

PHS 位置検出方法の検討

菊池保文* 前田典彦* 久保田浩司*

*NTT サービスインテグレーション基盤研究所

歩行者に道案内や現在地周辺情報などを提供する歩行者ナビゲーションは、携帯端末の小型化、位置取得技術の発展に伴って実現されつつある。この歩行者ナビゲーションでは、歩行者の位置情報を高精度に検出する必要がある。筆者らは、PHS を利用した位置検出技術について、従来より精度の高い位置計算方式を考案した。その特徴は、端末が受信した複数の基地局情報のうち、位置誤差の原因となるシャドウイングの影響が少ないと推定される電波のみを用いて位置計算に利用する点である。実験地域として基地局が密に設置された市街地を選定し、基地局情報の測定および位置計算を行った。その結果、平均基地局間距離で除算した誤差が、累積確率 90% で 0.75 となり、従来の方式と比べ精度が改善されることを確認した。

Examination of Location Detection Method for PHS

Yasufumi KIKUCHI* , Fumihiko MAEDA* , Koji KUBOTA*

*NTT Service Integration Laboratories

Pedestrian navigation systems are beginning to be offered, which are capable of navigating the pedestrian through streets and providing a variety of information about the area around the current location. Pedestrian's location detection is very important technologies for the pedestrian navigation systems. In this paper, we propose the location detection method that precision is better for PHS. The characteristic of that method is to choose the electric wave which is effective in the calculation from plural electric wave. We show the location detection precision by the proposal method improves from the result of experiment.

1. はじめに

高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)は、情報通信技術を用いて人と道路と車両の間を結び、道路交通の安全性・効率性・快適性の向上を目的としている。5 省庁が協力して策定した「ITS 推進に関する全体構想」^[1]では、9 分野 21 ユーザサービスがあげられている。その中に、歩行者支援として歩行者に対する経路案内サービス、危険防止サービスが提示されており、歩行者空間等における歩行者、車椅子利用者、自転車などの安全性、快適性、利便性の向上を目指した共同研究、社会実験への取り組みを開始している^[2]。

一方、携帯端末の小型化、高機能化、携帯型電話ネットワークの整備、位置取得技術の発展などに伴い、カーナビゲーションシステムと同様に、道案内や現在地周辺情報などを歩行者に提供する歩行者ナビゲーションシステムが実現されつつある^{[3][4]}。

歩行者ナビゲーションの実現における最大の課題は、ユーザの現在位置を検出するための技術である。屋内外を頻繁に出入りし、細い道も自由に通行する歩行者に対しナビゲーションを実現するためには、様々な環境で、より正確に利用者の位置を取得する必要がある。

筆者らは歩行者に対し、位置・向きを考慮し、詳細

地図を使った理解しやすい道案内や店舗等の情報提供を目的とし、向き検出装置および小型画像拡大装置を一体化した PHS 端末と、これを用いた歩行者ナビゲーションシステムを開発してきた^{[5]-[7]}。さらに、歩行者ナビゲーションにおける位置検出の課題を解決するため、屋内および地下街等でも利用可能な PHS 電波を利用した位置検出方式を採用し、さらなる精度の改善を試み、新たな位置検出方式を考案した。本稿では、考案した位置検出方式と、その有効性を実験評価した結果を報告する。

以下、2 章で歩行者ナビゲーションシステムにおける位置検出の課題に対する分析を行い、その分析をもとに 3 章で PHS 改良位置計算方式を提案する。さらに、4 章では開発した位置計算方式を用いた実験、評価を行い、5 章でまとめる。

2. 位置検出における課題と分析

位置検出技術として現在主流となっているのは、GPS とセル ID 方式である。本章では、GPS とセル ID 方式の概要を述べ、比較、検討を行った結果について述べる。

2-1 GPS

GPS は、10m～100mと位置精度が良く、機器の低価格化等の理由によってカーナビなど広く普及している。また、機器の小型化も進んでおり、GPS レシーバを組み込んだ PDA 端末もいくつか製品化されている^{[3][4]}。しかし、GPS は衛星からの電波を利用することから、地下街や屋内など、衛星の電波を完全に受信できない地点では、位置取得は不可能である。また、ビル街など上空の見通しが悪い地点では位置の測定が困難である上、高層ビルなどの多重反射による精度劣化がある^[8]。

