

# 無線LANによる建物内地図構築手法の設計と 実装

KANAZAWA, Ryo / 金澤, 遼

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院情報科学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 情報科学研究科編

(巻 / Volume)

8

(開始ページ / Start Page)

149

(終了ページ / End Page)

154

(発行年 / Year)

2013-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00009586>

# 無線 LAN による建物内地図構築手法の設計と実装

## An In-door Map Construction Technique using WiFi Signal Information

金澤 遼

Ryo Kanazawa

法政大学大学院情報科学研究科 情報科学専攻

E-mail: ryo.kanazawa.4q@stu.hosei.ac.jp

### Abstract

*The received signal strength of wireless LAN access point is useful to estimating the location inside a building. However, fluctuation of the signal strength may decrease the accuracy of the estimated location. In the previous work, location of the WiFi access point (AP) needs to be in advance known and are difficult to maintain after gathering them. The goal of this study is to extend information on the WiFi APs dynamically, then construct a database automatically. In order to calculate the distances between Wifi APs and user terminals the scheme used free-space path loss signal strength is introduced. The location of a user terminal is calculated from the ratio of the distances between access points the terminal using Apollonius circle. The location of the unknown access points are estimated in similar way. The result shows that the location estimation was successful within an error of less than two meters on terminal location and three meters on unknown wireless access points.*

### 1. はじめに

現在 GPS(Global Positioning System)による位置同定サービスが広く使われている。GPS を用いると非常に高い精度で利用者の位置を検出することができる。しかし、屋内では GPS の電波を取得することが難しいという問題があり、室内ではあまり有用ではない。GPS の電波強度の取得が困難な屋内での位置同定方法には、無線 LAN、RFID タグ、感覚可聴音[1]などを用いた位置推定手法が研究されている。無線 LAN 基地局の情報を使用する位置推定は無線 LAN の設置箇所、MAC アドレスや電波強度情報を用いて位置推定を行っている。建物内での位置推定の精度とインフラ設置のコストはトレードオフの関係にあるが、無線 LAN 基地局はすでに家庭や公共施設に多く設置されていることから、無線 LAN による位置推定はインフラストラクチャ設置のコストの面で他の RFID タグや感覚可聴音を用いた位置推定より有利だといえる。本研究では少数の既知の無線 LAN 基地局からの電波強度情報を用いて周囲の無線 LAN 基地局の位置を推定し、動的な無線 LAN 基地局のデータベースの構築と維持を行う手法を提案し、その設計と実装について述べる。

### 2. 関連研究

GPS は米国によって運用される衛星測位システムのことであり、地球を中心とする複数の衛星からの電波を受信し、そのときの伝播時間を計測することで、位置推定を行っている。3次元での位置同定を可能とするためには最低 4 機以上の衛星からの電波を受信する必要がある、その精度は約 10m である。しかし、一般的に GPS は建物内では衛星を視認することが出来ないため、建物内では位置同定精度が低くなることが知られている。そのような GPS が有効でない環境での位置同定のために無線 LAN 基地局からの電波情報を利用する方法として RADAR[2]、PlaceEngine[3][4]や Locky.jp[5]が提案されている。

RADAR では建物の中で複数の無線 LAN 基地局からの測定した電波強度を基礎にし、自分のいる場所を推定や追跡をする。この RADAR は三辺測量でユーザの場所の座標を出すため、複数の信号強度の情報を使用している。縦約 40m、横約 20m 建物内に 3つの基準となる無線 LAN 基地局を設置しており、この 3つの無線 LAN 基地局からの電波強度の情報から位置推定を行っている。その結果、RADAR は建物内で 2~3m 以内での誤差でユーザの位置を推定できる。しかしながら、RADAR システムでは無線 LAN 設置箇所から離れた場所では位置推定ができなくなることや、三辺測量を行い位置推定する際、読み込ませた地図に距離情報を与えなければ電波強度から算出した距離を地図上で使用し三辺測量を行うことが出来ない。

PlaceEngine は無線 LAN 基地局の位置データベースの構築のために、位置情報にタグづけされた WiFi 電測情報のログを利用している。このログは、GPS で位置計測をしながら徒歩・車で移動しながら採取したデータと地図データから直接データの採取位置をポイントしたデータを併用している。そして単純に重み付き平均で位置推定すると誤りのある位置データが混入した場合に、推定結果への影響が大きくなってしまいうため、平均値を計算し、そこから逸脱しているデータの重みを減らしながら再度平均値を計算する処理を繰り返し行い推定値を収束させる方式をとっている。この方式の推定精度評価として、位置が既知な無線 LAN 基地局約 800 個に対して、その周辺での観測記録を元に位置推定した結果との距離差分を比較している。この情報を元に構築されたデータベースを利用して、観測点の周辺にある無線 LAN 基地局の電波強度の結果から観測点の位置推定を行っている。

