



相関ルールに基づいた位置指紋による無線 LAN  
利用位置推定手法の重心を用いた高精細化

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 久保田, 真一郎, 児玉, 剣太郎, 山場, 久昭, 岡崎, 直宣, Kubota, Shin-Ichiro, Kodama, Kentaro メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10458/5591">http://hdl.handle.net/10458/5591</a>

# 相関ルールに基づいた位置指紋による無線 LAN 利用位置推定手法の 重心を用いた高精細化

久保田 真一郎<sup>a)</sup>・児玉 剣太郎<sup>b)</sup>・山場 久昭<sup>c)</sup>・岡崎 直宣<sup>d)</sup>

## Application of Center of Gravity to Enhance Wireless LAN Based Location Estimation Method using Association Rules

Shinichiro KUBOTA, Kentaro KODAMA, Hisaaki YAMABA, Naonobu OKAZAKI

### Abstract

In the present days, many researchers pay attention to location estimation methods because of increasing of location based services. Wireless LAN based location estimation is attractive to estimate indoor location of mobile devices because GPS that is used mainly to estimate locations cannot be used indoors. The finger print method is one of the most promising method and association rules were introduced to improve the performance. In this study, a center of gravity is applied to enhance the accuracy of estimated location. A series of simulation based experiments was carried out to compare its performance with the one of the existing method.

**Keywords:** location estimation, wireless LAN, association rule

### 1. はじめに

近年、社会インフラとして普及しつつある無線 LAN を使用した屋内位置推定の研究が盛んに行われている<sup>1, 2, 3, 4)</sup>。その背景には、人々が所持している端末の位置情報を取得し、その現在地に応じたナビゲーションの実施や広告配信などの、便利な情報やサービスの提供を行う位置情報サービス (Location-Based Service)<sup>5, 6)</sup> への注目の高まりがある。このようなサービスに必要な端末位置の取得方法としては GPS が一般的である。しかし屋内では衛星からの電波が受信できないために GPS は利用できないため、無線 LAN の利用が注目されているわけである。近年は、無線 LAN 機能を備えたスマートフォンなどのモバイル端末が急速に普及するとともに、無線 LAN の設備が自宅や大学、企業ばかりでなく、駅、空港、コンビニなど生活の多くの場所で利用できるようになり、無線 LAN を利用した屋内位置推定のための環境は整備されつつある。

無線 LAN を使用した位置推定では、アクセスポイント (AP) からの受信信号強度 (RSS: Received Signal Strength) を用いるものが多い。その理由は、多くの無線 LAN 機器は受信信号強度を計測する機能を標準で搭載しており、位置推定のために追加コストを必要としないためである。ただし、受信信号強度の値は障害物によるマルチパス・フェージングの影響によって大きくばらつき、室内環境の場合、障害物の配置などが受信信号強度へ影響する。そのため、受信信号強度を利用す

る手法の中でも、指紋ノードと呼ばれる複数の地点で受信信号強度を計測し位置指紋としてデータベース化しておく Scene Analysis<sup>3)</sup> が有望視されている。

位置指紋作成の標準的な手法は、各アクセスポイントからの受信信号強度の平均値を用いるものである。これに対して久保田らは、平均値に加え、「測定される頻度の高い値が何か」も特微量に含め、相関ルールを用いた位置指紋の作成手法を提案している<sup>7)</sup>。

一方、位置指紋を利用して得られる推定位置については、最も近いと思われる指紋ノードの位置をもって、その推定結果とするものが多い。この場合、実際の位置が2つの指紋ノードのほぼ中間であるような場合に誤差が大きくなってしまう。

そこで本研究では、より間近であると思われる指紋ノードを3つ選び、その重心を推定位置とすることにより、推定誤差を小さくする手法を提案する。実際にシミュレーション実験を通して、従来の手法との位置推定精度の比較を行う。