誤差補正を何も行わない GPS を内蔵した PDA 製品(A-PDA)と、感度の向上と誤差補正を行う GPS を内蔵した PDA 製品(B-PDA)を用いて、比較的ビルが多い都市部の屋外で位置の測定実験を行った(測定

日:平成 12 年 10 月 25 日)。それぞれ、位置測定ができない測定ポイントが数箇所あった。また、位置精度も一般に言われている値より悪い地点も数箇所あった。これらの結果をまとめたものを表 1 に示す。位置取得不可または 100m 超の誤差といった位置取得に困難な場所が、平均約 17%あり、都市部での利用に制約が生じることが確認された。

表 1 都市部における小型 GPS 製品を用いた位置検出実験の結果

	測定不可率	誤差 100m 超率
A-PDA	10 %	16 %
B-PDA	5 %	3 %

2-2 セル ID 方式

セル ID 方式は移動端末が通信する基地局の座標を利用するもので、主にマイクロセル方式である PHS でサービスが提供されている^[9]。セル ID 方式は、基地局電波の届くサービスエリア内であれば屋内外を問わず位置を取得できる。

2-2-1 単一局方式^[9]

PHS 端末は、通話のためにある一定の間隔で周辺の基地局(Cell Station; CS)を検索し、最も電界強度の強い CS を探し出す機能を持つ。具体的には、制御チャネルを利用して、複数の CS から各基地局の ID(Cell Station Identification; CSID)と電界強度を取得し、最も電界強度の強い CS に対してリンクを確立する。また、PHS は着信接続のために、PHS 端末に付与した電話番号と、PHS 端末とリンクを確立している CS との対応関係を登録する位置登録機能を持つ。

通常、PHS 端末は距離的に近い位置にある CS の電波を最も強く受信することから、PHS 端末から通知された CS の位置座標をセンタで検索することで、PHS 端末の位置を CS のカバーエリア毎に特定することができる。PHS はマイクロセルによりサービスエリ

アが構成されており、CS は数百メートル程度の狭い間隔で設置されているため、PHS 端末の位置を数百メートル程度の精度で特定することが可能である。

2-2-2 複数局方式^[10]

3つ以上の CS に対して、CS 位置座標と移動携帯局 (Portable Station、以下 PS)-CS 間の距離が分かれば、三角測量の原理で PS の位置を特定できる。代表的なシステム図を図 1 に示す。PS は、受信した複数の CSID および電界強度を位置情報センタに送信する。位置情報センタには、CS の位置 (経緯度) などの情報を管理する CS データベースが接続されており、CSID からこれらの情報を取得できる。位置情報センタでは、PS が受信した電界強度から、CS-PS 間の距離を計算する。

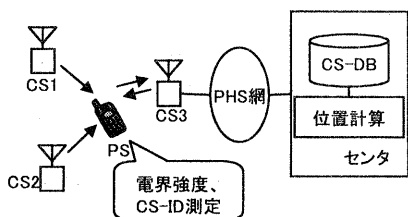


図 1 複数局方式における位置情報システム

受信点の CS からの距離を受信電界強度から推定する研究は多くなされているが、最も広く使われているのが、秦の式である^{[11][12]}。

$$\begin{aligned}
 L_p &= P_t - P_r \\
 &= P_t - E - 10 \log_{10}(\lambda^2 / 4 \pi) + 145.8 \\
 &= 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - \\
 &\quad a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R \\
 a(h_m) &= (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)
 \end{aligned}$$

式(1)

ここで、 L_p :伝播損失[dB]、 P_t :送信電力[dBW]、 E :受信電界強度[dBuV/m]、 f_c :周波数[MHz]、 h_b :基地局アンテナ高[m]、 h_m :移動局アンテナ高[m]、 R :伝播距離[km]である。

式(1)を R について逆算することで、CS-PS 間の距離を推定することができる。この推定距離と、複数の CS 位置座標から、三角測量の原理で PHS 端末の位置をピンポイントで特定する。

