

道路標識とランドマークを用いた 歩行者位置特定システムと実地調査による評価

児島 伴 幸^{†1} 山根 和 也^{†2} 柳澤 政 生^{†1}
大 附 辰 夫^{†1} 戸 川 望^{†1}

携帯電話を用いた歩行者の位置特定は一般的に携帯電話に搭載された GPS (携帯 GPS と呼ぶ) を用いているが, 携帯 GPS はマルチパスなどの影響により測位誤差が生じる可能性がある。一方, 携帯 GPS の測位誤差を調べた調査結果が公開されていることが少ない。本論文ではまず都市部と住宅地の両方が存在する高田馬場駅周辺において携帯 GPS の測位誤差を調査した。調査の結果, 携帯 GPS は最大で 80 m 程度の測位誤差が生じた。都市部における 80 m の測位誤差は道路 2-3 本分の誤差に対応するため, 歩行者に混乱を与えかねない。次に, 携帯 GPS の測位誤差を 0 に近づけるため, 道路標識とランドマークを用いて携帯 GPS の測位を補正する位置特定手法を提案する。既存インフラである道路標識・ランドマークと, 近い将来に社会インフラ化される携帯 GPS を用いるため, インフラ設備を最小限に抑えることができる。提案手法は利用者の現在地を道路標識の位置と同一視し, 利用者が見つけた道路標識の位置を知ることにより, 利用者の位置を特定するものである。処理の流れは携帯 GPS により大まかな位置を特定した後に, 利用者が見つけた道路標識を選択することにより現在地候補を 5 個以下に絞る。現在地候補の周辺に存在するランドマークを選択することにより唯一の現在地を特定する。提案手法を CGI 環境で実装し, NTT ドコモ社と KDDI 社の携帯電話を用いて評価実験した。実地調査を通じて 98% の精度で利用者の現在地を特定できることを実証し, 提案手法が有効な手法であることを確認した。

A Pedestrian Positioning System Using Road Traffic Signs and Landmarks

TOMOYUKI KOJIMA,^{†1} KAZUYA YAMANE,^{†2}
MASAO YANAGISAWA,^{†1} TATSUO OHTSUKI^{†1}
and NOZOMU TOGAWA^{†1}

Mobile-GPS is generally used for pedestrian positioning on mobile devices

such as mobile phones and PDAs. Positioning errors of mobile-GPS might be caused by several factors, such as “multipath;” however, positioning errors of mobile-GPS have been not investigated sufficiently. In this paper, we first investigate positioning errors of mobile-GPS at Takadanobaba station and its environs which have both urban and residential areas. Our investigation results show that positioning errors of mobile-GPS can cause approximately 80-meter error at the maximum. Secondly we propose a highly accurate pedestrian positioning method using road traffic signs and landmarks. Our proposed method does not require any infrastructure construction as we already have infrastructure of road traffic signs, landmarks and mobile-GPS on mobile devices. Assuming that a user is positioned at the traffic sign, our proposed method determine the user position by finding out several nearby road traffic signs and sending their colors and shapes to a server. Our method start with locating approximately position of a user using mobile-GPS. Next, it locates user position by selecting road traffic signs and landmarks. Our method is implemented with CGI and investigated using mobile phones of NTT Docomo and au by KDDI. By this investigation, the accuracy of this method was 98% and we succeeded to confirm effectiveness of the proposed method through this evaluation investigation.

1. ま え が き

総務省は緊急通信機能の充実を図るために 2007 年 4 月から原則として携帯電話に位置特定システムの搭載を推奨した¹⁾。携帯電話各社は位置特定システムとして GPS (Global Positioning System) を搭載したため, GPS を搭載した携帯電話 (以降, GPS を搭載した携帯電話を GPS 携帯電話と呼ぶ) が急激に増加した。GPS 携帯電話が増えるにつれ, GPS を利用したサービスが発展し, 特に歩行者が自身の周りの環境を把握するための現在地位置特定システムは多くの人々が活用するサービスの 1 つになった。

GPS による単体測位では見晴らしの良い場所において数 m 程度の測位誤差と高精度であるが, 都市部などのビル街においてマルチパスや捕捉衛星の減少などの影響により数百 m 程度の測位誤差が生じる可能性がある²⁾。GPS による単体測位の測位誤差はカーナビゲーションシステムのような広域ナビゲーションシステムにおいて微々たる誤差として扱えるが, 歩行者において数百 m の測位誤差は無視できない。これは, 都市部における数百 m の

^{†1} 早稲田大学大学院基幹理工学専攻
Department of Computer Science and Engineering, Waseda University

^{†2} 早稲田大学理工学部コンピュータ・ネットワーク工学科
Department of Computer Science, Waseda University

測位誤差が道路数本分の誤差に対応するため、利用者に混乱を与えかねないためである。

GPS 単体では測位精度が不十分であるため GPS 補正システムとして、DGPS (Differential GPS) や RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS) などが存在する²⁾。しかし、DGPS はマルチパスによる測位誤差を補正できず、RTK-GPS は演算回数が膨大であるため GPS 携帯電話のようなモバイル環境の利用には適さない。GPS を用いない位置特定システムの研究もさかんであり、Wi-Fi³⁾、RFID タグ⁴⁾、M-CubITS⁵⁾ などがあげられる。Wi-Fi は基地局からの無線の強弱によって現在地を特定するシステムであり、日本では PSP (PlayStation Portable)^{*)} 専用ソフト「みんなの地図」などで実用化されている⁷⁾。この手法では、100 m 程度の測位誤差が頻出する。また、アクセスポイントのデータベース (以降、データベースを DB と略す) が必要であり、収集・更新が困難である。RFID タグは地面や壁面に設置された RFID タグの電波を受信することで現在地を特定する。この手法では、設置場所やコストの問題により屋外の実現は難しい。M-CubITS は 0 と 1 を持つ M-CubITS 素子を M 系列に従って配置し、素子の配置から現在地を特定する手法である。この手法では、素子配置のインフラ化が課題である。以上より、利用者が混乱しないような測位誤差で現在地を特定でき、新規にインフラ整備する必要がない位置特定システムは存在しない。

近年の携帯電話に搭載された GPS (以降、携帯電話に搭載された GPS を携帯 GPS と呼ぶ) は A-GPS (Assisted GPS) であるため、GPS 単体測位より精度が高い⁸⁾。A-GPS とは、携帯電話のネットワークを通じて衛星の位置や基地局情報の位置などの捕足情報を得ることにより現在地を特定する手法である。近年の携帯 GPS の測位精度を調査した文献が公開されていることが少ない。2006 年 5 月の携帯 GPS では都市部において平均 115 m 程度の測位誤差が生じることが分かっているが⁹⁾、近年の携帯 GPS は携帯電話会社の努力により測位精度の向上が予想される⁸⁾。本論文ではまず、携帯 GPS の測位誤差を実地調査する (調査の詳細は 2.2 節を参照)。調査の結果、最大で 76 m の測位誤差が生じている。都市部における 76 m の測位誤差は利用者の現在地と地図上で 2-3 本違う道路を現在地として示す。よって、携帯 GPS が利用者に混乱を与えるほどの測位誤差が生じることが確認できた。

続いて、歩行者に混乱を与えないよう携帯 GPS の測位誤差を 0 に近づけるため、既存インフラである道路標識とランドマークを用いた位置特定手法を提案する。また、本論文で指す道路標識とは、1 本の支柱や電信柱に並んでいるすべての標識を指す。図 1 では、団子



図 1 道路標識の例
Fig. 1 A road traffic sign.

