフォンのセンサ情報を活用して位置を推定する手法である。実際の人の動きとセンサ情報の間には計測誤差が生じるため、歩行距離が長くなるにつれて、推定した位置と実際の位置との誤差が増加していく課題がある。

¹ 三菱電機株式会社
Mitsubishi Electric Corporation.
² 立命館大学
Ritsumeikan University.

従来、PDRの誤差を補正する手法としてマップマッチングが使われている[3]。マップマッチングによる歩行軌跡の補正では、PDRで推定した歩行軌跡を歩行可能な通路に補正する。歩行可能な通路は、図1に示す通りノードと、ノード間を結ぶリンクから構成される歩行空間ネットワークとして定義される。ただし、実際の歩行軌跡の形状が失われるため、文献[2]では、実際の歩行軌跡を極力残す様に歩行軌跡を変形するが、それに失敗した時のみ適用する。

しかし、歩行軌跡を変形して屋内で滞在可能な場所に補正できた場合でも、補正後に数歩歩いた先で再び壁との衝突が発生する補正結果が採用される場合があり、PDRによる位置推定の誤差が大きくなるという課題がある(図1)。

3. 提案手法

提案手法は従来手法に対して、近未来の歩行軌跡を予測して評価する改良を追加し、PDRの推定精度を向上させる。近未来の歩行軌跡の予測方法を示す。

(手順1) 近未来の歩行軌跡一步を算出

マップマッチング補正後の歩行軌跡の最新二歩(最新一步前と最新)から緯度、経度の変化量を算出し、近未来の歩行軌跡一步分の移動ベクトルを得る(図2)。

(手順2) 近未来の歩行軌跡三步を外挿

マップマッチング補正後の歩行軌跡に、近未来の歩行軌跡一步分の移動ベクトルを三步分外挿して近未来の歩行軌跡を予測する(図3)。

(手順3) 近未来の歩行軌跡の衝突予測と補正

近未来の歩行軌跡で衝突が発生するかを予測する(図4)。衝突が予測されない場合は、マップマッチング補正による歩行軌跡を採用し、PDRによる位置推定を継続する。

衝突が予測された場合は、PDRで推定した歩行軌跡の最新位置からその最も近傍のリンクに垂線を下してその交点を最新位置とするように補正し、PDRの進行方向もリンクの方向に修正する(図5)。

