

## PHS を用いた地理的位置の把握

大森 博雄 重野 寛 藤巻 貴宏 岡田 謙一 松下 温

慶應義塾大学 理工学部

### Abstract

32Kbps のデータ通信もスタートし始めた PHS は急速な勢いで普及している。そこでこの PHS を用いてユーザの地理的位置を把握することができれば特定の人物・物等の位置追跡、ローカルな情報の取得等が可能となる。現在、PHS を用いた位置の把握は、建物も何もない状況においては、基地局からの電界強度を参考にある程度正確に行なうことができる。しかしながら、実際の都市空間において、建物も何もない状況というのは考え難い。

本稿では、角度情報を用いた位置検出法を提案し、PHS の地理的位置を計算により求め、評価を行なう。

## A positioning scheme using Personal Handy-phone System

Hiroo Ohmori, Hiroshi Shigeno, Yoshihiro Fujimaki  
Ken-ichi Okada, Yutaka Matsushita

Dep. of Science and Technology, Keio University  
3-14-1, Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama, JAPAN  
E-mail: omori@myo.inst.keio.ac.jp

PHS which began to start the data communication of 32Kbps gains in popularity by rapid power. Then, if user's geographic position can be understood by using this PHS, the acquisition of a position pursuit of a specific character and the material and local information becomes possible. The position where PHS was used can be understood accurately to some degree in the situation in which the building and anything are not either referring to electric field strength from the base bureau now. However, it is not easy to think about the situation in which the building and anything are not in an actual city space either.

In this paper, the position scheme which uses angle information is proposed and requests by the calculation and a geographic position of PHS is evaluated.

## 1 はじめに

近年の社会・経済活動の多様化・国際化を背景として情報通信の果たす役割はきわめて大きくなっており、特に「いつでも、どこでも、だれとでも」通信が可能となる移動通信システムに対する期待は急速に高まってきている。また、人々のライフスタイルの多様化や活動範囲の拡大に伴い、多くの人々が安価に利用できる移動通信サービスの要求が高まっている。

このような背景から、PHS(Personal Handy-phone System:パーソナル・ハンディホン・システム)は極小ゾーン(マイクロセル)[2]の無線基地局をユーザの集まる地域に主に設置し、デジタル網に接続することにより、家庭やオフィスで利用されているデジタルコードレス電話を、屋外、駅、地下街などでも使用できるというシステムコンセプト [1][4]で開発された。

携帯電話とPHSの技術的な相違点として携帯電話では無線基地局当たり半径1.5~数Kmの広域エリアをカバーするのに対して、PHSは半径100~数百m程度である。この点に着目してみるとPHSを利用して人などの現在位置を特定することが可能となる。これは、徘徊癖のある老人や迷子の捜索、製鉄所や石油化学プラントといった工場内、工事中のトンネル内や建設中のビルなどでの作業員の位置確認、また病院で頻りに移動している医者や看護婦などの居場所の把握、現金や宝石などの輸送車、宅配業者やタクシー会社などの車両、営業社員の位置を確認するといった用途がある。

PHSを持つ人のおおよその現在位置を割り出すシステムとして、1つにはGPS(Global Positioning System)がある。このGPSは端末を持った人が自分の位置の確認に使うことが多い。このGPSを使った位置検出の精度は1台のGPS受信機を用いて位置を計測する場合、その測位精度は民間に許可された標準測位サービス(SPS:Standard Positioning Service)の精度でほとんど決まり約100mである。

その他で現在位置を検出する方法として考えられるのは、電界強度による方法である。これは電界強度により、各基地局(CS:Cell Station)から端末(PS:Personal Station)までの距離を算出し、電波の強い3つ以上の基地局からの距離、また、基