状に並んでいる標識 3 個で道路標識 1 個と扱う。提案手法は歩行者を対象とし、利用者は GPS 携帯電話を用いるものとする。提案手法は利用者の現在地を道路標識の位置と同一視し、利用者の現在地を特定するものである。

提案手法は、GPS 座標取得・道路標識判別・ランドマーク選択・地図表示の 4 つのステップに分類できる。GPS 座標取得ステップでは、携帯 GPS により大まかな現在地を取得し、サーバに送信する。サーバは取得した大まかな現在地の範囲に存在する道路標識を道路標識 DB から検索する。道路標識判別ステップでは、利用者が見つけた道路標識の枠色と形状を選択し、サーバに送信する。サーバは選択された枠色と形状を GPS 座標取得ステップで検索した道路標識の中から検索し、候補を絞る。候補数が規定数より多い場合、再度、利用者に 1 回目とは違う道路標識を選択してもらい、1 回目に選択された標識を考慮に入れて候補を絞る。ランドマーク選択ステップでは、絞られた候補に対応するランドマークを利用者に提示し、利用者は現在地から見えるランドマークを提示された選択肢の中から選択する。地図表示ステップでは、サーバが現在地を表示した地図を利用者に送信する。

まず、我々は提案手法を用いた位置特定システムを、Perl を用いた CGI 環境で構築した。本システムは高田馬場駅周辺において実稼働中である。NTT ドコモ社、KDDI 社、SoftBank 社の GPS 携帯電話に対応している。次に、本システムを用いて実地調査した。調査の結果、現在地を 98% と高確率で現在地を特定でき、提案手法の有効性を確認できた。

*1 PSP とは、2004 年 12 月からソニー・コンピュータエンターテインメント (SCE) が発売している携帯型ゲーム機である⁶⁾。

2. 既存手法による測位精度

歩行者である利用者が満足する測位精度について調査した文献は、公開されていることが少ない。そこで、本章では、まず利用者が満足する測位精度について考えた。次に、近年の携帯 GPS の測位精度を調査した文献が公開されていることが少ないため、現在の携帯 GPS の測位精度を調査する。また、携帯 GPS を含めた GPS 補正システムや GPS を使わない位置特定システムの有効性をまとめた。

2.1 歩行者が満足する測位精度

利用者は地図上で自身の現在地を認識する際、地図上と同じランドマークや道路などの情報を見つけ出すことにより、地図と現実をマッピングさせ現在地を認識する。よって、位置特定システムにおいて最初の現在地特定の測位精度が大きすぎると、利用者が地図とのマッピングがしにくくなるため、測位誤差を 0 に近づける必要がある。

2007 年 10 月に宇宙開発利用専門調査会において GPS 測位における要求精度が調査されており、要求される測位精度は測位誤差 1m 以下が多いという結果がある¹⁰⁾。しかし、本調査は官公庁向けであるため車両の位置把握・研究対象物（動物、特定の目的を持って行動している人など）の移動状況把握・土地面積測量・調査位置の把握など目的が様々であり、我々の対象である歩行者の位置特定の測位精度とは限らない。よって、本論文では独自に歩行者が満足する測位精度を定義した。

まず、利用者に混乱を与えないような測位精度を、利用者が 2 車線以上の道路のどちら側にいるかを判別できる誤差と考えた。これは、1 車線の脇道などの道路は道路のどちら側においても反対側にすぐに渡ることが可能であり、歩行者にとって区別する必要がないと考えたが、2 車線以上の道路は都市部において反対側に渡るとは困難であり、歩行者にとって区別する必要があるためである。次に、2 車線程度の道路の幅は 10m 程度であるため、利用者がどちら側にいるかを判別できる誤差は 5m 未満だと考えられる。よって、本論文における歩行者が満足する測位精度を測位誤差 5m 未満と定義した。

2.2 携帯 GPS の測位精度調査

携帯 GPS の測位誤差が利用者に混乱を与えることを明確にするため、携帯 GPS の最大測位誤差を調査する。一般的に携帯 GPS の測位誤差が最も生じやすい場所は、マルチパスの影響が強いビルが多く立ち並ぶ都心だと考えられる。よって、本論文における都市部を、日本でも有数なビル街である都心 5 区（東京都の千代田区・中央区・港区・新宿区・渋谷区）と定義し、都市部における携帯 GPS の最大測位誤差を調査する。また、都市部の範囲

内でも、すべてがビル街ではなく住宅街も多く存在する。一般的に住宅街はビル街よりもマルチパスの影響が少ないため、携帯 GPS の測位精度が良いと考えられる。しかし、近年の都市部における住宅街高層化にともない、遮蔽物が多く存在するような場所では、住宅街でも測位誤差が大きく生じる可能性があると考えられる。よって、都市部の住宅街も含めた携帯 GPS の最大測位誤差を調査する。

2006 年 5 月における携帯 GPS の測位精度が調査されている⁹⁾。KDDI 社の携帯電話 W51S を用い、新宿駅西口で調査した結果、最大で 200m 程度の測位誤差が生じた。しかし、近年の携帯電話各社は緊急通信回線充実と保護者による子供の位置特定の需要から都市部における測位誤差を減少させる努力がなされている⁸⁾。よって、携帯 GPS は 2006 年 5 月より測位精度が向上していることが予想されるため、最新の携帯 GPS の測位誤差を調査する必要がある。

都市部のビル街と住宅地のすべての地点において調査することは不可能である。このため、ビル街と住宅街の両方が存在する都市部の縮図として新宿区高田馬場駅周辺を調査する。高田馬場駅周辺は、駅周辺においてビルが立ち並び、駅から離れた地域には住宅街も多く存在するため、都市部における携帯 GPS の測位精度を調査するには妥当だと考えた。

本節では、NTT ドコモ社の N905i と KDDI 社の W47T を用いて第 1 著者が NTT ドコモ社を、第 2 著者が KDDI 社の携帯 GPS の測位誤差を調査した。2009 年 1 月、高田馬場駅周辺において NTT ドコモ社で 81 カ所、KDDI 社で 48 カ所において調査した。また、調査箇所はすべて道路標識の真下である。

図 2 と図 3 は、NTT ドコモ社の携帯 GPS の測位誤差の測定箇所と測定結果である。図 4 と図 5 は、KDDI 社の携帯 GPS の測位誤差の測定箇所と測定結果である。平均で 26.96m、最大で 76.14m の測位誤差が生じ、歩行者が満足する測位誤差である 5m 未満に達しなかった。また、26.96m の測位誤差も都市部において道路 1 本分程度の違いがある。76.14m の測位誤差は都市部において道路標識 1-2 本分程度の違いがある。携帯 GPS の場合、どの方向に測位誤差が生じているか分からないため、道路 1 本分の測位誤差は地図上では選択肢がいくつも増え、利用者は現在地を判断し難い。また、どの程度の測位誤差が生じているかも分からない。よって、携帯 GPS を用いる場合、つねに最大測位誤差である 76.14m を考慮する必要がある。そのため、携帯 GPS は、現在地を瞬時に判断するには精度不足であることを確認できた。

2.3 既存位置特定システムの測位精度

既存の位置特定システムにおいて、実現可能であるかを考慮するため新規設備、携帯電



図2 NTTドコモ社の携帯GPS測位誤差の調査箇所
Fig.2 Investigated points for mobile-GPS positioning error using an NTT DoCoMo mobile phone.

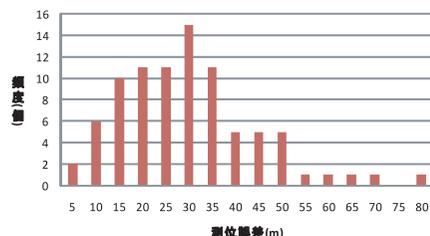


図3 NTTドコモ社の携帯GPSの測位誤差
Fig.3 Mobile-GPS positioning errors using an NTT DoCoMo mobile phone.



図4 KDDI社の携帯GPS測位誤差の調査箇所
Fig.4 Investigated points for mobile-GPS positioning error using a KDDI mobile phone.

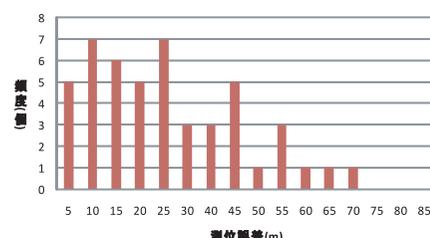


図5 KDDI社の携帯GPSの測位誤差
Fig.5 Mobile-GPS positioning errors using a KDDI mobile phone.

表1 既存システムのインフラ設備の状況
Table 1 Infrastructure of existing positioning systems.