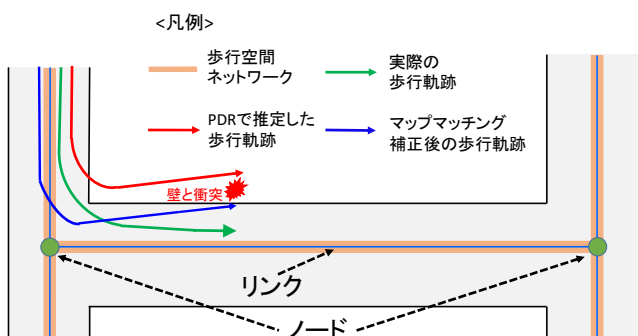


図1 マップマッチングによる歩行軌跡の補正の課題

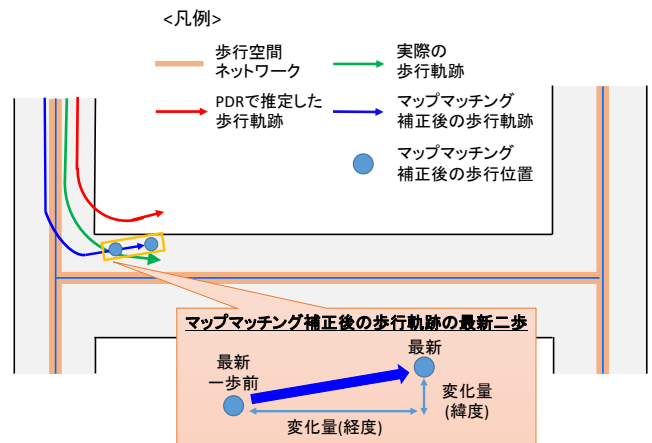


図2 マップマッチング補正後の歩行軌跡の最新二歩から緯度、経度の変化量を算出

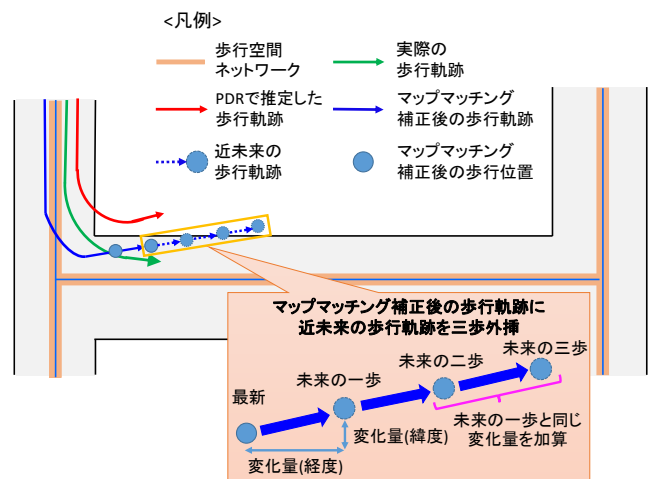


図3 マップマッチング補正後の歩行位置の最新に近未来の歩行軌跡を三步分外挿

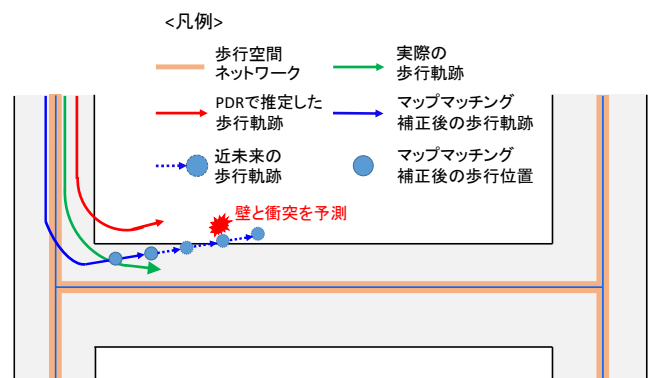


図4 近未来の歩行軌跡の壁との衝突予測

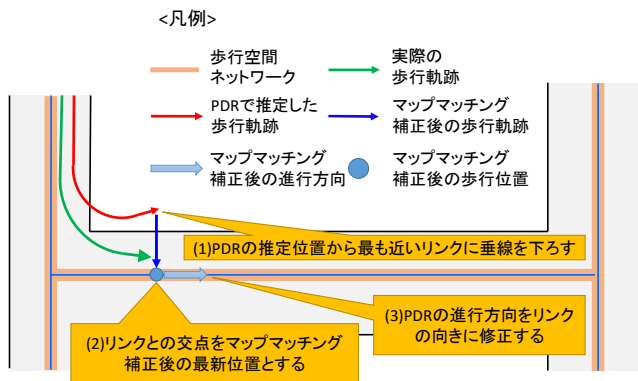


図 5 近未来の歩行軌跡の評価で衝突が予測された場合の補正方法

上記の方法で、マップマッチングによる歩行軌跡の補正結果の中から近未来で衝突の発生が予測される補正結果の採用を抑制できる。これにより、従来手法の課題であるマップマッチングによる歩行軌跡の補正後に数歩歩いた先で再び壁との衝突が発生する補正結果が採用され、PDRによる位置推定の誤差が大きくなる頻度を減らす効果が期待できる。

4. 評価計画

本評価では、従来手法と提案手法を評価する。

4.1 評価方法

評価は、オフィスビルの1フロアを使って行う。被験者は、スマートフォンを保持した状態で、図6の歩行ルートでエレベーターホールから自席までを従来手法、提案手法それぞれ25回ずつ計50回歩く。歩行ルートの距離は約24mである。なお、スマートフォンを、上着又はワイシャツの胸ポケットに入れた状態で歩行する。



