

ぷらっと Plat@自由が丘におけるタウンログ収集(2) 携帯電話内蔵無線 LAN を用いたエリア検知

Town-log gathering system at Puratto-Plat@Jiyugaoka (2) Area Detection System for Mobile Phones with Wi-Fi

小西 勇介†
Yusuke KONISHI

中尾 敏康†
Toshiyasu NAKAO

1. はじめに

近年のモバイルデバイス技術や移動体通信環境の急速な発達と普及により、移動体の位置情報の取得／活用に注目が集まると共に、多くの位置検知方式が提案され実用化が進んでいる^[1-8]。特に、携帯電話を始めとしたモバイル端末への GPS、無線 LAN もしくは携帯電話基地局を用いた位置検知機能の標準搭載が急速に進んでおり、位置情報に基づいた様々なサービスが広く普及しつつある。しかしながら、その位置検知精度は、条件が良い場合で数m、そうでない場合には数十mから数百m以上にまで悪化する。このため、これらの位置検知機能を来街者のスポットへの立寄検出にそのまま適用しても、得られる位置の分解能および誤差が大きくタウンログとしては意味をなさない。また、広範囲かつ時々刻々変化する電波状況の下では安定した性能を実現するのも難しいという問題がある。

このような電波環境変動によって位置検知精度が不安定になってしまう問題に対しては、環境に設置した参照用の無線機（以下、参照局）を用いて、移動体に取り付けた無線機（以下、移動局）の位置検知を高精度化する技術がこれまでも提案されている。Niらは、環境に設置した複数の基地局で得られる移動局および参照局に関する電波強度を比較することにより、移動局の位置座標検知を高精度化する技術を提案している^[9]。小川らは、あらかじめ学習させておいた各エリアの無線状況と、移動局で計測される無線状況とを比較することにより、移動局の存在エリア検知を高精度化する技術を提案している^[10]。しかしながら、これらの従来技術では、環境内の動的な障害物や移動体への無線機の取り付け方などによる、無線通信状況の変動が十分に考慮されておらず、参照局と移動局で計測される状況間の違いが大きくなる場合に、移動局の位置を正しく検知できないことがあった。

そこで我々は、このような無線通信状況の変動がある場合でも移動局の位置をロバストに正しく検知できる技術の開発に取り組んでいる。

2. 研究の狙い

従来、無線を用いた位置検知技術を実環境で運用するにあたって特に大きな課題となっていたのは、主に以下の二点である。

- 無線通信状況の変動により性能が安定しない

様々な利用条件（マルチパス、電波雑音、無線機の手持ち方・設置方法、障害物など）の変化によって、無線通信状況が変動し、位置検知の性能が安定しない。

- 基地局の設置位置により性能が制限される

例えば、セル ID ベースの位置検知システムでは、基地局の設置位置によって検出される位置（エリア）が自ずと決定され、かつ、基地局の設置位置は通信インフラとしての要件などの観点から決まっており自由に変更できないことが一般的であるため、自由なエリア設計が困難である。

そこで我々は、従来技術におけるこれら二点の課題を鑑みて、特に無線を用いたエリア単位での位置検知（以下、エリア検知）システムに着目し、位置分解能は数 m 程度とするが、無線通信状況の変動がある場合でも移動局の存在エリアをロバストに正しく検知できるシステムの開発を目指している。

これまでに、参照用無線機を用いたエリア検知方式の開発に取り組み、アクティブ RFID を対象にしたプロトタイプシステムを構築して実環境でその性能を評価してきた^[11]。本稿ではさらに、開発方式を無線 LAN システムへ適用し、「ぷらっと Plat@自由が丘」実証実験においてユーザの立寄り店舗を検出するシステムとして運用し評価したので報告する。

3. 参照用無線機を用いたエリア検知方式

本方式では、環境にあらかじめ設置した参照局により逐次学習されたエリア毎の無線通信状況と、位置検知対象に取り付けた移動局により計測された無線通信状況とを比較することにより、位置検知対象の存在エリアを検知する。このような参照局を用いることにより、無線通信状況の変動による検知精度劣化を低減（ロバスト化）できる。

