

歩行軌跡形状を歩行者用道路トポロジ情報から検索する 屋内歩行者位置推定法

沢田 健介^{1,2,a)} 花田 雄一¹ 森 信一郎¹ 佐々木 重信²

受付日 2012年4月20日, 採録日 2012年10月10日

概要: 本論文では, GPS などの衛星測位インフラを使用することが困難な屋内環境で, 測位のためのインフラを必要とせず, かつ, メンテナンスが容易な歩行者の位置情報サービスを提供することを目的とした新しい歩行者位置推定法を提案し, その実現可能性について検討する. 提案方式は, 携帯電話に内蔵された歩数計とジャイロセンサを使用した慣性航法により推定した歩行者の歩行軌跡形状と相関が高い形状を持つ道路トポロジの組合せパターンを既存の歩行者用道路トポロジ情報の中から検索することで歩行者の位置を推定する. 実際に携帯電話を使用して実施した評価実験により, 提案方式が被験者の違いや歩行条件の違いから受ける影響量が提案方式を実現するうえで障害とならないことを確認した. さらに実際に携帯電話を使用した実験により川崎市の地下街で提案方式の実現可能性を調査し, 提案方式が測位用のインフラを使用することなく歩行者の位置を推定できる可能性があることを示した.

キーワード: 歩行者位置推定, 道路トポロジ情報, 歩行軌跡形状, 慣性航法

Indoor Pedestrian Positioning Method by Searching Trajectory Shape from Topology Data for Pedestrian

KENSUKE SAWADA^{1,2,a)} YUICHI HANADA¹ SHINICHIRO MORI¹ SHIGENOBU SASAKI²

Received: April 20, 2012, Accepted: October 10, 2012

Abstract: In this paper, a pedestrian positioning method based on a pattern matching technology is proposed for an environment without satellite positioning infrastructures such as GPS. The proposed method presumes a pedestrian's position by searching the trajectory shape estimated by the inertial navigation technology with pedometer and gyroscope built in the mobile phone, from the existing road topology data base for pedestrian. Experimental result shows that the proposed method has robustness about the influence of the difference in a pedestrian or the difference in walking behavior. In addition, the possibility of providing the present position information of the pedestrian in an actual under mall environment with no positioning infrastructure is shown.

Keywords: pedestrian positioning, road topology data, trajectory shape, dead reckoning

1. まえがき

近年, ユビキタス情報社会の急速な発展にともない, 歩行者向け位置情報サービスの需要が増加している [1], [2].

¹ 富士通研究所
Fujitsu Laboratories Limited, Kawasaki, Kanagawa 211-8588, Japan

² 新潟大学大学院
Graduate School of Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

a) sawaken@jp.fujitsu.com

なかでもスマートフォンなどの小型情報端末を使用した SNS (Social Networking Service) の利用者による需要の増加が著しい [3].

従来, 歩行者の位置情報を取得する手段には GPS (Global Positioning System) [4] に代表される全地球航法衛星システム (以下, GNSS; Global Navigation Satellite Systems) [5] が多用されてきた. しかし, 建物内や地下街などの屋内では測位用衛星からの電波が十分な強度で到達しないため, GNSS のインフラを利用することが困難だっ

た [4], [5], [6], [7]. また, 位置情報サービスを利用するために新規にインフラを整備することはコストの問題があり現実的ではない. そのため, 屋内環境では新規の測位インフラに依存しない歩行者の位置情報を取得する技術の実現が課題となっている. 屋内でも屋外と同様に歩行者の位置情報を提供できるようになることは位置情報サービスが利用できないエリアを減らすことにつながり, ユビキタス情報社会をさらに発展させるうえで有益であると考えられる.

そこで, 本論文では GNSS などの大規模な測位インフラが使用できない場所で歩行者の位置情報を取得する新方式として, 歩行者の歩行軌跡形状と相関が高い形状を持つ道路トポロジの組合せパターンを既存の歩行者用道路トポロジ情報である歩行者ネットワーク情報 [8] のデータベースの中から検索することで歩行者の位置を推定する手法を提案する. そして, 提案方式を実現するうえで重要な歩行軌跡形状の推定機能が, 被験者の違いや歩行速度の違いから受ける影響量を実験により調査し, さらに実際に地下街を歩行する実験により, 提案方式の実現可能性を確認した.

本論文 2 章では, 大規模な測位用のインフラによらない歩行者のための位置推定技術の従来技術とその課題について述べる. 3 章では, 提案方式の原理を説明し, 具体的な構成を述べ, 提案方式が正常に動作するための条件について述べる. 4 章では, 被験者の違いや歩行条件の違いが提案方式に与える影響について調査する. 5 章では, 実機を使用して実際の地下街で実施した提案方式の実現可能性を調査した結果を示す. 6 章では 4 章および 5 章の結果について考察する. そして 7 章で本論文を総括する.

2. 従来技術

大規模な測位用のインフラに依存しない歩行者のための位置推定技術は, ある特定の地点から半径数メートル以内の位置情報を提供する技術 (以下, スポット測位技術) と, ユーザが移動した経路に沿って連続的に位置情報を提供する技術 (以下, 連続測位技術) に大別され, それぞれ以下のような特徴を持っている.

- スポット測位技術:

可視光線 [9], 赤外線 [10], 超音波 [11], Bluetooth [12], [13], Zigbee [14], UWB [15], [16], RF-ID [17], 画像マーカ [18], 屋内 GPS (以下, IMES ; Indoor Messaging System) [19] など様々な方式が検討されている. いずれの方式も設置場所が既知である測位用のインフラから半径数メートル程度の狭い範囲に放射された電磁波や光線を放射してそれを検出したり, カメラで設置場所が既知である画像を認識したりすることで対象の現在地を推定する.

しかし, スポット測位技術はその原理上, 歩行者を含む移動する対象の位置情報を連続的に取得することに適していない. スポット測位技術を使用して連続的に

位置情報を取得するためには多数のスポット測位用のインフラを設置する必要がある, 現実には困難である.

- 連続測位技術:

(1) 無線 LAN を利用する方式と, (2) スポット測位技術と自律航法技術を組み合わせた方式が検討されている.

(1) の無線 LAN を利用する方式では, 無線 LAN のアクセスポイントを測位用のインフラとして使用する. 無線 LAN のアクセスポイントが発射する電波はスポット測位技術で使用されるインフラが発射する電磁波や光線と比較して広範囲に到達するため連続測位技術を実現するための手段として多数検討されている. そしてその測位方式は複数の異なる地点に設置されたアクセスポイントから送信された電波の受信電界強度を観測する RSS (Received Signal Strength) 方式, 到来方位を推定する AOA (Angle Of Arrival) 方式, 到達時間差を使用する TDOA (Time Difference Of Arrival) 方式 [20] に大別される [21]. 無線 LAN を利用する方式は, 電波の受信電界強度や屋内伝搬路を安定させる必要があるため, 測位に使用することを意識してインフラを整備する必要があることが課題である [22].

(2) のスポット測位技術と自律航法技術を組み合わせて使用する方式は, 各種のスポット測位方式で取得した絶対位置情報を基準として, 慣性航法技術を応用した自律航法によって算出された相対位置情報を利用して位置を推定する方式が検討されている [23], [24], [25]. スポット測位と自律航法技術を組み合わせた方式は自律航法技術を適用するために測位対象の基準となる絶対位置情報と針路情報を検出することが必要で, これらの情報を検出する手段を確保する必要があった [26].

