

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

石原 孝通

立命館大学院理工学研究科
ishihara@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開始され出している。このような位置情報サービスの更なる普及には、広範に利用でき、且つ低コストに高精度な測位精度を実現することが肝要である。本稿では、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、測位精度向上のためトレーニングで得られる電波情報の利用を考える。しかし、広域に渡るトレーニングデータ収集作業は多大な人的コストが発生する。そこで我々は、位置が既知である無線基地局を利用することでサービス提供者による陽のトレーニングを行わずとも、システムが稼働する上で自律的にトレーニングデータを収集可能な機構を提案する。

キーワード：位置情報，位置推定，トレーニングデータ収集，電波強度

An Autonomous Training Data Acquisition Mechanism for An Outdoor Positioning System

Takamichi Ishihara 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.

Keyword: location information, location estimation, training data acquisition, signal strength

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や子供の見守りといった携帯端末の位置情報に基づいたサービス (Location Based Service) が大きな注目を集めている。今後もこのような位置情報サービスがより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、位置測位精度、導入コストといった諸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の取得にはGPS(Global Positioning System)が利用されるが、地下や都会のビル群といった衛星電波が届かない所では測位が行えなかったり、デバイスサイズやバッテリー消

費といった問題が考えられる。また近年、GPSに代わる位置情報システムとして、無線LAN・PHS・携帯電話(PDC,GSM)といった無線通信網を利用した位置測位技術についての様々な研究が行われ、実用化されているものもある。しかし、このような無線通信網を利用したシステムの中には、事前に測位対象範囲において各無線基地局の無線電波情報をトレーニングデータとして収集する必要がある。実利用のため広範なトレーニングデータを収集することは多大な労力が必要であるが、無線LANに於いてはPlace Lab [1]やLocky.jpプロジェクト [2]のように、ユーザ間のコラボレーションによって無線LAN基地局情報をデータベース化する

るといった取り組みが成されている。しかし、例えば PHS 網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トレーニングデータの利用を考えた場合、上記のような電波情報データベースは無く、また全国規模のトレーニングを行うことは人的コスト面からも非現実的である。そこで本稿では、PHS 網を利用した位置情報システムの低コストでの測位精度向上を目的として、位置が既知である無線基地局を利用することでサービス提供者による陽のトレーニングを行わずとも、システムが稼働する上で自律的にトレーニングデータを収集可能な機構を提案する。また、その機構を構築する上での問題点についても言及する。

2. 本研究の前提条件

本章では、本研究の想定するターゲットや環境について述べる。本研究のターゲットとして、既に無線通信網(特に本稿では PHS 網)を利用して防犯等の位置情報サービスを提供している事業者を想定している。位置情報サービス提供者は、全国各地に設置されている無線基地局情報(緯度・経度情報、設置場所の住所、アンテナ高)を自身の管理するロケーションサーバに保持している。現行のシステムとして、ユーザ(位置情報サービス享受者)は無線通信デバイスを携帯しており、位置測位を行う際は携帯端末がその場で観測される各無線基地局の ID とその受信電波強度(Receive Signal Strength Indication)をロケーションサーバに送信する。ロケーションサーバでは各無線基地局の位置情報と各携帯端末から送信されてきた情報をもとに、Cell-ID などのアルゴリズムにより各携帯端末の位置情報を算出する。測位精度としては、都市部等の無線基地局が密集した地域においては 50m~100m 程度が得られるが、郊外や田舎など無線基地局が疎な地域においては 100m 以上の測位精度誤差が出るのが現状である。位置情報サービスの質の向上のためには、コストを極力抑え、より高精度の測位を行う必要がある。よって、導入コスト面からは何か特別なハードウェアを追加するということは非現実的である。また、全国規模という広範なトレーニングデータ収集を行うことも人的コスト面から難しい。

3. 自律的トレーニングデータ収集機構

上記のような前提を受け、本稿では無線基地局の位置が既知であることを利用して、陽のトレーニングを行わずに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。