既存システム	新規設備	携帯の設備	DB
GPS ¹⁾	不要	不要	不要
携帯GPS	不要	不要	完備済み
複数基地局測位 ¹⁾	完了	不要	完備済み
セルベース測位 ¹⁾	完了	不要	完備済み
DGPS ²⁾	不要	受信機	完備済み
RTK-GPS ²⁾	不要	受信機と高処理演算機	完備済み
M-CubITS ⁵⁾	M-CubITS 素子	不要 (携帯カメラ付機種のみ)	必要
ICタグ ⁴⁾	ICタグ	受信機	必要
bluetooth ¹²⁾	発信機	不要 (bluetooth対応機種のみ)	必要
Wi-Fi ³⁾	不要	受信機	完備済み

表2 既存システムの測位精度
Table 2 Positioning accuracy of existing positioning systems.

既存システム	測位精度 (都市部)	測位誤差 (地方部)
GPS ¹⁾	500 m 以下	数 m
携帯GPS	100 m 以内	数 m
複数基地局測位 ¹⁾	50 m 程度	数 100 m
セルベース測位 ¹⁾	数 100 m	100 m-10 km 程度
DGPS ²⁾	数 100 m 以下	数 m
RTK-GPS ²⁾	数 cm	数 cm
M-CubITS ⁵⁾	数 m	対象外
ICタグ ⁴⁾	20 m 以下	対象外
bluetooth ¹²⁾	10 m 以下	対象外
Wi-Fi ³⁾	100 m 程度	対象外

話への設備, 各位置特定システムに必要なDBの要否について検討する. かつ, 携帯電話に搭載した際に, 歩行者に混乱を与えるような測位誤差であるか検討する. 表1が既存の位置特定システムの新規設備・携帯電話への設備・DBの要否, 表2が都市部と地方部における既存の位置特定システムの測位精度である. GPSがGPS単体測位, 携帯GPS・複数基地局測位・セルベース測位が携帯電話に用いられている位置特定システム, D-GPS・RTK-GPSがGPS補正システム, M-CubITS, ICタグ, bluetooth, Wi-FiがGPSを用いない位置特定システムである. 表1のDBとは, GPS・携帯電話に用いられている位置特定システム・GPS補正システムにおいて基地局の位置を格納しているDBを示し, GPSを用いない位置特定システムにおいて発信機の位置を格納しているDBを示す. 表1と表2

より、2009年現在、都市部において新規設備・携帯への設備・DBの作成が必要なく、歩行者が満足するような測位誤差5m未満の位置特定システムは存在しない。

携帯GPSなどの既存手法では、利用者が移動することにより、測位誤差を5m未満に抑えられる可能性がある。しかし、既存手法では利用者がどの程度測位誤差が生じているか、どの方向に測位誤差が生じているかを把握する手段がないため、利用者が移動し、測位誤差を5m未満に抑えられても意味がない。既存手法では、利用者がつねに最大測位誤差が生じる可能性があることを考慮に入れる必要がある。

携帯GPSを複数の地点で測定することにより、携帯GPSの測位誤差を補正することができる¹³⁾。複数の地点で測定し、測位誤差を補正するには、(1)すべての測定箇所において同時に測位すること、(2)すべての測定箇所においてすべて同一のGPS衛星を捕えることが必要である。これより、測定箇所共通の誤差要因を除去することが可能であるが、測定箇所特有の誤差要因であるマルチパスは除去できない。都市部における携帯GPSの測位誤差はマルチパスによる影響が強く、測定箇所によって誤差が違うマルチパスは補正しきれない。よって、携帯GPSを複数の地点で測位しても、利用者が満足するような測位誤差5m未満に達しない。また、近年のGPS補正システムには、DGPSのようにすでに位置が分かっている基準局を用いてGPSの測位誤差を補正する手法がある。しかし、携帯GPSを複数の地点で測定することと同様、都市部における携帯GPSの測位誤差はマルチパスによる影響が強く、測定箇所によって誤差が違うマルチパスは補正しきれない。よって、ある地点で正確に判断する必要があると考えた。

3. 提案手法

近年、歩行者は都市部において現在地を調べる際、一般的に携帯GPSを用いるが、2.2節より携帯GPSでは歩行者が満足する測位精度に達しない可能性がある。他の既存システムでは、2.3節より携帯電話にとって不適合である。

そこで、道路標識・ランドマークを用いて、携帯GPSの測位誤差を0に近づけるための位置特定手法を提案する。提案手法では、携帯GPSが特定できるすべての範囲において測位誤差を補正することは不可能であるため、測位誤差を補正可能な地点として、道路標識の位置を用いた。利用者の現在地を道路標識の位置と同一視し、道路標識の位置を特定することにより利用者の現在地を特定するものである。現在、携帯電話普及率は9割を超えており、既存インフラといえる¹⁴⁾。携帯GPSについても総務省によると2011年4月までに普及率100%を目標としているため、近い将来に社会インフラ化する可能性が高い¹⁾。提案手法は、

既存インフラである道路標識と既存インフラになる予想が付いている携帯GPSを用いるため、新規設備が必要ない。東京都において警視庁が、2008年末日現在812,638枚の道路標識を設置している¹⁵⁾。このうちの多くは都市部に設置されていると予想する。たとえば、高田馬場駅周辺約500m四方において、道路標識が設置されている交差点が40カ所に存在するため、道路標識が存在する交差点は平均すると79mごとに存在することになる。また、高田馬場駅周辺に道路標識が137個存在し、これらの道路標識のうち73%(109/137)が交差点に配置されているため、1交差点につき平均2.7個の道路標識が設置されている。よって、都市部に十分な道路標識が設置されていることが分かる。また、東京都において警視庁・国土交通省が道路標識DBを、地図情報システム作成企業がランドマークDBを所有しているため、新規DBの作成を最小限に抑えることができる。なお、本章で示す道路標識DBとは、何の道路標識がどこに存在するかという情報を保持したDBである。道路標識は、公安委員会(東京都では警視庁)が管理する標識と国土交通省が管理する標識が存在する。警視庁が管理する道路標識は規制標識・警戒標識・補助標識であり、著者が警視庁本部通信指令本部に電話調査したところ、警視庁交通規制課に管理している道路標識の種類と位置がDB化されていることを確認してある。また、国土交通省が管理する道路標識は案内標識と警戒標識であり、著者が国土交通省関東地方整備局道の相談室に電話調査したところ、国土交通省内に管理している道路標識の種類と位置がDB化されていることを確認してある。

道路標識を用いる利点を以下にまとめた。

- インフラ化されており、だれでも知っている。
- 形状と使用されている色が規格化されている。
- 原色のみを用いているため人間が判断しやすい。
- 都市部において相当数が配置されている。
- 規格変更がきわめて少ない。
- 警視庁と国土交通省によりDB化されている。

ランドマークを用いる利点を以下に記す。

- 建物であるためなくなりにくい。
- ランドマークは目立つ建物が多いため、人間が見つけやすい。
- 地図情報システム作成会社によりDB化されている。
- 利用者がランドマークを探すため、利用者とランドマークとの位置関係から利用者が向いている方向を判別することができ、歩行者ナビゲーションシステムにつなげやすい。

提案手法は、既存手法と比べて、現在地を特定した後に利用者が地図と現実をマッピングしやすいという利点もある。既存手法では、既存手法により現在地の座標を取得し、取得した座標を地図上にプロットすることにより、利用者は周囲のランドマークや道路などから地図と現実をマッピングさせ現在地を認識する。しかし、提案手法では、提案手法によって利用者が見つけた道路標識の正確な位置を地図上で確認することにより、利用者は自身の位置を選択した道路標識とランドマークから相対的に認識する。よって、提案手法は選択した道路標識とランドマークにより地図と現実をマッピングする補助をしているため、既存手法より利用者が地図と現実をマッピングしやすい。

提案手法は都市部において全体的に利用者にとって苦なく用いることが可能だと考えられる。これは、都市部において道路標識は約 80 m 程度の間隔で道路標識が存在する交差点が存在するため、現在地を知りたいと考えた利用者は最低でも約 40 m 程度移動すれば一番近い道路標識に到達するためである。提案手法を用いる場合、利用者は道路標識が存在する場所へ移動するが、移動距離が約 40 m 程度ならば利用者にとって苦にはならないと考えられる。