すなわち, 従来検討されている技術では, インフラを必要とせず, 移動体の絶対位置情報と針路情報を検出する手段が必要であり, 従来, そのような技術は確立されていなかった.

3. 提案方式

そこで本論文では, 従来方式では不可能だった, 測位のためのインフラを必要とせず, かつ, 位置情報と針路情報を検出することが可能な屋内歩行者位置推定方式を提案する. ここで, 測位のためのインフラとは, 高精度な絶対位置情報をただちに取得可能なインフラを指すものとし, 半径数百メートル以上のエリアを特定する手段は含まない.

3.1 原理

提案方式の原理を図 1 に示す. 提案方式では, 図 1 に示すように, 端末搭載センサによって推定されたユーザの歩行軌跡形状と相関が高い形状を持つ道路トポロジ情報の

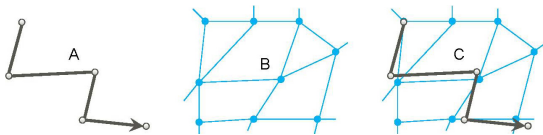


図 1 歩行軌跡の形状を道路トポロジ情報の中から検索する原理
Fig. 1 Principle of searching trajectory shape from the pedestrian network data.

組合せパターンを既存の歩行者ネットワーク情報のデータベースの中から検索することでユーザが歩行した経路を推定する。

なお、図 1 では、説明を簡単にするために狭いエリアのトポロジ情報を例示しているが、実際には広いエリアの膨大な量のトポロジ情報の中から歩行軌跡の形状と類似するトポロジ情報の組合せを検索する。提案方式はこの点においてユニークであり、GPS などの測位手段によって詳細な絶対位置情報を得た後に、その絶対位置情報と最も地理的に近いトポロジ情報に移動軌跡をマッチングさせる従来のカーナビゲーションシステムにおけるマップマッチング技術とは本質的に異なる。

図 1 の A は端末に搭載されたセンサを使用して推測航法によって推定された、ある移動区間におけるユーザの歩行軌跡形状である。図 1 の A において、ユーザは矢印の向きに移動したことを示しており、A の矢印の先が現在地であり、矢印の向きは現在地に到達した際のユーザの針路を意味する。図 1 の B はユーザが存在するエリアのトポロジ情報である。トポロジ情報とは、図 1 に示すような複数のノードとリンクから構成されている情報である。ノードは交差点や道路の曲がり角を意味しており、その位置情報は現実世界の緯度・経度・高度から構成される座標情報と一致している。リンクは移動可能な経路を意味しており、その長さや角度は現実世界の道路の長さ・方位と一致している。ユーザが存在するエリアは、たとえば直前まで得られていた位置情報から推定する。ここで推定対象とするエリアは、トポロジ情報を検索する範囲なので、その位置情報の精度は不要である。図 1 の C は A の形状と類似したリンクの組合せパターンを B の中から検索し、最も A の形状と相関が高い B のリンクの組合せパターンを探し出した結果を示している。したがって、図 1 の C に示すように、A の形状と最も相関が高い形状を B のトポロジ情報の中から検索することは、ユーザが現実世界で歩行した経路を推定することを意味する。そして同時に、A の最終ノードの位置情報はユーザの現在地を、A の最終リンクの方位はユーザの針路を意味することから、本方式で歩行軌跡形状に一致するトポロジ情報を発見することは、移動した経路と、現在地と、現在地における針路の推定に成功したことを意味している。A の終点における針路情報が得られることは、A の終点を基準として自律航法技術によりユーザの位置を追跡することが可能になることを意味する。

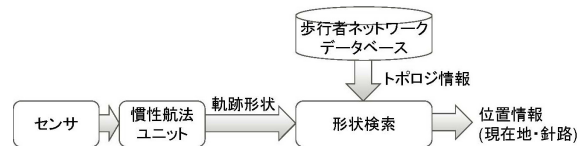


図 2 提案方式を具現化する方式の構成
Fig. 2 Block diagram of the proposed method.

以上説明した原理ではユーザの位置推定に必要な情報は端末などで取得した歩行軌跡形状の情報とユーザ周辺のトポロジ情報であるため、本方式は原理的に測位用インフラが使えない場所であっても利用可能な方式であるといえる。検索対象とするトポロジ情報の抽出エリアを決めるための何らかの手段は必要であるが、この手段は大雑把なエリアを決定できればよく、正確な位置情報を取得する必要はない。したがって、この手段を実現するために測位用のインフラは不要であると考えられる。さらに、地図情報サービス会社が提供する既存のトポロジ情報を使用することにより、提案方式は、測位のための新しいインフラを設置することなく測位を実現することが可能になると考えられる。

3.2 方式検討

3.2.1 全体構成

提案方式を具現化するための方式を検討する。提案方式を具現化するためには図 2 に示すように、歩行軌跡形状を検出する慣性航法ユニットと、歩行軌跡形状と相関が高いトポロジ情報の組合せを歩行者ネットワークのデータベースの中から検索する形状検索ブロックが必要になる。

3.2.2 慣性航法ユニット

まず、歩行軌跡形状を検出する慣性航法ユニットの具現化方法について述べる。歩行軌跡形状を検出するために慣性航法技術を応用した推測航法技術 [26], [27], [28] を使用する。近年製造されている高機能携帯電話端末やスマートフォンには、端末の姿勢に連動した画面制御やゲームなどの操作を目的として、加速度センサやジャイロセンサなど慣性航法を実現するために必要なセンサが搭載されている。そのためこれらの小型コンシューマ装置で慣性航法を実現することは困難ではない。

ジャイロセンサを使用した慣性航法技術では移動軌跡形状を忠実に追跡、すなわち、自在に曲がりくねった軌跡を推定することが可能である。しかし、本論文で提案する方式は歩行軌跡形状を直線線分（リンク）の組合せから構成されるトポロジ情報の中から検索することから、歩行軌跡形状も単純な直線と旋回角の組合せからなる情報で表現されていると都合が良い [29], [30]。

そこで、一定以上の変針角をとまなわない直進、すなわち、旋回をとまなわない蛇行は直線歩行と見なし、歩行軌跡の形状を複数の直線線分の組合せで表現する。

そして上記直線線分どうしがなす角、すなわち変針角 ϕ

は、式 (1) に示すように端末に搭載されたジャイロセンサの角速度 $\omega(t)$ を時間積分して算出する。そして ϕ があらかじめ定めた閾値を超えたら旋回と判定し、旋回が検出された地点をそのリンクの終点とする。

$$\phi = \int \omega(t) dt \tag{1}$$

リンク長、すなわち、移動距離 L は歩数計を使用して推定する。ある区間で歩数計が出力した歩数を n 、ユーザの歩幅を l としたとき、 L は式 (2) となる。

$$L = nl \tag{2}$$

以上のようにして旋回が検出されたら移動形状の曲がり角とし、その旋回角は ϕ である。旋回が検出されない場合は移動形状の直線と判定する。以上により慣性航法ユニットは算出した移動形状を直線線分の長さ、すなわちリンク長 L と、連続するリンクとリンクがなす角、すなわちリンク接続角度 ϕ として出力する。

以上述べたように慣性航法ユニットは歩数計とジャイロを使用してリンク長 L を算出することから、 L と ϕ は被験者の歩幅や歩行速度などの歩行条件の影響によって、同一のルートを行歩したとしても被験者によって得られる値が異なることが予想される。この被験者や歩行条件の違いに起因する差分が誤差となり、提案方式が正常に動作しなくなる恐れがある。このような事態を避けるため、提案方式が被験者や歩行条件の違いに起因する誤差の性質を知る必要がある。