しかしながら、PHS 基地局の電波伝播に関しては、屋外では建物、道路構造、街路樹などによって、屋内では壁や什器などによって反射、回折等が発生し複雑な多重伝播経路 (マルチパス) が形成されることになり、フェージングによる波形歪みや、局所的な受信レベル変動が大きいことが知られている^[13]。そのため、式(1)から求める距離は誤差を含む。

実際に測定した電界強度から、CS-PS 間距離の推定距離と実際の距離との比較を図 2 に示す。例えば、20[dB μ V/m]付近を見てみると、式(1)から導いた推定距離 150m程度に対して、実際に測定した CS-PS 間距離は 60m-300m程度まで開きがある。つまり、受信点付近の環境によって、推定距離に大きな誤差が含まれる。この推定距離に含まれる誤差が、位置精度低下の原因となる。5局をもちいた複数局方式では、誤差が 40~70mと言われている^[10]。

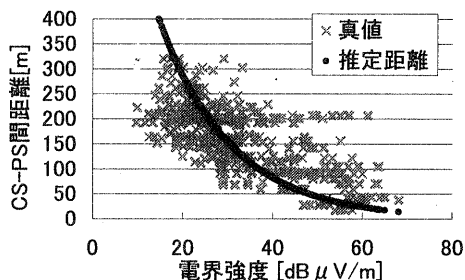


図 2 電界強度から推定した CS-PS 間距離に含まれる誤差

2-3 位置検出方法の比較検討

GPS 方式は精度が良く、携帯電話への搭載など機器の更なる小型化が検討されていることから^[14]、歩行者ナビゲーションに向いていると考えられる。しかし、歩行者の行動形態を考えたとき、屋内や地下街など

へ頻繁に出入りしたり、道に迷いやすい街路に入ることがあると考えられる。このような場所では GPS 電波が届きにくいので、セル ID 方式を利用する方が良い。したがって、GPS 方式とセル方式の併用が望ましい。GPS は、SA (Selective Availability; 安全保障上の理由から意図的に精度を下げる処理) 解除等により精度が更に向上すると予想されることから、セル ID 方式での更なる精度向上の検討が必要である。我々は、比較的精度が良いとされている複数局方式の改良を行った。

3 提案方式

提案方式では、2-2-2 で述べた複数局方式における問題点を解決するために、端末が受信した複数の電波のうち、反射等の影響が大きい電波を除外し、式1によって計算される推定距離に含まれる誤差が比較的少ない電波を用いて位置を計算することを考える。フローチャートを図3に示す。

提案方式では、従来の複数局方式と同様に、式(1)を用いて CS_i-PS 間の距離 R_i を求める。ここで、PS の位置座標を x とし、CS_i の座標を q_i とすると、理想的な状態では $\|x - q_i\| = R_i$ が成り立つ。しかし、上述のように距離 R_i は誤差を含むため、差分 ε_i が生じる。

$$\varepsilon_i = \|x - q_i\| - R_i \quad \text{式(2)}$$

この差分 ε_i が大きい電波は、式(1)による推定距離に大きな誤差が含まれていることになる。そこで本方式では、端末位置としてある初期座標 x_0 を決定して ε_i を求め、 $|\varepsilon_i| / R_i$ の値がある閾値を超える電波を計算から除外する。例えば、図4のように3つのCS情報をPSが受信したとき、CS2およびCS3については ε_i が小さいが、CS1については ε_i が大きいので、PS位置計算からCS1の情報を除外する。

残る電波を用いてPS位置座標 x を更新し、再び差分 ε_i を計算し、電波の選択およびPS位置の計算を繰り返す。PS位置の計算は、最小二乗法を用いた。また、初期座標として複数局方式の結果を用いた。