### 2. 既存研究

本節では、既存の位置推定システムの概要を、特に受信信号強度を利用する技術について説明する。また、そこで重要となる位置指紋の作成方法について、詳しく説明する。

#### 2.1 種々の位置推定システム

既存の位置推定システムには、GPS (Global Positioning System) を使用するもの<sup>8)</sup>、RFID (Radio Frequency Identification) を使用するもの<sup>9)</sup>、無線 LAN を使用するものなどがある。

この中で、無線 LAN を使用する位置推定には、アクセスポイントからの電波到来時間差 (TDOA: Time Difference of

<sup>a)</sup>情報システム工学科准教授

<sup>b)</sup>情報システム工学科学部生

<sup>c)</sup>情報システム工学科助教

<sup>d)</sup>情報システム工学科教授

Arrival) を用いるもの、電波到来角 (DOA: Directing of Arrival) を用いるもの、受信信号強度を用いるものがある。受信信号強度を用いる手法は、無線 LAN の環境が既設でありさえすれば、設備の追加無く位置推定を実現できることから、導入が容易であるという利点を持つ。

## 2.2 受信信号強度を利用する位置推定技術

無線 LAN のアクセスポイントからの受信信号強度を利用した位置推定は、三角測量による手法 (Triangulation)<sup>10)</sup>、近接性による手法 (Proximity)<sup>11)</sup>、環境把握に基づく手法 (Scene Analysis) の3種に大別される<sup>12)</sup>。

Triangulation は、位置が既知である3点以上のアクセスポイントからの受信信号強度の減衰特性を利用し位置推定を行う方法である。アクセスポイントからの受信信号強度が分かれば、電波の伝搬損失モデルに当てはめ、アクセスポイントまでの距離を算出することが出来る。これを3点以上のアクセスポイントで行い、各アクセスポイントからの距離の交点を推定位置とする。この手法は、一度減衰特性のモデル化を行うと環境と無関係に位置推定が可能であるが、壁や床など障害物の影響<sup>13)</sup>を受け、推定精度が大きく低下する。

Proximity は、位置が既知である各アクセスポイントの中で、最も受信信号強度の強いアクセスポイントのカバレッジを推定位置とするものである。この手法は、推定アルゴリズムが容易ではあるが、アクセスポイントのカバレッジ全体が推定位置となるため、推定精度が低い。

Scene Analysis は、位置推定を行う領域内で事前に複数の位置での受信信号強度を計測し、位置情報とともに位置指紋 (FingerPrint) と呼ばれるデータベースを作成しておく。位置推定を行う際は、その位置での受信信号強度と作成した位置指紋とのパターンマッチングにより位置推定を行う。この手法は、環境ごと実際に受信信号強度の測定を行い、位置指紋を作成するため、受信信号強度への障害物の影響を加味した位置推定が可能である。一方で、壁や床の構造や、障害物の配置などの環境変化が起こると位置指紋を再作成する必要がある。

以上の3つの推定技術はいずれも、環境の特性に応じて一長一短であるが、屋内環境において精度の良い位置推定を行うためには、Scene Analysis が有効であることが新田らの実験<sup>14)</sup>により示されている。

## 2.3 位置指紋の作成手法

ここでは、Scene Analysis に必要となる位置指紋の作成手法について説明する。

位置指紋作成の標準的な手法は、指紋ノードと呼ぶいくつかの位置において、各アクセスポイントからの受信信号強度を一定期間測定し、測定されたデータの平均値を各アクセスポイント毎に算出するものである。