3.1 全体の処理の流れ

提案手法は GPS 座標取得・道路標識判別・ランドマーク選択・地図表示の 4 つのステップに分けられる。以下は提案手法の処理の流れである。

- (1) GPS 座標取得ステップ
携帯電話各社の GPS 取得ページを用いて利用者の GPS 座標を取得し、利用者の大まかな位置範囲を特定する。
- (2) 道路標識判別ステップ
利用者の近くに存在する道路標識を選択することにより、GPS 座標取得ステップで特定した大まかな範囲から現在地候補を絞る。
- (3) ランドマーク選択ステップ
ランドマークを選択することにより道路標識判別ステップで絞った候補から唯一の現在地を絞る。
- (4) 地図表示ステップ
地図に現在地を表示する。

図 6 は全体の処理の流れ図である。提案手法で用いる DB を以下に定義する。

- 道路標識の枠色と形状ごとの DB
道路標識の枠色と形状ごとの DB には、道路標識の識別番号・道路標識の枠色と形状に

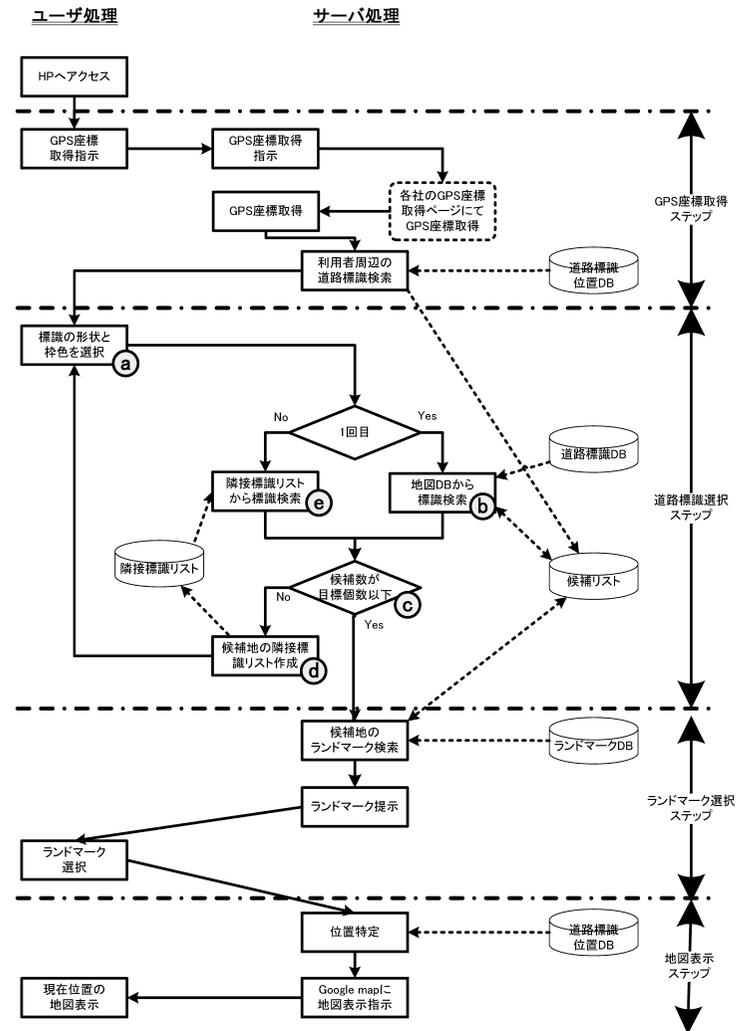


図 6 全体の処理の流れ
Fig. 6 Overall processing flow.

よって構成される．

- 道路標識位置 DB

道路標識位置 DB には、道路標識の識別番号・道路標識の座標（経度・緯度）によって構成される．

- ランドマーク DB

ランドマーク DB には、道路標識の識別番号・これに対応するランドマーク 3 個によって構成される．

本論文では、道路標識に関する DB を警視庁や国土交通省から入手できなかったため、警視庁と国土交通省への電話調査によって取得した情報から実際に高田馬場駅周辺において実地調査し道路標識の位置 DB と道路標識の種類 DB を作成した．また、警視庁や国土交通省が管理する道路標識の種類 DB から、道路標識の種類ごとに枠色と形状を判別できるため、道路標識の枠色と形状ごとの個数 DB への変換も容易であると考えられるため、道路標識の種類 DB から道路標識の形状と枠色ごとの個数 DB を作成した．図 7 は、本論文で作成した道路標識位置 DB を google map¹⁶⁾ にマッピングさせたものである．高田馬場駅周辺において作成し、137 個の道路標識の位置情報と道路標識の形状と枠色ごとの個数を保有している．

図 8 はユーザから見た処理の流れである．利用者から見た提案手法は、GPS 取得した後道路標識とランドマークを選択するだけで厳密な現在地を特定できるため、提案手法が利用者にとって高い親和性を持つことが期待できる．

3.2 GPS 座標取得ステップ

GPS 座標取得ステップでは、利用者的大まかな位置を特定する．利用者は携帯 GPS を用いて現在地の座標を携帯電話各社の GPS 座標取得ページから取得し、サーバへ送る．サーバは、取得した座標には測位誤差が含まれることを前提とし、取得座標から半径 200 m 以内に存在する道路標識をすべて現在地候補とする．2.2 節より携帯 GPS の測位誤差が最大で 80 m 程度生じることが分かっているが、磁場嵐や GPS 衛星の見え方によって測位誤差が増加する可能性があるため、候補範囲は冗長性を持たせている．事前調査⁹⁾によると取得座標から半径 200 m 以内を検索し、道路標識判別ステップで利用者が道路標識を 2 回選択することにより、現在地候補を 5 個以下に絞れるため、候補範囲を半径 200 m 以内とした．

3.3 道路標識判別ステップ

道路標識判別ステップでは GPS 座標取得ステップで取得した利用者的大まかな位置範囲から、利用者が目の前に存在する道路標識を選択することにより利用者の現在地である道路

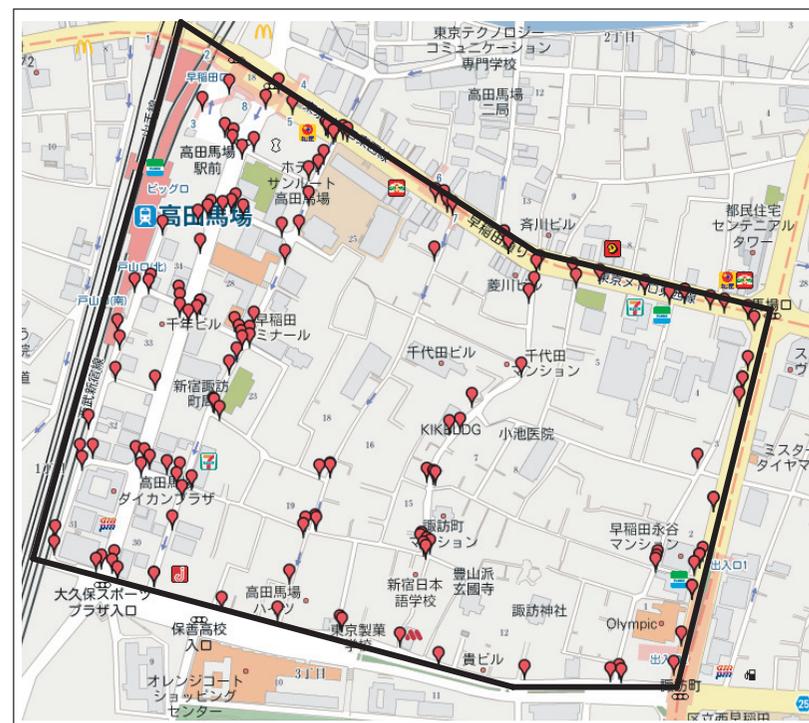


図 7 DB 作成範囲

Fig. 7 Area where we have constructed our database.

