

## 自律的トレーニングデータ収集による屋外位置情報システムの実装と評価

石原 孝通  
立命館大学大学院理工学研究科  
ishihara@ubi.cs.ritsumei.ac.jp

桑原 雅明  
立命館大学情報理工学部  
kuwayan@ubi.cs.ritsumei.ac.jp

西尾 信彦  
立命館大学情報理工学部  
nishio@cs.ritsumei.ac.jp

### 概要

近年、携帯端末の位置情報を利用した防犯や歩行者ナビゲーションといった位置情報サービスが注目されている。このような位置情報サービスのさらなる普及には、広域な測位の利用、低コストかつ高精度な測位精度を実現することが必要である。本論文で提案するシステムでは、実問題として PHS 等の無線通信網を利用した位置情報サービス提供者の立場から、コストを抑えた測位精度向上を目指す。無線通信による測位精度の向上にはトレーニングデータの利用が有用であるが、広域に渡るトレーニングデータ収集作業は莫大な人的コストが掛かる。そこで、無線基地局の位置が既知であることと、既にサービスが稼働中でありユーザが各地に点在していることを利用して、GPS を利用せずに各基地局周辺のトレーニングデータをシステムが自律的に収集する機構を提案する。また、本システムの実装を行い、自作シミュレータによって本システムの測位精度を評価した。

## Implementation and Evaluation of an Outdoor Positioning System Using an Autonomous Training Data Acquisition Mechanism

Takamichi Ishihara, Masaaki Kuwabara, Nobuhiko Nishio  
Department of Computer Science, Ritsumeikan University

### ABSTRACT

Recently, services such as crime prevention and navigation have been implemented with location information from mobile devices. For the further spread of such location-based services, it is important to make them available in wide areas and to improve location accuracy with low cost. In this paper, from the standpoint of a location-based service provider using PHS, we consider the use of signal strength obtained through system training for improvement of location accuracy. However, training data acquisition over a wide area requires a large amount of human labor. So we propose a mechanism to collect training data autonomously, with the use of base stations with known locations, and without requiring the service provider to perform explicit training data acquisition. Then, we used wireless LAN for implementation and an experiment of our system.

### 1. はじめに

現在、GPS を搭載した携帯電話などの普及に伴い、歩行者ナビゲーション、自動車ナビゲーション、子供の見守りといった端末の位置情報に基づいたサービスが注目を集めている。今後もこのような位置情報サービスが社会に普及していくためには、屋内・屋外といった利用範囲の制約、測位精度、導入コストといった問題の解決が必要不可欠である。例えば、一般的に屋外での位置情報取得には GPS が利用される。GPS 自体の性能向上により測位精度が向上しているが、地下や高層ビルに囲まれた場所のような衛星電波が正常に届かない地点では測位が行えない。また、測位に時間が掛かる、デバイスサイズやバッテリー消費といった問題も考えられる。そこで近年では GPS の代わりとして、または GPS を補完する測位技術として、携帯電話・PHS・無線 LAN といった無線通信網を利用した位置情報システムの研究が行われ、実用化されているものもある [1][2]。年々携帯電話や PHS の基地局は増設されており、無線 LAN 基地局も街中ホットスポットや一般家庭にも広く普及してきていることや、無線デバイスのみで測位を行えるという利点から、今後も無線通信網を利用した位置情報サービスの普及が予想される。このような無線通信網を利用した位置情報サービスにおいて、屋外などの広域を対象として測位した場合、測位精度向上のために、事前に対象領域でトレーニングデータとして各基地局の

無線電波情報を収集する必要がある。しかし、PHS 網や携帯電話を利用した位置情報サービス提供者が測位精度向上のため各無線基地局の電波状況をトレーニングデータの利用を考えた場合、全国規模のトレーニングを行う必要があり、人的コスト面から非現実的である。そこで本研究では、PHS 網を利用した位置情報サービス提供者の立場から、測位が高精度な位置情報システムを人的コスト・導入コストを抑えて構築することを目的とし、サービス提供者によるトレーニングを行わず、システムが自律的にトレーニングデータを収集する機構を提案する。