これに対し久保田らは、相関ルールを用いて作成する位置指紋を提案している<sup>7)</sup>。

相関ルールとは、例えば買い物をする際に「あるアイテム A を買うときは別のアイテム B も同時に買うことが多い」という様な、商品の組み合わせに関連についての規則のことである。このような規則は単純に

$$\{A\} \Rightarrow \{B\}$$

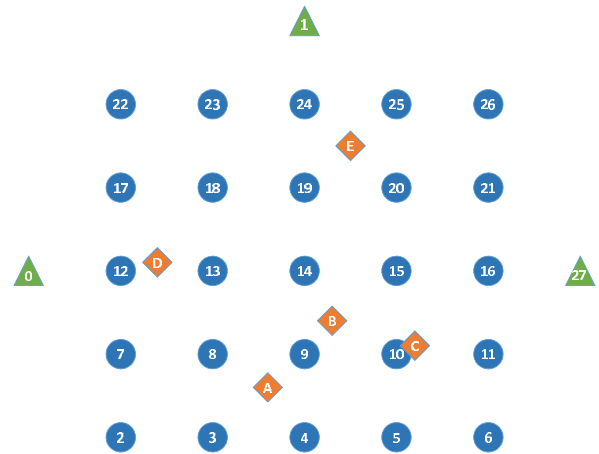


図 1. シミュレーション実験で用いた環境のノード配置

表 1. 指紋ノード 2 の受信信号強度の測定値

測定 No.	AP0	AP1	AP27
1	-54.6	-73.2	-65.5
2	-65.5	-68.5	-70.2
3	-70.2	-68.6	-69.5
4	-69.5	-64.0	-69.7
		⋮	
400	-72.4	-66.9	-68.9
平均	-64.5	-69.2	-69.5

のように書き、左辺を条件部、右辺を結論部と呼ぶ。通常は Apriori と呼ばれるアルゴリズムを用いて、相関が高い (条件部が成り立つ時には、結論部もまた成り立つことが多い) 規則を検出する。

この位置指紋作成手法では、条件部が「受信位置が指紋ノード  $i$  であること」、結論部を「あるアクセスポイントからの信号受信強度の値」として相関ルールの候補を作成し、Apriori アルゴリズムで支持度と確信度の高いルールを抽出する。ここで、支持度とは全事象のうちそのルールがどの程度頻繁に起こるかを表し、確信度とはルールの関係性の強さを表している。ただし、今回の相関ルールの作り方では、この2つは同じ値をとることになる。

以下では、図 1 に示す具体例を用いて、位置指紋の作成手順を示す。ここで図 1 は、後述するシミュレーション実験で用いる無線 LAN 環境でのノードの配置図である。緑の三角がアクセスポイント、青の丸が指紋ノード (信号受信強度の測定位置) を示す (オレンジの四角はここでは使用しないので、その説明は省略する。実験の節を参照されたい)。

さて、後述する実験では、受信信号強度測定を各指紋ノード毎に行い、400 点ずつのデータを得ている。そのうち、指紋ノード 2 で測定した受信強度の一部を表 1 に示す。

平均値による位置指紋の作成は、表 1 のようなデータから、各アクセスポイント毎に受信信号強度の平均値を求めることにより行われる。指紋ノード 2 については、 $\{-64.5, -69.2, -69.5\}$  という位置指紋が得られる。

一方、相関ルールによる位置指紋作成は、次の様に行う。  
(1) まず、各指紋ノードを条件部として、そこで測定されたい

表 2. ノード 2 における関連ルール抽出の結果

関連ルール	支持度	確信度
node=2 ⇒ AP27=-71	0.1300	0.1300
node=2 ⇒ AP0=-65	0.1275	0.1275
node=2 ⇒ AP1=-69	0.1250	0.1250
node=2 ⇒ AP27=-70	0.1075	0.1075
node=2 ⇒ AP1=-68	0.1050	0.1050
node=2 ⇒ AP27=-69	0.0975	0.0975
node=2 ⇒ AP0=-64	0.0950	0.0950
node=2 ⇒ AP1=-72	0.0925	0.0925

表 3. ノード 2 で支持度 0.09 以上となる受信信号強度の値

AP0	-65	-64
AP1	-69	-68 -72
AP27	-71	-70 -69

いずれかのアクセスポイントからの受信信号強度を結論部とする関連ルール群を作成する。表 2 に、指紋ノード 2 を条件部とする関連ルールを示す。ただし、関連ルール数が増大することを防ぐため、ここでは、受信信号強度の値として、その小数点以下第 1 位を四捨五入したものを使うこととした。また今回は、Apriori アルゴリズムにより、支持度の値が 0.09 以上のルールを抽出した。

