

構内用 PHS 位置検出実験システムの開発

杉浦 雅貴* 金谷 悦己* 中野 剛* 村田 浩**

*松下電器産業(株) マルチメディアシステム研究所

**松下通信工業(株) コミュニケーションシステム事業部

構内用 PHS において、高精度に移動局の位置を検出する方式を考案し、これに基づく実験システムを開発した。構内全体をカバーするように配置した事前測定ポイント上で受信される複数基地局の電界強度データを収集しておき、検出時、移動局で測定された複数基地局の電界強度データに類似した事前測定データを検索し、これに対応する位置情報を用いて、移動局の位置を推定する方式である。位置検出精度は、屋内で平均誤差約 11m、屋外で約 23m という評価結果を得た。これを利用することで、警備員の位置管理、医師・看護婦の位置管理、また遊園地等における迷子探索、美術館・博物館等の情報サービスなど、多様な位置検出アプリケーションを実現することができる。

Experiments of Locating System with PHS for Private Networks

Masataka SUGIURA* Etsumi KANAYA* Go NAKANO* Hiroshi MURATA**

*Multimedia Systems Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

**Communication Systems Division, Matsushita Communication Industrial Co., Ltd.

We have invented a method of locating a position of PHS mobile stations with a high accuracy in a private network, and developed a locating system to evaluate the accuracy of locating by this method. In this method, at first, radio wave strength levels from base stations are measured at a plurality of pre-measuring points arranged over the area, and in detecting process, some pre-measured data which resemble a radio wave strength levels received by a mobile station from base stations are searched, and according to the positional informations corresponding to the premeasured data, the position of the mobile station is estimated. The average accuracies of locating position are about 11m inside of buildings, and about 23m outside of that. We can apply this locating method to many locating or navigating systems, for example, location management of guardmen or doctors and nurses, searching lost children or wandering old people, and information services in museum.

1. はじめに

PHS を用いた位置検出としては、PHS のサービスエリアが基地局を中心とする半径 100 ~ 200m という小さな無線ゾーンによって構成されることを利用して、移動局がどの基地局の配下に存在するかを特定する方式が、公衆網において開発されている⁽¹⁾。

また、移動局で測定される 3 つの基地局の電界強度情報を利用して、あらかじめ求めておいた基地局の電界強度分布マップに基づき、三角測量的に位置を特定する方式も開発されている。

一方、構内 PHS（自営網）を用いた位置検出の潜在的なニーズは、様々な分野に渡って存在していると考えられる。オフィスビルや工場などでの警備員位置管理、病院内での医師・看護婦の居場所管理、遊園地・イベント会場での情報サービス、迷子探索などである。こうした用途のシステムを実現するためには、従来より高精度（例えば 10m 程度）の位置検出が要求されると考えられる。

我々は、上記のような新規用途の構内用位置検出システムの実現に向けて、その基礎となる高精度 PHS 位置検出技術を新たに開発した。また本技術の評価実験システムを開発し、評価を行った。本技術の内容および評価結果について報告する。

2. 位置検出方式

【1】 PHS の電界分布特性

一般に、PHS 基地局の電波伝搬に関しては、屋外では、建物、道路構造、街路樹などによって、また屋内では、壁やパーティション、什器などによって大きな影響を受け、反射、回折等による複雑な多重伝搬経路（マルチパス）が形成されることとなり、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。(2)(3)

位置検出方式を決定するにあたり、PHS 電界分布の実態を知るために、電界強度の測定を行った。図1は、社内オフィスビルの通路において、5cm 間隔で PHS 基地局の電界強度を測定した結果である（基地局アンテナ高は 2.5m）。