本稿は全 7 章で構成されており、以下、第 2 章では関連研究として、無線通信網を利用した測位手法を述べる。第 3 章では本研究の課題を示す。第 4 章では本研究のアプローチを紹介し、第 5 章では本研究のシステム設計について各機構毎に詳述する。第 6 章では本研究で提案する実験とシミュレーションによる評価を行った結果を述べ、最後に第 7 章で本研究のまとめを述べる。

### 2. 既存の無線通信網を利用した測位手法

本章では、関連研究として既存の無線通信網を利用した測位手法について述べる。

#### 2.1 関連研究

本研究はトレーニングデータを収集するための人的コストを極力抑え、高精度な測位技術の提案を目的としている。関

連研究として、Place Lab [4]、Place Engine [5] や Locky.jp が [6] が挙げられる。これらは、無線通信網を利用した測位を行っており、位置情報サービスを受ける各地のユーザがトレーニングデータ収集作業に参加することで、負荷を分散し効率的な収集が行える。しかし、トレーニングデータ収集に掛かる人的コストは分散されただけでそれ自体は減っていない。

既存の測位技術は大別すると、トレーニングが不要な測位手法とトレーニングが必要な測位手法に分けられる。

### 2.1.1 トレーニングが不要な測位手法

#### ● TDOA (Time Difference Of Arrival)

TDOA は AirLocation [3] にて用いられており、端末が無線電波を発してからどれだけ時間がかかって届いたかを測定して距離を算出する ToA (Time of Arrival) 方式を適応した手法である。端末が測位要求を送信すると、複数の特殊な基地局が受信した時間のズレを利用し、端末の位置を測位する。

この手法は高精度な測位が可能であるが、導入コストが非常に高いといった問題が挙げられる。

#### ● Lateration

Lateration は、現行の PHS 網を利用した位置情報システムで利用されている。Lateration の手法は、無線電波の距離特性を利用して、位置が既知である複数の基地局からの距離を利用して三角測量を行い、端末の位置を測位する。

この手法では、電波の減衰やマルチパス・フェージング等の影響により、基地局との距離が離れるほど測位誤差が大きくなる問題がある。

### 2.1.2 トレーニングが必要な測位手法

#### ● Centroid

Centroid 手法は、測位を行いたい端末が観測した基地局の Cell の重心を現在位置として推定するので、測位精度が Cell の大きさに依存し、一般的に精度は低い。そのため、端末が観測した基地局の電波強度によって重みづけを行う Weighted Centroid という手法が提案されており、通常の Centroid より若干精度の向上が図れる。

#### ● Fingerprinting

Fingerprinting はトレーニング段階において、位置とその場所の特徴的な電波状況 (fingerprint) をデータベース化しておき、実際に測位を行うときには現在観測されている電波強度とトレーニングデータの中の利用可能な fingerprint 間の電波強度空間からユークリッド距離を計算し、もっとも値の近いものを現在の位置とする手法である。都市部のような基地局が密な地域ではトレーニングデータが必要な3つの手法の中では最も高い精度を示すが、綿密なトレーニングが必要である。

#### ● 確率推論的手法

確率推論的手法には、Particle Filter [7] や Monte Carlo Localization with Gaussian Process がある。この手法は基地局の密度が疎である地域や、まばらなトレーニングデータしかない場合に、トレーニングが必要な手法の3つの中で最も高い精度が得られる。

## 3. 本研究の課題

本章では、本研究の想定環境とこれまで述べた関連研究から、本研究で扱う問題について述べ、解決すべき課題を示す。

### 3.1 想定環境

本研究は、無線通信網を利用して、子供の見守り等の位置情報サービスを行っている提供者に利用されることを想定している。そのため、提供者自身が設置した基地局の正確な情報 (ID、緯度・経度情報、設置場所の住所、アンテナの高さといった情報) を知っており、各地に点在した位置情報サービスのユーザが持つ端末から各地点における電波状況を受信することができる。また、子供の見守り等の位置情報サービスを提供しているため、高精度な測位が必要とされる。