そこで、本論文では、この種類の誤差の性質を知るための調査を実施して、提案方式の実現可能性を確認する。そのために形状検索部の具体的な構成を想定し、形状検索部が正常に動作するための要求条件、すなわち、慣性航法ユニットの出力が持つ誤差に対する要求条件を明確にする。形状検索部が正常に動作するための要求条件を見積もるために想定した形状検索部の構成を次項で示す。

3.2.3 形状検索

本項では、3.2.2 項で述べた目的のために想定した形状検索部の構成について述べる。形状検索部では検出された歩行形状と相関が高いトポロジ情報の組合せを歩行者ネットワーク情報の中から検索する。

表 1 に市販されている歩行者ネットワーク情報の一例を示す。表 1 に示すように、市販されているトポロジ情報には多くの情報が含まれている。本提案方式では位置推定を始める前にユーザが歩行するエリアのトポロジ情報を、事前に歩行者ネットワーク情報のデータベースから取得しておく。

検出された歩行形状の組合せと相関が高いトポロジ情報の組合せを探索する基本手法として、以下の 2 通りの手法が考えられる。

表 1 歩行者ネットワーク情報の一例

Table 1 An example of the pedestrian network data format.

トポロジ情報の種別	情報の種類	概要
ノード情報	ノード番号	通し番号
	座標情報	日本測地系緯度・経度・標高
	接続リンク情報	そのノードに接続しているリンクの本数・リンク番号
リンク情報	リンク番号	通し番号
	幅員情報	リンク（通路）の道幅
	始点・終点情報	当該リンクの始点と終点のノード番号
	リンク勾配情報 リンク長情報	

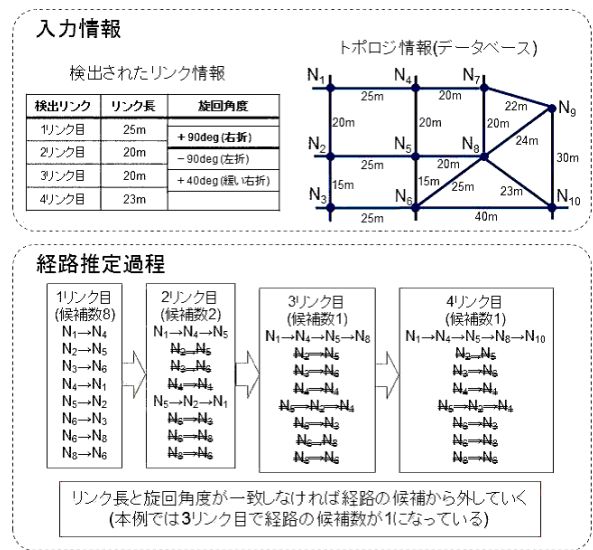


図 3 形状検索手法 1 の動作説明図

Fig. 3 Operation diagram of the 1st trajectory shape search method.

- 点・線が持つ情報を利用する形状検索手法
- 面が持つ情報を利用する形状検索手法

前者は低次元な情報、すなわち、点情報（あるノードにおけるリンクとリンクの接続角度情報）と線情報（リンク長）を利用する手法で、後者は前者の手法と比較して高次元な情報、すなわち面情報（複数のリンクのグループが描く形状そのものを情報として利用する手法）である。

以下、便宜上、前者の手法を形状検索手法 1、後者の手法を形状検索手法 2 と称する。以下にそれぞれの手法の詳細を示す。

- 形状検索手法 1（点・線が持つ情報を利用する形状検索手法）：

形状検索手法 1 の動作説明図を図 3 に示す。図 3 で、 $N_1 \sim N_{10}$ はノード番号、各ノードを結ぶ直線はリンクで、リンクの傍に書かれている数値はリンク長（単位メートル）である。

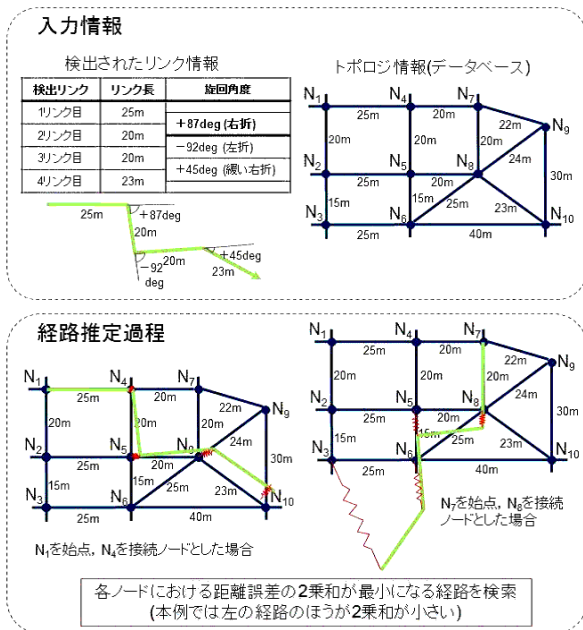


図 4 形状検索手法 2 の動作説明図

Fig. 4 Operation diagram of the 2nd trajectory shape search method.

図 3 に示すように、形状検索手法 1 の入力情報は検出されたリンク情報とトポロジ情報となる。形状検索手法 1 の経路推定過程では、検出されたリンク長情報と、そのリンクと次に続くリンクの接続角度情報（すなわち旋回角度情報）が一致するトポロジ情報を含む経路を経路の候補として残り、リンク情報が一致しない経路は経路の候補から外していくことで歩行経路を絞り込む。この操作を繰り返すことで歩行経路形状と相関が高いトポロジ情報の組合せを推定する。検出されたリンク情報は検出誤差を含むことが予想されるが、この誤差は、情報の一致判定をする際にマージンとして考慮することで吸収する。

- 形状検索手法 2（面が持つ情報を利用する形状検索手法）：

形状検索手法 2 の動作説明図を図 4 に示す。図 4 で、N₁~N₁₀ はノード番号、各ノードを結ぶ直線はリンクで、リンクの傍に書かれている数値はリンク長（単位メートル）である。

形状検索手法 2 の入力情報も、形状検索手法 1 と同様に検出されたリンク情報とトポロジ情報である。形状検索手法 1 と異なるのは、推定された経路の形状（図 4 内の表の下に描かれてある形状）をトポロジ情報の中から検索することである。この検索を実現するために、総当たりで経路の形状をトポロジ情報のグループにあてはめ、推定されたノードとトポロジ情報のノードの距離の差を誤差とし、誤差の 2 乗和が最小となる経路を歩行経路として推定する。形状検索手法 2 ではリンク数が増えるに従ってリンク長と旋回角の推定誤差が

蓄積し、経路の形状が持つ誤差が増大してしまうことが予想される。そのため 1 度に比較するリンク数を 3 リンクに制限し、3 リンクずつ、それらのリンク群をトポロジ情報の中から検索する。その際、リンク群とトポロジ情報を比較するために式 (3) で示される E を使う。式 (3) で、N_k は k 番目に推定されたリンクの頂点（推定されたノード）の座標を、C_k は N_k の比較対象のトポロジ情報のノードの座標を、(N_k - C_k)² は N_k と C_k の距離の 2 乗を、それぞれ示す。

$$E = \sum_{k=1}^4 (N_k - C_k)^2 \quad (3)$$

3.3 提案方式が正常に動作するための条件

以上示した手法はが正常に動作するための条件について検討する。同一エリアにおいて隣接するリンクの長さは類似しており平均的に同じ長さであると仮定する。この場合、リンク長の推定誤差率が ±50% をよりも大きい場合、すなわち推定されたリンク長が実際のリンク長の半分以下の長さ、あるいは 1.5 倍以上の長さになった場合にそのリンクに続くリンクを誤って正しいリンクの隣のリンクにミスマッチングしてしまう確率が急増すると考えられる。