(2) 次に、抽出された関連ルールの結論部に含まれる受信信号強度の値を、アクセスポイント毎にまとめる (表 3)。

(3) 最後に、これらの各アクセスポイントの受信信号強度の値の、すべての組み合わせを作成する。その結果を表 4 に示す。この表全体が、関連ルールを用いて得られたノード 2 の位置指紋となる。すなわち、関連ルールに基づく位置指紋は、各アクセスポイントからの受信信号強度のベクトルの集合という形をとる。

### 3. 位置指紋からの位置推定手順

久保田らの手法<sup>7)</sup>では、位置指紋を用いた位置推定を、次のように行っている。すなわち、位置推定を行おうとした際に測定した、各アクセスポイントからの受信信号強度の値のベクトルと、既知の位置指紋群のそれぞれとの間の距離を計算し、その値の最も小さい (最短距離) 位置指紋の位置を推定位置とする。ただしここで、測定した受信信号強度ベクトルと各位置指紋との間の距離は、そこに含まれる各ベクトルとのユークリッド距離の最小値である。したがってこの手法の下では、推定される位置は指紋ノードの位置に限定されてしまう。

例えば、図 2 のような環境を想定する。青の丸数字がそれぞれ指紋ノードであり、そこでの位置指紋が得られているものとする。また、オレンジの×印の位置において、位置推定のために受信信号強度を測定したとする。この場合、実際の測定位置は、3 つの指紋ノードからほぼ等距離の位置であるにもかかわらず、推定される位置は 3 つの指紋ノードの位置のいずれかになってしまう。

表 4. ノード 2 の位置指紋

ノード	AP0	AP1	AP27	ノード	AP0	AP1	AP27
2	-65	-69	-71	2	-64	-69	-71
2	-65	-69	-70	2	-64	-69	-70
2	-65	-69	-69	2	-64	-69	-69
2	-65	-68	-71	2	-64	-68	-71
2	-65	-68	-70	2	-64	-68	-70
2	-65	-68	-69	2	-64	-68	-69
2	-65	-72	-71	2	-64	-72	-71
2	-65	-72	-70	2	-64	-72	-70
2	-65	-72	-69	2	-64	-72	-69

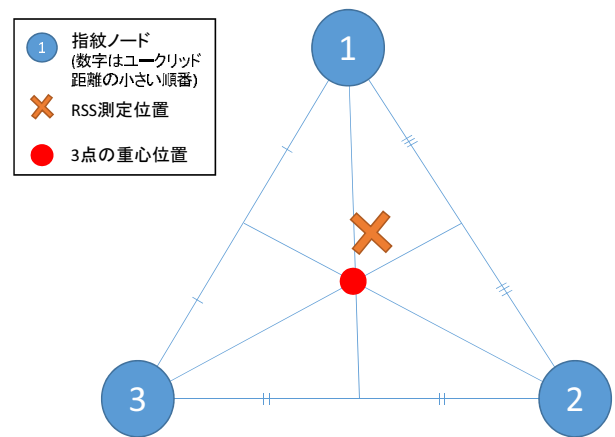


図 2. 重心を用いた位置推定手法

そこで本研究では、重心を用いた位置推定手法を提案する。具体的には、測定された受信信号強度と位置指紋の距離が小さい上位 3 ノードを選び、その 3 つのノードの重心位置を推定位置 (図 2 の赤丸) とするものである。このようにすることで、推定精度の低下を緩和できると期待できる。