地局の地理的な絶対座標が求めれば端末の位置を検出することができる。しかし電波は自然現象や建造物などの影響をうけて強さが低下したりするといったフェージングの問題が大きい。このことを考えるとPHS端末~基地局間の距離の誤差を100m以下にするのは困難だと考えられる。よってPHSの基地局の設置間隔が数百mということ considering してもPHS端末の現在位置の誤差はGPSと同様100m前後になると思われる。

そこで本稿では上記の二つの方法とは異なった角度情報を用いた位置検出法を提案する。角度情報を用いて実際に計算し、どれだけの精度で現在位置を検出することができるのか考察した。また、角度情報を取得して位置を検出する場合には、角度情報に直接波が含まれていることが前提条件となってくる。そこで都市空間を考慮した電波伝搬モデルを構築し、評価を行なった。

## 2 角度情報を用いた位置検出法

角度情報は、ある基地局から到来した電波と別の基地局から到来した電波の方位を基に角度を算出する。そのため、その角度の絶対的な方位は分からない。PHS端末から各基地局の相対的な角度を指向性アンテナ(セクタアンテナ/アダプティブアレーアンテナ)[5]を用いることにより算出する。この角度情報と各基地局IDを基にPHS端末の位置を検出する(図1)。

セクタアンテナによる受信では、ある方向からの電波を選択的に受信することで、一種のダイバーシティを実現し、マルチパスの影響を低減することができる。また、セクタアンテナを送信に利用した場合には、必要な方向に無線ゾーンを形成できることから、周波数帯域を空間的に効率良く使用できるといった利点が考えられる。

そこで、例えば60度の指向性を有するアンテナを6個円上に配置して360度カバーするような、セクタアンテナが実用化されている。この場合の角度における誤差は最大120度となる。指向性アンテナを円上に多数配置すれば、つまりアンテナの分割数を多くすることによって角度の誤差も減少する。このようにして、PHS端末は各基地局から定期的に送信される電波を受信し、角度を算出

する。

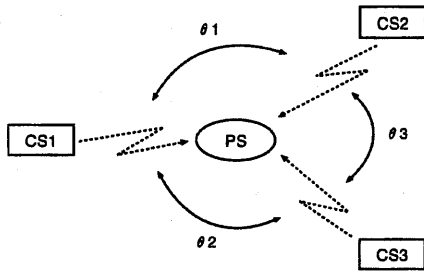


図 1: 2つのCSのなす角度

しかし、PHSのサービスエリアは、基地局を中心とした多数の小さなセル(マイクロセル)で覆われているため、市街地における基地局とPHS端末の間の電波伝搬は、周辺の建物、道路構造や樹木、その他の地物の影響を受けやすく、伝搬波としては、直接波の他に、反射波、回折波などが重なりあって、きわめて複雑なマルチパス(多重波伝搬路)を形成する。

このようなマルチパスにおいては、到来する多数の波の到来時間(伝搬遅延時間)に差が生じるため、無線伝送路の帯域内の振幅と位相の変動が一様ではなく、周波数選択性のフェージングを生じ、数十Kbps以上の高速デジタル伝送を行なう移動通信においては、多重波を構成する各到来波の伝搬遅延時間の広がりによって、波形にひずみが生じる。

### 3 多重波の解析

角度情報からPHS端末の位置を検出するためには、到来してきた電波がどのような経路で伝搬してきたかが重要となる。そこで、都市空間を考慮した電波伝搬モデルを構築し、その評価を行なう。

#### 3.1 都市空間電波伝搬モデル

厳密に都市空間の電波伝搬、つまり多重波伝搬構造、およびその特性を知るためには、送信点(基地局)から送信された電波は途中の建物などで反射、回折、散乱を繰り返しながら受信点(端末)に到達するため、それら全てを考慮したモデルの構

築が必要となる。そこで都市空間電波伝搬モデルを構築する上で見通し内道路における場合と見通し外道路における場合の2通りに分けてモデル化する。

#### ● 見通し内道路における伝搬

見通し内道路における伝搬では、図2に示すように道路面とその両側の壁面を考慮したモデルである。伝搬波としては直接波、そして反射波は壁面反射波と大地反射波、さらに散乱波が存在するモデルである。