同様に、リンク接続角度も統計的に ±90 deg およびその倍数の角度が多く存在すると仮定する。この場合、リンク接続角度の推定誤差が ±45 deg を超えると旋回後にマッチングすべきリンクを誤ってしまう確率が急増する。したがって、本提案方式において上記構成の形状検索が正常に動作するための条件を以下と想定する。

- リンク長推定誤差率：±50% 以内
- リンク接続角度の誤差：±45 deg 以内

したがって、本提案方式では、慣性航法ユニットの出力が持つ誤差が上記の範囲内にあるときに正常に動作するものとする。次章に示す評価実験により、本提案方式がこの条件を満たすかどうか調査する。

4. 評価実験

本章では、本提案方式が前節で示した条件を満たすか否かを調査するために、慣性航法ユニットにより推定されたリンク長とリンク接続角度が被験者の違いと歩行条件の違いによって発生する誤差量を実験により調査する。

本調査では、被験者の腰に装着したホルダに市販の携帯電話端末を固定し、この携帯電話端末に搭載された歩数計とジャイロセンサと加速度センサの出力を実験データとして専用ソフトで記録した。そして記録されたデータをオフラインで処理してリンク長とリンク接続角度を推定した。4.1 節でリンク長の推定誤差率に関する調査結果を、4.2 節でリンク接続角度推定誤差に関する調査結果を、それぞれ示し、4.3 節でこれらの調査実験結果をまとめる。

表 2 被験者のプロフィール
Table 2 Profiles of the test subject.

被験者 ID	身長 [cm]	年齢	性別	歩幅 [cm]
1	173	30	男	65.1
2	172	27	男	72.8
3	178	44	男	73.4
4	173	47	男	69.7
5	170	53	男	62.2
6	183	33	男	71.2
7	161	43	男	68.0
8	169	29	男	66.3
9	156	29	女	66.1

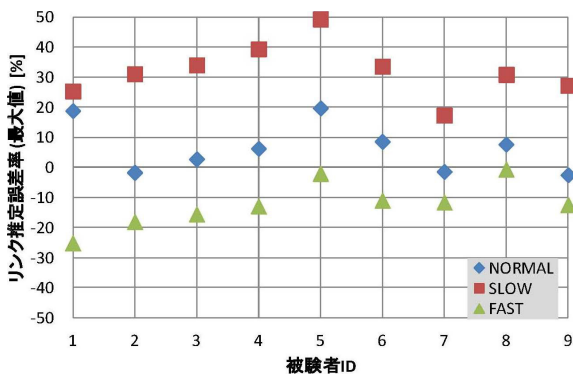


図 5 リンク長推定誤差率 (最大値)

Fig. 5 Maximum error rate of the estimated link length.

4.1 リンク長推定誤差率に関する調査

被験者や歩行条件の違いがリンク長の推定結果に与える影響を調査するために、年代、身長、性別が異なる 9 人の被験者が異なる 3 通りの速度で歩行した際のリンク長の推定誤差率を評価した。9 人の被験者のプロフィールを表 2 に示す。被験者の歩幅は事前に測定した。

このとき、被験者全員に、全長 40 m の直線通路上を、蛇行せずに通常速度、遅い速度、速い速度、の 3 通りの歩行速度で歩行するよう指示を与え、40 m を歩行するのに要した歩数と各被験者の歩幅からリンク長を推定し、その誤差からリンク長の推定誤差率を算出した。歩数は端末に搭載された歩数計で計測し、リンク長は式 (2) を使用して推定した。この実験は全被験者に 2 度実施した。

各被験者のリンク長推定誤差率の最大値と平均値を、図 5 と、図 6 にそれぞれ示す。

図 5 と図 6 の横軸は被験者 ID で、図 5 の縦軸はリンク長の推定誤差率 (最大値) である。図 6 の縦軸はリンク長の推定誤差率 (平均値) である。誤差率の符号は、正解よりも長く推定された場合がプラスで、正解よりも短く推定された場合がマイナスである。NORMAL, SLOW, FAST は、それぞれ被験者に指示した歩行速度 (NORMAL = 通常, SLOW = 遅い, FAST = 速い) を意味する。

図 5 と図 6 から、リンク長の推定誤差率は被験者の違いと歩行速度の影響を受けることが分かる。そして、その

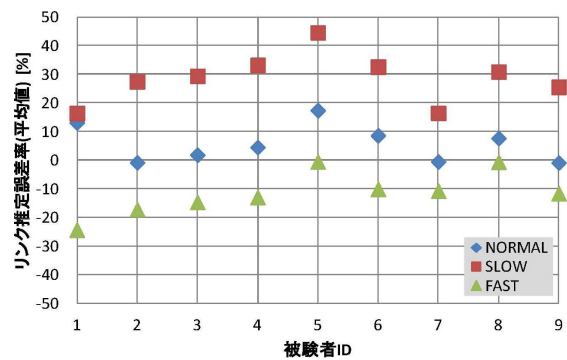


図 6 リンク長推定誤差率 (平均値)

Fig. 6 Average error rate of the estimated link length.

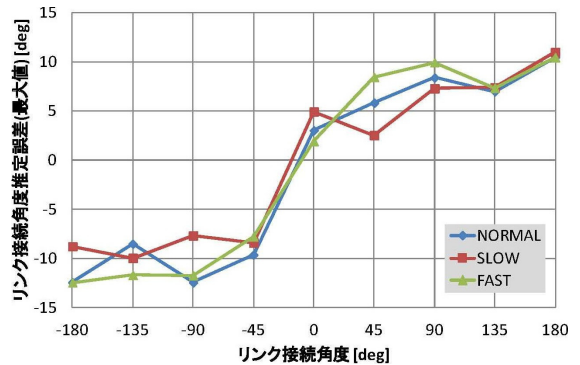


図 7 リンク接続角度推定誤差 (最大値)

Fig. 7 Maximum error of the estimated angle of traverse.

誤差率は遅い速度で歩行した場合において、最大で 50% 程度であることが分かった。通常速度、または速い速度で歩行した場合の誤差率の最大値は約 20% であることが分かった。

4.2 リンク接続角度長推定誤差に関する調査

歩行条件の違いがリンク接続角度の推定誤差に与える影響を調査するために、表 2 の被験者 3 に、通常速度、可能な限り遅い速度 (ただし現実的な歩行速度)、可能な限り速い速度 (ただし走らない)、の 3 通りの歩行速度で蛇行せずに歩行するよう指示を与え、9 通りの接続角度 (± 180 [deg], ± 135 [deg], ± 90 [deg], ± 45 [deg], 0 [deg]) の旋回角を持つ長さ 10 m の 2 本の直線上を歩行した場合の旋回角、すなわち、リンク接続角度の推定誤差を算出した。リンク接続角度は式 (1) を用いて推定し、このときの角速度は携帯端末に搭載されたジャイロセンサと加速度センサで取得したデータを使用して人体の旋回動作を支配すると考えられる鉛直線を軸とした角速度の水平成分を算出した。この実験は 10 回実施した。各リンク接続角度と歩行速度におけるリンク長推定誤差の最大値と平均値を、図 7 と、図 8 にそれぞれ示す。

図 7 と図 8 の横軸はリンク接続角度で、図 7 の縦軸はリンク接続角度推定誤差 (最大値) である。図 8 の縦軸はリンク接続角度推定誤差 (平均値) である。誤差の符

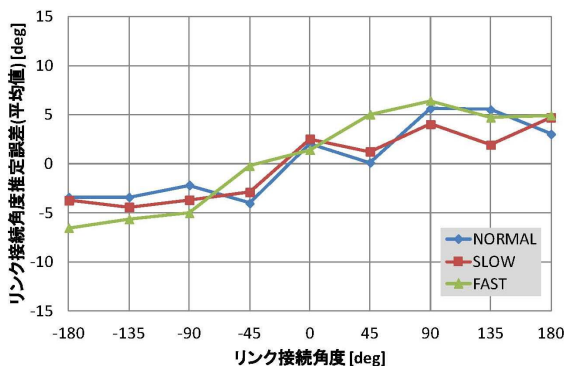


図 8 リンク接続角度推定誤差 (平均値)

Fig. 8 Average error of the estimated angle of traverse.