3.1 一般的なトレーニングデータ収集

まず、一般的に無線通信網(特に無線 LAN)を利用したトレーニングデータ収集作業とは、ユーザ(もしくは位置情報サービス提供者)が GPS と無線デバイス(及び、その stumbler)を持ち、図 1 左のように測位対象

範囲内を移動しながら各場所にて観測される無線基地局の ID やその電波状況をログデータとして収集することを言う(特に、自動車に乗って行うトレーニングデータ収集は WarDriving と呼ばれる)。図 1 左で例をとると、地点(X,Y)では各無線基地局①~⑥からの電波強度がそれぞれ S1~S6 の値を示しており、位置情報とその場の電波状況をペアにしてトレーニングデータとして記録している。無線 LAN を利用した位置情報システムの多くは、このようにして得たトレーニングデータを基に事前モデルを構築し、それぞれの位置推定アルゴリズムに利用する。

3.2 提案手法のイメージ

次に、トレーニングデータ収集課題に対する本稿でのアプローチのイメージについて述べる。本稿で提案するアプローチでは各無線基地局の位置が既知であることに注目して、ユーザやサービス提供者が直接トレーニングデータ収集作業を行うのではなく、各無線基地局で他の無線基地局がどのように聞こえているかといった情報をトレーニングデータとして利用する。そのイメージを図 1 右に示す。例えば、基地局①は各基地局②~⑥から、それぞれ S2~S6 の RSSI 値を得ている。基地局①の位置は既知であることから、基地局①の場所における電波状況を 1 つのトレーニングデータとして取得可能となる。他の無線基地局も同様にして、無線基地局の数だけ自動的にトレーニングデータが収集可能になると考える。

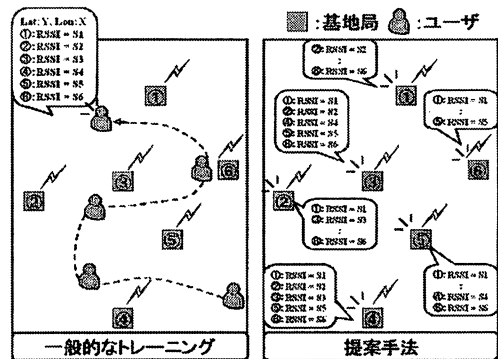


図 1 一般的なトレーニングと提案手法のイメージ

3.3 実際のアプローチ

前節で自律的トレーニング収集機構のイメージを述べたが、実際には我々は上記のように各無線基地局で受けた電波強度情報は利用しない。その理由として、以下の 2 点が挙げられる。

- 想定する位置情報サービス提供者は、自身で無線通信網を所有・管理しているとは限らない(ネットワークキャリアであるとは限らない)ことか

ら、その場合各無線基地局で観測される電波情報を利用できる保証がない。

- 実際に測位を行う際、利用者が持つ携帯端末でどのように各無線基地局の電波強度を観測できるかが重要であり、トレーニングデータも実利用と同じ環境(電波状況を観測するデバイス・アンテナ、携帯端末の地上からの高さ)で取得する必要がある。

後者の理由を考えると、やはり人の手によってトレーニング作業は行わなければならないことになる。ここで前提条件を振り返り、既に無線通信網を利用した位置情報サービスは運用されており、各地に携帯端末を所持したユーザが存在していることに着目する。当然ながら各ユーザはGPSは持たないが、位置情報サービスを利用する度に、各場所における電波状況をロケーションサーバに報告していることになる。つまり、ユーザの所持する携帯端末が各無線基地局の場所に居ることさえ分かれば、位置情報サービスの実利用環境下でのトレーニングデータ抽出が自動的に行われることになる。そのようにして、各無線基地局における電波状況データを収集することで、結果として、位置情報サービス提供者が直接にトレーニング作業を行わずともトレーニングデータが収集可能となる。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。

3.4 トレーニングデータ取得法

次に、具体的なトレーニングデータ取得の方法について述べる。図2は無線LAN基地局からの距離ごとに電波強度を観測し、その観測されたRSSI値の割合を示したグラフである。無線電波強度は距離に反比例して減衰する性質があり、図2でも無線基地局に近接している時は高い電波強度を示しているが、距離に応じて急速にその値は減少している。