標識の候補を絞る．

道路標識判別ステップでは、システムが道路標識の判別を間違えると見当違いの場所に存在する道路標識を利用者に提示する可能性があるため、確実にシステムが道路標識を判別する必要がある．システムが道路標識を判別するには、利用者から見て、自動入力方式と手動入力方式の 2 つの方式が考えられる．

道路標識の自動入力方式は、利用者が携帯カメラなどで撮影した画像や動画から道路標識の種類や数をサーバが判別する入力方式である．画像から道路標識を判別する解析手法は多く提案されている^{9),17),18)}．しかし、携帯カメラによる自動認識には以下のデメリットが存在する．

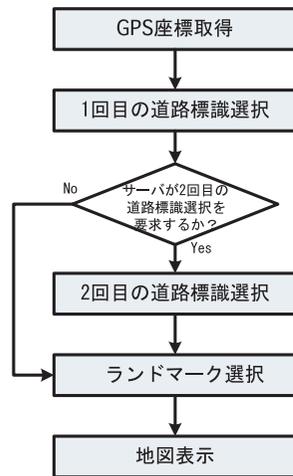


図 8 ユーザから見た処理の流れ

Fig. 8 Processing flow from the viewpoint of a user.

- (1) 道路標識を撮影する際、空の領域が多く入るため、昼間は逆光の影響を受けやすい¹⁷⁾。
- (2) 夜間の場合、携帯ライトがない場合は道路標識を認識しにくい¹⁷⁾。
- (3) 夜間の場合、警戒標識の認識が難しい¹⁷⁾。
- (4) 経験から、道路標識を鮮明に撮影するには携帯カメラに付属している様々な撮影モードを用いるため、携帯カメラを使い慣れている必要がある。
- (5) 経験から、道路標識を鮮明に撮影するには、撮影モードをいろいろと調整するため、30秒程度かかり、選択方式の方が処理が早い。
- (6) 経験から、利用者は道路標識を立ち止まって撮影するため、歩道の場合は歩行者・自転車、脇道などでは車の邪魔になり、利用者が危険である。

(4)–(6)の経験とは、第1著者の文献17)において携帯カメラを用いて様々な撮影状況で約2,700枚の道路標識を撮影した経験である。(1)–(5)のデメリットから携帯カメラによる自動認識は、現状においてデメリットが多く、システムが確実に道路標識を判別することができない。また、(6)より利用者に危険が及ぶため提案手法に用いるべきではないと判断した。同様に、動画撮影などの自動認識も、携帯カメラと同様のデメリットが存在するため、用いるべきではないと判断できる。

道路標識の手動入力では、シンボル部を含めた道路標識の種類は100種類以上存在し、利

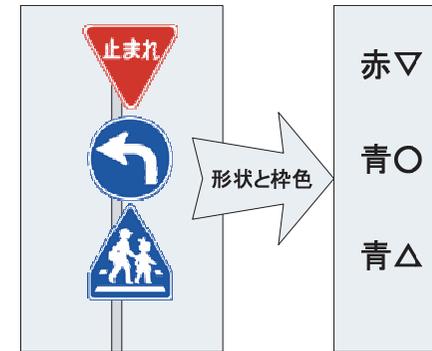


図 9 道路標識の枠色と形状

Fig. 9 Example of frame colors and shapes of road traffic signs.

用者が道路標識の正式名称を知らない可能性が高いため、ユーザビリティが著しく悪いことが自明である。しかし、道路標識には、歩行者や車が判断しやすくするために、枠色や形状に規則性が存在する。提案手法では、枠色や形状の規則性を用いることにより、選択方式にすることが可能だと考えた。

3.3.1 要求精度

道路標識の選択には、枠色と形状のみを用いる。図9は上から一時停止、指定方向外進入禁止、横断歩道の標識である。道路標識の枠色と形状とは図9において上から赤・青・青を示す。シンボル部とは枠色部分を抜かした内側全体を示す。文献18)と3.3.2項と3.3.3項で示すように、枠色・形状・シンボル部のすべてを扱っても、枠色と形状のみでも現在地候補の絞り込みについての結果がほぼ変わらないため、道路標識の選択に枠色と形状のみを用いる。

提案手法に用いる道路標識の枠色と形状は7種類に分類できる。赤・赤・赤・青・青・青・黄である。道路標識の枠色と形状には、厳密にはほかにも黒長方形(補助標識)・緑長方形(案内標識)・青長方形(案内標識や一方通行など)が存在するが、(1)高田馬場駅周辺において20人が道路標識を調査した際、上記の7種類に属する道路標識以外を道路標識と認識しなかったこと、(2)案内標識は車線が複数ある道路に存在し、歩道に設置されないため歩行者の視線に入らず、歩行者の位置特定には向かないことより、上記の7種類に属する道路標識のみを対象とすることにした。道路交通法により定められた道路標識はこれですべてである¹⁹⁾。表3は、道路標識の枠色と形状ごとの標識例である。利用者はこの7種

表 3 枠色と形状の種類とその例
Table 3 The frame colors and shapes of road traffic signs.

赤	赤	赤	青	青	青	黄

類の中から選ぶ。図 9 の標識では、赤・青・青のすべてを選択する。選択肢が 7 種類だけであるため、利用者が判断しやすく、自動入力方式や道路標識の正式名称を入力する方式と比べるとユーザビリティが向上する。

3.3.2 処理の流れ

道路標識判別ステップでは、(1)–(7)の順に処理し、規定数以下に候補を絞る。

- (1) 利用者は近くにある道路標識を見つけ、その枠色と形状を選択式で入力する(図 6 の(a))。
- (2) サーバは選択された道路標識を GPS 座標取得ステップで絞られた現在地候補から検索し、マッチングした道路標識すべてを新たな現在地候補とする(図 6 の(b))。
- (3) サーバは候補が規定数以下であるならば、ランドマーク選択ステップに進む。規定数以上であるならば、(4)に進む(図 6 の(c))。
- (4) サーバは絞られた候補の周辺に存在する道路標識を隣接標識として新たな候補とする。隣接標識の選び方は 3.3.3 項に述べる(図 6 の(d))。
- (5) サーバは利用者に 1 回目とは違う枠色と形状の道路標識の入力を促す。
- (6) 利用者は 1 回目の選択した道路標識の近くに存在する道路標識を再度選択し、サーバに送る(図 6 の(a))。
- (7) サーバは、2 回目に選択された道路標識を(4)の隣接標識の候補から検索し、候補を絞る(図 6 の(e))。

2 回目の選択において 1 回目と違う枠色と形状を選択する理由は、1 回目の道路標識選択から 2 回目の道路標識選択のために数十 m 程度移動し、2 回目の選択で 1 回目と同じ道路標識を選択すると、1 回目に選択したときと重なる候補が多いためである。たとえば、赤 1 個のみをつねに選び続けた場合、候補が増えるだけで永遠に現在地を特定できない可能性がある。道路標識選択ステップで絞る現在地候補の規定数は 5 個とする。

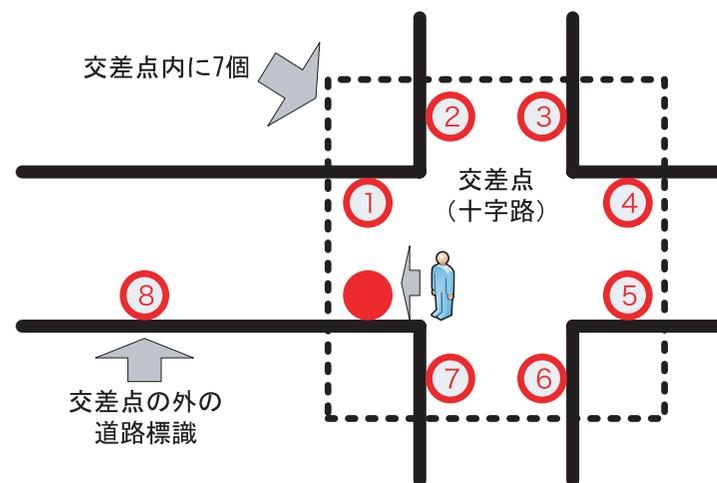


図 10 都市部の交差点付近における道路標識の設置個数
Fig. 10 Number of road traffic signs placed nearby a crossroad in urban areas.