号は、正解よりも深く角度が推定された場合がプラスで、正解よりも浅く角度が推定された場合がマイナスである。NORMAL, SLOW, FAST は、それぞれ指定した歩行速度 (NORMAL = 通常, SLOW = 遅い, FAST = 速い) を意味する。

図 7 と図 8 から、リンク接続角度の推定誤差は歩行速度よりも旋回角、すなわちリンク接続角度の大きさによって支配されていることが分かった。そして、その誤差はリンク接続角度の絶対値が 45 [deg] 以上の場合において、最大で 13 [deg] 程度であった。この結果は被験者 3 による結果だが、歩き方、すなわち歩行速度の違いによりも旋回角の絶対値のほうが支配的であることを意味している。歩き方の違いには個人差が存在するが、旋回角の絶対値は被験者に依存しないため、リンク接続角度推定誤差は被験者の違いに支配的な影響を与えないと考えられる。

4.3 調査結果まとめ

本調査の結果をまとめる。

リンク長の推定誤差率は被験者の違いにより、ゆっくり歩いた場合において、最大で約 50%、通常速度、または速い速度で歩いた場合において最大で約 20%であることが分かった。

リンク接続角度の推定誤差は、歩行速度の影響を受けにくく、旋回角の影響を受けることが分かった。そしてその推定誤差の最大値は ± 13 [deg] 程度であることが分かった。

以上の結果は、歩行速度が遅い場合以外は、3.3 節で示した提案方式が正常に動作するための条件を下回る値であるため、本調査結果は、歩行速度が通常または速い場合において、提案方式が正しく歩行経路を推定可能な可能性が高いことを示していると考えられる。歩行速度が遅い場合においても、リンク長の推定誤差が想定した条件一杯の誤差率となるため被験者によっては提案方式が適用できる可能性があることが図 5、図 6 から読み取ることができる。

5. 提案方式の実現可能性の調査

4 章により、被験者の違いや歩行条件によらず提案方式

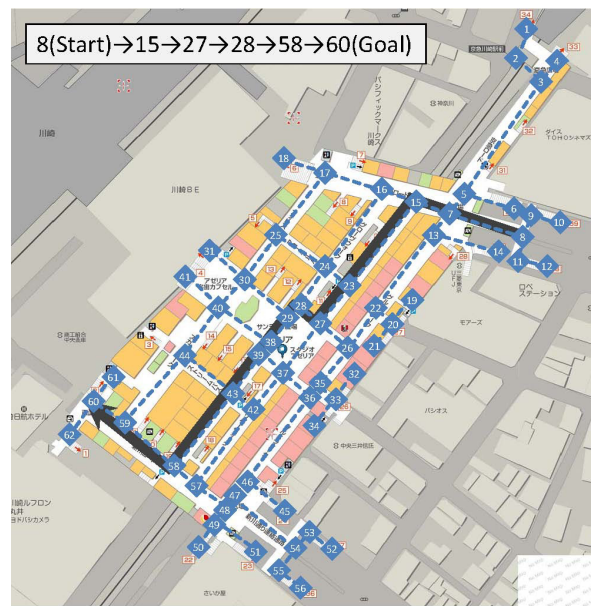


図 9 実験で歩行したルート

Fig. 9 Route of the experimental study.

は適用できる可能性が高いと考えられたが、本章では実際に地下街で実験を実施して提案方式の実現可能性を調査する。

5.1 調査条件

実験は、神奈川県川崎市の川崎アゼリア地下街で実施した。歩行ルートとトポロジ情報を図 9 に示す。

図 9 で、太い実線は歩行ルートを、◆で示されたシンボルはノードを表すトポロジ情報を、破線はリンクを表すトポロジ情報を示す。歩行ルートの矢印の向きは移動した方向を表しており、◆の中に白抜き文字で記載された数字はノードを識別するためのノード番号である。トポロジ情報は、市販の歩行者ネットワーク情報の作り方を参考にして以下の手順で作成した。

- (1) 実験を実施したエリア (地下街) 全体をカバーする通路図を用意する。
- (2) 地上など外部とつながっている階段と出入口と交差点の中央にノードを配置する。
- (3) ある 2 つのノード間に通路が存在する場合はその 2 つのノード間にリンクを配置する。

図 9 のコースの全長は 376 m で、歩行所要時間は 4 分 45 秒だった。使用したトポロジ情報のリンク長は、最小 6.7 m、平均 41.7 m、最大 97.2 m で、リンク接続角度、すなわち変針角はすべて $\pm 30 \sim 135$ [deg] の範囲内だった。床面は鏡面仕上げされた硬質の石材でほぼフラットである。実験者には、蛇行しない程度に通路の従って歩行するように指示を与え、実験は人混みが少ない時間帯に実施した。

携帯電話端末は富士通製の市販の携帯電話端末を使用し

た. この携帯電話端末には加速度センサを使用した歩数計と3軸ジャイロセンサが搭載されている. 実験者は腰に装着したホルダに携帯電話端末を固定し, 図9に示すコースを通常の歩行速度で歩いた際の歩数計の出力と3軸ジャイロセンサの出力を実験データとして専用ソフトで記録した. そして記録されたデータをオフラインで処理して歩行形状を算出した. 実験者は30歳代の成人男性で, 歩幅は67.6cmである. また, この実験者は4.1節の予備実験において被験者になっていない. 本評価実験の実験者は1人であるが, 本提案方式の測位精度はリンクの推定精度に依存するため, 基本的にはリンクの推定が正常にできれば実験者による影響は無視できると考えられる. リンクの推定精度については予備実験結果から明らかになっており, 本評価実験においては問題なくリンクの推定ができるパラメータを与えて実験を実施するため, 実験者が1人であることによる本実験結果の妥当性には問題がないと考える. リンク長は式(2)を使用して推定した. リンクの始点と終点は旋回動作を検出した地点とした. 旋回動作は, ジャイロセンサの出力を水平面に投射し角速度出力を式(1)により積分し, 旋回角 ϕ が $|\phi| \geq 30$ [deg]となった場合に旋回と判定した.

推定した歩行形状をトポロジ情報の中から検索する手法は3章で示した2つの方式で実施した. 以下に2つの手法別に実験方法とその結果を示す.

5.2 実現性の確認実験 (形状検索手法1)

形状検索手法1では以下の手順で推定された歩行形状情報をトポロジ情報の中から検索する.