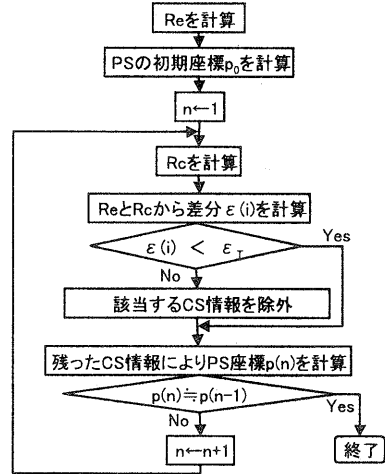


図3 提案方式のフローチャート

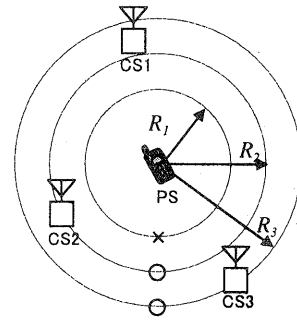


図4 電波除外の例

4 実験および評価

4-1 実験

CSが比較的密に設置されている市街地で測定を行った。CSIDおよびCS座標の正確なデータは、無線通信キャリアの専有情報であり、開示されていないため、事前にCSの調査を行った結果、この実験エリアでは100m四方にひとつ以上CSが設置されていた。測定ポイントは比較的見通しの良い道路の歩道上を100ポイント選定し、計10回の測定を行った。測定では一つのポイントについて多数のCSを受信できたが、事前調査にてCSIDが判明しなかったCSも多数含まれていた。そのため、位置計算および従来方式との比較検討に用いるデータとして、PSが受

信した CS のうち、受信電界強度の上位6局の CS 情報が全て判明しているデータを有効とした。有効データ数は全体の 1/4 程度であった。

4-1 結果

図 5 に位置計算結果の誤差の累積確率を示す。位置誤差は、CS 間距離の平均で除算した値を示している。縦軸は誤差の累積確率を表す。例えば、提案方式では累積確率が 95% で誤差が平均 CS 間隔と同一(誤差1)となっていることから、95%の確率で CS 間隔と同程度の精度で位置を検出できることを意味する。

図 5 では、比較のために単一局方式と複数局方式による結果を記した。単一局方式は、PS が受信した電界強度が最大の CS の位置座標を PS 位置としている。複数局方式は、式(1)より計算する距離と CS 位置座標から、最小二乗法によって PS 位置を計算した。

図 5 より、累積確率 90% で比較すると、単一局方式で誤差 1.05、複数局方式では誤差 0.9 なのに対し、提案方式では誤差 0.75 となっており、提案方式によって、位置精度を改善できることがわかった。

4-2 考察

単一局方式の精度は、マルチパスの影響等で最寄の CS が最も強い電界強度として取得できるとは限らないため、位置精度が CS 間隔で除算した誤差が 1 以上になる場合が多々あると考えられる。一方、測定するポイントが CS の直下で測定した場合の誤差はゼロに近い値となるなど、図 5 では、単一局方式でも誤差 1 で 80-90%程度と良い結果が得られている。これは今回の測定エリアが、ほぼ同じ種別の CS が密に設置された市街地の見通しの良い道路であったためと考えられる。このような CS が密なエリアであっても、提案方式の精度が単一局方式を上回っていることから、提案方式の有効性が確認できたと考える。

