

# 地下鉄構内の制約条件を利用した無線 LAN 位置推定手法

藤田 迪<sup>†</sup> 佐々木 威<sup>†</sup> 河口 信夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院工学研究科

〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: †{fujita,sasaki}@ucl.nuee.nagoya-u.ac.jp, kawaguti@nuee.nagoya-u.ac.jp

**あらまし** 近年、無線 LAN の急速な普及により、無線 LAN を用いた位置推定システムの実用性が高まりつつある。地下や屋内での利用が困難な GPS とは異なり、無線 LAN による位置推定は、基地局情報のデータベースさえ存在すれば、屋内を含む任意の場所での利用が可能になる。いつでも自分の位置が推定できることにより、位置コンテキストを利用したさまざまな応用が期待できるが、実際には、公共の場所の屋内基地局情報のデータベースは存在しておらず、実用性の確認もなされていない。本研究では、無線 LAN を用いた屋内での位置推定の実用性の確認を目的として、地下鉄を対象とした位置推定手法を提案する。具体的には、名古屋市営地下鉄の全 83 駅の無線 LAN 基地局情報を収集し、これを学習データとした駅・フロア・エリアを推定する手法を提案する。

**キーワード** 無線 LAN, 地下鉄, 位置推定, 制約条件

## A Wireless LAN Location Estimation Method based on Constrained Conditions in Subway

Susumu FUJITA<sup>†</sup>, Takeshi SASAKI<sup>†</sup>, and Nobuo KAWAGUCHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

E-mail: †{fujita,sasaki}@ucl.nuee.nagoya-u.ac.jp, kawaguti@nuee.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** Recently, Wireless LAN location estimation systems getting popular and useful because of a rapid spread of Wireless LAN. GPS is usually not possible to position at the indoor environment. However, it is possible to estimate the location at anywhere by Wireless LAN if you have a database of the base stations. By using the location of the user, various context services and applications can be developed. However, there are no Wireless LAN database for public indoor-places. So the usefulness of the indoor location system is not evaluated. In this paper, we propose a location estimation method and system for subway stations using constrained conditions. We have acquired a database for all 83 subway stations in Nagoya City to exemplify the usefulness of the system. We also evaluate the accuracy of the system which estimates the stations, floors and areas.

**Key words** Wireless LAN, Subway, Location, Constrained Conditions

### 1. はじめに

近年、無線 LAN の急速な普及により、無線 LAN を用いた位置推定システムの実用性が高まりつつある。無線 LAN は基地局にユニークな ID が割り当てられているため、あらかじめ無線 LAN の位置をデータベースとして保持しておくことにより位置推定が可能である。ただし、無線 LAN の電波は通常 50~200m 到達し、屋内では反射等も起こるため、精度の良い推定は困難である。

無線 LAN を用いた位置推定システムの研究としては、Place-

Lab [1] や Locky.jp [2], PlaceEngine [3] などが挙げられる。Locky.jp ではすでに 40 万を超える基地局をデータベース化し、研究目的等での利用を可能にしている。ユーザは小型 WiFi デバイス等を携帯し、無線 LAN の電波を受信することで自分の位置を知ることができる。現在、カーナビ等で利用される GPS による位置推定システムが普及しているが、GPS は屋内での利用ができない。これに対し、無線 LAN は基地局データベースさえ存在すれば屋内外問わず測位可能である。しかし、上述の研究では主に屋外での利用が想定されており、無線 LAN を利用した屋内環境での測位サービスというものは確立されて