- (1) 推定された各リンクの終点における変針角 ϕ を式(1)により算出する.
- (2) 推定された各リンクのリンク長に対して $\pm 37\%$ のマージンを与える.
- (3) 算出された変針角に対して ± 20 degのマージンを与える.
- (4) トポロジ情報が持つすべてのリンク情報の中から総当たりで推定されたリンクのリンク長と一致するリンクを検索する(その際, 上記で示したリンク長のマージンを考慮する).
- (5) リンク長が一致したリンク情報の中から, 推定された変針角方向に別のリンクが存在するリンク情報を残す(その際, 上記で示した変針角のマージンを考慮する).
- (6) 上記を繰り返す.

上記(2)および(3)で与えられているマージンは4.1節の調査結果において, リンク長の推定誤差率の最大値が通常歩行時で約20%であることと, リンク接続角度推定誤差の最大値が約13 [deg]であったことからこれらの値を上回るように設定した. このマージンの値は, 3.3節で述べた許容値を満足している. 形状検索手法1により推定した経



図10 形状検索手法1により推定された経路の候補

Fig. 10 Candidates of route estimated by the 1st trajectory shape search method.

路の候補と, その際, 検索したリンク数と経路の候補数の関係を図10に示す.

図10で, 2本の実線で示された経路は形状検索手法1により推定された経路の候補である. 図10では, 形状検索手法1では検索リンク数が増えるに従い徐々に経路の候補数が減少している. そして最終的に2本の候補が残っており, この2本の候補のうち1本は図9で示した実際に歩行した経路と一致していることが分かった.

5.3 実現性の確認実験 (形状検索手法2)

形状検索手法2では以下の手順で推定された歩行形状情報をトポロジ情報の中から検索する.

- (1) 推定された各リンクの終点における変針角 ϕ を式(1)により算出する.
- (2) 推定された各リンクのリンク長と変針角から移動軌跡の形状を決定する.
- (3) 任意のノードを始点とし(すべてのノードを総当たりで), それに続くトポロジ情報のノードを移動軌跡の形状とリンク数にあわせて選択する.
- (4) 推定された k 番目のノードの座標を N_k , そのノードに対応するトポロジ情報のノードの座標を C_k とするとき, 式(3)で算出される E が最小になる N_k の組を検索する.
- (5) 上記を繰り返す.

形状検索手法2による実験結果を図11と図12に示す. 形状検索手法2では, 検出されたリンク群をトポロジ情



図 11 推定された経路 (形状検索手法 2)

Fig. 11 Route estimated by the 2nd trajectory shape search method.

N₂~N₄の組合せが同じものを探索し、組合せが違えば候補から除外していく

	Link 1~Link 3 が通過したノード の候補					Link 2~Link 4 が通過したノード の候補					Link 3~Link 5 が通過したノード の候補							
	E	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	E	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	E	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆			
候補1	28	7	17	40	41	×	28	16	29	30	59	×	10	27	28	58	60	○
候補2	31	40	59	48	50	×	36	15	27	28	58	×	19	26	27	57	59	
候補3	32	8	15	27	28		40	13	26	27	57		29	27	28	58	59	
候補4	37	8	16	28	27	×	40	3	7	15	27		36	26	27	57	60	
候補5	40	7	17	30	31	×	42	3	7	16	29		51	26	28	58	59	
候補6	43	30	59	48	49	×	42	13	26	28	58		55	33	35	48	59	
候補7	44	8	16	29	30		43	7	26	27	57		56	7	15	37	39	
候補8	46	40	59	48	49	×	44	7	26	28	58		57	26	27	57	58	
候補9	49	15	17	40	41	×	45	3	7	15	37		61	61	60	48	50	
候補10	57	30	59	48	50	×	47	3	7	16	38		63	23	24	58	60	

図 12 E と推定された経路候補の関係 (形状検索手法 2)

Fig. 12 Relation between the candidates of route and the Es (the 2nd trajectory shape search method).

報の中から検索する際に、すべてのリンクを一気に検索するのではなく、少ないリンク群 (本例では3リンク) ごとにEが最小となる経路の候補を検索し、その操作を1リンクずつシフトさせて経路の候補を徐々に絞り込むことで歩行経路を検索する。図 11 で3本の実線で示されたリンク群は、それぞれ次の番号を持つノードを矢印で示した順番に通過する3本のリンクからなるリンク群である。

- 青線 (Link 1~Link 3) : ノード 8→15→27→28
- 赤線 (Link 2~Link 4) : ノード 15→27→28→58
- 緑線 (Link 3~Link 5) : ノード 27→28→58→60

ここで、Linkの後に付加されている数字は、歩行を開始してから検出されたリンクに1から昇順で付けられたリンク番号である。

図 12 は、Link 1~5 を3つのリンク群に分割し、その3つのリンク群のそれぞれのリンク群をトポロジ情報の中から経路の候補を示している。図 12 のEは、式 (3) に

よって求めた値であり、Eが小さいほど検索された候補が正解経路に近いことを意味する。図 12 で着色された候補は、そのリンク群において正解経路である可能性がある候補、すなわち生き残った経路の候補で、×印が付加された候補は、次のリンク群に同じ配列のノードが存在しないことから正解経路である可能性がなくなった候補、すなわち候補から外れた候補を意味する。

したがって、図 12 で黄色で着色された候補、すなわち、

- Link 1~Link 3 のリンク群の候補 3
- Link 2~Link 4 のリンク群の候補 2
- Link 3~Link 5 のリンク群の候補 1

が候補として生き残ったリンク群である。図 9 で示したように、正解経路は、ノード 8→15→27→28→58→60 なので、形状検索手法 2 による実験結果は、歩行コースと一致した経路を推定することに成功したことが分かった。

5.4 提案方式の実現可能性の調査結果まとめ

5.2 節と 5.3 節の結果によれば、提案方式は、形状検索手法 2 を採用した場合において正しく実際に歩行した経路を推定できた。形状検索手法 1 を採用した場合においては唯一の歩行経路を推定することはできなかったが、実際に歩行した経路を含む2つの経路を推定することができた。以上から、本確認実験の実施条件における提案方式の実現可能性が確認された。

6. 考察

6.1 提案方式の適用範囲について

4章で示した調査結果によれば、被験者の違いがリンク長とリンク接続角度に与える影響は3章で示した提案方式が正常に動作するための条件を満たしており、5章の結果もそれを裏付ける結果を示していた。このことから、提案方式は被験者が通常考えられる範囲の歩行速度で蛇行せずに直線的に歩行している限りは提案方式は年齢、性別、歩行速度の影響をほとんど受けないと考えられる。しかしながら、今回調査対象としなかった、停止や走行や蛇行を含む場合、および、子供、60歳代以上の高齢者においては影響が未知であるため現段階では本方式の適用対象外である。

5章で示した調査実験では、特定の地下街のトポロジ情報をあらかじめ取得することに成功したことを前提として実験を実施しているが、最初にどのエリアのトポロジ情報を検索対象とするかを決定するための大雑把な位置推定結果が非常に大きな誤差を持ち、選択されたトポロジ情報の中に正解となる経路の一部、または全部が含まれなかった場合、提案方式による経路推定結果は誤差を持つか、あるいはまったく間違った結果を出力してしまうと考えられる。したがって、提案手法は、歩行軌跡形状の検索対象とするトポロジ情報が歩行したルートのトポロジを含んでいることが必要になる。トポロジ情報を非常に広範囲に取得すれ

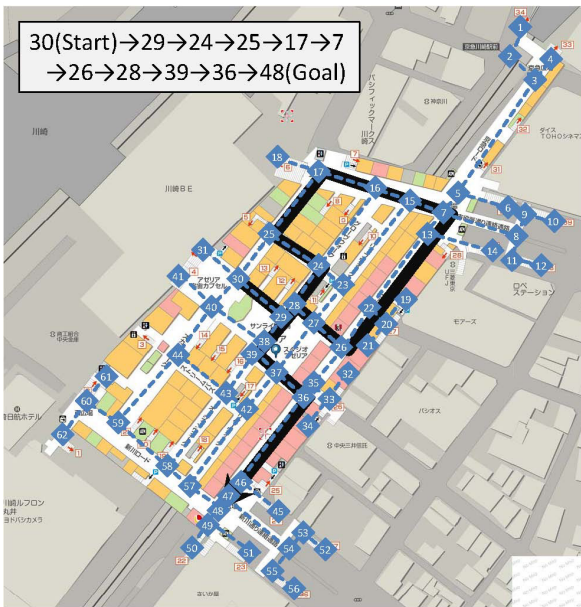


図 13 10 リンクからなるルート

Fig. 13 Route which consists of 10 links.

