

PDR を活用した地下街ナビゲーションの進捗適応機構

吉見 駿¹ 新田 知之² 安積 卓也¹ 西尾 信彦¹

概要: 近年, スマートフォンを用いた歩行者向けナビゲーションが注目されている. そこで我々は, システムとユーザがランドマークの視認性確認の対話を行う対話型歩行者ナビゲーションである対話型ナビの開発を進めてきた. 実用的な地下街歩行者ナビゲーションとして, システムとユーザがランドマークの視認性確認対話を行う対話型ナビの開発を進めてきた. 検証実験を行った結果, 文字のみの案内ではランドマークを視認が困難で道を間違える場合があり, ユーザに十分な安心感が与えられていないということがわかった. そこで本研究では, ジャイロ스코プ・加速度センサをによる歩行距離, 進行方向を推定する PDR (Pedestrian Dead Reckoning) を用いたランドマークの視認サポート, およびユーザが正しいルートを進めているかの判定を行い, 対話型ナビがユーザに与える安心感を向上させる手法を提案した. 9 人の被験者に対し, 提案手法の有無でユーザに与える安心感にどう影響するかを実証評価した結果, 提案手法を用いることで, 被験者のナビゲーション中の安心感は, 肯定的な意見が 45% 向上し, その有用性が示された.

PDR-based Adaptation for User-Progress in Underground City Navigation System

SHUN YOSHIMI¹ TOMOYUKI NITTA² TAKUYA AZUMI¹ NOBUHIKO NISHIO¹

1. はじめに

近年, Android 端末や iPhone などのスマートフォン上で, GPS 衛星を用いた測位結果や, 地図を用いて案内を行う歩行者ナビゲーション [1][2] が普及してきている. これらのほとんどは, 現在地をトラッキングしながら動作するリアルタイムナビゲーションである. しかし, 屋内では GPS 衛星から発せられる電波を受信できない場合が多く, GPS 衛星による測位が行えない. 屋内での測位を実現するシステムとしては, 小型の GPS 信号発信装置を利用したシステム [3] や, 無線 LAN を利用したシステム [4][5] などの測位インフラを用いたものがある. しかし, これらの測位インフラを用いるシステムで高い測位精度を得るためには, 多数の発信機を設置する必要があるなどといった理由から普及にはいたっていない. このため, 屋内では現在普及しているリアルタイムナビゲーションのほとんどは使

用できない.

そこで我々は, 屋内において測位インフラを必要としない歩行者用のリアルタイムナビゲーション (以下, 対話型ナビ) の研究を行っている [8]. 対話型ナビは地下街で実用でき, ユーザが目的地に安心して進めていることを目標としている.

対話型ナビでは, 図 1 のようにユーザに案内するルートの目印となる店舗・施設 (以下, ランドマーク) の視認性確認の対話を行うことでユーザの現在地を確認し, ナビゲーションを行う. しかしながら, プロトタイプとして, 文字のみで案内を行う対話型ナビのアプリケーションを用いて予備実験を行った結果, 被験者がシステムに指示されたランドマークを見逃してしまったとき, 正しいルートを進んでいても, 道を間違えているのではないかと不安に感じる場合があるとわかった. したがって, 現状の対話型ナビはナビゲーション中においてユーザに十分な安心感を与えられていないといえる.

そこで, 本研究では, 対話型ナビにおける, ナビゲーションに用いるランドマークの視認サポート, および, ユーザが正しいルートを進めているかの判定 (以下, ルート判定)

¹ 立命館大学 情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

² 立命館大学 情報理工学研究科

Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University



図 1 対話型ナビのスクリーンショット

Fig. 1 Screenshot of the interactive navigation

を行い、ユーザーに通知することによって、ナビゲーション中にユーザーに与える安心感を向上させる手法を提案する。ランドマークの視認サポート・ルート判定には、インフラを必要としない屋内測位としてPDR (Pedestrian Dead Reckoning) を用いる。

しかし、既存のPDR手法では、体の一部に専用のセンサ群を固定する必要があるが、PDRでよく用いられる地磁気センサは地下では精度が低いなどの問題がある。そこで提案手法では、ナビゲーションに用いる端末の加速度・ジャイロスコプセンサのみを用いたPDRによる測位を行うことで、ランドマークの視認サポート、ルート判定を行う。本研究は対話型ナビの拡張機能を想定しており、この拡張機能の有無によって、対話型ナビを使用した際にユーザーに与える安心感の向上に貢献できたかという点について評価を行う。

本稿の章構成について述べる。2章では関連研究として対話型ナビを含めた屋内ナビゲーションの現状について述べる。3章では2章であげた研究の問題点をあげ、4章で問題点を解決するアプローチを述べる。5章では対話型ナビと提案手法の実装について述べる。6章では実装した機能の評価と考察について述べており、7章では本稿のまとめと今後を述べる。

2. 関連研究

関連研究として対話型ナビについて述べる。また、対話型ナビの予備実験を行ったことで、対話型ナビではランドマークが視認しにくいと、ユーザーが不安を感じる可能性があることがわかったため、視認性の高いランドマークを抽出する研究をあげている。さらに、今後屋内測位インフラを用いないルート判定手法が必要であるため、屋内測位インフラを用いない屋内測位の研究をあげている。

2.1 対話型ナビ

我々は屋内における歩行者用のリアルタイムナビゲーションとして対話型ナビの開発を行っている。対話型ナビ

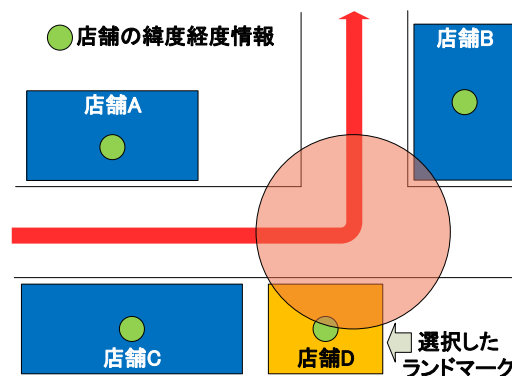


図 2 ランドマークの選択

Fig. 2 Selection of the landmark

は、地下街での利用を想定しており、ユーザーが安心して目的地に進めるということを目指している。事前実験を行った結果、測位インフラを利用せずにユーザーが地図から現在地を推測する方法として、地図上のランドマークの利用することが有効であることが分かった。この知見をもとに、電話越しに迷っている人の道案内をするように、システムとユーザーがランドマークの視認性確認の対話を行って現在地を推測する歩行者向けナビゲーションを提案した。