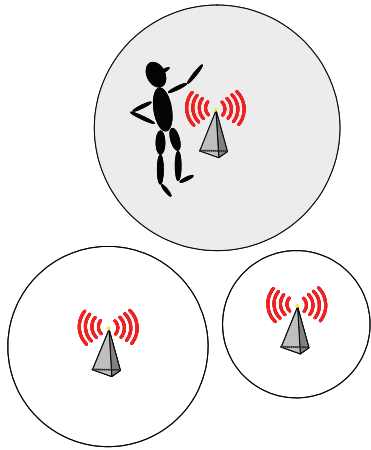


図1 近接性方式  
Fig.1 Proximity

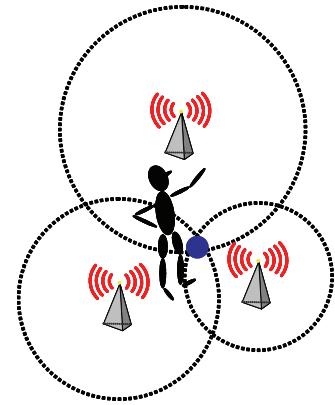


図2 三点測量方式  
Fig.2 Triangulation

いない。

そこで本研究では、屋内環境において、無線 LAN を用いたユーザの位置を推定するシステムの実現を目的とする。まず、実環境での計測と評価を通じて、屋内での位置推定の実用性を確認する。次に、制約条件を用いた測位精度向上手法の提案をする。制約条件とは、隣接・近傍関係や時間的な束縛などの環境に依存した条件のことをいう。制約条件が適用できる環境の例として、地下鉄や高速道路などが考えられる。屋内での位置推定システムの実現により、地下鉄や地下街でのナビゲーションが可能となる。本研究では、名古屋市営地下鉄全 83 駅を対象とした。経路情報や時刻表の情報と現在位置を連携させることにより、現在の状況に応じた最適な乗換え案内や乗換えまでの時間の提示などが行えるようになると考える。さらに、目的地までの移動において、トイレや飲食店の利用などの付加的な情報も考慮した最適な経路を提示していくことも考えている。

以下、2 節では既存の位置推定手法について、3 節では地下鉄構内の無線 LAN 電波情報の収集について述べる。4 節では無線 LAN を用いた地下鉄構内位置推定手法について、5 節では実装と評価実験について述べる。

## 2. 既存の位置推定手法

本章では、無線 LAN を用いた既存の位置推定手法 [5] について述べる。

### 2.1 Proximity(近接性方式)

図 1 のように、最も電波強度が強い基地局の位置を推定位置とする。アルゴリズムが単純であり、基地局の位置さえ分かっていたら位置推定が可能である。他の手法(後述)に比べて、推定精度が低い。

### 2.2 Triangulation(三点測量方式)

図 2 のように 3 点以上の基地局の位置と電波強度で、重みを用いて位置推定を行う。2.1 と同様に、基地局の位置情報さえあれば位置推定が可能である。ただし、マルチパス等の影響が大きく、高い精度での推定は困難である。

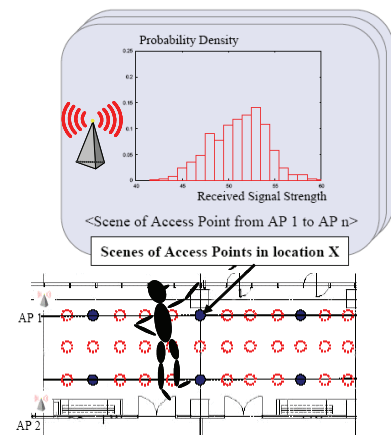


図3 三点測量方式  
Fig.3 Scene Analysis

## 2.3 Scene Analysis(環境分析方式)

推定する場所での基地局の電波状況を事前に取得しておき、ベイズ推定等を用いて、最も近似する受信状況の場所を位置として推定する。高い精度での推定が可能であるが、図 3 のように、事前に対象領域において電波強度のマップを作成する必要がある。

## 3. 地下鉄構内の無線 LAN 電波情報の収集

本章では、地下鉄構内における無線 LAN 電波情報の収集について説明する。

屋外における無線 LAN 電波情報の収集では、GPS を接続した LockyStumbler を用いるため、位置(経度・緯度)が 1 秒ごとに自動的に記録される [4]。しかし、屋内では GPS が利用できないため、位置の入力手法が重要となる。我々は、屋内での無線 LAN 電波情報の収集のために、収集用のツールとして SubwayStumbler を構築した。