ばこの問題は解決されると考えられるが、広範囲すぎた場合は検索が困難になることが予想される。現段階では、川崎アゼリア（面積約 56,000 平米）において提案方式の実現可能性が確認されているが、さらに広い範囲における実現可能性、および、適切な範囲のトポジ情報を取得する方式については今後検討が必要である。

6.2 経路推定結果について

5章で示したように、5リンクからなるコースを歩行した場合に、形状検索手法1、形状検索手法2ともに、実際に歩いたルートに一致する経路を推定することができた。しかし、形状検索手法2が実際に歩いたルートだけを推定したのに対し、形状検索手法1は、実際に歩いたルートとは異なる候補も推定した。形状検索手法1が2本の経路を候補として残してしまった原因として、歩行したリンク数が少なかったことが考えられる。そこで、評価実験を実施したのと同じトポジデータを持つエリア内において、図13に示す10リンクからなるルートを歩行し、形状検索手法1により経路を推定した。

図13のコースの全長は547mで、歩行所要時間は6分55秒だった。使用したトポジ情報、実験者、コースの条件、および、実験者への指示内容は形状検索手法1・2の評価実験と同一である。結果を図14に示す。

図14から分かるように、リンク数を10に増やした場合に得られた経路の候補数は25だった。しかし25の候補の中に正解ルートが含まれていたことから、形状検索手法1は正解ルートを推定することができないのではなく、候補数を減らすことが困難な方式であると考えられる。候補数を1本に絞ることができない原因はリンク長と変針角の推

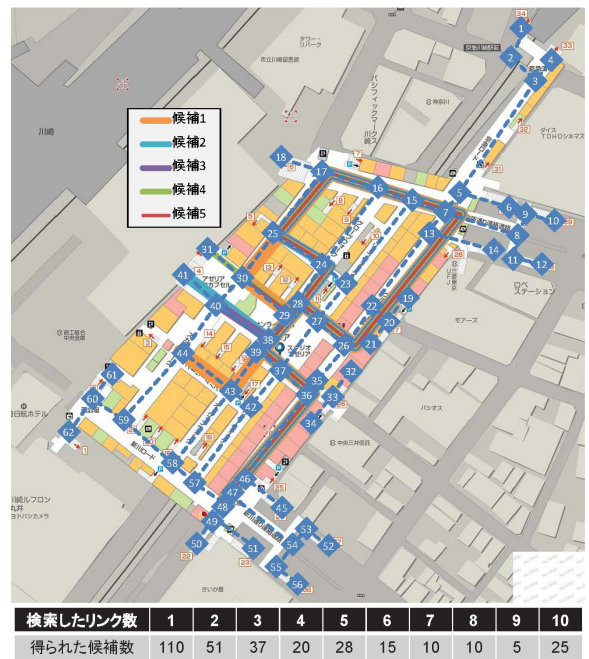


図 14 10 リンクからなるルートを歩行し形状検索手法1により経路を推定した結果

Fig. 14 Result of the route of Fig.13 by the 1st trajectory shape search method.

定マージンが大きいためと考えられる。この推定マージンを小さくすると候補数は減ると予想されるが、正解経路を含む候補が検索できなくなってしまう可能性があるため最適な値を与えることが困難と考えられる。

一方で、形状検索手法2は、3リンクから構成されるリンク群単位でトポジ情報との誤差を算出することで歩行した経路を推定することに成功した。

以上の結果から、形状検索手法1と形状検索手法2を比較すると、形状検索手法2の方が経路を1本に絞り込むことができた点で優位な方式であることが分かった。この差は、歩行形状を推定する際の推定マージンによるものと考えられる。なぜなら、形状検索手法1は推定マージンを持っている分原理的に誤差が大きくなるからである。一方、形状検索手法2は推定誤差をEが吸収する効果を持っており、これが有利に働いたと考えられる。

また、トポジ情報の適用可能性についても考慮が必要だが、今回検討した変針角、すなわちリンク接続角度が ± 45 [deg]~ ± 135 [deg]の範囲内で変針する場合であればリンク推定は正しく行われることが4.1節の調査実験から判明しているので適用の範囲内である。

また、トポジ情報の数や道路の幅の影響については、調査されていないので、どれだけ広い範囲のトポジ情報に対応可能で、また、道路幅の影響がどの程度あるのかについては今後調査が必要である。

7. むすび

本論文では、慣性航法によって得られた歩行軌跡形状を、

歩行者ネットワークデータベースが持つトポロジ情報から検索することによって測位のためのインフラを使用することなく歩行者の歩行経路を推定する方式を提案した。

提案方式の有用性を検証するために、被験者の違いや歩行条件の違いが歩行軌跡形状の推定性能に与える影響を調査する実験を実施した。実験の結果、年代、身長、性別が異なる9人の被験者により、蛇行せずに通常速度、遅い速度、速い速度の3通りの歩行速度で歩行した場合に推定されるリンク長とリンク接続角度の推定誤差がそれぞれ $\pm 20\%$ (平均)~ 50% (最大), $\pm 13\text{ deg}$ 程度であることが分かった。

そして、提案手法の実現可能性を調査するために、2つの経路検索手法による歩行経路を推定する実験を実施した。道路トポロジとリンクをマッチングさせる方式として、歩行形状のリンク長と変針角情報をそのままマッチングに使用する形状検索手法1では5リンク歩行した際に実際に歩行したルートを含む2本の経路にルートの候補を絞ることができた。この方式では、歩行リンク数を10に増やしても歩行経路の候補数を減らすことができないことも分かった。そして、ノードの推定位置誤差の総和を使用する形状検索手法2では、5リンク歩行した際に実際に歩行したルートを推定することができた。以上から、今回の実験結果から、提案した2方式はいずれも実際に歩行したルートを推定するうえで有効に作用し、形状検索手法1と比較して形状検索手法2が優位であったことを示した。そしてそのときに必要とされるリンク数は5であり、測位精度はトポロジ情報が持つ精度と同等の精度が期待される。

以上の結果から、本論文で提案した方式を適用することで測位のためのインフラを使用することなく、歩行者の歩行経路が推定できる可能性があることが、実際の地下街で実施した検証実験で確認された。

しかし、今回は正解のルートを含むトポロジ情報をあらかじめ選択していたが、実際にはこのトポロジ情報を正しく選択できない可能性もある。また、他のエリアのトポロジ情報を使用しての動作確認も必要である。そこで今後は、他のトポロジ情報を持つエリアでの動作確認と、トポロジ情報の複雑さの影響について、さらに、経路の検索対象とするトポロジ情報のエリアの広さがどの程度まで広くできるのかについてと、道路幅の影響に関して調査する予定である。