対話型ナビは、過去の案内を見やすくするため、iPhoneのSMSやLINE[6]のような会話のタイムライン表示インタフェースを用いている。対話型ナビでは図1のように、まず、システムが、先に進むと見えてくるであろうランドマークとそのランドマークからどの方向に進むべきかをユーザーに伝える。ユーザーは、システムの指示に従い道をんでランドマークを確認し、画面上のボタンをタップするといったナビゲーション手法である。画面の左側から出ている白い吹き出しがシステムからの案内文であり、画面の右側から出ている青い吹き出しがユーザーの応答である。下部の吹き出しにあるオレンジ色のボタンは、ユーザーがシステムの指示通りに進んだ時にタップするものである。

2.1.1 ナビゲーションに用いるランドマークの選択方法

ランドマークは施設名、ジャンル名、施設内の任意の緯度・経度などの要素を持つ施設情報であり、データベースに格納しナビゲーション用いる。

このとき、ナビゲーションに用いるランドマークは曲がり角である交差点や広場の出入り口や、長いターンにおける中間地点といった、ユーザーにルートを伝えるうえで重要と思われる地点の最近傍の施設を選択している(図2)。

2.1.2 予備実験

対話型ナビのAndroidアプリケーション(以下、プロトタイプアプリ)を用いて繰り返し予備実験を行った。予備実験では、大阪・梅田周辺地下街の道を詳しく知らない人を被験者として募集し、プロトタイプアプリを用いることで被験者が安心して目的地まで進むことができるかを調査するために行った。大阪・梅田周辺地下街で被験者にプロト



図 3 左:正解通知 右:間違い通知

Fig. 3 Left:Notice of right way
Right:Notice of wrong way

タイプアプリを用いて提示された目的地まで移動してもらい、その間の行動の観察とアンケートによる調査を行った。

・ランドマークの視認性

図 1 のように、文字のみでナビゲーションを行うプロトタイプアプリで予備実験を行い、アンケート調査としてプロトタイプアプリによる案内のわかりにくかった部分を被験者に記述してもらった。アンケートの結果、選択されたランドマークが視認しにくい場合があることや、文字のみでランドマークの詳細な位置を把握しづらいことがわかった。このことから対話型ナビを利用するユーザが正しいルートを進んでいてもシステムに指示されたランドマークを見逃してしまい、ユーザが道を間違えているのではないかと不安に感じる場合がある。

・ルート判定の有用性

上記のプロトタイプアプリに、今後屋内測位が整備された場合や屋外で GPS が使える場合を考慮し、測位機構を拡張機能として実装し、予備実験を行った。一部の交差点で測位インフラ特化型アクセスポイントである Place Sticker[5][7]を用いてルート判定を行い、図 3 のように対話で通知した。予備実験で、9 人の被験者にルート判定の通知を行うことで得られた安心感を 5 段階評価のアンケートをとったところ図 4 のように高い評価が得られ、安心感が得られることがわかった。しかし、対話型ナビの想定環境である屋内測位インフラが十分でない地下街ではこの手法を用いることができないため、測位インフラを用いないルート判定手法が必要である。

2.2 ランドマークベースのナビゲーションの研究

ランドマークベースのナビゲーションの研究として渡邉ら [9] の研究がある。渡邉らは、従来のナビゲーションで用いる地図情報に加えて、大きさ・視認可能な方向・色などの視認しやすさに関する情報をもつランドマーク情報と、建物の位置・壁などの情報をもつ空間情報を用いている。空間情報はランドマークを視認できる場所を特定する用途

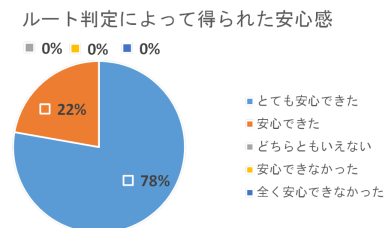


図 4 ルート判定の安心感の評価

Fig. 4 The sense of security for judgment of the route

で利用する。これらの情報により、歩行者から見て進行方向に存在し、視認性の高いランドマークを選択することによって、音声歩行者ナビゲーションを提案している。しかし、渡邉らの手法は、ユーザが迷った場合やランドマークが見つからなかった場合が考慮されていない。さらに、実際にどのタイミングで案内文を再生するかなどのユーザとのインタラクションについては言及されていない。

2.3 インフラを必要としない測位システムの研究

2.3.1 PDR の概要

インフラを必要としない測位技術として、代表的なものに PDR (Pedestrian Dead Reckoning) がある。PDR とは歩行者用のデッドレコニングのことで、歩行による移動軌跡を推測することによって、測位開始地点からの相対的な測位を行う測位技術である。PDR は測位開始地点においてはユーザの絶対的な位置情報が必要になる。また、PDR は移動するたびに誤差が累積していくため、長距離の移動を正確に測位する場合においては定期的な位置補正をすることが必要である。

2.3.2 PDR に関する研究

PDR に関する研究は近年盛んに行われている。しかし、これらの多くはセンサ群を搭載した専用のデバイスを体の一部に固定して測位する手法である。一方で、センサ群を人体に固定せず、測位対象者の端末に搭載されているセンサ群を用いて測位する PDR 手法がある [10][11]。この手法では、端末の持ち方によって取得できるセンサの値が大きく異なるため、持ち方を指定するものが多い。上坂ら [12] はユーザの端末の持ち方を、端末の画面を見ながら歩行する「手持ち」、端末を手に持ち腕を振りながら歩行する「手振り」の 2 種類に限定し、端末を人体に固定しない PDR 手法を提案している。上坂らは手持ち・手振りの 2 種類について、地磁気センサから得られる特徴の違いから持ち方を判断し、加速度・地磁気センサを用いて、持ち方によって異なる手法の PDR を行っている。

3. 問題意識

3.1 対話型ナビの問題点

対話型ナビのランドマークの視認性確認を行う手法は屋内ナビゲーションとして有用であるが、ナビゲーションに用いるランドマークの選択時にランドマークの視認しやすさを考慮していないため、視認しにくいランドマークが選択され、ユーザが指示されたランドマークを見逃すということが起こりうる。また、ナビゲーションで重要であるランドマークの位置を文字のみの案内で詳細に伝えることは困難である。そのためユーザが正しいルートを進んでいても指示されたランドマークを見逃してしまい、ユーザが道を間違えているのではないかと不安に感じるおそれがある。測位を行い、正しく進めているかを通知することでこの問題は解消できるが、屋内で測位を行うには測位インフラを用いる必要があり、対話型ナビの想定環境に反する。このため、対話型ナビには測位インフラを用いずにランドマークの視認をサポートする機能、および、ルート判定機能が必要であると考えられる。