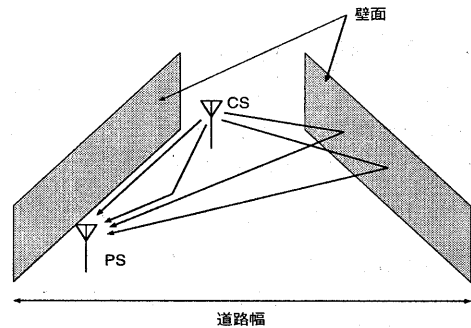


図 2: 見通し内道路

#### ● 見通し外道路における伝搬

見通し外道路における伝搬では、図3に示すように交差点などにより見通し外道路となる場合であり、伝搬経路としては反射波は見通し内道路の場合と同様に壁面反射波と大地反射波、回折波は交差点で回折する波と建物を越えて回折する波が存在し、さらにこれらを組み合わせた伝搬波が存在する。

そこで基地局から定期的に電波を送信し、PHS端末側でその電波を受信し、様々な経路で到達した電波の強さ、および到達時間を算出し、遅延プロファイルを作成する。この遅延プロファイルを基に、到来してきた電波がどのような経路で伝搬してきたか、また、直接波を受信できているのか否かを判定する。

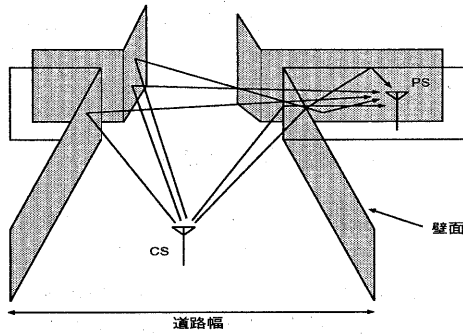


図 3: 見通し外道路

### 3.2 計算値の算出方法

理論計算により伝搬損失値を算出する。直接波は自由空間損失 ( $L_b$ ) のみとする。ただし、 $f$  は周波数 [MHz],  $d$  は伝搬距離 [Km] である。

$$L_b[dB] = 32.44 + 20\log f + 20\log d \quad (1)$$

反射波は自由空間損失 ( $L_b$ ) と壁面反射損失 ( $L_r$ ) の和 ( $L_{br}$ ) とする。ただし  $\rho$  は反射係数であり、両壁の壁は有筋コンクリートであると想定し、反射する壁の反射係数 [2] は 0.8 (約 7~8dB 減衰) とする。

$$L_{br}[dB] = L_b + L_r \quad (2)$$

$$L_r[dB] = 10\log\left(1 + \frac{3}{\rho^2}\right) \quad (3)$$

散乱波は反射波の特別な場合と考え、反射波と同様の式を用いて伝搬損失を求める。ただし、壁面にぶつかる角度によって減衰の大きさを変化させる (反射波の減衰 < 散乱波の減衰)。

また回折波の回折損失は図 4 に示すようなナイフエッジモデル [3] を用いる。ただし、ナイフエッジモデルの回折損失の計算にはフレネル積分の必要があり、伝搬特性を直観的に把握することは困難である。しかし、回折損失の計算に用いるフレネルパラメータ  $X$  が 4 以上となるほど、回折角が大きい時には対数計算式に近似でき、このときの回折損失 ( $L_d$ ) は次式で定義される。

$$L_d = 11 + 20\log_{10} X \quad (4)$$

$$X = h\sqrt{\frac{\pi(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (5)$$

(4), (5) 式より,

$$L_d = 16.0 + 10\log_{10} h^2 \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} - 10\log_{10} \lambda \quad (6)$$