3.1. システム構成

本方式による位置検知システムは、環境にあらかじめ設置された無線機である「基地局」、設定したエリア毎に設置する無線機である「参照局」、および、位置検知対象に取り付ける無線機である「移動局」の三つの役割を持つ無線機と位置検知サーバで構成される。このとき、これら三つの無線機の役割が、位置検知に利用する信号を送信する機能と受信する機能のどちらで実現されるかは、使用する無線通信システムによって異なり、表 1に示した二通りのシステム構成が考えられる^[11]。

表1 システム構成

| | 基地局 | 移動局 | 参照局 | 無線システム例 |
|------|-----|-----|-----|----------------|
| 構成 1 | 受信機 | 送信機 | 送信機 | アクティブ RFID など |
| 構成 2 | 送信機 | 受信機 | 受信機 | 無線 LAN, 携帯電話など |

構成 1 と構成 2 は、それらを構成する無線機それぞれについて、送信と受信の機能を入れ替えた構成となっている。

† NEC サービスプラットフォーム研究所,
Service Platforms Research Labs., NEC Corp.

構成 1 と構成 2 のいずれの構成においても、位置検知サーバは、基地局の識別情報、移動局もしくは参照局の識別情報、および、信号強度の組 (以下、信号特徴量) を受け取ることとなる。

3.2. 処理の流れ

位置検知サーバは、(構成 1、構成 2 のいずれの構成かに関わらず、) 移動局と参照局に関して得られた信号特徴量を元にしたパターンマッチングにより移動局の存在エリアを推定する。処理の流れを図 1 に示す。

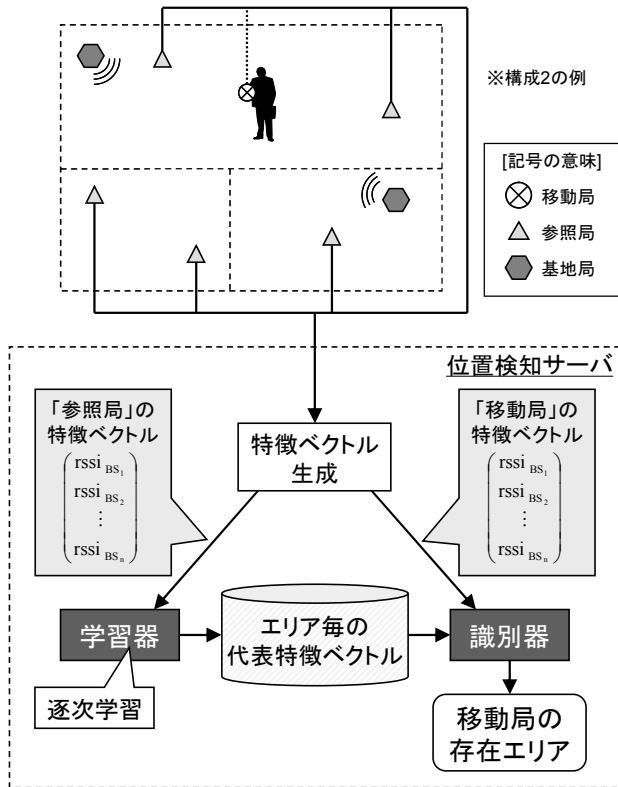


図1 処理の流れ

まず、得られた信号特徴量を、それぞれの参照局および移動局毎にまとめて特徴ベクトルを生成する。ここで、環境内に設置された全 n 台の基地局を BS_1, BS_2, \dots, BS_n 、基地局 BS について得られた信号強度を $RSSI_{BS}$ とおくと、ある参照局もしくは移動局に関する特徴ベクトル \vec{x} は、以下のように表される。

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} RSSI_{BS_1} \\ RSSI_{BS_2} \\ \vdots \\ RSSI_{BS_n} \end{pmatrix}$$

生成された特徴ベクトルのうち、参照局に関するものについては、その分布状況を学習器によって逐次学習し、対応するエリアの代表特徴ベクトルを更新する。学習器としては、入力される特徴ベクトルの分布を学習させることができる自己組織化マップ (SOM) や学習ベクトル量子化 (LVQ) などのベクトル量子化手法を用いることができる。このように逐次更新されるエリア毎の代表特徴ベクトルと、移動局に関して生成された特徴ベクトルとを識別器に