3.2 既存研究のランドマークの視認性に関する問題点

3.1 節で述べた、視認しにくいランドマークが選択される問題を回避するには、渡邊らのように、歩行者から見た視認性の高いランドマークを選択する手法が考えられる。視認性の高いランドマークを選択するには、ランドマークの視認しやすさに関する情報が必要であるが、この情報を収集するのは開発者にとって手間である。そこで、渡邊らは、大きさ・視認可能な方向・色などのランドマークの詳細な情報を、ユーザが地図上に登録するクラウドソーシングによって集めることを前提としている。しかし、集合知による情報収集は、不正解・不均質な情報を整えることが困難である。

3.3 既存研究の PDR 手法の問題点

2.3 節であげた PDR を用いることで、ユーザが現在地を確認し、道に迷うことを防ぐことができると考えられる。PDR は測位開始地点の絶対位置と定期的な位置補正が必要であるが、ランドマークを視認性確認するたびに現在地情報を更新する対話型ナビに適しているといえる。しかし、PDR の研究の多くはセンサ群を人体の一部に固定することを想定しており、日常的な使用に適していない。一方、上坂らのように端末を手に保持した状態での PDR の手法が存在する。しかし、地下街などでは地磁気が正確な値を示さないため上坂らのように地磁気センサを用いる手法の実現は難しい。以上の理由により、対話型ナビでのランドマークの視認サポートに既存の PDR 手法を適用するのが困難であるという問題点がある。

4. アプローチ

提案手法は対話型ナビの拡張機能として開発を行っているため、対話型ナビの想定環境である屋内測位インフラが十分でない地下街でも使用可能である必要がある。3 章で述べた問題点を解決すべく、ランドマークの視認サポート、およびルート判定を行う。ユーザの現在地から次のランドマークまでの距離感や、ルートを正しく進めているかをユーザに通知することで、ナビゲーション中にユーザに与える安心感を向上させる。

ここで、対話型ナビを用いる際の前提条件について述べる。対話型ナビではシステムとユーザが繰り返し対話を行うため、ユーザの端末の持ち方は、腕を振らずに胸の前に構えて端末の画面を見ながら歩行する「手持ち」を行うと考えられる。さらに、ナビゲーション中であるため、ユーザは道を間違えない限り、ルートから外れて進まないと考えられる。以上により、ここではユーザが端末を手持ちで歩行し、ルートから外れて進まないことを前提条件とする。

4.1 ランドマークの視認サポート

ユーザのランドマークの視認をサポートするために、リアルタイムにユーザの現在地から次のランドマークまでの距離を推定し、表示する。さらに、その距離に応じてメッセージによる通知を行う。ランドマークまでの距離はユーザの歩行距離から推定する。ユーザの歩行距離は歩数に歩幅を乗じて算出する。歩幅はユーザごとにナビゲーション前に、固定長で設定する。

4.1.1 メッセージの通知

推定した現在地から次のランドマークまでの距離に応じて以下の 2 種類のメッセージによる通知を行う。

・「そろそろ『ランドマーク』周辺です」

現在地から次のランドマークまでの距離が一定以下になったら、「そろそろ『ランドマーク』周辺です」と表示することで、ユーザに注意を促し目的のランドマークを見逃すことを防ぐ。なお、『ランドマーク』は次のランドマーク名である。

・「『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません」

現在地から次のランドマークを一定距離以上通り過ぎたら、『ランドマークを通り過ぎたかもしれません』と表示することで、ユーザが目的のランドマークを見逃し、気づかずに通り返してしまうことを防ぐ。

4.1.2 次のランドマークまでの残り距離の表示

推定した現在地から次のランドマークまでの距離を画面上に常に表示することによって、ユーザに目的のランドマークまでの距離感を与える。

4.1.3 地図上の現在地のトラッキング

現在地周辺の地図を表示させ、推定した歩行距離に応じて地図のルート上にユーザの現在地を更新しながら表示

し、ユーザに対して常に周辺地図を提供する。

4.2 ルート判定

対話型ナビを行う地下街では道のほとんどが道幅の限られた通路であるため、ルート中に交差点以外の場所で曲がる必要はなく、ルート判定は交差点でユーザが曲がった方向(以下、進行方向)の判定のみで十分であると思われる。

4.2.1 メッセージの通知

進行方向から交差点を正しく曲がった場合と、誤った道に進んだ場合に依じて以下の2種類のメッセージによる通知を行う。

- ・「ルート上を正しく進めています！」

交差点において、ナビゲーションに指示された方向に進めっていると判定された場合、「ルート上を正しく進めています！」と表示することで、ユーザに正しく進めているという安心感を与える。

- ・「ルート上から外れている可能性があります！」

交差点において、ユーザが指示されていない方向に進んでいると判定された場合、「ルート上から外れている可能性があります！」と表示することで、ユーザが道を間違えることを防ぐ。

5. 実装

対話型ナビの実装の概要と提案手法である拡張機能のランドマークの視認サポートとルート判定の実装について詳しく述べる。

5.1 対話型ナビのシステム

対話型ナビのシステムについて述べる。対話型ナビのシステムは地下街の店舗情報・ルート情報を持つサーバと、ユーザと対話しながらナビゲーションを行うクライアントの二つに分けられる。クライアントはAndroidアプリケーションとして実装し、ユーザと対話を行いながらナビゲーションを行う。また、タイムラインの上部に地図を表示し、地図上に現在地を表す青色の人型のアイコン、ランドマークを表すオレンジ色の靴型のアイコンを表示する。オレンジ色の靴型のアイコンはタップするとランドマークに使われている店舗名を表示する。これから通るルートを示す赤いラインを表示し、対話による現在地情報の更新により通ったルートは青いラインで表示する。(図5)。

5.2 ランドマークの視認サポート

ランドマークの視認サポートではユーザの歩幅と歩数により歩行距離を推定し、現在地から次のランドマークまでの距離を画面の最下部に表示する。(図6)このときに用いる歩幅は事前にユーザごとに測定し、歩数の検出については後に述べるさらに、現在地から次のランドマークまでの距離に応じてメッセージを通知する。ユーザとの対話に