3.3.3 隣接標識

2 回目の道路標識選択の際に利用者は道路標識を探すために移動する可能性がある。1 回目の道路標識選択を用いて現在地候補を絞ると同時に、利用者が移動しても現在地を特定できるように、現在地候補を再構築する必要がある。1 回目の道路標識選択で絞られた現在地候補近くの道路標識を隣接標識と定義し、隣接標識を現在地候補とする。隣接標識は、道路標識の過密度によって選び方を変える必要がある。都市部の繁華街など道路標識が多い場所では膨大な数が対象になる可能性があり、住宅街など道路標識が少ない場所では利用者が道路標識を探すために数十 m 程度移動する可能性が高いためである。

図 10 は一般的な都市部の交差点付近における道路標識の設置場所を示した図である。図 10 の ①–⑧は道路標識を示す。一般的に道路標識は、交差点の入口と出口に設置されているため、交差点の角ごとに 2 個の道路標識が存在する。これは、たとえば、⑧の方向から交差点の方向へ自動車が行って来て、交差点を左折する場合、①の道路標識によって、運転手に交差点の制限を伝え、②の道路標識によって左折後の道路の制限を伝えるためである。都市部ではこのような状況がすべての方向で起こるため、交差点の角ごとに 2 個の道路標識が存在し、都市部の交差点には合計で 8 個の道路標識が存在する。

図 10 において利用者が 1 回目の道路標識選択に ①の道路標識を用いた場合、利用者が

2 回目の道路標識選択に用いる可能性がある道路標識は利用者がいる交差点内の道路標識 (図 10 の①-⑦) と利用者の視線にある最初の道路標識 (図 10 の⑧) であり, 最低でも 8 個の道路標識が選択される可能性がある. 標識密集地は, 利用者が 1 回目を選択した道路標識から移動せずに 2 回目に選択する道路標識を決められるため, 交差点内の道路標識と利用者の視線にある最初の道路標識を選択する可能性が高い. よって, 本論文では基準とする道路標識の周辺に道路標識が 8 個以上存在する場合, 基準とする道路標識を標識密集地に存在する道路標識と定義し, 8 個未満の場合, 標識過疎地に存在する道路標識と定義する.

隣接標識の選択手法を提案する. 1 回目の道路標識選択後の 1 力所の候補から半径 40 m 以内に存在する道路標識の個数を数え, 8 個以上存在するならば標識密集地と考え, 半径 40 m 以内に存在する道路標識をすべて隣接標識とする. 8 個未満ならば標識過疎地と考え, 半径 60 m 以下に存在する道路標識をすべて隣接標識とする. 1 回目の道路標識選択で絞られた現在地候補のそれぞれに対し隣接標識を求め, そのすべてを新たな現在地候補とする.

隣接標識の標識密集地と標識過疎地の検索範囲 (上述の 40 m と 60 m) は次のように考え, シミュレーションから定義した.

- (1) 対象を高田馬場駅周辺とした. 高田馬場駅周辺は, 駅周辺においてビルが立ち並び, 駅から離れた地域には住宅街も多く存在するため, 都市部のビル街と住宅街の両方を同時にシミュレーションできるためである.
- (2) 標識過密地に存在する道路標識でも標識過疎地に存在する道路標識でも 2 回目の道路標識選択により現在地候補が 5 個以下に絞れる.
- (3) 利用者は道路標識を探すために移動する可能性があるため, できるだけ範囲を大きくとる.

シミュレーション範囲は, 3.1 節で作成した DB の範囲と同一であり, シミュレーションに用いた DB は, 3.1 節で作成した道路標識の位置 DB と道路標識の枠色と形状ごとの DB である. シミュレーション範囲は図 11 の太線で囲った部分であり, 図 11 の印が道路標識を示し, 印の根元が道路標識が存在する場所である. シミュレーション範囲内には 137 個の道路標識が含まれている. そのうち, 標識密集地と標識過疎地に属する道路標識は, 25 個と 112 個であった. シミュレーションの結果, 隣接標識の検索範囲は標識密集地が半径 40 m 以内, 標識過疎地が半径 60 m 以内とすると, 上記 (2) の条件を満足することができたため, このように検索範囲を決定した.

3.4 ランドマーク選択ステップ

ランドマーク選択ステップでは, サーバが道路標識判別ステップで絞られた現在地候補に

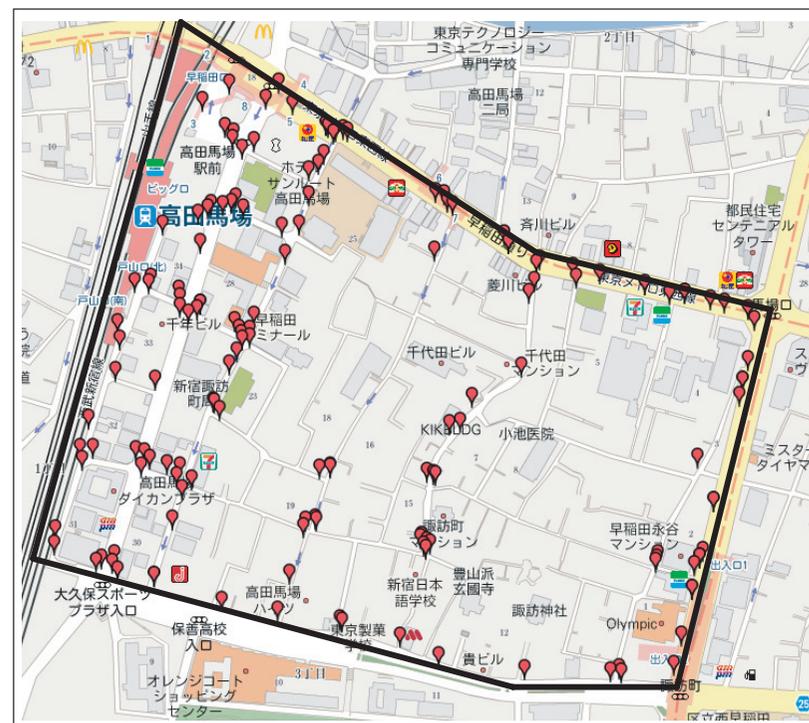


図 11 シミュレーション範囲
Fig. 11 Simulation area.

対応するランドマークを利用者に提示し, 利用者は周囲に存在するランドマークを選択することにより, 唯一の現在地を特定することができる. ランドマークは 1 力所の候補につき提示する個数を 3 個とした. 1-2 個では利用者がランドマークを見つけられない場合やランドマークが消えた場合に現在地を特定できなくなり, 目立つものがない住宅地において 1 力所の候補につき 4 個もランドマークが存在しない場合があるため, 3 個が適切だと判断した.

3.5 地図表示ステップ

地図表示ステップでは, サーバがランドマーク選択ステップで特定された現在地を表示した地図を利用者に送信する.

表 4 各ステップにより道路標識を特定できた箇所の個数

Table 4 Number of the points where a road traffic sign is specified correctly in each step.

	ステップ 1+2+3	ステップ 1+2	ステップ 1+3	総数
道路標識を 特定できた回数	137	13	0	137

3.6 道路標識選択ステップとランドマーク選択ステップの必要性

提案手法は利用者の現在地を道路標識の位置と同一視し、利用者の現在地を特定するため、道路標識を1つに絞る必要がある。3.1節で作成したDBの範囲において、携帯GPSの測位誤差を0と仮定したとき、GPS座標取得ステップとランドマーク選択ステップのみ、あるいはGPS座標取得ステップと道路標識選択ステップのみで道路標識を絞れるかシミュレーション上で検証した。シミュレーションに用いた道路標識の情報は、3.1節で作成した道路標識の位置DBと道路標識の枠色と形状ごとのDBを用いた。シミュレーション範囲である新宿区高田馬場駅周辺は、ビル街と住宅街が両方存在するため、都市部の縮図と考えた。

表4は、各ステップごとに道路標識が特定できた箇所の個数である。表4のステップ1、ステップ2、ステップ3とは、GPS座標取得ステップ、道路標識選択ステップ、ランドマーク選択ステップを示す。表4から、GPS座標取得ステップとランドマーク選択ステップのみ、あるいはGPS座標取得ステップと道路標識選択ステップのみでは道路標識を1つに絞ることができないため、GPS座標取得ステップ、道路標識選択ステップ、ランドマーク選択ステップの3つのステップが必要であることが分かる。

また、現在地を特定した後、利用者が地図上で現在地を認識する際に、利用者は2つ以上のランドマークを地図上とマッピングさせる必要がある。提案手法では利用者に道路標識とランドマークを選択させることにより、地図上の選択した道路標識の位置とランドマークの位置を確かめることができるため、利用者は現在地を認識しやすい。これからも、道路標識選択ステップ、ランドマーク選択ステップが必要であることが分かる。