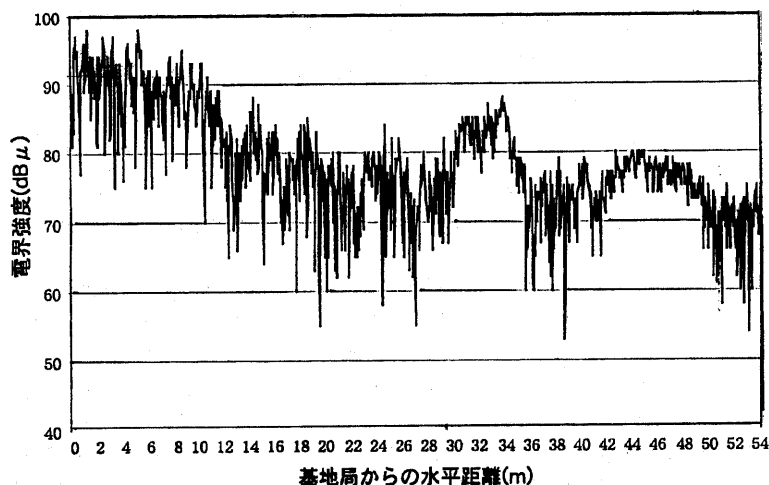


図1 電界強度測定結果

図1から明らかなように、短い区間における電界強度の変動が大きいので、何らかの一般的な電波伝搬推定式を求めることは困難と考えられる。しかし 10m 程度の長い区間で見た場合には、場所による電界強度の特徴を、ある程度見て取ることができる。従って、1つの基地局だけでなく、複数の基地局の電界強度を測定できれば、場所による電界強度パターンの特徴は、よりはっきりと現われてくると考えられる。

【2】 位置検出方式

そこで、今回開発した位置検出方式では、構内各所における複数基地局の電界強度パターンをあらかじめ実測しておき（事前測定）、検出時に移動局が測定した基地局電界強度データと事前測定データとの比較に基づいて検出処理を行うという方法を採用することとした。本方式の概要を図2

に示す。

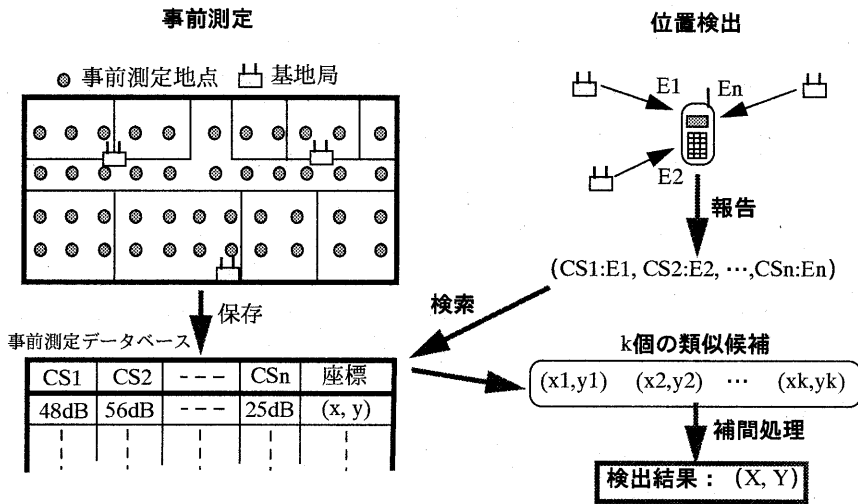


図2 位置検出方式

(1) 事前測定

構内のPHSサービスエリア全体をカバーするように、事前測定ポイントを設定する。各事前測定ポイント上において、測定用子機（移動局）を用いて、捕捉可能な最大8台までの複数基地局の電界強度を、複数回測定する。測定結果は、その事前測定ポイントの位置情報（座標値、建物番号、フロア番号など）と対応づけて記憶しておく。

こうしてすべての事前測定ポイントでの測定を終えると、事前測定データベースが得られる。この事前測定データベースは、サービスエリア各所における基地局の電界強度パターンを記憶しているものと考えることができる。

(2) 検出処理

検出時には、サービスエリア中の未知の地点で移動局によって測定された複数基地局（最大8台）の電界強度パターンをキーとして、事前測定データベースを検索し、キーパターンに類似した複数の事前測定データを抽出する。この際、類似の基準としては、サービスエリアを構成する全基地局の電界強度値を並べたベクトル間の距離を採用する。すなわち、いまサービスエリア全体に n 台の基地局が存在するとして、検出時に移動局で測定された電界強度パターンを $\{E1, E2, \dots, En\}$ 、事前測定データベースの電界強度パターンを $\{e1, e2, \dots, en\}$ で表現するとき、

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Ei - ei)^2} \quad [1]$$

の値が最も小さくなるような、複数の事前測定パターンを抽出する。ここで抽出する事前測定パターンの個数を、 k 個 ($k \geq 1$) とする。

こうして抽出された k 個の事前測定パターンにそれぞれ対応する位置情報（座標値）から、移動局の位置を推定する。いま、選ばれた k 個の事前測定パターンに対応する位置情報をそれぞれ $(x1, y1) \sim (xk, yk)$ とし、また検出時に移動局で測定した電界強度パターンとのベクトル間距離をそれぞれ $d1 \sim dk$ とすると、この移動局の位置 (X, Y) を以