図5 周辺地図の表示

Fig. 5 Display of the map of the surround

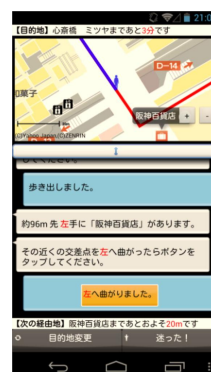


図6 現在地からランドマークまでの距離の表示

Fig. 6 Display of distance to the next landmark

より案内が次のターンに移るとき、次のランドマークまでの距離を取得する。推定した歩行距離が取得した距離の閾値倍を超えたとき「そろそろ『ランドマーク』周辺です」という案内文を、同様に別の閾値倍を超えたら『『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません』という案内文を緑色の吹き出しで表示する(図7)。このときに用いる閾値は後の評価で述べる。これらの案内文でユーザに注意を促すことでランドマークの視認サポートを行う。推定した歩行距離が5m増えるたびに地図上の青色の人型アイコンも連動させて位置を移動させ、通ったルートは青いラインで表示する。

5.3 歩数の検出

歩数の検出について述べる。歩数はユーザの端末の加速度センサの3軸の合成値の極値を検出することで算出できる[12]。しかし、加速度センサにより取得したデータをそのまま使用すると、センサにより生じるノイズや、歩行動作の個人差により歩数が正確に算出できない場合がある。そこで、式1のローパスフィルタで平滑化した3軸の加速度の合成値を使用することによってセンサにより生じるノイズを除去する。

$$Lowpass_i = Lowpass_{i-1} \times \alpha + Value \times (1 - \alpha) \quad (1)$$



図 7 対話によるランドマークの視認サポート

Fig. 7 Support to find the landmark by interactive

さらに、ユーザごとの最適な閾値を設定することで歩行の検出精度を向上させる。歩行動作の検出に用いる閾値は歩き方によって異なるため、閾値を自動設定する機構を作り、ナビゲーション開始前にユーザに合わせて設定する。この機構では、ユーザに端末を手持ちで保持し、一定歩数歩いてもらうことで 3 軸の加速度の合成値の大きさのパターンを取得し、閾値として設定する。

5.4 ルート判定

ルートの判定では、2.1.2 節のルート判定と同様に、ジャイロスコープ・加速度センサを用いてユーザの進行方向を判定し、それに応じてメッセージを通知する。誤った方向に曲がっていると判断すれば「ルート上から外れている可能性があります！」という案内文を、正しい方向に曲がっていると判断すれば「ルート上を正しく進めていますよ！」という案内文を緑色の吹き出しで表示する。通知を行った画面を 2.1.2 節のルート判定の有用性と同様に図 3 に示す。

5.4.1 進行方向の判定

地上では方向の判定に地磁気センサを用いられることが多いが、地下街では地磁気センサの精度が悪いため、本手法ではジャイロスコープ・加速度センサを用いて進行方向の判定を行う。ジャイロスコープにより取得した角速度を積分することによって端末の各軸への回転角を求めることが出来る。

ユーザの進行方向は重力方向軸に対する角速度（以下、水平方向の角速度）を積分することで求まる。角速度の積分はジャイロスコープが角速度を取得するたびに足し合わせ、取得周波数で割ることで擬似的に算出可能である。

水平方向の角速度の取得を知るためには、ジャイロスコープにより取得した角速度を、端末座標軸系から実世界座標軸系へと変換する必要がある。3 軸の加速度の合成ベクトルは重力ベクトル、つまり実世界座標軸系の Z 軸と近似できるため、端末の実世界座標軸系に対する傾きを取得することが出来る。なお、本来実世界座標軸系は X, Y 軸はそれぞれ東、北方向を示すが、今回は使用しないので言

及しない。これにより端末座標軸系から実世界座標軸系への回転行列 R が求まる。

この回転行列 R を用いることで、端末座標軸系の角速度を実世界座標軸系の角速度へと変換することができ、水平方向の角速度が求まる。求まった水平方向の角速度の積分値に注目することでユーザの進行方向が取得可能である。

5.4.2 ユーザの行動期間の抽出

ジャイロスコープ・加速度センサともに取得した値には誤差があるため、今回のように積算する手法では誤差も蓄積されてしまい、水平方向の加速度の積分を長期間行くと精度が低くなる。そこで、提案手法では水平方向の角速度の絶対値が一定以上の期間をユーザが曲がり始めてから曲がり終わるまでというひとつの「行動」をした期間（以下、行動期間）として抽出し、行動期間における水平方向の角速度の積分値を用いることで精度の高い進行方向の判定を実現する。直進時はユーザの進行方向がほとんど変わらないため、水平方向の角速度の絶対値は低い。実際にユーザが曲がっている最中はユーザの向きが大きく変わり、水平方向の角速度の絶対値が高いという傾向がある。この特徴を利用し、ユーザの行動期間を抽出する。

水平方向の角速度にはセンサにより生じるノイズと歩行動作によって生じるノイズが存在するため、直進時でも一時的に水平方向の角速度が高くなる場合がある。そこでまず、水平方向の角速度を平滑化することで、ノイズによる誤判定減らし、およそそのユーザの行動期間を抽出する。この期間は平滑化による遅延が発生するため、正確なユーザの行動期間ではないが、実際のユーザの行動期間はおおよそ存在するため、概在期間とよぶ。概在期間の付近で平滑化していない水平方向の角速度の特徴を見ることで、実際のユーザの行動期間を抽出する。

・概在期間の抽出

概在期間の抽出方法について述べる。ジャイロスコープのセンサにより生じるノイズは式 1 のローパスフィルタをかけることによってノイズを除去する。歩行動作によって生じるノイズは、歩行周期（左右の足の 2 歩分）をウィンドウ幅とした単純平均による平滑化を行う。

ユーザの行動期間の抽出は交差点における進行方向の判定の精度を上げることを目的としているため、たとえばランドマークを探すために周囲を見渡すという動作まで進行方向が変化したと判定されるのは望ましくない。そこで、水平方向の角速度の絶対値を単純平均によって平滑化することで、短い期間に連続して発生した曲がりをひとつの行動とみなす。たとえば、右を向いてすぐに正面に向きなおした場合、平滑化した水平方向の角速度の絶対値に注目すると、図 8 のように右折、左折が 2 つの別々の行動と判定されてしまうが、水平方向の角速度の絶対値を平滑化したものに注目すると図 9 のように 1 つの行動と判定することができる。このように、ジャイロスコープセンサの値を