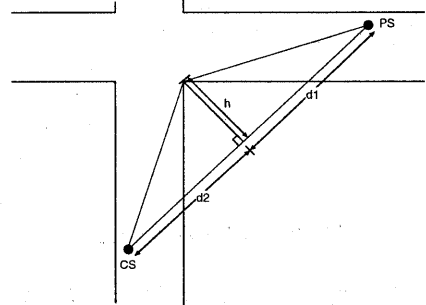


図 4: ナイフエッジモデル

さらに建物を越えて回折する建物越え伝搬の伝搬損失は二枚ナイフエッジモデルを仮定することにより伝搬損失を求める。

$$L_{Td} = L_b + L_{d1} + L_{d2} \quad (7)$$

ただし  $L_{d1}$ ,  $L_{d2}$  は式 (6) を用いて算出する。

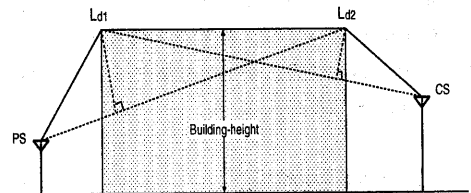


図 5: 2枚ナイフエッジモデル

### 3.3 直接波の判別方法

多重波の中から直接波を判別する方法は、受信点に到来した電波の遅延時間を横軸に各電波の電力を縦軸にプロットした遅延プロファイルから、直接波を受信している場合の遅延間隔と直接波を受信していない場合の遅延間隔を比較する方法で行なう。これは、直接波を受信できている場合には、遅延プロファイルから遅延時間が最も小さい電波

は送信点から最短距離で到達した電波であり、それにより遅延時間の大きい電波は建物により反射、回折などを経て受信点に到達した電波である。移動するにつれて反射点、回折点までの距離が変化するため、この遅延プロファイルも移動にともない変化する。実際に見通し内道路の場合のように直接波を受信できている場合には、この遅延プロファイルにより遅延時間が最も小さい電波が直接波であると見なせる。しかし、見通し外道路の場合のように直接波が到来してこない場合もある。

図6は直接波を受信できている場合の遅延プロファイルであり、図7は直接波を受信できていない場合の遅延プロファイルである。

これは第1波として受信した成分からある一定レベルを最後に下回った所までの遅延間隔(時間差)を計算する方法である。

図6, 図7のように基本的には直接波を受信している場合の遅延時間は直接波を受信していない場合の遅延時間よりも小さくなる。しかし、この値が基地局とPHS端末間の位置関係によりどの程度になるか計算する。

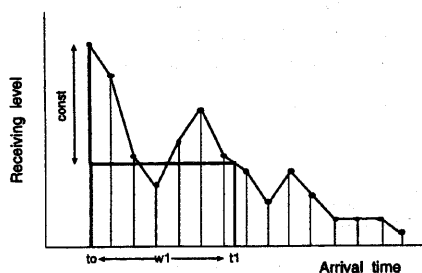


図6: 遅延プロファイルの測定例(直接波を受信している場合)

### 3.4 計算結果

見通し内道路では第1波として直接波を受信できている場合であり、見通し外道路では第1波として直接波を受信できていない場合である。また見通し内道路の場合でも第1波として受信している成分を除くことにより、直接波を受信できていない場合と仮定することができる。それぞれの遅延プロファイルを比較した結果、第1波からある

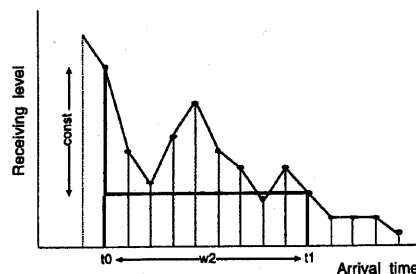


図7: 遅延プロファイルの測定例(直接波を受信していない場合)

一定レベルとして15dB落した時に、それ以上受信レベルが上がらない所までの遅延間隔は約30.0nsを境に、その値以下であれば直接波を受信できている場合、またその値以上であれば直接波を受信できていない場合と判別することができると考えられる。