SubwayStumbler では、位置の入力にデジタルカメラで撮影した地下鉄の構内図を利用する。タッチパネルのついた PC を用いて、写真上に自分の位置を直接タップすることによって、位置と同時に無線環境を記録することが可能である。動作の様

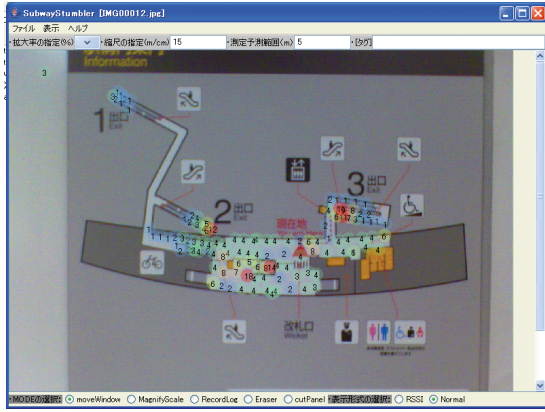


図 4 SubwayStumbler  
Fig. 4 SubwayStumbler

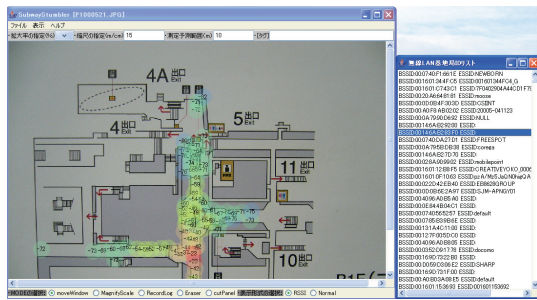


図 5 無線 LAN の電波状況  
Fig. 5 WirelessLAN Signal Condition

表 1 収集したデータ内容

BSSID	無線 LAN 基地局固有の ID
RSSI	受信電波強度 [dBm]
位置	画像上の 2 次元座標

子を図 4, 5 に示す。

その場で撮影した写真を用いることにより、以下の利点を得られる。

- 事前に平面図を用意する必要がない。
- 拡大・縮小が可能である。
- 入力時と情報提示時に同じ情報を用いることができる。
- 後から写真の緯度・経度・方角・縮尺を入力することにより、実際の位置にマッピングできる。

写真を使うことによる利点は、拡大・縮小が可能であることや、入力時と情報提示時に同じ情報を用いることができること、後から写真の緯度・経度・方角・縮尺を入力することにより、実際の位置にマッピングできることなどがある。

SubwayStumbler を用いて、表 1 で表すデータを収集した結果を表 2 に示す。収集したデータはディレクトリ構造に整理した。

#### 4. 無線 LAN を用いた地下鉄構内位置推定手法

屋内では、電波環境が複雑なため、Scene Analysis を用いた様々な位置推定手法が提案されている [5]~[9]。本研究では、3.

表 2 収集された地下鉄無線 LAN 基地局情報

Table 2 Wireless LAN Information

収集駅数	83 駅
収集フロア数	356 フロア
収集基地局数	1777 局
実際に収集した点の数	28620 点
収集時間	約 30 人日

節で収集したデータを位置推定に用いる。この学習データは、各点あたりのデータ量が少ないため、単純にベイズ推定を用いることは困難である。そこで、以下の手法を提案する。ここで、フロアとは、写真 1 枚で表される範囲のことである。

- 駅・フロア推定手法
- エリア推定手法

#### 4.1 駅・フロア推定手法

地下鉄構内では、電波の反射等の外乱により、電波強度を用いた位置推定は困難である。しかし、一般に電波の届く距離は 200m 程度であり、コンクリート等でさえぎられるため、異なる駅で同じ基地局を観測することは非常に稀である。実際に、今回のデータでは、1777 局中 21 局の基地局が、複数の駅で観測されただけである。逆に言えば、他の基地局は、その基地局が受信できただけで、現在の駅の推定が可能になる。