Locky.jp では日本全国における無線 LAN 基地局データをユーザ間のコラボレーションにより収集し、それらの無線 LAN 情報を用いた位置推定システムの構築、および位置情報サービスの提供を目標としたプロジェクトであ

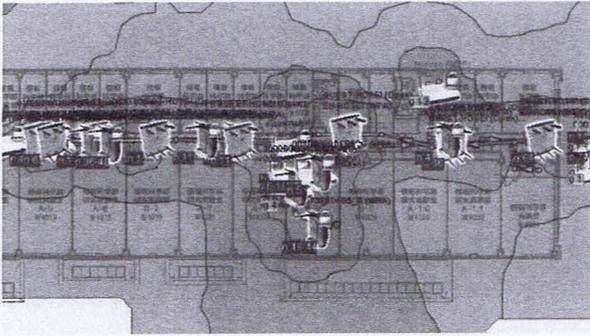


図1 Ekahau HeatMapper 使用例

る。無線 LAN の基地局データを収集する際、移動手段に自動車を用いるため短時間で広範囲の収集を行うことが可能であるが、高速な移動速度などの原因で有用な基地局の見落としという問題が知られている。その問題を解決し、より正確に無線 LAN 基地局の位置データベースを作成するために、車の移動だけでなく、徒歩や、自転車、バイク等で各収集手段の利点や欠点を定性的に挙げて比較し、基地局情報を収集している。そして、それらの情報を用いて、利用者の位置推定を行っている。しかし、これらの無線 LAN 基地局情報を用いた位置推定では無線 LAN の増設、削除、移動を考慮すると、データベースの維持が難しくなる。

さらに文献[6]では地下鉄構内の制約条件を利用した無線 LAN 位置推定手法が提案されている。制約条件としては、地下鉄のエリア間の隣接関係を利用している。電波強度の測定としてデジタルカメラで撮影した地下鉄構内地図を利用し、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し指定することによって、位置と同時にそのときに観測できた無線 LAN 基地局の電波強度情報を記録している。地下鉄の駅・フロア的位置推定手法については、制約条件を用いて、一番強く観測できた無線 LAN 基地局の設置されている駅やエリアで推定している。地下鉄内のエリアの位置推定には撮影した地図を分割し、観測した地点で取得した電波強度情報の結果からエリアの位置推定を行っている。しかし、Locky.jp と同様に無線 LAN の増設、削除、移動を考慮するとデータベースの維持が難しくなる。

また、無線 LAN 基地局の位置推定では IBSJapan 株式会社の Ekahau HeatMapper[7] がある(図 1)。Ekahau HeatMapper は WiFi ネットワークカバレッジマッピングを迅速かつ簡単に表示する無償のソフトウェアである。Ekahau HeatMapper はすべてのアクセスポイントとそれらのコンフィグレーションのリアルタイムの可視化を可能としている。使用方法は PC 又は電波強度が測定可能な端末で Ekahau HeatMapper を起動し、端末を持ち運びつつ建物内の周囲を歩きながら取り込んだ地図上に自分の位置を記していくと地図上に無線 LAN 基地局のマップが作成される。しかし、自分の位置を地図上に対応させるため、移動の度に自分の位置を地図上に記す必要があることや、無線 LAN 基地局の位置推定が移動した経路上にしか無線 LAN 基地局が表示されない点がある。

### 3. 無線 LAN 情報による端末の位置推定方法

本研究の目標は少数の位置情報が既知な無線 LAN 基地局から端末の位置推定を行い、自動的に無線 LAN 基地局のデータベースの拡充をしていくことで、位置推定可能範囲の拡張をすることである。以下で端末の位置推定方法と未知の無線 LAN 基地局の位置推定方法を説明する。