位置情報サービス提供者が管理している基地局は、データセンタ内の基地局データベースに登録されている。測位を行う際は携帯端末がその場で観測される各基地局の ID とその受信電波強度をデータセンタに送信する。データセンタではユーザ側システムからの位置検索要求に応じて、送信されてきた情報をもとに各携帯端末の位置情報を推定して結果を返す。

### 3.2 問題意識

位置情報サービスの質を向上させるためには、コストを抑え、より高精度の測位を行う必要がある。本研究での前提を考慮して、関連研究で挙げた各手法の本研究への適応を考えた場合の問題点を考察する。

TDOA 手法は、トレーニングデータ収集を行う必要が無く、高精度な測位ができる反面、すでに設置されている全ての無線基地局を時刻同期を可能にする特別なハードウェアに置き換える必要がある。基地局の設置規模を考慮すると、導入コストの面から非現実的である。

Lateration はトレーニングデータ必要としないが、現状のままでは精度向上を図ることは難しい。測位に利用する電波強度は建物といった障害物などの環境に影響されやすいため、これから更に測位精度を向上させるためには、各基地局の緯度・経度といった情報だけではなく、「どの位置でどれくらいの電波強度が観測できるか」といったような付加的な情報が必要であると考えられる。しかし、既に広域で展開している位置情報システムにおいて、そのようなトレーニングデータ収集を行うことは莫大な人的コストが掛かるといった問題がある。

## 4. 本研究のアプローチ

### 4.1 自律的トレーニングデータ収集機構

測位精度の向上を目的として、トレーニングデータ収集を行うためには莫大な人的コストが掛かる。この問題を解決するアプローチとして、位置が既知の基地局があることに注目し、システムが自律的にトレーニングデータを収集する機構を提案する。図1に提案手法のイメージを示し、説明する。

図1左部は、一般的なトレーニングデータ収集作業の様子を示している。ユーザはGPSと無線機器を同時に持ち歩き、各地点で各基地局①～⑥の電波強度を取得し、同時にGPSから取得した位置情報とセットにしてトレーニングデータとして記録する。

図1右部は、位置が既知の基地局が点在していることに注目した本提案手法を示している。ユーザが位置情報サービスを利用する際、ユーザが位置の既知な基地局の近傍にいる場合、その基地局の電波強度が極端に大きく観測できる。そのため、GPSを利用しなくてもユーザが基地局の設置されている位置にいることが分かる。このとき観測された電波状況はデータセンタへ送信され、トレーニングデータとして利用する。本手法は、スケラビリティと費用対効果を考慮した