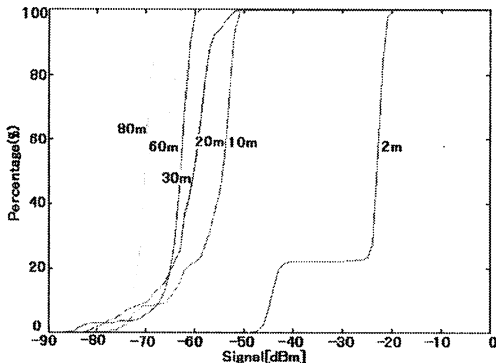


図2 無線LAN基地局からの距離ごとの電波強度の割合

この無線電波強度の性質を利用して、PHS網におい

て同様に複数回の観測を行い、”携帯端末が無線基地局の近傍に存在する”と判断付ける適切な閾値を設定する。この閾値を便宜上、「近傍閾値」と呼び、また近傍閾値を越える電波強度の観測値を”Proximity Value”と呼ぶ。ユーザの持つ携帯端末は、定期的に各無線基地局の電波状況を取得しており、ある無線基地局のProximity Valueを観測した場合、その基地局IDとその時の電波状況をストアしておく(図3)。その後、位置情報サービスの中でロケーションサーバとの何らかの通信を行う際に、同時にストアされていたログデータをトレーニングデータとしてまとめて送信する。

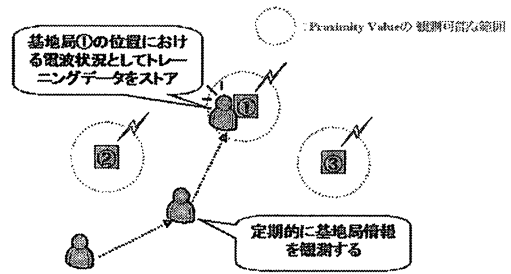


図3 トレーニングデータを取得する様子

3.5 近接基地局発見に関する実問題

上記の方法で携帯端末がある無線基地局の近傍にいることを発見するにはまだ問題がある。実際問題として、現行運用されている多くのPHS基地局は建造物の屋上など地上から高い所に設置されている。尚かつ、基地局アンテナのビームは横向きにふられていることが多い。例えばある無線基地局の直下で電波状況を観測した場合、その基地局にかなり接近しているにも関わらず、高いRSSI値を得ることが出来ない現象が見受けられる。これでは、例え基地局の近辺にいたとしても、基地局の近傍での観測データとしてトレーニングデータを抽出することが困難である。

3.6 近接基地局のトレーニングデータ抽出手法

前節で述べた問題を解決するため、各無線基地局において最接近している場合のトレーニングデータを抽出する手法について述べる。その概要を図4に示す。図4の上部は無線基地局のそばを通り過ぎるユーザの動きを示しており、下部のグラフはその時系列で観測されるRSSI値の変化を示している。

1. ユーザの持つ携帯端末は定期的に電波状況を観測しており、ある無線基地局に接近していったProximity Valueを観測したら、一時的に詳細な電波観測を行うために観測周期設定を短くする。
2. 更に無線基地局に接近していくと、逆に観測されるRSSI値が下がってくる。
3. そこから更に一定時間の間に再度 Proximity

Value を観測した場合、図中の②～③の間に観測されたデータをトレーニングデータとしてストアする。

このアルゴリズムを用いることで、無線基地局直下等の基地局近傍における電波強度の谷間を検出することが可能であると考え、今後この手法を実装し、実環境において有効性の検証を行う予定である。

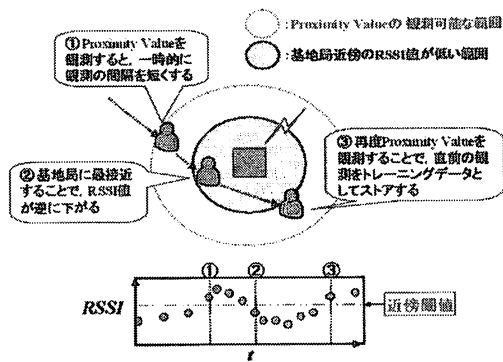


図4 近接基地局のトレーニングデータ抽出

4. 関連研究

無線通信網を利用した位置情報システムは、無線LANや携帯電話の海外規格であるGSMを中心として、屋内や屋外を対象としたものや、電波強度を利用したもの等、様々な手法が研究されている。それらは、位置測位のために事前に基地局の電波状況等のデータを取得するトレーニング段階を要する手法と、それを必要としない手法の2つに大別することができる。以下では、それらの代表的な各手法と、トレーニング課題に関する関連研究について述べる。