図 6 歩行ルート

被験者は、カードリーダーに入退カードをかざした後、

入退ゲートを通る。その際、スマートフォンに入退室履歴情報が通知され、PDRの初期位置と初期方向が設定されてPDRによる位置推定が開始される。入退ゲート通過時は、進行方向に対して体を正面に向けた状態で歩行する。また、評価中は他の歩行者や障害物を避けるような歩き方はしない。なお、歩行時の姿勢、動作、歩幅などを意識して変えて歩くような歩き方はしないものとする。

4.2 評価内容

図6の歩行ルートをスタートからゴール地点まで歩いた時の従来手法、提案手法の歩行軌跡について、(1)ゴール地点での誤差、(2)壁衝突発生後の歩行ルートでの誤差を比較する(図7)(図8)(図9)。

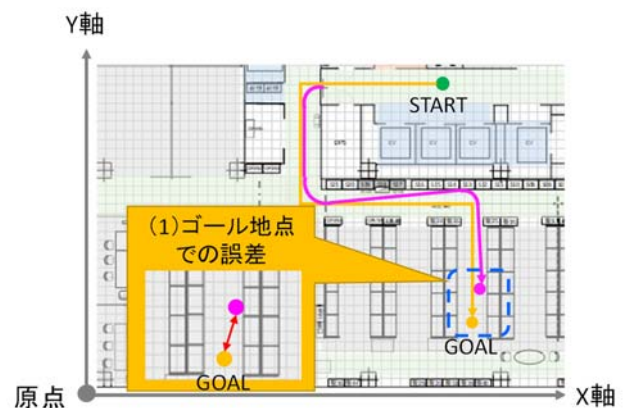


図 7 ゴール地点での正解位置と推定位置の誤差

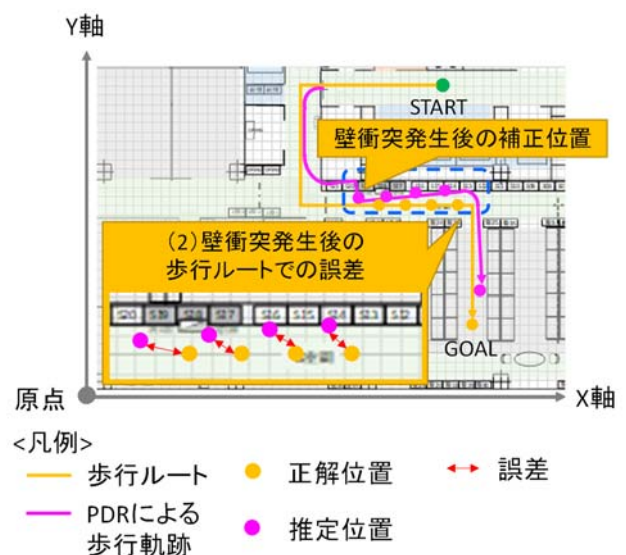


図 8 壁衝突発生後の歩行ルートでの正解位置と推定位置の誤差(衝突予測無し)

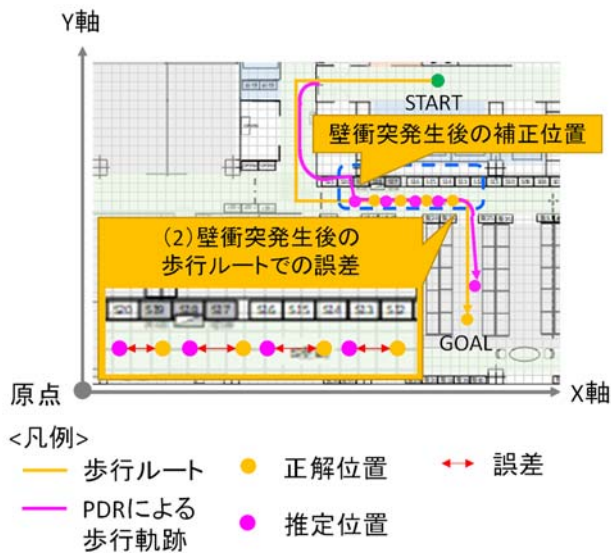


図 9 壁衝突発生後の歩行ルートでの正解位置と推定位置の誤差(衝突予測有り)