### 4. 位置推定精度の比較実験

今回提案する位置推定手法の位置推定精度を調べるための実験を、シミュレーションにより行う。

#### 4.1 シミュレーション環境

シミュレーションを行う実験環境は、縦横にそれぞれ 5 個のノードを並べ、図 1 のようにノード番号 0、1、27 に AP を設置したものである。ノード番号 2 から 26 は位置指紋を作成する「指紋ノード」である。指紋ノード同士の間隔は 1 メートルとしている。また、0、1、27 の各アクセスポイントから最寄りの指紋ノードはそれぞれ、ノード 12、ノード 24、ノード 16 であり、3 メートル離れている。

今回、各ノードで測定される受信信号強度の値をシミュレートするために、Walfisch and Bertoni モデル<sup>15)</sup>を採用した。文献<sup>15)</sup>には、屋外の通りで受信する RSS について、建物によるシャドーイングやマルチパス・フェージングによる損失を考慮したモデルが紹介されている。また、一般的な距離による伝搬損失モデルについても記述されており、次式で与え

表 5. 指紋ノード上 (n=25) における実験結果

位置指紋	推定手法	推定誤差の平均 [m]	標準偏差
平均値法	距離最短	1.79517	1.15644
	3点重心	1.6289	1.02504
相関ルール法	距離最短	1.6554	1.12945
	3点重心	1.56637	0.91641

表 6. ランダム位置 (n=5) における実験結果

位置指紋	推定手法	推定誤差の平均 [m]	標準偏差
平均値法	距離最短	2.21884	0.92019
	3点重心	1.9359	0.91315
相関ルール法	距離最短	1.74663	0.90294
	3点重心	1.60954	0.77734

られる。

$$P_r(d) = P_r(d_0) - \beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X$$

$P_r(d)$  は基準距離  $d_0$  における受信信号強度、 $\beta$  は距離減衰係数、 $d$  はアクセスポイントから測定ノードまでの距離、 $X$  は正規分布 (平均 0, 標準偏差  $\sigma$ ) に従う乱数である。今回は、 $P_r(d_0) = -54.13$ 、 $\beta = 1.8$ 、 $\sigma = 4$  とした。

受信信号強度シミュレーションプログラムを C 言語で実装し、各アクセスポイントからの受信信号強度を出力させた。相関ルール抽出は、フリーの統計ソフト R でアプリオリ・アルゴリズム (arules パッケージ) を用いて行った。

## 4.2 実験

2種類の位置推定手法 (距離最短、距離上位3ノードの重心) で得られた推定位置の精度を比較する実験を行った。位置指紋作成方法としては、平均値を用いるものと、相関ルールを用いるものの双方を採用し、それぞれの作成方法の下で推定値の誤差の比較を行った。

受信信号強度の測定位置については、それを、(1) 指紋ノード上に限定した場合 (全指紋ノード 25 箇所測定) と、(2) 指紋ノード上に限定せずランダムな位置を選んだ場合 (図 1 のオレンジのノード A~E の 5 箇所測定) の 2 通りの実験を行った。

推定に使用する受信信号強度の測定は、1つの測定位置に対して 5回ずつ測定したという設定でシミュレーションを行った。その上で測定位置毎に、5つの測定結果それぞれに対して従来法と提案法を適用し、5つずつの推定位置を求め、そこから算出される 5つの推定誤差 (推定された位置と受信信号強度を測定した位置との間の距離) の値の平均値を、各位置について求めた。

表 5 には、測定位置を指紋ノード上に限定した設定での、各位置の推定誤差の平均を、さらに全ての位置に対して平均した値を示す。表 6 には、測定位置を指紋ノード上に限定せずランダムに選んだ設定での、同じ結果を示す。

実験結果から、提案手法で位置推定を行った場合、従来法に比べて、どちらの位置指紋を用いた場合でも、推定誤差は 0.1メートルほど小さくなっていることがわかる。しかもこれは、測定場所を指紋ノード上に限定した場合でも同じ結果となっており、提案手法の優位性が示されている。

また、指紋の作成方法同士の比較では、平均値による位置指紋よりも、相関ルールによる位置指紋を使用した推定結果の方が、推定誤差が小さくなっていることがわかる。特に測定位置を位置指紋上に限定せずランダムに選んだ場合については、その結果は 0.47メートルの差が見られる。