場合、最も現実的な手法であると考えられる。

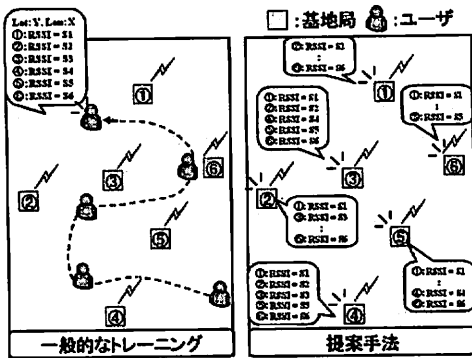


図1 位置情報サービスの利用イメージ

## 5. システム設計

本章では、本システムの設計を述べる。先ず本システムの概要を述べ、次に本研究における機能について詳述する。

### 5.1 システム設計の概要

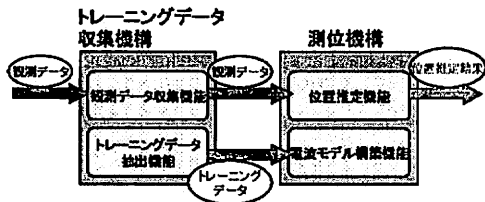


図2 本システムの全体像

本システムの全体像を図2に示す。本システムはトレーニングデータ収集機構、測位機構の2つの機構から構成されており、以下に各機構について説明する。

#### ● トレーニングデータ収集機構

トレーニングデータ収集機構は、ユーザが持つ端末が観測した電波状況からトレーニングデータとなる観測データを抽出・保存する働きをする。本機構は、観測データ収集機能とトレーニングデータ抽出機能の2つの機能から構成される。観測データ収集機能は、位置情報サービスを利用する各地のユーザの端末が観測しデータセンタへ送信された各地の基地局のIDと電波強度を収集し、保存する。また、測位機構が持つ位置推定機能からの要求に応じて対象端末の現在の観測データを位置推定機能に渡す。トレーニングデータ抽出機能では、観測データ収集機能で随時保存されていく大量の観測データの中から、位置が既知である基地局の電波強度が著しく強い観測データを抽出し、その基地局の位置で観測できるトレーニングデータとして登録する。具体的なトレーニングデータ抽出方法は5.2節にて後述する。このトレーニングデータは、測位機構が持つ電波モデル構築機能へと渡される。

#### ● 測位機構

測位機構は、ユーザが持つ端末が観測した電波状況から後述する手法で測位を行う。本機構は、位置推定機能と

電波モデル構築機能の2つの機能から構成される。電波モデル機能は、トレーニングデータ収集機構が持つトレーニングデータ抽出機能から送られてきた観測データを基に、位置が既知の各基地局において測位アルゴリズムに応じた適切な電波伝搬モデルを構築する。詳細な手法は5.3節で述べる。測位機構では、トレーニングデータ収集機構が持つ観測データ収集機能から送られてきた測位を行いたい端末の観測データと、電波モデル構築機能によって生成された最新の電波モデルを利用し、5.4節で後述する測位アルゴリズムに適用することで、推定される端末の位置を算出する。

### 5.2 トレーニングデータ抽出手法

4.1節では、端末がGPSを利用せずに位置が既知である基地局の近傍であると述べた。端末が基地局の近傍に存在することを決定づけるため、無線電波強度の距離特性を図3に示す。

図3は観測できる電波強度と電波の割合を示した図で、基地局と端末との距離ごとに線グラフが描かれている。例えば基地局と端末間の距離が2mのときに観測できる電波強度は、約20%の割合で約-50dBmから-25dBmで観測でき、約80%の割合で約-25dBmから-20dBmで観測できる。この図より、ある基地局の電波強度が著しく高い値を示す場合端末はその基地局の最近傍に存在すると認識できる。このように、基地局の近傍に存在すると認識する範囲を本研究では近傍強度域と呼ぶ。観測データ収集機能で集められた観測データの内、近傍強度域の観測データをトレーニングデータとして抽出する。

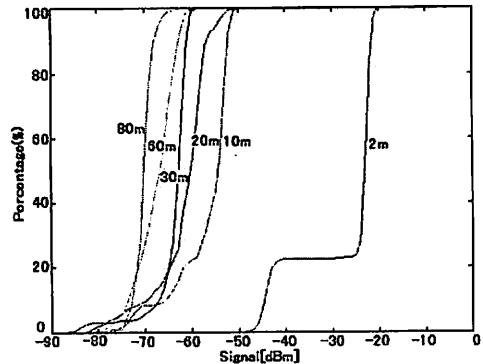


図3 基地局からの距離に応じた電波強度の割合

### 5.3 電波モデル構築手法

本システムのトレーニングデータは二次元フィールドに基地局が設置されている場所の観測データ群のみである。このように、基地局が存在しない地点のトレーニングデータの穴を埋めるために、本研究では実データと電波は指数関数的に減衰する特性を利用して、電波モデルを算出する。電波伝搬モデルを構築したい基地局をAとすると、Aの設置位置での電波強度サンプルデータは{0m, 近傍強度域 (dBm)}といった組で表すことが可能である。同様に、Aの観測に関する他のトレーニングデータから(基地局AB間の距離(m), 基地局Bで観測されるAの電波強度 (dBm))といった複数のサンプルデータの組が得られる。これらのデータを  $x$  軸