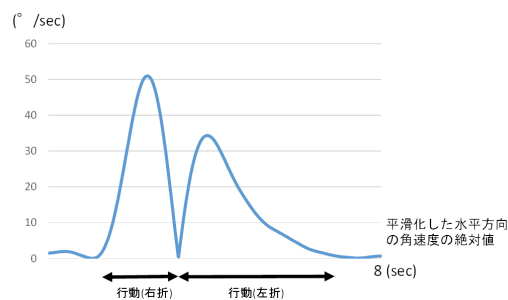


図 8 平滑化した水平方向の角速度の絶対値

Fig. 8 The absolute value of the horizontal angular velocity that was smoothed

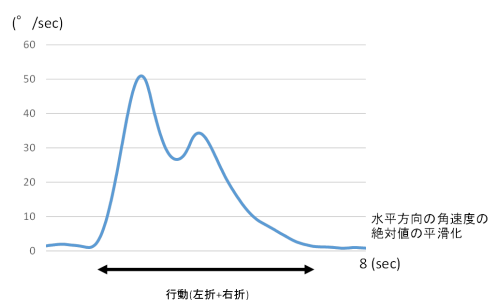


図 9 水平方向の角速度の絶対値の平滑化

Fig. 9 The smoothed value of the horizontal angular velocity that was smoothed

ローパスフィルタによって平滑化して取得した水平方向の角速度の絶対値を、歩行周期をウィンドウ幅として単純平均した値が閾値以上の期間を、ユーザの概在期間として抽出する。

・ユーザの行動期間の抽出

概在期間の抽出は平滑化による遅延が発生するため、実際のユーザの行動期間とずれがある。そこで、概在期間の開始時刻・終了時刻のそれぞれを起点とした過去の時刻の水平方向の角速度の特徴に注目することで、実際のユーザの行動開始時刻・終了時刻を推定し、ユーザの行動期間として抽出する。歩行周期間における、水平方向の角速度の積分値の絶対値（以下、歩行による進行方向の変化）が閾値より高いとき、ユーザの行動期間とみなす。

5.4.3 ユーザの進行方向の推定

5.4.2 節で抽出した期間中の水平方向の角速度を積分することでユーザが曲がった角度を推定できる。推定した角度を以下、推定進行方向とよぶ。水平方向の角速度の単位は ($^{\circ}/s$) であり、水平方向の角速度の取得周期 $T(s)$ は、ジャイロスコプの取得周波数 $f(Hz)$ の逆数と等しいため、水平方向の角速度を f で割ることで単位を ($^{\circ}/T$) に変換することができる。水平方向の角速度の積分は、水平方向の角速度 ($^{\circ}/T$) を取得する毎に足し合わせることで求まる。

5.4.4 進行方向の判定

これにより、ナビゲーション中にユーザが交差点で進ん

表 1 進行方向の判定条件

Table 1 Judgment condition of the traveling direction

推定進行方向	進行方向
$-50^{\circ} \sim 50^{\circ}$	直進
$50^{\circ} \sim 130^{\circ}$	左折
$-180^{\circ} \sim -130^{\circ} \parallel 130^{\circ} \sim 180^{\circ}$	U ターン
$-130^{\circ} \sim -150^{\circ}$	右折

だ進行方向を直進・右折・U ターン・左折の 4 種類に判定することができる。対話型ナビでは進行方向に $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 変わる箇所を曲がり角としており、そのうち $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$, $130^{\circ} \sim 150^{\circ}$ を Y 字路と定義している。提案手法では Y 字路以外の曲がり角についてルート判定を行う。そのため、推定進行方向によって表 1 のように進行方向を判定する。

6. 評価

提案手法の有無によって対話型ナビを使用した際にユーザに与える安心感の向上に貢献できたかという点について評価を行う。拡張機能の有用性を確認するために、安心感についての評価を行う前に、ランドマーク視認サポート機能・ルート判定機能のそれぞれに用いる歩行距離推定・進行方向判定の性能について評価する。なお、使用した Android 端末は、Galaxy Nexus[13] である。

6.1 歩行距離推定の評価

被験者に直線コースを歩いてもらい、実際の歩行距離と比較して推定歩行距離の精度を評価する。評価結果は「そろそろ『ランドマーク』周辺です」と『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません」のメッセージの通知のタイミングの設定に用いる。なお、歩行距離の算出に用いる歩幅は事前に障害物のない 10m の直線コースを歩数をカウントしながら歩行してもらい、10m/歩数で通常時の歩幅として算出する。

6.1.1 実験手法

4 人の被験者に検出した歩数に歩幅を乗じて算出した推定歩行距離が表示される Android アプリケーションを手持ちで持ち、歩行してもらい、表示された推定歩行距離が 10m, 20m, 30m になるまでそれぞれ 5 回ずつ歩いてもらい、その時に実際に歩いた距離（以下、実距離）を測定し、推定歩行距離と比較する。なお、対話型ナビの想定環境である地下街では混雑している場合も考えられるので、混雑した場所で実験を行った。

6.1.2 歩行距離の推定精度の評価

10m, 20m, 30m の直進の各コースでの実距離から実距離 / 推定歩行距離（以下、推定精度）を算出し、歩行距離の推定精度を評価する。各コースの評価結果を表 2 に示す。各コースの平均推定精度を比較すると、わずかではあるがコース距離が長くなるにつれて推定精度が高くなる傾向が

表 2 各コースの歩行距離の推定精度の評価

Table 2 The estimation accuracy of the walking distance in each courses

推定距離	10m		20m		30m	
	実距離	精度	実距離	精度	実距離	精度
A	12.4m	1.24	24.9m	1.25	33.0m	1.10
	12.4m	1.24	25.3m	1.27	36.9m	1.23
	14.4m	1.44	24.0m	1.20	33.5m	1.17
	12.3m	1.23	24.7m	1.24	33.9m	1.13
	12.3m	1.23	26.0m	1.30	34.3m	1.14
B	11.0m	1.10	21.8m	1.09	35.0m	1.17
	14.3m	1.43	22.5m	1.13	31.7m	1.06
	10.8m	1.08	23.6m	1.18	34.8m	1.16
	16.0m	1.60	23.0m	1.15	32.6m	1.09
	11.0m	1.10	22.8m	1.14	34.3m	1.43
C	10.5m	1.05	23.0m	1.15	30.2m	1.01
	10.9m	1.09	20.6m	1.03	29.2m	0.97
	11.4m	1.14	19.3m	0.97	30.7m	1.02
	10.5m	1.05	22.2m	1.11	30.2m	1.01
	11.3m	1.13	20.9m	1.05	28.6m	0.95
D	11.1m	1.11	21.9m	1.01	33.0m	1.10
	11.0m	1.10	22.2m	1.11	32.8m	1.09
	11.3m	1.13	21.8m	1.09	33.3m	1.11
	10.8m	1.08	22.1m	1.11	32.8m	1.09
	11.4m	1.14	22.3m	1.12	33.7m	1.12
平均	11.9m	1.19	22.7m	1.18	32.7m	1.09