参考文献

- [1] NTTドコモ：位置情報を活用したターゲティング情報配信 ASP サービス「次ナビ」を提供開始、入手先 <http://www.nttdocomo.co.jp/info/newsrelease/page/09033001.html> (参照 2009-03-30)。
- [2] Skyhook Wireless: *Location Aware App Report* (2010)。
- [3] 岸本直樹, 岩原俊彦：時空間情報共有システムの提案とそのコミュニケーション支援特性, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J95-D, No.4, pp.769-777 (2012)。
- [4] 安田明夫：GPSの展望, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No.12, pp.2082-2091 (2001)。
- [5] 土屋 淳, 辻 宏道：GNSS 測量の基礎, 日本測量協会 (2008)。
- [6] Herbert, N. et al.: High Sensitivity GNSS platform for deep indoor scenarios, *Proc. IPIN2010* (2010)。
- [7] Broumandan, A., Nielsen, J. and Lachapelle, G.: Indoor GNSS Signal Acquisition Performance using a Synthetic Antenna Array, *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, Vol.47, No.2, pp.1337-1350 (2011)。
- [8] MAPPLE ルーティング・歩行者ネットワークデータ, 昭文社。
- [9] 松岡義大, 間邊哲也, 長谷川孝明, 古川誠治：歩行者 WYSIWYAS ナビゲーションシステムへの可視光通信の応用, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS107, No.51, pp.7-11 (2007)。
- [10] 中村嘉志, 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾 豊, 西村托一：複数の赤外線タグを用いた相対位置関係からのトポロジカルな位置および方向の推定, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1349-1360 (2007)。
- [11] 別所正博, 小林真輔, 越塚 登, 坂村 健：ユビキタスコンピューティングと屋内環境の位置認識, 電子情報通信学会誌, Vol.92, No.4, pp.249-255 (2009)。
- [12] Hallberg, J., Nilsson, M. and Synnes, K.: Positioning with Bluetooth, *Proc. ICT 2003* (2003)。
- [13] Ling, P., Ruizhi, C., Jingbin, L., Heidi, K., Tomi, T. and Yuwei C.: Using Inquiry-based Bluetooth RSSI Probability Distributions for Indoor Positioning, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.9, No.2, pp.122-130 (2010)。
- [14] 高梨郁子, 斎藤謙一, 安藤康臣, 稲坂朋義, 古和善治：ZigBeeTM を利用した、歩行者の位置特定に関する実験, 情報処理学会研究報告, ITS 2005, No.21, pp.105-111 (2005)。
- [15] Taok, A., Kandil, N., Affes, S. and Georges, S.: Fingerprinting Localization Using Ultra-Wideband and Neural Networks, *Proc. ISSSE 2007*, pp.529-532 (2007)。
- [16] Gezici, S., Zhi, T., Giannakis, G.B., Kobayashi, H., Molisch, A.F., Poor, H.V. and Sahinoglu, Z.: Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.22, No.4, pp.70-84 (2005)。
- [17] Chon, H., Jun, S., Jung, H., et al.: Using RFID for accurate positioning, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.3, No.1-2, pp.32-39 (2004)。
- [18] 小林清孝, 伴 好弘, 上原那昭：ウェアラブル AR システムのための自立型位置追跡装置と二次元マーカとを併用した三次元位置軌跡取得手法, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, Vol.104, No.572, pp.25-30 (2005)。
- [19] Troyk, P.R., DeMichele, G.A., Kerns, D.A. and Weir, R.F.: IMES: An Implantable Myoelectric Sensor, *Proc. EMBS 2007*, pp.1730-1733 (2007)。
- [20] 谷口健太郎, 河野隆二：TDOA 型センサネットワークにおける階層型粒子フィルタを用いた位置推定法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J89-A, No.12, pp.1068-1078 (2006)。
- [21] Hui, L., Darabi, H., Banerjee, P. and Jing, L.: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, *IEEE Trans. System Man and Cybernetics*, Vol.37, No.6, pp.1067-1080 (2007)。
- [22] 加治 充, 原 隆浩, 西尾章治郎：無線 LAN による位置推定のためのオンライン生成可能な電波環境地図とその特性, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.51-63 (2009)。
- [23] Fang, L., Antsaklis, P.J., Montestruque, L.A.,

McMickell, M.B., Lemmon, M., Sun, Y., Fang, H., Koutroulis, I., Haenggi, M., Xie, M. and Xie, X.: Design of Wireless Assisted Pedestrian Dead Reckoning System-The NavMote Experience, *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, Vol.54, No.6, pp.2342-2358 (2005).

- [24] 興梠正克, 蔵田武志: 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, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.73, pp.75-80 (2006).
- [25] 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志: 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, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.234, pp.109-114 (2006).
- [26] Tom, J. and Toan, V.: Use of a new pedometric dead reckoning module in GPS denied environments, *Position, Location and Navigation Symposium 2008*, pp.120-128 (2008).
- [27] Wei, C., Ruizhi, C., Yuwei, C., Kuusniemi, H., Zhongqian, F. and Jianyu, W.: An adaptive calibration approach for a 2-axis digital compass in a low-cost pedestrian navigation system. s.l.: *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp.1392-1397, IEEE (2010).
- [28] 李 欣洙, 間瀬憲一, 阿達 透, 大沢達哉, 中野敬介, 仙石正和, 日高裕敏, 品川準輝, 小林岳彦: GPS, 歩数計及び方位計を用いた歩行者移動経路追跡法, 信学論 (B), Vol.J84-B, No.12, pp.2254-2263 (2001).
- [29] 森信一郎, 肥田一生, 花田雄一, 峰野博史, 水野忠則: パネモデルを用いた歩行軌跡補間技術, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1082-1090 (2011).
- [30] 森信一郎, 奥山鏡子, 峰野博史, 水野忠則: 地磁気センサを使った高精度測位技術, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-D, No.10, pp.1894-1902 (2010).



沢田 健介

平成 5 年長岡技術科学大学大学院修士課程修了。同年 (株) 富士通研究所入社。第 3 世代および第 3.5 世代携帯電話システムの研究開発, ITS 向け無線システム, 自動車用高精度測位システムの研究を経て, 現在, 歩行者向け位置

情報システムの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



花田 雄一

平成 21 年創価大学大学院修士課程修了。同年 (株) 富士通研究所入社。現在, 仮想世界/オーギュメンティッドリアリティに関する研究と歩行者向け位置情報システムの研究に従事。電子情報通信学会会員。



森 信一郎 (正会員)

昭和 62 年関西大学工学部卒業。同年富士通 (株) 入社。平成 15 年 (株) 富士通研究所に異動。平成 23 年静岡大学大学院博士後期課程修了。半導体製造ロボットの開発, GPS 携帯端末関連の開発, 次世代携帯電話の開発, 仮想

世界/オーギュメンティッドリアリティに関する研究を経て, 現在, 高精度測位技術の研究に従事。博士 (情報学)。



佐々木 重信

平成 1 年長岡技術科学大学大学院修士課程修了。平成 4 年同大学院博士後期課程満期退学。同年新潟大学工学部電気電子工学科助手。現在, 同大学教授。平成 11~12 年カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。平成

15~18 年情報通信研究機構短期専攻研究員。ワイドバンド無線通信システム, 特に UWB システム, コグニティブ無線技術等の研究に従事。IEEE 会員。電子情報通信学会シニア会員。博士 (工学)。