を距離、 $y$  局を電波強度にしてプロットし、全てのプロットポイントからの距離を最小にする指数関数近似を行う。これによって得られた指数関数は、距離を引数として予想される電波強度を返す関数となり、この関数が各基地局の電波モデルとなる。

#### 5.4 測位アルゴリズム

トレーニングを要する3つの位置推定手法は、無線LANは文献[8]、GSMは文献[9]においてそれぞれ評価が成されている。そこで、本システムは測位アルゴリズムにParticle Filterを利用する。その理由を以下に示す。本システムでは自律的にトレーニングデータを収集可能ではあるが、それはあくまで各基地局が設置されている場所のみである。つまり、一般的なトレーニングではトレーニングをした軌跡に沿ったデータが収集されるのに対して、本システムでは散発的なデータしか収集されない。Particle Filterは郊外などの基地局密度が疎である場所や、トレーニングデータがまばらな場合においても測位精度が安定するのに対して、CentroidやFingerprintingといった手法はトレーニングデータが十分でない精度が期待できないといった特徴が挙げられる。よって、測位精度とトレーニングデータの必要数のバランスを考慮すると、本システムの測位アルゴリズムとして、Particle Filterが適していると考えられる。

### 6. 評価実験

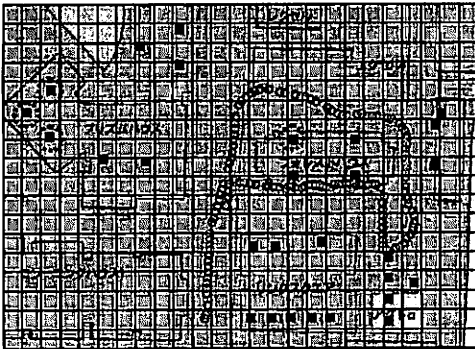


図4 位置が既知の基地局と実験でのテストルート

本システムの有用性を検証するため、シミュレーションを行い評価実験を行った。以下に実験環境と評価を述べる。

#### 6.1 実験環境

本システムの性能を評価するために、立命館びわこ・くさつキャンパス（以下、BKC）をフィールドに実験を行った。トレーニングとして、GPSと無線ネットワークスニファを用いてBKCの約260m×300mの領域内を約2時間半歩いて、総計4500の観測データを得た。

次に、本実験で利用する位置が既知の基地局と、実験で用いたテストルートを図4に示す。

黒丸は実際に観測データを得た地点を示しており、黒四角は基地局を示している。また、二次元上では同じ座標であるが、青丸は建物の1階と2階に基地局が設置されていることを示しており、赤丸は1階と3階に基地局が設置されていることを示している。

#### 6.2 評価

以下、本システムの性能評価を行う項目と、その評価を記す。

##### 6.2.1 Particleの総数

本システムに適用したParticle Filterアルゴリズムにおいて、扱う仮説の数をそれぞれ変化させて測位実験を行った。前提として、Particle Filter処理における仮説の再構築回数は1回としており、

Particle総数毎に平均測位誤差を求めた。実験の結果、Particle総数が200個以上から精度が安定し、225個のときに一番良い精度を示した。

##### 6.2.2 仮説の再評価の回数

Particle Filter処理におけるParticle総数は6.2.1節から一番良い精度を示した225個に設定し、本システムに適用したParticle Filterアルゴリズムにおいて、仮説の移動・重みの更新後に行う仮説の再構築回数を検証する実験を行う。実験の結果、仮説の再構築数は0回より1回行った場合の方が測位精度が向上し、1回以降は測位誤差が向上せず安定するという結果が得られた。

##### 6.2.3 近傍強度域の閾値

上記の評価項目では、近傍強度域の閾値を-33dBmで行っていたが、本システムの測位精度にどの程度影響を与えるのかを評価する。前提として、基地局は全34個あり、仮説の再構築回数は1回、Particle総数は225個に設定した。これを踏まえ、近傍強度域の閾値が-25dBmから-41dBmの間まで設定値を変え、シミュレーションを行った結果を図5、図6に示す。