(1) ゴール地点での誤差は、図 7 に示すとおり、正解位置と推定位置は、フロア図左下端を原点とする X/Y 座標系で取得され、両者の 2 点間の距離で定義される。

(2) 壁衝突発生後の歩行ルートでの誤差は、図 8 図 9 に示すとおり、正解位置と推定位置は、フロア図左下端を原点とする X/Y 座標系で取得され、マップマッチング補正後の歩行位置と実際の歩行位置の 2 点間の距離で定義される。壁衝突発生後の補正位置から三步先までの歩行区間の誤差を比較する。

5. 評価結果

5.1 ゴール地点での誤差

従来手法と提案手法のゴール地点での誤差を表 1 と表 2 に示す。

評価実験の結果、平均誤差は、従来手法が 1.02m、提案手法が 0.97m、最大誤差は、従来手法が 4.09m、提案手法が 3.92m となり、提案手法により誤差が減少した。

5.2 壁衝突発生後の歩行ルートでの誤差

今回の評価では、壁衝突発生後の補正は 16 歩目から反映されることが最も多く、従来手法と提案手法による評価でそれぞれ 10 回ずつ発生した。ここでは、16 歩目に補正がかかった後、33 歩目でゴール地点に到達する歩行軌跡において、16 歩目から 19 歩目までの正解位置と推定位置の誤差を、従来手法 10 回と提案手法 10 回の計 20 回で比較する。なお、比較に使用するデータは、表 1 でアンダーラインを引いた。

表 3 表 4 に、従来手法と提案手法で補正した時の 16 歩目から 19 歩目までの誤差を示す。

表 1 ゴール地点での誤差

評価回数	従来手法の誤差 (m)	提案手法の誤差 (m)	評価回数	従来手法の誤差 (m)	提案手法の誤差 (m)
1 回	0.30	1.87	14 回	3.84	<u>0.90</u>
2 回	1.07	0.91	15 回	<u>0.59</u>	1.50
3 回	<u>0.26</u>	0.60	16 回	<u>0.47</u>	0.95
4 回	<u>4.09</u>	0.81	17 回	<u>0.85</u>	<u>0.57</u>
5 回	0.37	1.34	18 回	<u>1.14</u>	<u>0.52</u>
6 回	0.60	1.20	19 回	1.03	0.54
7 回	<u>0.59</u>	0.27	20 回	0.85	0.93
8 回	<u>0.23</u>	0.46	21 回	3.77	<u>0.51</u>
9 回	0.26	1.10	22 回	0.74	<u>0.62</u>
10 回	<u>1.18</u>	3.92	23 回	0.47	<u>0.66</u>
11 回	0.34	<u>0.89</u>	24 回	0.25	1.25
12 回	0.96	<u>0.49</u>	25 回	0.41	<u>0.99</u>
13 回	<u>0.93</u>	<u>0.56</u>	—	—	—

※アンダーラインを引いたデータは、後述する壁衝突発生後の歩行ルートでの正解位置と推定位置の誤差の評価に使用する。

表 2 ゴール地点での平均誤差、最大誤差、最小誤差

	平均誤差 (m)	最大誤差 (m)	最小誤差 (m)
従来手法	1.02	4.09	0.23
提案手法	0.97	3.92	0.27

表 3 壁衝突発生後の歩行ルートでの誤差(従来手法)

歩数	平均誤差 (m)	最大誤差 (m)	最小誤差 (m)
16	1.92	2.88	1.03
17	1.98	3.03	0.99
18	1.96	3.02	0.97
19	1.94	3.01	0.92

表 4 壁衝突発生後の歩行ルートでの誤差(提案手法)

歩数	平均誤差 (m)	最大誤差 (m)	最小誤差 (m)
16	1.63	2.10	1.30
17	1.60	2.09	1.27
18	1.58	2.09	1.25
19	1.55	2.10	1.20

壁衝突発生後の歩行ルートでの平均誤差は、16 歩目から 19 歩目までにおいて提案手法の方が従来手法よりも誤差が小さくなっていることから、近未来の歩行軌跡を評価し、衝突を発生させないように歩行軌跡を補正する効果を確認した。