よって比較することによって、移動局の存在エリアを検知する。識別器は、逐次更新されるエリア毎の代表特徴ベクトルの中から、移動局に関して生成された特徴ベクトルとの距離 (例えば、特徴ベクトル間のユークリッド距離や角度など) が最も小さくなる代表特徴ベクトルを検索し、該当する代表特徴ベクトルに対応付けられたエリアの識別子を検知結果として出力する。

本方式では、参照局について得られた特徴ベクトルの分布状況を逐次学習させてエリア毎の代表特徴ベクトルをリアルタイムに更新することにより、無線通信状況に含まれるノイズ成分や変動幅を考慮したエリア識別が可能となり、無線通信状況の変化による位置検知精度の劣化を抑えることができる。また、所望の検知エリアに参照局を設置するだけで検知エリアを形成することができるため、エリア設計が容易となり、システムの構築・変更時のキャリブレーションの手間を少なくできる。

3.3. 実装

提案方式を無線 LAN システムへ適用し、プロトタイプシステムを実装した。

無線 LAN システムでは、無線 LAN アクセスポイントから定期的に発信されているビーコンが、通信確立などのために利用されている (図 2)。

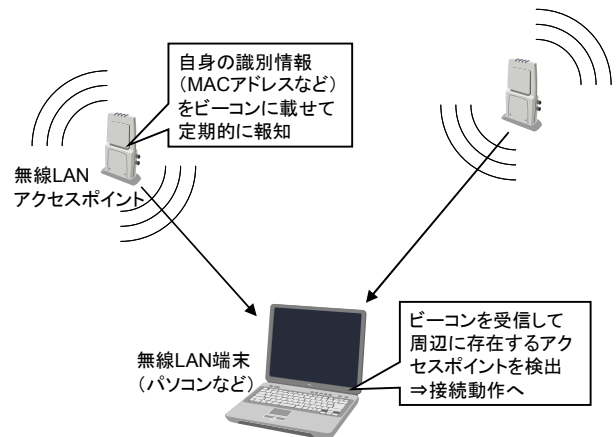


図2 無線 LAN システムにおけるビーコンの役割

ビーコンとは、無線 LAN の標準規格 IEEE802.11 で定められている機能であり、無線 LAN アクセスポイントが周囲の無線 LAN 端末に対して自分の存在を周知させるために定期的に発信されるものである。すなわち、無線 LAN 端末は、受信したビーコンを調べることによって周辺に存在するアクセスポイントの情報、特にアクセスポイント毎に固有の MAC アドレスを取得することができる。また一般的に、このような無線 LAN 端末は、どの無線 LAN アクセスポイントに接続するべきかを判断するために、ビーコンを受信した際の電波強度も計測できる。

提案方式を無線 LAN システムへ適用するに当たっては、既に環境に設置されている無線 LAN アクセスポイント、および、ビーコンを受信する無線 LAN 端末として、ユーザに所持させる無線 LAN 機能搭載携帯電話と、各店舗に設置するセンサポストに内蔵した無線 LAN 機能搭載ノートパソコンを無線機として利用する。これらによるシステム構成は、表 1 に示した構成 2 に相当するものであり、「基地局」として環境に設置され通信インフラとして利用されている無線 LAN アクセスポイントを、「参照局」と

して各店舗に設置したセンサポストに内蔵する無線 LAN 機能搭載ノートパソコンを、「移動局」としてユーザが所持する無線 LAN 機能搭載携帯電話を、それぞれ利用する。本システムにより、「移動局」の存在エリアを店舗単位で検知し、ユーザの各店舗への立寄りを検出する。使用した無線 LAN 機器の外観を図 3 に示す。