両図の棒グラフは近傍強度域の閾値によるトレーニングデータ数の変化を示しており、閾値が小さいほどトレーニングデータが収集されにくくなっていることが分かる。

また、図5の折れ線グラフは、トレーニングデータが少なくなるほど電波モデル構築の際に利用できる材料が減るため、電波モデルが構築できなくなっていくことが分かる。また、測位に利用する電波モデル数が15を下回ると図6から見てとれるように測位精度が安定せず悪化していくことが分かる。

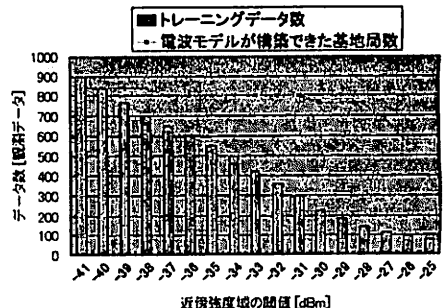


図5 近傍強度域の閾値によるトレーニングデータ数と電波モデル構築可能な基地局数の変化

##### 6.2.4 トレーニングデータの収集数

次に、近傍強度域の閾値を固定にし、トレーニングデータの数の違いで測位精度にどれだけ影響を与えるかを評価する。

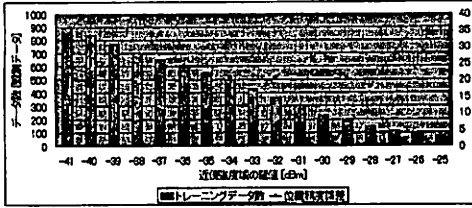


図6 近傍強度域の閾値によるトレーニングデータ数と測位精度の変化

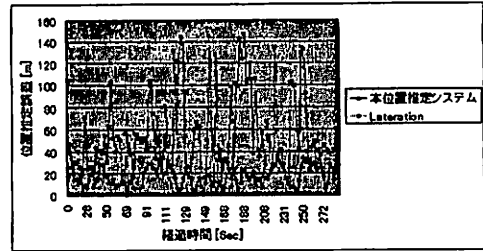


図9 本システムと Lateration との位置精度比較

図7は近傍強度域の閾値を-28dBmに固定し、得られるトレーニングデータをランダムに10%毎に削除した結果、電波モデル構築可能な基地局数の数を示している。同様に、図8はその際のテストルートにおける測位精度を示している。図8を見ると、トレーニングデータの収集が少しの状態から、段々と収集が進むに連れて位置精度も良くなっていることが見て取れる。

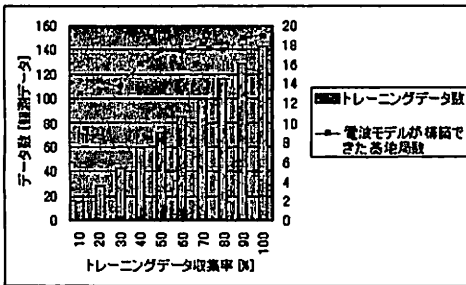


図7 閾値-28dBm時のトレーニングデータの絶対量と電波モデル構築可能な基地局数

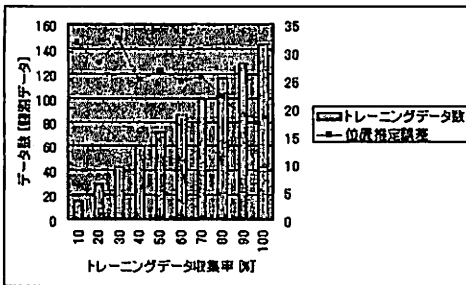


図8 閾値-28dBm時のトレーニングデータの絶対量と測位精度

### 6.3 トレーニング不要な Lateration との精度評価

本測位システムと、トレーニング不要な Lateration 手法との測位精度を比較する。本測位システムでは、近傍強度域は-28dBm、仮説の再構築回数1、Particle 総数は225個に設定している。Lateration は評価用に簡易実装したものを利用し、テストルート間の平均精度誤差を図9に示す。