下のような補間式（重み付き平均）に従って推定する。

$$X = \left(\sum_{i=1}^k \frac{x_i}{d_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{d_i} \right) \quad Y = \left(\sum_{i=1}^k \frac{y_i}{d_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{d_i} \right) \quad [2]$$

ここで重み付き平均の重みとして、 $d_1 \sim d_k$ の逆数を用いたのは、この値が小さければ小さいほど、データの類似度が高いことを示しているため、補間時の重みを高くする必要があると考えたからである。kの値としては、予備的な実験を通して、事前測定での1地点当たりの測定回数の半分程度が最適であることが分かっている。

なお、検出エリアが複数の建物・階に渡る場合には、位置情報として座標値の他に、建物番号や階数を扱う必要がある。この場合には、検索されたk個の候補中、同じ建物・階を示す候補の重みをそれぞれ合計し、重み合計が最大となる建物・階を示す候補のみを用いて、補間処理を行う。検出結果は、建物番号、階数、座標値を出力する。

3. 実証実験

今回開発した位置検出方式の精度と有効性を評価するために、実験システムを開発し、評価実験を行った。保安警備員の夜間巡回時に位置管理を行うことを想定し、社内事業場構内（200m四方程度）において、既設のPHS電話網を利用して実験システムを構築した。構内には、2,3階建ての建物10棟程度があり、各階に1～3台程度の基地局が設置されている（基地局総数は34台）。

【1】 システム構成

実験システムの構成を図3に示す。移動局については、構内用PHS端末を改造し、1分に1回の周期で、捕捉可能な周囲の基地局の電界強度を測定し、端末に接続した基地局を經由して、PBXに報告する機能を新たに追加した。

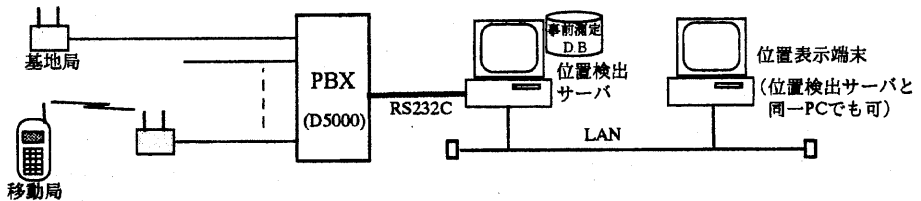


図3 実験システム構成

移動局から定期的にPBXに報告される電界強度データ（CS-IDと電界強度の組）は、PBXの外部インターフェース（RS232C）を通じて、これに接続されたPC上の位置検出サーバに送られる。位置検出サーバでは、報告された電界強度データをキーとして、上記方式に従って予め構築した事前測定データベースを検索し、補間処理によって移動局の位置を求める。この検出結果データを受けて、位置表示端末では、画面表示された構内図面上に移動局の検出位置をマーカでプロットする。

実験システムの運用は、位置検出サーバおよび位置表示アプリケーションを載せたPCを保安室に設置し、夜間巡回業務を行う保安員に位置検出用のPHS子機を携帯してもらった。これにより、巡回中の保安員の現在位置を保安室に残っている別の保安員が確認したり、さらに巡回業務終了後に巡回経路の履歴を確認できる。検出位置は基本的に構内全体図面上に逐次表示するマーカ（移動局ごとに色分け）で示し、このマーカをクリックすると、その場所の詳細図面をマーカとともに表示する仕様とした。表示画面例を図4に示す。