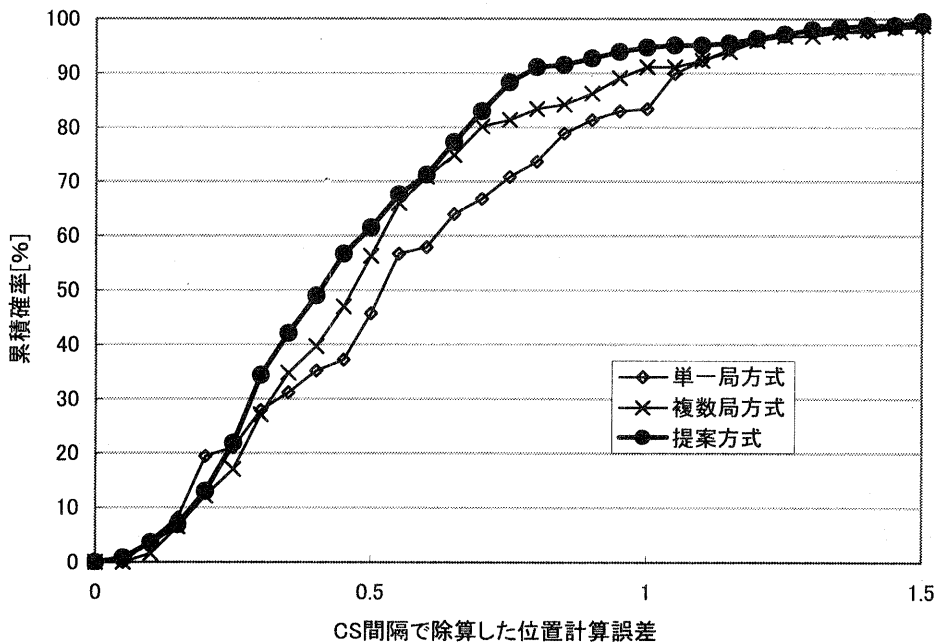


図 5 位置検出結果

提案方式の精度をさらに向上するためには、CS 情報を完備することが考えられる。本来は、自社が設置した CS については、全ての情報をセンタ側にて管理することができるが、今回の調査では実験エリアに設置された CS の一部分しか調べることができなかったため、上位6局という制限を設けた。PS が受信した CS 数を増やし、たくさんの CS 情報から位置計算に用いる CS を取捨選択することで、位置精度が向上すると考えられる。また、CS 情報として必要な情報は位置座標、基地局高さ、送信電力が必要であるが、高さや送信電力に関しては厳密に調べることができなかった。これらのデータを正確にすることで、式(1)から求める推定距離の誤差が小さくなり、より正確な位置推定につながると考えられる。

5 おわりに

PS が受信した CS 電波のうち、PS の位置座標計算に用いる情報を取捨選択する位置計算方式を提案し、その概要を示した。提案方式によって都市部で実験を行った結果、従来方式と比べ精度が改善されることを確認した。今後は伝播環境の異なる地域で実験を行い、提案方式の有効性を検証する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたりご指導いただきました NTT サービスインテグレーション基盤研究所 吉開範章プロジェクトマネージャー、NTT アドバンステクノロジ(株) 木村廣文部長、NTT コミュニケーションズ(株) 田中茂久課長に感謝いたします。

参考文献

[1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ,
<http://www.its.go.jp/ITS/j-html/5Ministries/index.html>

- [2] MRI ITS CLUB セミナー,“歩行者系ITSの現状と将来展望”,2000
- [3] Naviewn,
<http://www.nttdocomo.co.jp/mobile/lineup/naviewn/index.html>
- [4] Locatio,
<http://www.i-love-epson.co.jp/products/locatio/index.htm>
- [5] 菊池,前田,久保田,“歩行者ナビゲーションシステム”,2000年信学ソ大,A-17-24,2000
- [6] Y. Kikuchi, K. Kubota, H. Kimura, S. Tanaka, “Pedestrian Navigation System”, WPMC'00, vol.2, pp.859-864, Nov. 2000
- [7] 前田,菊池,久保田,“視き込み型ディスプレイを用いた歩行者ナビゲーション端末”,本研究会発表予定
- [8] 舘田,“GPS 受信機の測位原理”,GPS シンポジウム 2000 テキスト,日本航海学界 GPS 研究会,pp.185-219
- [9] “位置はどうやって測定する?精度はどこまで向上したのか”,日経コミュニケーション,2000.7.17
- [10] “位置情報サービスの技術と市場展望テキスト”,リックテレコムビジネスセミナー
- [11] 奥村,大森,河野,福田,“陸上移動無線における伝ぱん特性の実験的研究”,通研実報,Vol.16,No.9,pp.1705-1746,1967
- [12] M. Hata, “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, IEEE Trans. Veh. Technol., vol.VT29, No.3, August 1980
- [13] 川崎,多賀他,“PHS の無線回線設計技術”,NTT R&D Vol.44 No.9, pp.751-758, 1995
- [14] 北条,“GPS 受信機の現状と動向”,GPS シンポジウム'98 テキスト,日本航海学界 GPS 研究会, pp.211-221,1998