一方、フロア間では、階段等を通じて電波が反射して伝わってくるため、同じ基地局が複数のフロアで観測されることは少なくない。複数フロアで観測された基地局は、1777 局中 582 局である。そこで、事前収集したデータを解析し、それぞれの無線 LAN 基地局がどのフロアにあるのかを推定する。複数のフロアで観測された基地局の観測の集合を  $O$  とする。各観測  $o$  は、受信電波強度の値  $\alpha$  とフロア  $f$  の組で構成されている。 $n$  は  $O$  が観測された点の数である。

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\} \quad (1)$$

$$o_i = (\alpha_i, f_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$O$  の中から、電波強度  $\alpha$  が一番大きい  $o$  を選び、そのフロア  $f$  に  $O$  が設置されていると仮定する。ユーザは端末で無線 LAN の電波を観測し、一番強く観測された電波を用いて位置を推定する。その基地局が設置してあると推定したフロアに、ユーザが存在するものとみなす。

#### 4.2 エリア推定手法

フロアが分かることで、ユーザにとっての利便性は高まるが、やはり、より詳細な位置が分かるようになることが望ましい。そこで、本研究では、各フロアを図 6 のように分割して、どのエリアにユーザがいるか、の推定を行う。観測点単位ではベイズ推定は難しいが、エリア単位ではベイズ推定が可能になるため、以下の手法を用いる。

まず、事前収集したデータを用いて、各エリアにおいて BSSID 別に電波強度の分布を作成する。これにより、エリア毎にどのくらいの強さの電波がどのくらいの確率で観測されるかを算出

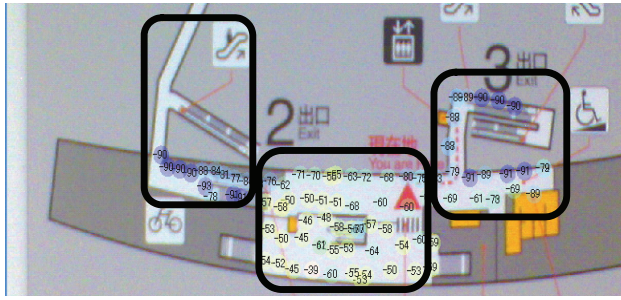


図 6 エリア  
Fig. 6 Area

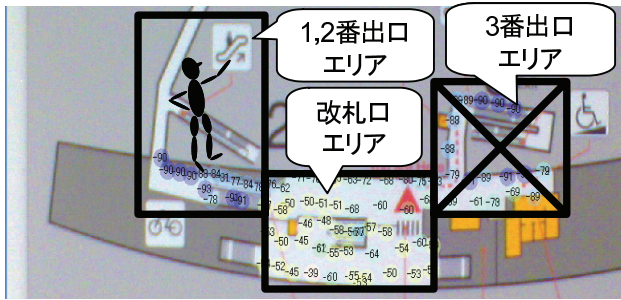


図 7 隣接関係  
Fig. 7 Adjacency Relationship

することができる。

そして、ベイズ推定を用いて、各エリアのユーザの存在確率を算出する。  $n$  を観測試行回数  $[s]$  とし、  $l$  を候補エリアの数とする。

$$P(A_j|x) = \frac{\prod_{k=1}^n P(x_k|A_j)}{\sum_{t=1}^l \left\{ \prod_{k=1}^n P(x_k|A_t) \right\}} \quad (3)$$

式 3 を用いるには、まず、エリア  $A$  において無線 LAN 基地局からの受信データが  $x$  である確率を求める。ここで、受信データ  $x$  は、BSSID  $\beta$  と電波強度  $\alpha$  の組で表される値である。  $m$  は観測した無線 LAN 基地局の数である。

$$x = \{(\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_m, \beta_m)\} \quad (4)$$

先ほど作成した分布から、対象エリアにおいて、BSSID  $\beta$  が電波強度  $\alpha$  である確率  $P(\alpha|\beta, A)$  を求める。

$$P(x|A) = \prod_{i=1}^m P(\alpha_i|\beta_i, A) \quad (5)$$

さらに、式 5 を観測ごとに計算し、式 3 を用いることにより、各エリアの存在確率を算出することができる。この確率が高いエリアにユーザがいると推定することができる。