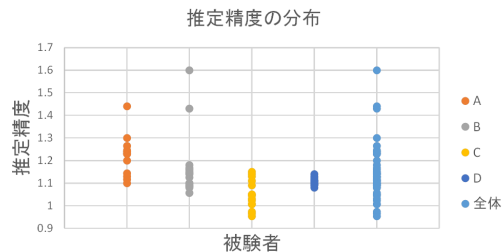


図 10 被験者ごとの推定精度の分布

Fig. 10 The distribution of estimation accuracy in each subjects

見られた。また、推定精度の全体の平均は 1.14 であり、推定歩行距離は実距離より短くなる傾向がある。推定距離が短くなる原因として、混雑している状態では通常より歩幅が短くなるからであると考えられる。各被験者ごとと被験者全体の推定精度の分布を図 10 に示す。被験者全体で見ると、推定精度の 85% が 0.9 ~ 1.3 である。残りの 15% は 1.4 以上と他と離れており、特に混雑した時の実験結果で推定精度が悪くなった外れ値であるとみなす。

外れ値を除いた 85% の推定精度を考慮し、ランドマーク視認サポート機能のメッセージの通知タイミングを設定する。推定精度の逆数から、ある位置から X m 先のランドマークへ進んだ際、高い確率でユーザはある位置から $0.77X$ m ~ $1.11X$ m の位置にいると推定される。このこと

表 3 推定進行方向の精度の評価

Table 3 The estimation accuracy of the traveling direction

被験者	推定進行方向	誤差 (絶対値)
A	91.457°	1.457°
	97.138°	7.138°
	84.398°	5.602°
	95.12°	5.12°
B	81.905°	8.095°
	82.85°	7.15°
	93.831°	3.831°
	86.365°	3.635°
C	83.426°	6.574°
	86.598°	3.402°
	86.327°	3.673°
	91.055°	1.055°
D	87.348°	2.652°
	87.954°	2.046°
	95.664°	5.664°
	89.184°	0.816°
E	81.298°	8.702°
	87.28°	2.72°
	88.787°	1.213°
	79.207°	10.793°
平均	89.156°	0.844°
	85.365°	4.635°
	81.811°	8.189°
	92.229°	2.229°
全体	74.522°	15.478°
平均	87.211°	4.909°

から、「そろそろ『ランドマーク』周辺です」という案内文を表示するタイミングを、推定歩行距離が次のランドマークまでの距離の 0.8 倍を超えたときと設定した。同様に、「『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません」という案内文を表示するタイミングを、推定歩行距離が次のランドマークまでの距離の 1.1 倍を超えたときと設定した。

6.2 進行方向判定の評価

被験者に右左折を含む一定距離のコース歩いてもらい、その時の推定進行方向の精度と進行方向判定の正解率を評価する。

6.2.1 推定進行方向の精度の評価と考察

推定進行方向の精度は、最も一般的である 90° の曲がり角を想定し評価を行う。5 人の被験者に直進 → 90° の左折 → 直進のみのコースをそれぞれ 5 回ずつ歩いてもらい、その時の推定進行方向と、90° を正解とした誤差の絶対値で評価する。実験結果を表 3 に示す。20 回分の誤差の絶対値の平均は 4.909° であり、90° を正解とすると平均 94.5% と高い正解率を示した。最大誤差は 15.478° であったが、進行方向判定の 50° ~ 130° の範囲内であるため進行方向判定は正しく機能する。しかし、50° や 130° に近い角度の曲が

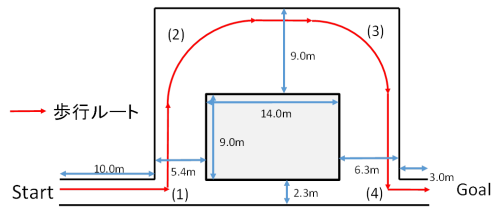


図 11 コース 1

Fig. 11 The course 1

表 4 コース 1 の進行方向判定

Table 4 The judgment of the traveling distance in the course 1

被験者 (曲がり角)	推定進行方向角	進行方向
A(1)	80.178°	左折
A(2)	-83.456°	右折
A(3)	-83.168°	右折
A(4)	81.047°	左折
B(1)	92.514°	左折
B(2)	-102.086°	右折
B(3)	-79.323°	右折
B(4)	79.072°	左折
C(1)	91.564°	左折
C(2)	-82.441°	右折
C(3)	-90.474°	右折
C(4)	98.273°	左折
D(1)	92.602°	左折
D(2)	-82.355°	右折
D(3)	-89.068°	右折
D(4)	88.095°	左折
E(1)	87.372°	左折
E(2)-a	-53.628°	右折
E(2)-b	-27.829°	直進
E(3)	-94.615°	右折
E(4)	90.242°	左折

りでは正しく進行方向判定できない可能性がある。

6.2.2 進行方向の判定の評価と考察

5人の被験者に3種類のコースをそれぞれ歩いてもらい、コース中におけるの推定進行方向角の精度と進行方向判定の正解率を評価する。

・コース 1

コース 1 を図 11 に示す。コース 1 では4つの曲り角 (1)～(4) において、(1)：左折、(2)：右折、(3)：右折、(4)：左折の順に判定されればよい。コース 1 の実験結果を表 4 に示す。被験者 A, B, C, D はコース 1 において正確に進行方向を判定することができた。しかし、被験者 E はコース 1 の2個目の曲がり角で本来1回の行動と判定されるべきところ、2回の行動と判定された。2個目の曲がり角は道幅 9m の道に向かうゆるやかなカーブであったため、進行方向の変化が低い期間が続き、行動の途中で水平方向の角速度の絶対値を平滑化したものが概在期間抽出の閾値を下

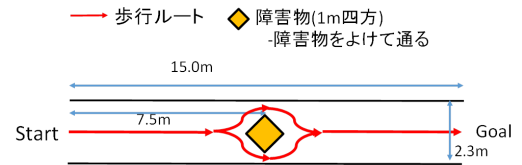


図 12 コース 2

Fig. 12 The course 2

表 5 コース 2 の進行方向判定

Table 5 The judgment of the traveling distance in the course 2

被験者	推定進行方向角	進行方向
A	-3.343°	直進
B	-4.595°	直進
C	-5.106°	直進
D	0.723°	直進
E	0.803°	直進

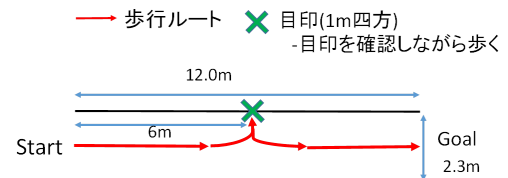


図 13 コース 3

Fig. 13 The course 3

回ったからである。分かれた2つの行動はそれぞれ (2)-a：右折、(2)-b：直進と判定されたため、(2) 全体では右折と判定されたことになり、ルート判定による通知自体は問題なく機能したといえる。しかし、このようにゆるやかなカーブを歩いたとき、行動の途中で水平方向の角速度の絶対値を平滑化したものが概在期間抽出の閾値を下回り、誤判定につながる可能性がある。この誤判定をなくするためには概在期間抽出の閾値をさらに下げて設定することが考えられるが、概在期間抽出の閾値を下げすぎると通常の歩行が行動とみなされ、本来別々であるべき行動が1つの行動としてまとめられる可能性があるため、概在期間抽出の閾値の設定は困難である。