4.1 トレーニングが不要な手法

トレーニングを必要としない手法としては、先ずAir-Location [3] で使われているTDOA (Time Difference Of Arrival) 手法が挙げられる。この手法は高精度な位置測位が可能ではあるが、端末から発せられる電波の受信タイミングを正確に測るための専用の基地局が必要なことから、導入コストが非常に高い。また、WiPS [4] で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準点からの距離を利用して位置推定を行い、このような手法はLaterationと呼ばれる。WiPSは屋内環境を想定したものであるが、本稿のように屋外利用を想定した場合、この手法では特に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といった問題がある。

4.2 トレーニングが必要な手法

トレーニングを必要とする手法では事前に収集したトレーニングデータをモデルとして保持しておき、それを観測される無線基地局情報と併せて利用することで位置の推定を行う。トレーニングデータから位置を推定するには、主に以下に示す3つの代表的なアルゴリズムが挙げられる。WiFiとGSMにおける各アルゴリズムの性能評価は、Intel Researchによって都市部(基地局密度・高)と郊外(基地局密度・疎)において行われている [5, 6]。

・Centroid 手法

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最もシンプルなアルゴリズムである [7]。位置精度がCellの大きさに依存するため、一般的に精度は低い、電波強度で重み付けを行うことで幾分かの精度向上が図れる。シンプルなアルゴリズムではあるが、都市部のような無線基地局が密集している環境では、以下に示す複雑なアルゴリズムと同程度の測位精度が出るるとされている。

・Fingerprinting 手法

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くことで、テスト段階での位置の決定には、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、最も値の近いものを現在位置とする手法である [8]。GSMの場合、都市部のような基地局が密集な地点では3つの手法の中では最も高い精度を示すが、そのためには綿密なトレーニングが必要であり、トレーニングデータのサイズが最も大きくなる。

・Particle Filter 手法

トレーニング段階において各基地局の電波強度を基にセンサモデルを構築し、Particle Filterと呼ばれる手法を用いて端末の位置推定を行う [9]。Particle Filterでは、ある時刻における状態ベクトル (位置) を重み付けされたパーティクルによって示す。各パーティクルはセンサモデルの利用等によって仮説として生成される。これらの各パーティクルを動作モデルや、現在観測される電波強度によって重みを再評価し、例えば最も重み大きい仮説の状態を現在位置として推測する。この手法はGSMに於いては、基地局密度が疎である都市部郊外などの住宅地や、まばらなトレーニングデータしかない場合に、3つの手法の中で最も高い精度が得られるとされている。

4.3 トレーニング課題への対応

前節のような位置推定手法の利用を考えた際、トレーニングデータの収集は必須である。しかし、特に屋外環境での広範囲なトレーニングデータ収集作業は多大な時間や労力を要する。このトレーニング負荷の軽減の

ため、無線 LAN ベースの位置情報システムではユーザ間のコラボレーションによる無線 LAN 基地局のデータベース化 [1, 2] が行われている。また、効率的に無線 LAN 基地局データを収集する手法 [10] についても研究が行われている。一般的にトレーニングデータは自動車を用いて収集されることが多いが、そのようにして得られたデータでは基地局の見落としが多く、位置推定精度に影響がある。徒歩・自転車・自動車によって収集されたデータを用いて位置推定アルゴリズムに与える影響を調査し、自転車によるトレーニングが最も効率的であると評価している。また、文献 [11] では Seed Data として小さいトレーニングデータを使って、システムを稼働させる中で無線 LAN データベースを自動更新する研究も行われている。