#### 4.3 制約条件の利用

制約条件を利用した位置推定の精度向上手法を提案する。本研究では、エリア間の隣接関係を用いる。これは位置推定をす

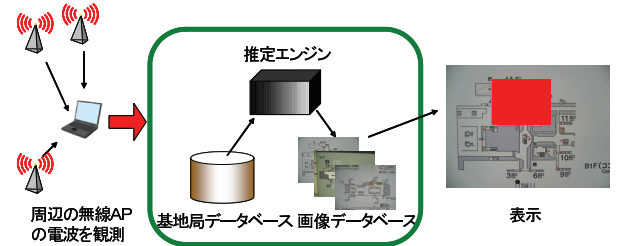


図 8 実装  
Fig. 8 Implementation

	実際の位置	推定候補1	推定候補2	候補3
93	1052 駅			
94	1052 駅間			
95	1053 日比野駅プラットホーム(金山側)			
96	1053 日比野駅プラットホーム(金山側)	日比野駅プラットホーム(金山側)	日比野駅プラットホーム(六番町側)	日比野駅81F
97	1053 日比野駅プラットホーム(金山側)	日比野駅プラットホーム(金山側)	日比野駅プラットホーム(六番町側)	日比野駅5階
98	1055 日比野駅プラットホーム(金山側)	日比野駅5番出口	日比野駅プラットホーム(六番町側)	日比野駅81F
99	1053 駅間	日比野駅プラットホーム(金山側)	日比野駅プラットホーム(六番町側)	日比野駅5階
100	1053 駅間			
101	1054 駅間			
102	1054 駅間			
103	1054 駅間			
104	1054 駅間			
105	1054 駅間			
106	1054 六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅プラットホーム(東海側)	六番町駅2,3階
107	1055 六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅プラットホーム(東海側)	六番町駅1,4階
108	1055 六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅プラットホーム(東海側)	六番町駅1,4階
109	1055 六番町駅プラットホーム(日比野側)	六番町駅1,4番出口	六番町駅プラットホーム(東海側)	六番町駅2,3階
110	1055 駅間			
111	1055 駅間			
112	1055 駅間			
113	1056 駅間			
114	1056 駅間			
115	1056 駅間			
116	1056 駅間			
117	1056 東海通駅プラットホーム(六番町側)	東海通駅プラットホーム(港区役所側)	東海通駅プラットホーム(六番町側)	東海通駅1,4階
118	1056 東海通駅プラットホーム(六番町側)	東海通駅1,4番出口	東海通駅3番出口(六番町側)	東海通駅プラ:
119	1057 東海通駅プラットホーム(六番町側)			
120	1057 東海通駅プラットホーム(六番町側)			

図 9 推定結果の比較  
Fig. 9 Comparison

る際に、前の段階で推定した位置と隣接していないエリアを候補から排除する手法である。地下鉄の駅構内には、無線 LAN の基地局が 1 フloor につきたかだか 1 つか 2 つ程度しか設置されていない。そのため、精度の高い推定は困難であり、マルチパスなどの影響も相まって、本来のエリアとは離れたエリアを推定してしまうことが多々ある。隣接関係を利用することにより、離れたエリアを推定してしまうことを防ぐことができる。

例えば、図 7 のように、1, 2 番出口エリアにいと推定された場合、その次に 3 番出口エリアには行くことができないので、候補から排除する。

## 5. 実装と評価

本手法を図 8 のように実装した。システムの概要を以下に示す。

- (1) 周辺の無線 LAN 基地局から電波を受信
- (2) 基地局データベースで、ユーザの位置を推定
- (3) 画像データベースから推定位置の画像を取得
- (4) ユーザに対して画像を表示

### 5.1 推定精度に関する評価実験

ユーザの位置推定の精度を確認する。対象データは、乗換え 1 回を含む経路中の無線 LAN 電波情報を記録したものである。手順は、存在確率を計算し、図 9 のように候補エリアと実際の