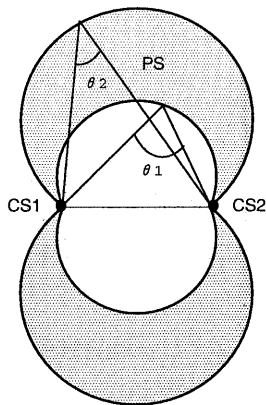
## 4 角度情報を用いた位置の計算

2つの基地局とPHS端末との角度が1つ求まると、図8に示すような図形が描ける。灰色の部分にPHS端末の場所を示す範囲である。図8のように、2つの基地局からの電波しか受信できない場合は、角度情報が1つしか取得できず、また角度に含まれる誤差を考えると、PHS端末を示す範囲は大きくなり位置を特定することは困難となる。

そこで本稿ではPHS端末は最低3つの基地局からの電波を受信できるものとし、角度の誤差がどの程度であればよいのかなど、実際に計算し、どれだけの精度で現在位置を限定することができるのか考察する。

### 4.1 計算方法

- PSは指向性アンテナを持っているものとする。
- PSは各CSからの定期的な送信される電波を受信し、2つのCSとの相対的な角度を算出する。実際、この角度には(指向性アンテナの分割数による)誤差が含まれる。
- 上記の角度を基に、PSの位置を予測する。



角度の幅： $\theta_1 \sim \theta_2$

図 8: PHS 端末の示す範囲 (基地局数:2)

#### 4.2 計算条件

- 指向性アンテナの分割数を、6分割・12分割・24分割とする。
- CS 間の距離を 200m とする。
- CS は基盤の目状・平行四辺形状などに配置されているものとする。

#### 4.3 計算の評価

PS が 3 つの CS からの電波を受信できた場合と 4 つの CS からの電波を受信できた場合において、PS の位置を示す範囲における最大誤差はわずかの差であった。また、PS の位置を示す範囲では、アンテナの分割数が 6 分割の場合には顕著の差が見られたが、12・24 分割の場合にはわずかの差であった。

### 5 まとめ

本稿では PHS を用いた位置検出法として、角度情報を基にした位置検出法を提案し、計算を行った。角度情報を基にした位置検出法の計算結果では、アンテナの分割数によって大きく精度は変わってくるが 6 分割のアンテナでは電界強度を用いた位置検出法と同程度の精度であった。さら

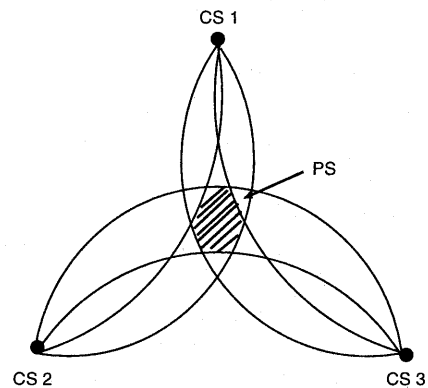


図 9: 計算結果の一例

に 12 分割・24 分割のアンテナではその精度は非常に良くなった。

今後の課題としては、本稿では PHS 端末側に指向性を有するアンテナを持たせ、角度情報を得ることを考えた。しかし、このような指向性を有するアンテナを PHS 端末に持たせるためには、その大きさが問題となってくるだろう。そこで PHS 端末に持たせるのではなく、基地局側にこのような指向性を有するアンテナを持たせた場合についても検討している。

### 参考文献

- [1] 電波産業会:第二世代コードレス電話システム (PHS) 標準規格第 2 版 (RCR STD-28),1995.
- [2] 小桧山・服部・川崎・生越・田中・関口 共著: わかりやすいパーソナル通信技術, オーム社, 1995.
- [3] 進士 昌明:無線通信の電波伝搬, 電子情報通信学会, 1992.
- [4] 斉藤忠夫, 立川敬二: 移动通信ハンドブック, オーム社, 1995.
- [5] 新井 宏之:『新アンテナ工学』, 総合電子, 1995.