5. 課題

本稿で提案した自律的なトレーニングデータ収集機構の当面の課題と、本手法の利用による実用的な屋外位置情報システムに向けての解決すべき課題を示す。

・トレーニングデータ収集機構の実装

まず、当面の課題として 3.6 節で提案した無線基地局に近接し過ぎていてもトレーニングデータを抽出可能な手法の実装を行う。また、実機にて実験を行い、提案したアルゴリズム通りに無線基地局の近傍でのトレーニングデータが収集できるかを検証する必要がある。これを以て、3.4 節で述べたような自律的にトレーニングデータ収集機構の構築を図る。

・位置推定アルゴリズムの選択

本稿で提案した手法では、自律的なトレーニングデータが収集可能ではあるが、その得られるトレーニングデータは無線基地局の数だけでしかない。また、そのトレーニングデータの分布は無線基地局の配置のように散発的に分布しているものと考えられる。このようなトレーニングデータの集合から、如何に実用に耐えうる電波モデルを構築できるか、またそれを効果的に利用するための最適な位置推定アルゴリズムを決定する必要がある。関連研究でも示したように、Particle Filter 手法は郊外のような基地局密度が疎である場合や、トレーニングデータがまばらにある場合に於いて最も安定した位置精度を示す。よって現在のところ、位置推定アルゴリズムには Particle Filter 手法の適用を考えている。まずは、手近に検証できることから無線 LAN においてプロトタイピングを行い、実機やシミュレータを用いて位置推定アルゴリズムを用いた評価を行う予定である。

6. まとめ

本稿では、実問題として PHS を利用した位置情報サービス提供者の立場から、低コストに測位精度向上

を図ることを目的として自律的にトレーニングデータを収集する機構を提案した。また、実際にそのような機構を構築する場合に考えられる問題点を挙げ、その解決手法も提案した。今後は提案した手法の実装を進めることで、本研究の有効性を検証する。本手法が実現すれば、位置情報サービス提供者が直接にトレーニング作業を行わずとも、広範なトレーニングデータが収集できると考える。

参考文献

- [1] Anthony LaMarca, et al.: Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffrey Hightower, Ian Smith, James Scott, Tim Sohn, James Howard, Jeff Hughes, Fred Potter, Jason Tabert, Pauline Powledge, Gaetano Borriello, Bill Schilit: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, Pervasive 2005, LNCS 3468, pp.116-133, 2005.
- [2] Locky.jp Project - <http://locky.jp/>
- [3] 日立 AirLocation
<http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- [4] 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃, "無線 LAN を用いた屋内向けユーザ位置測定方式 WiPS の実装", 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム論文集, pp.349-352, (2004)
- [5] Yu-Chung Cheng, Yatin Chawathe, Anthony LaMarca, John Krumm: Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization, MobiSys2005, Seattle, WA, June., 2005.
- [6] Mike Y. Chen, Timothy Sohn, Dmitri Chmelev, Dirk Haehnel, Jeffrey Hightower, Jeff Hughes, Anthony LaMarca, Fred Potter, Ian Smith, Alex Varshavsky: Practical Metropolitan-Scale Positioning for GSM Phones, UbiComp2006, Orange County, California, USA, Sept., 2006.
- [7] 石原 幸通, 西尾 信彦, "GPS と無線基地局検出ツールを排他利用する位置情報システム", 情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会報告, 2004-UBI-6, pp.91-96, (2004)
- [8] Paramvir Bahl, and Venkata N. Padmanabhan: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, In Proceeding of The 19th Conference of the IEEE Communications Society (Infocom2000), pp.775-784, 2000.
- [9] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello: Particle Filters for Location Estimation in Ubiquitous Computing: A Case Study, UbiComp2004, pp.88-106, Nottingham, UK, Sept., 2004.
- [10] 吉田 廣志, 伊藤 誠悟, 河口 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 (DICOMO2006) シンポジウム論文集, pp.281-284, (2006)
- [11] Anthony LaMarca, Jeffrey hightower, Ian Smith, Sunny Consolvo: Self-Mapping in 802.11 Location Systems, UbiComp2005, pp.87-104, Tokyo, Japan, Sept., 2005.