・コース 2

コース 2 を図 12 に示す。コース 2 では直線コースを障害物をよけながら歩いてもらう。このとき、障害物を避ける動作が行動とみなされても、直進と判定されればよい。コース 2 の実験結果を表 5 に示す。コース 2 では5人の被験者全てにおいて正確に直進と判定された。このように、直進中に柱や人などの障害物を避ける動作が2つの連続した行動による右左折と判定されずに、1つの行動による直進であると判定することができた。

・コース 3

コース 3 を図 13 に示す。コース 3 では直線コースを、途

表 6 コース 3 の進行方向判定

Table 6 The judgment of the traveling distance in the course 3

被験者	推定進行方向	進行方向
A	-2.532°	直進
B	-8.203°	直進
C	-9.114°	直進
D	9.918°	直進
E	11.02°	直進

中でコース中の壁にある目印を確認しながら歩いてもらう。コース 2 と同様に、目印を確認する動作が行動とみなされても、直進と判定されればよい。コース 3 の実験結果を表 6 に示す。コース 3 では 5 人の被験者全てにおいて正確に直進と判定された。このように、当たりを見回したり、通り過ぎたランドマークを確認する動作が 2 つの連続した行動による右左折と判定されずに、1 つの行動による直進であると判定することができた。

6.3 対話型ナビの拡張機能としての評価

提案手法の有無によって対話型ナビを使用した際にユーザに与える安心感の向上に貢献できたかという点について評価を行う。評価は大阪・梅田周辺地下街で実証実験を行い、アンケートによる評価を行った。

6.3.1 実験概要

大阪・梅田周辺地下街で 3 つのルートをもとに、以下の 2 種類の手法で対話型ナビを被験者に使用して目的地まで移動してもらい、ナビゲーション全体を通した安心感、ランドマーク視認サポート機能、ルート判定機能についてアンケートで評価を行った。

・手法 1) 地図+案内文

手法 1 は地図+案内文の対話型ナビであり、現在地情報の更新は対話によるものだけである。

・手法 2) 手法 1+視認サポート+ルート判定

手法 2 は地図+案内文+ランドマーク視認サポート+ルート判定の対話型ナビである。現在地情報の更新は対話によるものに加え、推定歩行距離からもリアルタイムに更新し、ランドマーク視認サポートを行う。なお、2.1.2 節の測位機構の拡張機能の評価実験と合同で行ったため、今回行うルート判定は提案手法のものではなく、測位インフラを用いた手法である。しかし、6.2.2 節で述べたように、高い精度で進行方向が判定でき、測位インフラを用いた手法と同等のルート判定が行えると考えられるので、手法 2 を提案手法の評価に使用する。

被験者は大阪・梅田周辺地下街にあまり行ったことがなく地下街の道を詳しく知らないという条件で 9 人募集した。

6.3.2 アンケートによる評価と考察

・ナビゲーション全体を通した安心感

アンケートでは手法 1、手法 2 それぞれナビゲーション全

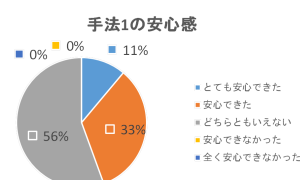


図 14 手法 1 のナビゲーション全体を通した安心感

Fig. 14 The sense of security for method 1

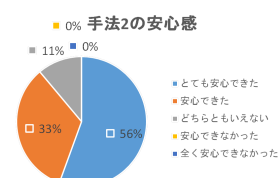


図 15 手法 2 のナビゲーション全体を通した安心感

Fig. 15 The sense of security for method 2

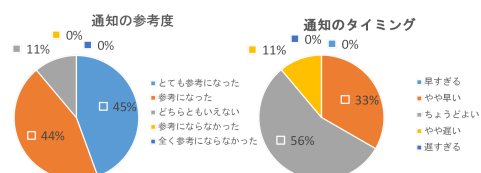


図 16 「そろそろ『ランドマーク』周辺です」についての評価

Fig. 16 Evaluations of the message, "You will arrive around the landmark soon"

体を通した安心感を 5 段階評価で選択してもらった。アンケート結果を図 14、図 15 に示す。否定的な回答は手法 1、手法 2 ともに見られなかったが、肯定的な回答の割合が手法 1 では 44%のところ、手法 2 では 89%となり、45%向上した。この結果から、提案手法を用いることで、ナビゲーション中にユーザに与える安心感を向上できたといえる。

・ランドマーク視認サポート機能

ランドマーク視認サポートの「そろそろ『ランドマーク』周辺です」と『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません」の 2 種類のそれぞれのメッセージの通知について、参考度、通知のタイミングの適切さを 5 段階評価で選択してもらった。このとき、ナビゲーション開始前にユーザにテスト歩行してもらい、歩幅と歩行検出の閾値を設定した。アンケート結果を図 16、図 17 に示す。「そろそろ『ランドマーク』周辺です」の通知に関しては参考度は肯定的な回答が 89%となった。タイミングに関しても 56%が「ちょうどいい」と回答しており、残りの 44%も「早すぎる」「遅すぎる」などの極端にタイミングがずれたという回答をしたものはいなかったため、「そろそろ『ランドマーク』周辺です」の通知は有用であるといえる。

『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません」の正しい位置に関しては、通知されなかった被験者が 2 人いたた

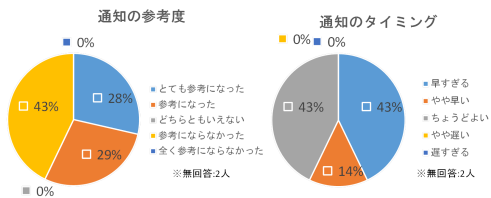


図 17 「『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません」についての評価

Fig. 17 Evaluations of the message “You might passed the landmark”

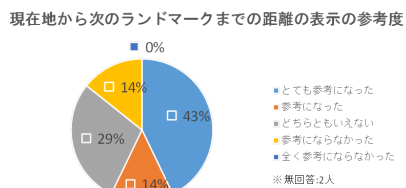


図 18 現在地から次のランドマークまでの距離の表示の参考度
Fig. 18 The reference level of display of the distance to the next landmark