指紋作成に相関ルールを用い、また位置推定に提案手法を用いることにより、旧来のやり方、すなわち、指紋作成に平均値を用い、位置推定に従来手法を用いた場合に比べ、推定誤差が 0.61メートル小さくなった。また、t検定によりこの差 0.61メートル ( $t=5.04$ 、 $P<0.01$ ) は有意な差であることが確かめられた。このことから今回提案した相関ルール位置指紋による重心を用いた位置推定手法によって従来手法よりも位置推定精度が約 27% 向上することが分かった。

## 5. まとめ

本論文では、まず、無線 LAN の受信信号強度を利用した位置推定に関して、そこで必要な位置指紋の作成に相関ルールを使用した位置指紋作成法を紹介した。ただし、推定を行う位置が位置指紋を作成した位置となるとは限らないことから、新たに重心を用いた位置推定手法を提案し、その推定精度についてシミュレーションによる実験を行った。実験結果から、測定位置を位置指紋上に限定せずランダムに選んだ場合、相関ルールを用いた位置指紋の下での重心を用いた位置推定手法により、推定精度が従来の手法よりも約 27% 向上することが分かった。今後は、実環境での推定精度について調査していきたい。

## 参考文献

- 1) Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan: "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, IEEE Infocom 2000, 2000
- 2) 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
- 3) 窪澤駿平, 杉本真佐樹, 小島実: スマートフォン上での無線 LAN を用いた屋内位置推定手法, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理 112(283), pp.49-54, 2012
- 4) 伊藤誠悟, 河口信夫: 実環境における無線 LAN を用いた位置推定システムとその応用, 情報処理学会研究報告 モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告, 2004(95), pp.33-40, 2004
- 5) 市村重博, 二瓶克己, 坂田一拓, 茶園篤, 倉島顕尚: 3.1 位置情報サービス: 位置情報を用いた通知サービスの発展に向けて (モバイルインターネット・サービス) (<特集>モバイルインターネット), 情報処理, 42(12), pp.1210-1215, 2001
- 6) 藤本健太郎: 注目集まる位置情報サービス ターゲットを絞った広告配信から売り場への誘導も可能に (位置情報

- を活かせ!-GPS を使った新サービス), 宣伝会議 (814), pp.116-119, 2011
- 7) 久保田真一郎, 石丸正人, 杉谷賢一: 相関ルールにより作成された FingerPrint を利用した無線 LAN 位置推定手法の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 112(488), pp.219-222, 2013
  - 8) 安田明生: GPS の現状と展望, 電子情報通信学会誌, 82(12), pp.1207-1215, 1999
  - 9) 椎尾一郎: RFID を利用したユーザ位置検出システム, 情報処理学会研究報告. HI, ヒューマンインタフェース研究会報告, 2000(39), pp.45-50, 2000
  - 10) 石倉順次, 相河聡: 無線 LAN による位置推定に関する測距誤差と測位精度の検証, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2010 年通信 (2), 407, 2010
  - 11) John Krumm, Ken Hinckley: The NearMe Wireless Proximity Server, Proceedings of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing(Ubicomp2004), pp.283-300, 2004
  - 12) 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 ハイブリット位置推定手法とその応用, 電気学会論文誌 電子・情報・システム部門誌, 126(10), pp.1212-1220, 2006
  - 13) 米澤聡, 前田祐史, 大宮学: 什器を備えたオフィス環境における 2.4/5GHz 帯無線 LAN システムの屋内伝搬特性, 映像情報メディア学会技術報告, 37(34), pp.21-24, 2013
  - 14) 新田優介, 大野成義: 無線 LAN のアクセスポイントを利用した位置推定方法の比較検討, 職業能力開発総合大学校紀要 A, 理工学・技能編, (41), pp.51-56, 2012
  - 15) Walfisch, J. and Bertoni, H. L.: A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 36, No. 12, 1988