4. 実地調査による評価

本章では、提案手法を評価し、有効性を確認する。まず、提案手法を評価するために、提案手法を用いた位置特定システムを実装した。次に、実装した位置特定システムを用いて都市部の縮図と考えた新宿区高田馬場駅周辺で実地調査し、携帯GPSと比較することにより提案手法の有効性を確認した。

4.1 提案手法を用いた位置特定システム

提案手法をPerlを用いたCGI環境で位置特定システムとして実装した^{*1}。地図表示にはgoogle static mapを用いた¹⁶⁾。google static mapは、携帯電話で地図を表示するために開発された地図表示ソフトウェアであり、利用者に地図を提供することができる。図12は利用者の携帯電話に表示される処理の流れである。左上が本システムが稼働しているページのTOP画面、左下が道路標識選択、右上がランドマーク選択、右下が地図表示を示す。

4.2 調査環境

提案手法の対象範囲はマルチパスの測位誤差が生じやすい都市部である。提案手法を評価するために、ビル街と住宅街の両方が存在する都市部の縮図として新宿区高田馬場駅周辺を実地調査した。高田馬場駅周辺は、駅周辺においてビルが立ち並び、駅から離れた地域には住宅街も多く存在するため、実地調査するには妥当だと考えた。調査範囲は、3.1節で作成したDBの範囲と同一であり、本システムに用いたDBは、3.1節で作成した道路標識の位置DBと道路標識の枠色と形状ごとのDBである。

調査に用いた測定回数は、NTTドコモ社の携帯電話が137回であり、KDDI社の携帯電話が48回である。図13と図14は、NTTドコモ社とKDDI社における調査地である。図13と図14において、囲まれた範囲が調査範囲であり、利用可能面積は約240,000m²である。また、印の根元が利用者が最初に見つけた(道路標識ステップにおいて1回目の選択に用いた)道路標識の位置であり、調査範囲に137個の道路標識が含まれている。NTTドコモ社に関しては、調査範囲内のすべての道路標識において調査した。

4.3 提案手法と携帯GPSの比較基準

提案手法の有効性を評価するために、既存手法である携帯GPSと比較する。既存手法と提案手法では利用者が現在地を認識するまでの過程が異なるため、既存手法と提案手法を同一の評価方法にすることは難しい。よって、既存手法を提案手法の評価方法に基準をあわせることにより提案手法を評価した。

まず、既存手法と提案手法の評価手法の違いを利用者の現在地認識という観点から解説する。

*1 我々は本システムをTSPS(Traffic Sign based Positioning System)と名付けた。http://www.togawa.cs.waseda.ac.jp/TSPS/cgi-bin/Start.cgiにアクセスすることで、実際に利用することができる。2009年5月現在、NTTドコモ社、KDDI社、SoftBank社のGPS携帯電話において動作を確認した。2009年5月現在の稼働範囲は、3.1節の図7と同一である。



図 12 実装した CGI ページ
 Fig.12 Implemented system using CGI.

● 既存手法

既存手法では、既存手法により現在地の座標を取得し、取得した座標を地図上にプロットすることにより、利用者は周囲のランドマークや道路などから地図と現実をマッピングさせ現在地を認識する。よって、既存手法において最初の現在地特定の測位精度が大きくずれると、利用者が地図とのマッピングがしにくくなるため、測位精度が重要に

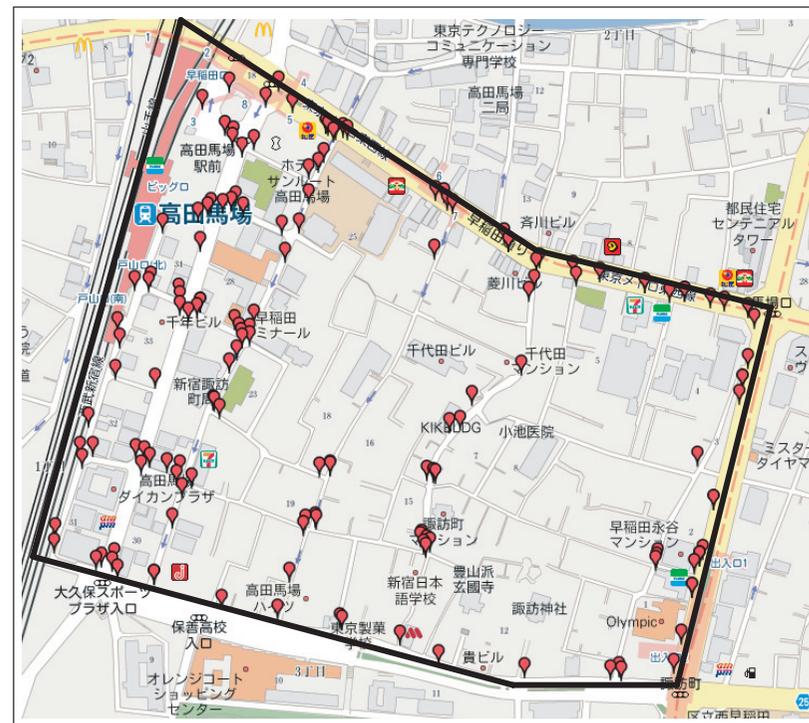


図 13 NTT ドコモ社の実証実験調査地
 Fig.13 Investigated area using an NTT DoCoMo mobile phone.

なる。

● 提案手法

提案手法では、提案手法によって利用者が見つけた道路標識の正確な位置を地図上で確認することにより、利用者は自身の位置を選択した道路標識とランドマークから相対的に認識することができる。よって、提案手法において認識精度よりも目の前の道路標識を確実に特定することが重要になる。

以上のように、既存手法の評価方法は測位精度であるが、提案手法では道路標識を確実に特定できる確率と異なったものになる。

次に、評価手法を一致させるため、既存手法を提案手法にあわせ、どちらも特定できる



図 14 KDDI 社の実証実験調査地
Fig. 14 Investigated area using a KDDI mobile phone.

確率にする。既存手法は利用者が満足する測位誤差 5 m 未満であれば、特定成功と定義し、5 m 以上ならば特定失敗と定義する。また、提案手法は、道路標識の位置を正しく特定できた場合、現在地を特定できたと考え、特定成功と定義する。

4.4 調査結果

第 1 著者が NTT ドコモ社の N905i を使い、第 2 著者が KDDI 社の W47T を用いて実地調査した。捕捉できる GPS 衛星が違うように、2008 年 12 月-2009 年 1 月のランダムな時間に調査した。表 5 は、提案手法を実装したシステムの実地調査の結果と携帯 GPS が測位誤差 5 m 未満に特定できた確率である。携帯 GPS は、2.2 節の携帯 GPS の測位誤差調査の際に取得したデータを比較対象として用いた。表 5 から携帯 GPS が 5.4%しか現在

表 5 実証実験の結果
Table 5 Investigation results.

機種	特定成功率	失敗回数	総実験数	平均選択回数	処理時間
携帯 GPS	5.4%	115 個	122 個	NA	10-20 秒
N905i	100.0%	0 個	137 個	1.28 回	30 秒
W47T	95.8%	2 個	48 個	1.30 回	29 秒



図 15 入力不足となった道路標識 (1)
Fig. 15 A road traffic sign which could not be found by users (1).

地を特定できないのに対し、提案手法では現在地を 98%と高い精度で特定することができ、本システムが有効であることが確認できた。

本調査では 2 カ所において現在地を特定できなかった。2 カ所に関しては道路標識の入力不足により誤った場所を特定した。入力不足であった地点の道路標識を図 15 と図 16 の内に示す。図 15 は利用者が反対側に存在する道路標識を見逃した例である。図 16 の(表)では利用者が支柱の上に存在する道路標識を選択するか分からず、入力しなかった例である。図 16 の(裏)は、図 16 を反対側から見た道路標識である。図 16 の(裏)では反対側に存在する道路標識が入力されなかった。現在地を特定できなかった 2 カ所は、提案手法による問題でなくユーザビリティの問題であるため、外部要素による特定失敗を除けば、提案手法は 100%の確率で現在地を特定することが可能であることが分かった。提案手法は都市部の縮図とした高田馬場駅周辺において、すべての現在地を特定できたため、調査範囲外の都市部においても確実に現在地を特定できると考えられる。

道路標識選択回数は、表 5 より 1.3 回であった。7 割以上の調査地点において 1 回目の道



図 16 入力不足となった道路標識 (2)
Fig.16 Road traffic signs which could not be found by users (2).