め、無回答としている。この 2 人に関しては、ランドマークを通り過ぎることがなかったため案内が通知されていないので正しく機能しているといえる。残りの被験者の中で参考度は肯定的な回答 57% であるものの、残りの 43% が否定的な回答を示した。タイミングに関しても 43% が「ちょうどいい」と回答しているが、同じく 43% が「早すぎる」と回答しており、意見が 2 分している。参考度で否定的な回答をしたものと、タイミングが「早すぎる」と回答したものは同一であったため、一部の被験者の歩行距離が長く推定されていたと考えられる。ランドマーク視認サポートでは、一部の被験者の歩行距離が正しく推定できなかった原因として、歩行距離の推定に用いる歩幅・歩数が考えられる。実証実験を行った大阪・梅田周辺地下街では時間帯、場所によって人の混雑具合が違ったため、障害物のない場所で設定した歩幅とずれたり、自動設定した歩数検出の閾値では正確に検出できない場合がある。特に、『『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません』の通知のタイミングが「早すぎる」との回答が多かった理由として、混雑した道を通る際に通常より短い歩幅で歩いたことにより、歩行距離が長く推定されたのではないかと考えられる。無回答の 2 人の結果を考慮すると、一部で正しく歩行距離が推定されなかったものもいるが、被験者の大半は正しく機能しており、『『ランドマーク』を通り過ぎたかもしれません』という通知は有用であるといえる。

また、画面最下部の現在地から次のランドマークまでの距離の表示についても同様に参考度を 5 段階評価で選択してもらった。アンケート結果を図 18 に示す。現在地から次のランドマークまでの距離の表示の参考度は 56% が肯定

的な回答を示しており、否定的な意見は 14% と少ない。なお、無回答の 2 人に関しては、ナビゲーション中に現在地から次のランドマークまでの距離が表示されていることに気づけなかったため、回答に参加していない。この結果から現在地から次のランドマークまでの距離の表示は有用であるといえる。これらのアンケート結果から、ランドマーク視認サポート機能は有用であるといえる。

・ルート判定機能

ルート判定の通知を行うことで得られた安心感を 5 段階評価で選択してもらった。アンケート結果は図 4 である。評価実験のルート判定の手法は提案手法とは異なるものの、6.2 節で述べたように提案手法で測位インフラを用いた手法と同等のルート判定が行えると考えられるので、提案手法のルート判定機能は有用であるといえる。

7. まとめと今後

7.1 まとめ

本研究では対話型ナビの拡張機能として、ナビゲーション中のユーザに与える安心感を向上させる手法を提案した。提案手法は、ナビゲーション中のランドマークの視認をサポートする機能とルートを判定する機能によって実現した。ランドマークの視認サポートでは、加速度センサを用いて、パラメータ設定を自動で行える歩数計を実装した。ルート判定機能では、ジャイロスコープ・加速度センサを用いて、地磁気センサの精度が低い地下街でも使用可能な進行方向の推定システムを実装した。また、大阪・梅田周辺地下街にで被験者を用いた実証実験を行い、提案手法の有無によってユーザに与える安心感にどう影響したかを評価した。アンケートの結果、それぞれの機能が有用であることが確認でき、ナビゲーション全体を通して提案手法がユーザに与える安心感の向上に貢献したことを示した。

7.2 今後の課題

7.2.1 歩幅の補正

提案手法で用いた歩行距離の推定は歩数と歩幅から算出している。提案手法では固定値としてユーザに自らの歩幅を入力してもらう手法をとっていたが、道の混雑具合によって歩幅が変化したため、実証実験の歩行距離推定の精度に影響を与えたと考えられる。今後は、ユーザの行動期間からユーザが直線ルートを進んだ期間もわかるので、その直線にかかった歩数により最新の歩幅を更新する機構の実装を目指す。

7.2.2 進行方向判定の精度の向上

提案手法では、ユーザの Y 字路を除く曲がりのみを進行方向判定の対象としている。しかし、実際には大阪・梅田周辺地下街には Y 字路や広場が存在する。今後はこのような進行方向の変化が小さい Y 字路や広場などでも進行方向の判定が行えるように、進行方向の判定の精度の向上を目指す。

参考文献

- [1] Google. モバイル Google マップ, 入手先 (<http://www.google.com/mobile/maps/>) (2013.1.31).
- [2] NAVITIME JAPAN, NAVITIME アプリケーション, 入手先 (<http://www.navitime.co.jp/pcstorage/html/android.app/>) (2013.1.31).
- [3] 村田正秋, 瀬川爾朗, 鳥本秀幸, IMES の技術動向: シームレス三次元測位・航法の新技术 Development of IMES Technology : New Techniques of Seamless Three-Dimensional Positioning and Navigation, 電子情報通信学会誌 Vol.95 No.2. 2012.
- [4] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇., PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス, pp.95-104 (2006).
- [5] Nobuhiko Nishio, Ryuta Oka, Tran Xuan Duc, Ismail Arai, Place Sticker: Energy Harvesting Approach for Low Cost Wi-Fi AP Positioning Infrastructure, Pervasive 2011.
- [6] NAVER LINE, 入手先 (<http://line.naver.jp/ja/>) (2013.1.31).
- [7] Tran Xuan Duc, 宮崎 和哉, 西尾信彦, 無線 LAN 位置マーカ方式測位への状況適応型測位手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム, pp.1017-1026 (2012).
- [8] 新田知之, 新田 知之, 宮崎 和哉, 吉見 駿, 田端 亮介, 新井 イスマイル, 安積 卓也, 西尾 信彦, 視認性確認対話ベースの地下街ナビゲーションシステム, インタラクシオン 2013 予稿集, 2013-2-28.
- [9] 渡邊翔太, 梶克彦, 河口信夫, ランドマークの視認性に基づく歩行者向け音声ナビゲーションの提案. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム, pp.1897-1903 (2012).
- [10] 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, SIG-MR, MVE 研究会, 2006-09-13.
- [11] 興梠正克, 蔵田武志, 慣性センサ群とウェアラブルカメラを用いた歩行動作解析に基づくパーソナルポジショニング手法, 信学技法, PRMU2003-260, pp.25-30 (2004).
- [12] 上坂大輔, 村上茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之, 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.2 558-570 (Feb.2011).
- [13] GALAXY NEXUS SC-04D, 入手先 (<http://www.samsung.com/jp/consumer/mobilephone/mobilephone/smartphone/SGH-N044TSNDCM>)