6. 考察

本節では、評価実験で得られた歩行軌跡に対する考察と今後を述べる。

評価実験では、最初に従来手法及び提案手法それぞれで 25 回歩行ルートを歩行した時のゴール地点での誤差を比較した。提案手法では、従来手法に比べてゴール地点での平均誤差が 0.05m 減少した。次に、壁衝突発生後の歩行ルートにおいて、壁衝突後の補正が反映される 16 歩目から 19 歩目までの誤差の差異を、最大誤差、最小誤差、平均誤差で比較した。比較の結果、提案手法の方が従来手法に比べて平均誤差が約 0.3m 小さくなっていた。また、壁衝突の発生頻度は、歩行開始から歩行終了までに従来手法で平均 1.76 回、提案手法で平均 1.40 回となり減少した。提案手法の近未来の歩行軌跡の評価により、補正後に数歩歩行した先で再度壁との衝突 (図 10) を抑制したことが、PDR による位置推定の誤差の若干の改善につながったと考える。

一方、従来手法及び提案手法ともにゴール地点での最大誤差は、従来手法で 4.09m、提案手法で 3.92m となり、従来手法の平均誤差 1.02m、提案手法の平均誤差 0.97m よりも極端に悪いケースが存在する (図 11)。

これは、図 11 に示すとおり、机の並べられているエリアへの右折時に什器との衝突が発生し、補正の際に一本奥の通路側に補正されたためである。この現象は、従来手法で 25 回中 2 回、提案手法で 25 回中 1 回発生していた。

オフィスビルは通路が多く、通路間の間隔も狭いので壁や什器との衝突が多く発生する。すなわち、マップマッチングによる歩行軌跡の補正を繰り返すと、実際の歩行ルートとは異なる歩行軌跡に補正されるケースが発生しやすくなると考える。

オフィスビル向けに改良した PDR では、近未来の歩行軌跡の予測処理を評価した。今回は、近未来の歩行軌跡が未来における実際の歩行軌跡と一致する前提で評価した。しかし、近未来の歩行軌跡と実際の歩行軌跡が常に一致するとは限らない。そのため、近未来の歩行軌跡と実際の歩行軌跡が一致しない場合の評価も必要であると考え。具体的には、近未来の歩行軌跡の評価で衝突が予測されなかった場合の軌跡は実際の歩行軌跡と類似したものになるか、を検証する必要があると考える。また、オフィスビルの形状や通路の広さによって、近未来の歩行軌跡を何歩分予測するのが良いかは変わることが想定されるので、その評価も必要であると考え。

今後は、歩行ルートのパターンを増やして近未来の歩行軌跡の予測処理を評価し、改良する必要があると考える。



図 10 補正後に数歩歩行した先で再度壁との衝突が発生した時の歩行軌跡



図 11 マップマッチングによる歩行軌跡の補正で一本奥の通路に補正されたケース

7. おわりに

本研究では、PDR による位置推定の精度向上を目的に、オフィスビル向けに改良した PDR を開発し、従来の PDR と比較評価した。比較評価の結果、ゴール地点での平均誤差、壁衝突発生後の歩行ルートでの平均誤差ともに、オフィスビル向けに改良した PDRの方が従来の PDR よりも誤差が小さくなり、精度向上の効果が得られたことを確認できた。

一方、マップマッチングによる歩行軌跡の補正をオフィスビルに適用した場合に、実際には歩行していない通路に補正される場合があるという課題がわかった。また、近未来の歩行軌跡の予測処理の改良に向けた追加の評価も必要である。

今後は、上記課題を解決する方策と近未来の歩行軌跡の予測処理の改良に必要な評価内容を検討する。

参考文献

- [1] 経済産業省, 第2部 エネルギー動向 第1章 国内エネルギー動向 第2節 部門別エネルギー消費の動向.
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020html/2-1-2.html>
- [2] 吉見駿, 村尾和哉, 望月祐洋, 西尾信彦. マップマッチングを用いた PDR の軌跡補正. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) ,2014-UBI-44(20),p1-8.
- [3] 西尾信彦. 図解よくわかる屋内測位と位置情報. 日刊工業新聞社, 2018, 104p-107p.