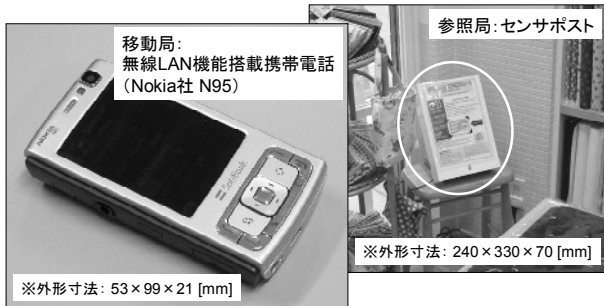


図3 使用した無線 LAN 機器

ここで、使用した携帯電話 (Nokia 社 N95)、および、センサポストに内蔵されたノートパソコン (パナソニック社 Let'sNoteR8) に搭載された無線 LAN 機能は、共に IEEE802.11b/g に対応したものである。これらの無線 LAN 端末で取得した計測データ (検出したアクセスポイントの MAC アドレスと、アクセスポイントからビーコンを受信した時の電波強度) を、携帯電話からはパケット通信網を利用して、ノート PC からは e-mobile のデータ通信カード経由で公衆網を利用して、それぞれタウンログ収集サーバへ収集する。

タウンログ収集サーバで稼動する位置検知システムの学習器では、参照局毎に、対応するエリア (参照局=センサポストが設置された店舗) の代表特徴ベクトル \vec{x}_i を生成し、参照局について得られた特徴ベクトル \vec{x} 、および、平滑化係数 N を用いて、以下の式に従って逐次更新する。

$$\vec{x}_i = \frac{(N-1)\vec{x}_{i-1} + \vec{x}}{N}$$

これにより、エリア毎の代表特徴ベクトルは、参照局に関して得られた特徴ベクトルを時間方向に平滑化したものとして学習される。また、識別器では、移動局の特徴ベクトルとのベクトル要素毎の差分の最大値が最小となるような代表特徴ベクトルを検索し、対応するエリアの識別子を、各ユーザに所持させた携帯電話の存在エリア (店舗) 検知結果として出力することとした。

本実証実験では、参照局 (センサポスト) での無線 LAN 計測間隔を 1 分とし、計測結果が得られるたびに学習器によりエリア毎の代表特徴ベクトルを更新する。また、移動局 (携帯電話) での無線 LAN 計測間隔は 20 秒とし、計測結果が得られるたびに識別器により携帯電話の存在エリアを検知する。20 秒毎に得られる移動局の存在エリア検知結果から、同一のエリアに存在するとの検知結果が 5 分以上得られなくなるまでを 1 回の立寄りと判断し、ユーザの各店舗への立寄りを検出する。

4. 評価

「ぶらっと Plat@自由が丘」実証実験では、協力店舗 52 店舗に設置した計 46 台のセンサポストにより 46 個のエリアを定義し、無線 LAN 機能搭載携帯電話を所持させた 9 人のユーザの行動ログを収集する実験を行った。特に、開

発した位置検知システムでは、これらのユーザの各店舗への立寄り情報を取得することを目的とした。

まず、店舗に設置したセンサポストで取得された無線 LAN の計測結果例を図 4 および図 5 に示す。これらは、ある店舗 (店舗 A とする) でそれぞれ別の日に取得された無線 LAN 計測結果のうち、特定の 3 つのアクセスポイント AP1, AP2 および AP3 に関して計測されたビーコン受信強度の時系列変化を示す計測結果である。