測位誤差は本システムが約18m、Lateration 手法は約54mであった。また、本システムの測位精度は大きくとも約40m以下を示すため、既存のトレーニング不要な手法よりも測位精度が向上していることを確認した。

### 6.4 GPS によるトレーニングデータを利用した Particle Filter との精度評価

本測位システムと、GPS によるトレーニングデータを利用した Particle Filter との測位精度を比較する。GPS によるトレーニングデータを利用した Particle Filter とは、本システムの自律的にシステムが収集したトレーニングデータを使用せず、電波モデル構築部をGPSによるトレーニングデータをもとに構築した電波モデルを利用しているため、現実的な電波モデルを構築できる。本測位システムは、近傍強度域は-28dBm、仮説の再構築回数1、Particle 総数は225個に設定し、テストルート間での実験結果を図10に示す。

実験した結果、測位平均誤差は測位システムが約18m、GPS 有りのトレーニングによる Particle Filter では約11mであった。この結果から、GPS 有りのトレーニングによる Particle Filter には測位精度は劣るものの、トレーニングコスト無しでこれだけの精度が出せたため、本システムは一定の有用性があると言える。

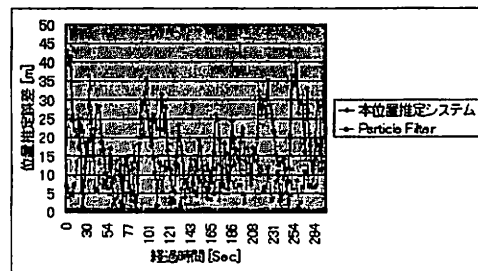


図10 本システムと GPS 有りトレーニングによる Particle Filter との位置精度比較

### 6.5 位置が未知の基地局を利用した測位

本研究は PHS 網を利用した位置情報サービス提供者の立場からユーザが持つ端末の測位を低コストかつ高精度に行うことを目的とし、無線 LAN を用いて実験を行った。これを無線 LAN を利用した測位に適用する場合、位置が既知の基地局に加えて位置が未知の基地局が混在する環境が想定される。この環境下で位置が未知の基地局を測位し、利用することで測位精度が向上できると考えた。そこで、実際にシミュレーションを行った。

以下に位置が未知の基地局を測位する手法を述べる。

1. 位置が未知である基地局の近傍強度域で観測された電波状況を抽出する

- 抽出した観測データ全てを本システムの測位手法と同様に測位する
- 測位した位置の中で、より大きな電波強度を観測した位置に大きな重みを付ける
- 重み付けされた推定位置の重心を位置が未知である基地局の位置とする

この結果を図 11 に示す。図 11 では、データが多く集められたトレーニングデータ数のみを記している。図 11 では、トレーニングデータ数が増えるに従って安定していないが徐々に位置が未知の基地局測位精度は向上しており、平均誤差は約 28m であった。

次に、測位した基地局の内トレーニングデータ数が 6 以上の基地局を新たに位置が既知の基地局として登録し、新しく構築した電波モデルを利用した端末の測位を行った。

全 34 基の基地局の内位置が既知の基地局を 10 基から 33 基の間で設定し、測位を行い、測位した基地局を利用する場合と利用しない場合で精度比較を行った結果を図 12 に示す。

測位精度を比較した結果、全 34 基の基地局の内位置が既知の基地局数が 19 個以下の場合の測位誤差を平均すると、位置が既知の基地局のみを利用した測位誤差が約 40.7m、位置が既知の基地局と新たに測位した基地局を利用した測位誤差が約 38.7m であった。これより、全基地局の内位置が既知の基地局の濃度が低下するにつれて測位精度は低下するが、位置が既知の基地局のみを利用した測位より測位精度の低下具合を抑えることが期待できる。今後、位置が未知の基地局を利用する高精度な測位を実現するべく研究を進める。