表 3 粒度 10 秒の場合

	隣接関係なし	隣接関係あり
分布の幅:5dBm	58.7 %	61.4 %
分布の幅:10dBm	67.9 %	70.3 %

表 4 粒度 15 秒の場合

	隣接関係なし	隣接関係あり
分布の幅:5dBm	55.8 %	61.2 %
分布の幅:10dBm	71.2 %	76.0 %

表 5 推定対象の広さと精度の関係

	駅全体	フロア	エリア
分布の幅:5dBm	92.7 %	86.8 %	61.2 %
分布の幅:10dBm	92.7 %	90.0 %	76.0 %

位置とを比較した。

#### 5.1.1 隣接関係の有無における測位精度の比較

隣接関係を用いた場合と、用いない場合とで、推定精度にどれほどの違いが出るのかを検証した。確率計算の粒度は 10 秒と 15 秒、受信電波強度分布の幅は 5dBm と 10dBm ごとに比較した。また、評価時間全体に対して、電波が受信できた時間のみの精度を求めた。これは、基地局自体が設置されておらず、元々エリアを推定することが不可能な場所もあるからである。電波受信のカバー率は、粒度 10 秒の場合が 64.6%、粒度 15 秒の場合が 65.8%である。表 3 が粒度 10 秒、表 4 が粒度 15 秒の場合の精度である。

この結果を見ると、隣接関係を用いた方が若干ではあるが、精度が向上することが分かった。

#### 5.1.2 推定対象の広さと測位精度との比較

駅全体での推定、フロアでの推定、エリアでの推定を比較した。確率計算の粒度は 15 秒で、隣接関係を用いて行った。表 5 に推定精度を示す。

この結果より、駅全体だと 90%以上の精度で推定することができる。駅によっては、隣の駅の無線 LAN の電波が受信できてしまう場合もあり、それにより 100%の推定ができていない。さらに推定対象の広さを狭くしていき、エリアごとに推定してもある程度の精度を保つことができる。

## 6. まとめ

本稿では、制約条件を用いた屋内環境における位置推定手法を提案した。本手法では、無線 LAN の電波情報を利用するため、GPS と違い屋内でも利用可能となっている。制約条件としては、エリア間の隣接関係を利用した。

さらに、推定精度の評価実験を行った。制約条件を利用した場合と、利用しなかった場合についての精度を比較した。制約条件を用いた場合、約 70%の精度でエリアを推定することができる。また、推定対象の広さを変えたときの精度についても比較した。駅の推定では 90%以上の精度になる。

今後の課題として、推定対象の広さの切替えが考えられる。より細かいエリアを推定可能なことが理想だが、実環境では、基地局の配置やマルチパスにより、極端に低い精度の場所が存

在する。状況に応じて推定面積の切替えが必要である。例えば、エリアごとの推定では精度が悪く、正確な場所を推定できないときは、駅だけの推定にしておく、ということが考えられる。

## 文 献

- [1] PlaceLab Project. "http://www.placelab.org/"
- [2] 無線 LAN 位置情報ポータル Locky.jp. "http://locky.jp/"
- [3] Place Engine. "http://www.placeengine.com/"
- [4] 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", 情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, Vol.2005, No.90, pp.25-31, 2005 Sep. 15-16 (2005)
- [5] 伊藤誠悟, 河口信夫, "アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定手法とその応用", 電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌, Vol.126, No. 10, pp.1212-1220 (2006)
- [6] Paramvir Bahl, and Venkata N. Padmanabhan: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, *ssdIEEE Infocom 2000*, pp. 775-784 (2000).
- [7] Petri Kontkanen, Petri Myllymaki, Teemu Roos, Henry Tirri, Kimmo Valtonen, and Hannes Wettig: Topics in Probabilistic Location Estimation in Wireless Networks, *Proc. 15th IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (2004)*.
- [8] Moustafa A. Youssef, Ashok Agrawala, A. Udaya Shankar : WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. In *Proceedings of The First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2003)*, pp.143-152 (2003).
- [9] Seigo Ito, and Nobuo Kawaguchi: Bayesian based Location Estimation System using Wireless LAN, *Third IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops* , pp. 273-278 (2005).