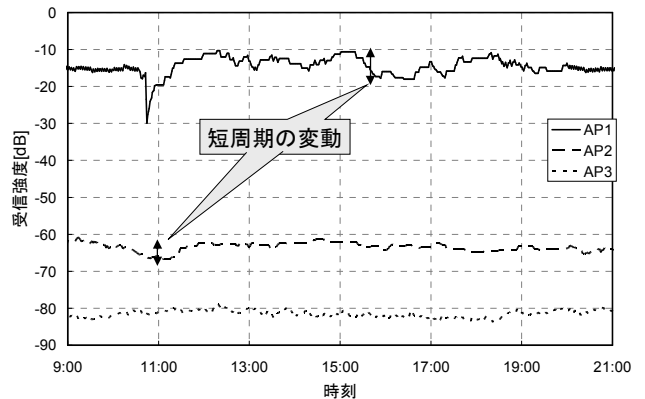


図4 店舗 A で取得されたある日の無線 LAN 計測結果

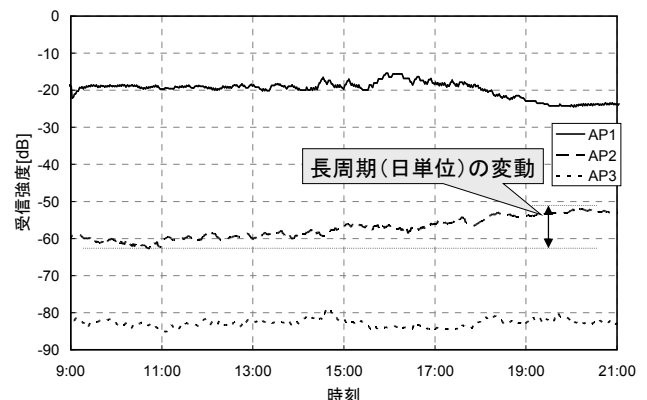


図5 店舗 A で取得された別の日の無線 LAN 計測結果例

これらの計測結果から、無線 LAN アクセスポイントおよびセンサポストの双方ともが固定されているにも関わらず、計測されるビーコンの受信強度が、数分から数時間程度の比較的短い周期と、日をまたがるような比較的長い周期の双方で、共に数 dB から 10dB 程度の幅で変動していることが分かる。ここで、障害物が一切存在しない自由空間を仮定した場合、受信強度が 10dB 変動するということは、無線送受信機間の距離が約 3 倍変動していることに等しい。すなわち、無線 LAN アクセスポイントと受信端末 (ユーザが所持する携帯電話) との距離が 10m だった場合、受信強度が 10dB 小さくなるということは、その距離が 30m になるということと等価である。無線を利用した位置検知技術においては、このような無線環境変動が、その精度を劣化させる大きな要因となっている。提案方式では、参照局を導入することにより、このような無線環境変動による位置検知精度の劣化を低減する。

次に、開発した位置検知システムによるユーザの立寄りエリア検出結果の精度を評価した。本評価では、ユーザに記録してもらった訪問店舗および訪問時間 (入店時刻および退店時刻) を、ユーザの立寄りエリアの正解データとし

た。実証実験期間中に得られた、9人のユーザの全26回の自由が丘への来街時の、合計82回の店舗立ち寄りについて、本システムによる検知結果と正解データとを比較し、開発した位置検知システムの性能を評価した。ユーザ毎の正解率の集計結果を表2に示す。

表2 ユーザごとの店舗立ち寄り検知正解率

| ユーザ | 適合率 | | | 再現率 | | |
|-----|------|-----|-------|-------|-----|-------|
| | 検知回数 | 正解数 | % | 立寄り回数 | 正解数 | % |
| A | 10 | 7 | 70.0 | 9 | 7 | 77.8 |
| B | 6 | 6 | 100.0 | 7 | 6 | 85.7 |
| C | 12 | 10 | 83.3 | 11 | 11 | 100.0 |
| D | 3 | 3 | 100.0 | 4 | 3 | 75.0 |
| E | 8 | 7 | 87.5 | 8 | 7 | 87.5 |
| F | 20 | 17 | 85.0 | 27 | 20 | 74.1 |
| G | 10 | 9 | 90.0 | 10 | 10 | 100.0 |
| H | 7 | 4 | 57.1 | 5 | 4 | 80.0 |
| I | 2 | 2 | 100.0 | 1 | 1 | 100.0 |
| 合計 | 78 | 65 | 83.3 | 82 | 69 | 84.1 |

ここで、適合率とは、位置検知システムで検知された全立寄り検知回数のうち、正解データと一致した（検知された立寄りの開始時間と終了時間が、正解の訪問時間とかぶった）検知回数の割合を、再現率とは、正解データの全立寄り回数のうち、位置検知システムの検知結果と一致した（検知された立寄りの開始時間と終了時間が、正解の訪問時間とかぶった）立寄り回数の割合を、それぞれ表すものとする。