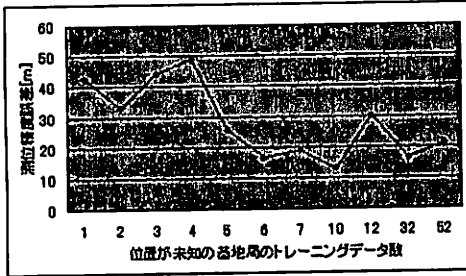


図 11 位置が未知の基地局近傍のトレーニングデータとその基地局の測位精度

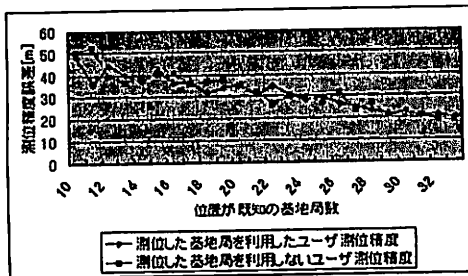


図 12 測位した基地局を利用したユーザの測位精度と測位した基地局を利用しないユーザの測位精度比較

## 7. まとめ

本論文では、PHS 等の無線通信網を利用した位置情報サービス提供者の立場から、高精度な測位を低コストで実現することを目的として、自律的トレーニングデータ収集機構によ

る屋外位置情報システムの提案を行った。前提である位置が既知の基地局が点在していることや、全国各地でユーザが位置情報サービスを利用していることに着目し、ユーザや位置情報サービス提供者が直接トレーニングを行わずに位置精度を向上できるトレーニングデータをシステムが自律的に収集する機構を提案した。基地局付近のトレーニングデータしか取得できない欠点を補うために、まばらなトレーニングでも安定した測位精度が見込める Particle Filter を用いてユーザの測位を行った。また、BKC 内を実験フィールドとしてテストデータを取り、シミュレーションにより本システムの測位精度を評価した。評価の結果、測位誤差は本システムでは約 18m、GPS 有りのトレーニングによる Particle Filter 手法では約 11m という結果を得た。

本システムの測位精度は GPS を利用したトレーニングデータによる Particle Filter より劣るが、トレーニングを行うコスト無しで約 18m の誤差で測位することができたことから、本システムの有用性が確認できたと考える。

## 参考文献

- [1] EZ ナビウォーク,  
<http://au.kddi.com/ezweb/service/ez.naviwalk/>
- [2] イルカーナ,  
<http://www.kato-denki.com/personalsecurity/irukana/>
- [3] 日立 AirLocation,  
<http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- [4] Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffrey Hightower, Ian Smith, James Scott, Tim Sohn, James Howard, Jeff Hughes, Fred Potter, Jason Tabert, Pauline Powladge, Gaetano Borriello, and Bill Schilit: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, Pervasive 2005, LNCS 3468, pp.116-133, 2005.
- [5] 暦本 純一, 塩野崎 敦, 末吉 隆彦, 味八木 隆: "PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤", ソニーコンピュータサイエンス研究所, 東京大学大学院新領域創成科学研究科, インターネットコンファレンス 2006.
- [6] 吉田 廣志, 伊藤 誠悟, 河川 信夫: "無線 LAN を用いた位置推定ポータル Locky.jp と基地局データ収集手法", 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2006) シンポジウム論文集, pp.281-284, (2006).
- [7] 樋口 知之: "粒子フィルタ", 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.12, pp.989-994, 2005.
- [8] Yu-Chung Cheng, Yatin Chawathe, Anthony LaMarca, and John Krumm: Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization, In Proceedings of The Third International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys2005), pp.233-245, 2005.
- [9] Mike Y. Chen, Timothy Sohn, Dmitri Chmelev, Dirk Haehnel, Jeffrey Hightower, Jeff Hughes, Anthony LaMarca, Fred Potter, Ian Smith, and Alex Varshavsky: Practical Metropolitan-Scale Positioning for GSM Phones, In Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2006), pp.224-252, 2006.