なお事前測定は、PBXに登録したPHSカードを、サブノートPCに差した構成の電界強度測定

ツールを携行し、各事前測定地点を巡回して行った。

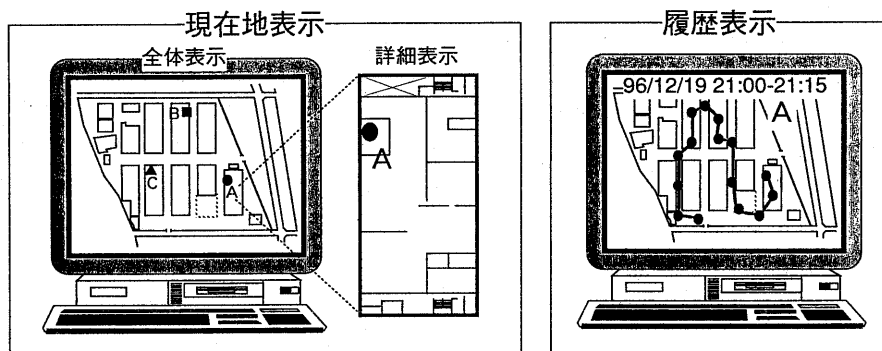


図4 位置表示端末の表示画面例

【2】 精度評価の方法

平均精度、95%信頼精度、フロア識別率に関して、評価を行った。ここで平均精度とは実際の移動局の位置と検出された位置との誤差の平均を示し、95%信頼精度とは評価用データの95%がその値以下に含まれる誤差を示す。またフロア識別率とは、移動局の存在するフロア（階）が正しく識別できた割合を示す（屋外のフロアは0とした）。精度評価の条件は、以下の通りである。

■ 事前測定データ

測定地点は、屋内769地点（建物の各階40～50地点程度）、屋外297地点を設定した。1地点当たりの測定回数は10回、測定間隔は屋内8～10m程度、屋外10～12m程度とし、各フロアの全体をカバーできるようにメッシュ状に測定地点を配置した。

■ 評価データ

評価地点としては、事前測定地点と重ならないように、屋内216地点、屋外46地点を設定した。各評価地点では、位置検出用の移動局を用いて5回ずつ位置検出処理を行い、実際の位置との誤差を求め、精度を評価した。ただし屋内については、構内の全建物ではなく、代表的な2棟（フロア数はともに3階）に限定して評価を行った。

【3】 評価結果

位置検出精度の評価結果を表1に示す。屋内に関しては、部屋割りが細かいフロアと、部屋割りが粗く全体がオープンなフロアとで精度が大きく異なっていたので、それぞれ代表的な1フロアの結果を個別に示す。

評価エリア		平均精度	95%信頼精度	フロア識別率
屋内	部屋割りが細かい	8.2m	17.0m	96%
	部屋割りが粗い	13.9m	38.3m	70%
	全体	11.5m	32.5m	83%
屋外		23.3m	52.2m	—

表1 位置検出精度の評価結果

【4】 考察

■ 屋内精度

総合的には、本方式による位置検出では、平均精度約 11m、95% 信頼精度約 32m が実現できた。ただし部屋割りが粗くオープンなフロアでは、検出精度は低下している。本方式では、局所的な電界強度のパターンに基づいて検出を行うため、部屋割りの細かいフロアの方が、場所に依存したパターンの特徴が出やすいためと考えられる。また窓際においても精度の低下が見られたが、これは隣接する建物内に設置した基地局の影響を受けるためと考えられる。

■ 屋外精度

屋外に比べて精度が悪いのは、基地局が構内の建物内部にしか存在しておらず、さらに構内の工場に製品運搬等の大型トラックが出入りしているために、電波状況が屋内に比べて不安定であったことが原因と考えられる。

4. むすび

構内用 PHS による高精度な位置検出方式を考案し、実験システムの試験運用を通じて、検出精度の評価を行った。その結果、平均誤差が屋内約 11m、屋外約 23m という高精度の位置検出が実現できることを確認した。今後は主に、以下の4つの課題に取り組んでいく予定である。

(a) 検出結果の信頼性向上

検出履歴を利用して、信頼性の低い検出結果を除去することにより、検出の最大誤差（屋内 40m、屋外 100m）を小さく抑え、検出結果の信頼性を向上する。

(b) 事前測定の効率化と収集データの有効活用

電界強度測定ツールに図面を用いたユーザインタフェースを導入し、図面上をクリックするだけで、測定から測定地点の座標値の記録まで自動的に行えるよう改良を施す。

(c) レイアウト等の環境変化への対応

屋内レイアウトの変更時や、基地局位置の変更および基地局数の増減時には、環境変化による影響の及ぶ範囲については再測定の必要がある。評価実験を通じて、この再測定範囲に関する指針を得る。

(d) 新規アプリケーションへの応用展開

電話だけでなく、PHS 通信機能付きの携帯情報端末等に対しても、位置検出機能を実装し、位置情報提供サービスや、徘徊老人・迷子探索など、新規アプリケーションへの応用展開を目指す。

参考文献

- (1) 入鹿山剛堂「PHS 端末の居場所が分かる 位置情報提供サービスの可能性と落とし穴」, モバイルメディアマガジン 97 年 10 月号, pp.52-56, 1997.
- (2) 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.
- (3) 中村, 赤沢他「PHS 端末の構成」, NTT R&D Vol.44 No.9, pp.769-774, 1995.