表2に示すとおり、ユーザ毎に正解率のばらつきはあるものの、全体で、適合率83.3%、再現率84.1%となった。このような正解率のばらつきは、ユーザ毎の携帯電話の持ち方のばらつき（ポケットの中／かばんの中／ネックストラップなど）、立寄り時間（入店から退店までの時間）のばらつき、および、店舗毎の立寄り検知性能のばらつきによって生じたものと考えられる。特に正解率の悪かったユーザFおよびユーザHの立寄り履歴を確認したところ、他のユーザと比較して時間の短い（1分～2分）立寄りが多い傾向が見られた。これら2ユーザの結果を除いて正解率を集計したところ、適合率86.3%、再現率90%となった。

一方、一度決定した代表特徴ベクトルを更新せずに利用する従来方式（各エリアであらかじめ電波状況をキャリブレーションする方式）で同様に正解率を集計したところ、適合率が80.3%、再現率が81.7%となり、提案方式により、適合率と再現率をそれぞれ約3%改善できていることを確認した。これは、提案方式により、図4および図5に示したような電波環境変動による性能劣化を低減できたためと考えられる。今回の評価結果では提案方式による正解率の改善はわずかであったが、長期間のシステム運用では、電波環境変動が更に顕著になり、システム運用者側が感知できないアクセスポイントの撤去・移動も発生し得るため、提案方式による性能改善効果は更に高まると予想される。

5. おわりに

本稿では、環境に設置する参照用の無線機を用いて移動体に取り付けた無線機の存在エリアを検知する方式の概要と、そのプロトタイプシステムと無線LAN機能搭載携帯電話を用いた実環境での評価実験について報告した。評価

実験の結果、提案方式によってユーザの店舗への立寄りを適合率83.3%、再現率84.1%の正解率で検出することができ、キャリブレーションが必要な従来方式に比べて適合率と再現率をそれぞれ約3%改善できていることを確認した。これは、提案方式によって、電波環境変動による性能劣化を低減できた結果であると考えられる。また、本評価実験よりも長期間に亘るシステム運用を考慮した場合、提案方式による正解率の改善効果は更に高まることが予想される。一方、ユーザ毎の無線機の携帯方法のばらつきや、短い店舗への立寄り時間、店舗毎の立寄り検知性能のばらつきによって、全体の性能にばらつきが見られた。今後、参照用の無線機で得られる特徴量の学習方式を改良し、よりロバストかつ高精度なエリア検知システムの実現を目指す。

謝辞

本研究は経済産業省情報大航海プロジェクト^[12]における「地域活性化を支えるe空間サービスーぶらっとPlatー」（受託企業：株式会社エス・ピー・シー）実証事業の一環として行われた。また、実証実験は自由が丘振興組合の協力の下に行われた。記して感謝する。

参考文献

- [1] Chen G. and Kotz D., A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research, Technical Report 381, Department of Computer Science, Dartmouth College, 2000
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, IEEE INFOCOM 2000, Vol. 2, pp.775-784, 2000
- [3] A. LaMarca, et al, Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, Pervasive 2005, LNCS 3468, pp.116-133, 2005
- [4] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇, PlaceEngine:実世界集合知に基づくWiFi位置情報基盤, インターネットコンファレンス 2006, pp.95-104, 2006
- [5] 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫, locky.jp:無線LANを用いた位置情報・測位ポータル, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 90, pp. 25-31, 2005
- [6] AirLocation: <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- [7] AeroScout: <http://www.aeroscout.com/>
- [8] Ekahau: <http://www.ekahau.com/>
- [9] Lionel M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau and Abhishek P. Patil, LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, PerCom2003, pp.407-415, 2003
- [10] 小川智明, 吉野修一, 清水雅史, 屋内における無線タグを用いた学習型位置推定法, 情報処理学会研究報告, 2004-UBI-5, Vol.2004, No.66, pp.31-38, 2004
- [11] 小西勇介, 中尾敏康, 参照用無線機を用いたエリア検知方式, 情報処理学会研究報告, 2009-UBI-21, Vol.2009, No.17, pp.61-66, 2009
- [12] 情報大航海プロジェクト: <http://www.igvpj.jp/>