路標識選択回数で現在地を特定できた。赤 1 個だけ、青 1 個だけを 1 回目を選択した場合は、ほぼ現在地候補を絞れないが、2 回目の道路標識選択により、1 回目の道路標識選択で現在地候補が絞れなかったすべての地点において現在地を特定できた。

処理時間は、携帯 GPS の測位時間・利用者が道路標識を見つけるまでの時間・通信時間にばらつきがあり、道路標識選択を 1 回の選択する場合に 20 秒程度、2 回選択する場合に 40 秒程度であった。携帯 GPS の測位と比べると地図を表示するまでに多少時間がかかるが、地図を表示した後から利用者が現在地を認識するまでの時間を考慮すると、地図と現実をマッピングする空間把握能力が人それぞれ違うため一概にはいえないが、提案手法の方が現在地を認識するまでの時間を短かくできる可能性がある。

利用者が道路標識の選択を間違えた場合には現在地が特定できないか、測位誤差が大きくなる可能性があることが分かった。一方、携帯 GPS は半径 76 m の範囲内で利用者の現在地を示すことができた。そのため、利用者の本システムに対する位置特定の要求は確実に厳密に現在地を特定できることである。本システムは現在地を 2 カ所において特定できなかったため、すべての地点において現在地を特定できるように、ユーザビリティの向上が課題である。

5. む す び

携帯 GPS の測位誤差を調査し、携帯 GPS が歩行者が満足する測位精度に達していない

ことを実地調査を通じて実証した後に、道路標識・ランドマークを用いて携帯 GPS の測位誤差を 0 に近づけるための位置特定手法について提案した。CGI 環境による実装し、NTT ドコモ社と KDDI 社の携帯電話で調査した。98%と高精度で現在地を厳密に特定でき、提案手法が有効な手法であることを確認した。今後は、提案手法を実装した位置特定システムのユーザビリティの向上を目指すとともに、提案手法を用いた歩行者ナビゲーションシステムにつなげる予定である。また、図 15、図 16 のような現在地から存在しても見えにくい道路標識を入力しても入力しなくても現在地を特定できるように、DB 検索エンジンの改良が今後の課題である。

謝辞 本研究は科研費 (21650238) の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) 総務省：携帯電話からの緊急通報における発信者位置情報通知機能に係る技術的条件 - 緊急通報機能等高度化委員会報告書 (案) (May 2004).
- 2) 安田明生：GPS の現状と展望，電子情報通信学会誌，Vol.82, No.12, pp.1207-1215 (1999).
- 3) koozy. <http://www.koozyt.com/>
- 4) 岡本篤樹，内田 敬，大藤武彦，川端莊平：歩行者ナビゲーションにおける位置特定基盤としての電波タグシステムの提案，第 2 回 ITS シンポジウム，pp.488-493 (2003).
- 5) 西村明彦，金 帝演，長谷川孝明：複数車線における自動車用 M-CubITS での車両位置特定について，電子情報通信学会技術研究報告，ITS2009-28, pp.115-119 (2009).
- 6) PlayStation.com. <http://www.jp.playstation.com/psp/>
- 7) ゼンリン. <http://www.zenrin.co.jp/>
- 8) 朝生雅人，嶋田静子，山本尚史，澤井信宏，苅谷亜希：FOMA 位置情報機能の開発，現在地確認機能，NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル，Vol.13, No.4, pp.14-19 (2006).
- 9) 本多聖人，戸川 望，柳澤政生，大附辰夫：歩行者ナビゲーションにおける携帯電話カメラ機能とランドマークを利用した位置補正手法，電子情報通信学会技術研究報告，ITS2007-29, pp.33-38 (2007).
- 10) 総合科学技術会議事務局：GPS 測位利用調査結果 (速報)，総合科学技術会議第 12 回宇宙開発利用専門調査会議事次第，資料 12-5 (2007).
- 11) 柳原徳久，渡邊正彦：都市部における GPS の実測評価及び測位の検討，情報処理学会研究報告，2003-ITS-13, pp.25-32 (2003).
- 12) 町田基宏，片桐雅二，杉村利明：Bluetooth Beacons による歩行者ナビゲーションの一検討，情報処理学会研究報告，2001-MBL-18, pp.69-74 (2001).
- 13) 野原 健，久保幸弘，杉本末雄：GPS 相対測位への H_{∞} フィルタの適用，電子情報通信学会技術研究報告，CAS97-112, pp.9-16 (1998).

- 14) モバイル・コンテンツ・フォーラム：ケータイ白書 2009, モバイル・コンテンツ・フォーラム (編), インプレス R&D (2008).
- 15) 警視庁：警視庁の統計 (平成 20 年). <http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/>
- 16) Google. <http://www.google.co.jp/>
- 17) 児島伴幸, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫：歩行者ナビゲーションにおける道路標識を用いた位置特定システムのための撮影状況に依存した認識度調査, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2008-14, pp.37-42 (2008).
- 18) 宮川 了, 戸川 望, 柳沢政生, 大附辰夫：位置特定のための携帯電話向け道路標識認識アルゴリズム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2008) シンポジウム, pp.844-852 (2008).
- 19) KICTEC. <http://www.kictec.co.jp/>

(平成 21 年 5 月 24 日受付)
(平成 21 年 12 月 17 日採録)



児島 伴幸

1985 年生. 2008 年早稲田大学工学部コンピュータ・ネットワーク工学科卒業. 現在, 早稲田大学基幹理工学研究科情報理工学専攻修士課程在学. 歩行者向けナビゲーションシステム, 特に歩行者向けナビゲーションシステムにおける位置特定システムに関する研究に従事.



山根 和也

1986 年生. 2009 年早稲田大学工学部コンピュータ・ネットワーク工学科卒業. 在学中, 歩行者向けナビゲーションシステム, 特に歩行者向けナビゲーションシステムにおける位置特定システムに関する研究に従事.



柳澤 政生 (正会員)

1959 年生. 1981 年早稲田大学工学部電子通信学科卒業. 1983 年同大学大学院博士前期課程修了. 1986 年同大学院博士後期課程修了. 工学博士. 現在, 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻教授. 電子回路の設計自動化, ノイズ解析, 計算幾何学, グラフ理論等の研究に従事. 1987 年度丹羽記念賞受賞. 1990 年安藤博学術奨励賞受賞. IEEE, ACM, 電子情報通信学会, プリント回路学会, 日本 OR 学会各会員.



大附 辰夫 (正会員)

1940 年生. 1963 年早稲田大学工学部電気通信学科卒業. 1965 年同大学大学院修士課程修了. 同年日本電気 (株) 入社. 1980 年同退社. 現在, 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻教授. 工学博士. システム LSI およびこれに関連した基礎研究に従事. 1969 年度電子情報通信学会論文賞受賞. 1994 年度第 32 回電子情報通信学会業績賞受賞. IEEE CAS Society より Guillmin-Cauer Prize Award (1974 年), Meritorious Service Award (1995 年), Golden Jubilee Medal (2000 年) 受賞. 2000 年 IEEE より 3rd Millennium Medal 受賞. 共著『VLSI の設計 I』(岩波書店), 編共著『Layout Design and Verification』(North-Holland). IEEE フェロー, 電子情報通信学会フェロー. 電気学会, プリント回路学会各会員.



戸川 望 (正会員)

1970 年生. 1992 年早稲田大学工学部電子通信学科卒業. 1994 年同大学大学院修士課程修了. 1997 年同大学院博士後期課程修了. 博士 (工学). 現在, 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻教授. VLSI 設計, 計算幾何学, グラフ理論等の研究に従事. 1996 年第 9 回安藤博記念学術奨励賞受賞. 1997 年度 (第 21 回) 丹羽記念賞受賞. IEEE, 電子情報通信学会各会員.