#### 3.1 端末の位置推定方法

無線 LAN 基地局からの情報を用いた端末の位置推定手法は、一般的な電波強度情報を用いて距離を推定できる自由空間伝播損失による方法に着目した。

自由空間伝播損失とは送受信点間の伝播空間が均質等方性で、屈折、回折、反射、吸収、散乱のいずれの現象も伴わず、電波の反射による減衰だけが考えられる空間(自由空間)の場合の電波損失のことを言う。電波受信強度  $P_r$  と距離  $d$  の関係はこの自由空間伝播損失を用いて次式になる。

$$P_r = P_0 - 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ [dBm]}$$

ただし、

$$P_0 = \text{距離}0 \text{における電波受信強},$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}{2.4 \text{ [GHz]}}$$

である。

距離  $d$  は以下の式に変形し表すことができる。

$$d = \frac{10^{\frac{P_0 - P_r}{20}}}{32\pi} \text{ [m]}$$

それぞれの基地局からの距離に相当する情報を比として扱い、複数の無線 LAN 基地局からの距離の比による位置推定を行う。距離比を利用する目的は地図情報を与えたとき、地図と取得した電波強度の距離の対応付けの必要をなくすことや、個々の基地局からの電波強度は一定の値で取得できず、揺らぎがあるためである。また二点からの距離比が一定な点の集合は、アポロニウスの円と呼ばれる形状になる。例えば、2 定点を A、B とし AP : BP が一定になるようにした点を P とするとき、点 P の軌跡のことである(図 2)。ただし、AP と BP が同値の時、円の半径は無限大となるため直線となる。

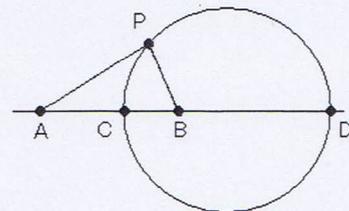


図2 アポロニウスの円

電波強度を測定出来る範囲の  $n$  個の無線 LAN 基地局に対して行い、出来る円の数は  $n$  個の中から 2 つの基地局を選択し円を描くため  $nC_2$  通りとなる。また、アポロニウス

の円の式は定点 A, B を m:n に内分する点 C, m:n に外分する点 D, 中心を O とすると以下になる。ただし、点 A と点 B は  $A(A_x, 0)$ ,  $B(B_x, 0)$  とする。

点 A と点 B を m:n に内分する点 C の座標

$$C\left(\frac{A_x n + B_x m}{m+n}, 0\right)$$

点 A と点 B を m:n に外分する点 D の座標

$$D\left(\frac{-A_x n + B_x m}{m-n}, 0\right)$$

軌跡の中心 O の座標

$$O\left(\frac{m^2 + n^2}{m^2 - n^2}, 0\right)$$

軌跡の円の半径 r

$$r = \left| \frac{2mn}{(m+n)(m-n)} \right|$$

と、それぞれ表すことができる。

これらの円の交点の情報を用いて端末の位置推定を行う。

これらの交点は端末の位置の候補となる点である。2つの円 E, F の交点は次の手順で求める(図 3)。円 E, F の中心座標がそれぞれ  $E(x_1, y_1)$ ,  $F(x_2, y_2)$ , 半径がそれぞれ  $R_1$ ,  $R_2$  であるとする。ここで中心間の距離を L, 座標 e の x 軸に対して L の角度を  $\theta$  とすると、

$$L = \sqrt{(e_x - f_x)^2 + (e_y - f_y)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}((f_y - e_y)/(f_x - e_x))$$

となる。この際、二つの円が交点を持つための条件は

$R_1 + R_2 > L$  かつ  $R_1 + L > R_2$  かつ  $R_2 + L > R_1$  と表すことができ、この条件を満たすとき、これらの式から余弦定理を用いると、

$$\cos(\alpha) = (L^2 + R_1^2 - R_2^2) / 2 \times L \times R_1$$

ここで、 $c = \cos(\alpha)$  とすると

$$\alpha = \cos^{-1}(c)$$

となり、2 交点の交点 1 を  $(xp_1, yp_1)$  他方の交点 2 を

$(xp_2, yp_2)$  とすると、交点 1  $(xp_1, yp_1)$  は中心  $E(x_1, y_1)$  から角度  $(\theta + \alpha)$  方向に半径  $R_1$  離れていることになる。

つまり

$$xp_1 = x_1 + R_1 \cos(\theta + \alpha)$$

$$yp_1 = y_1 + R_1 \sin(\theta + \alpha)$$

となり、また交点 2  $(xp_2, yp_2)$  は中心  $E(x_1, y_1)$  から角度

$(\theta - \alpha)$  方向に  $R_1$  離れているので

$$xp_2 = x_1 + R_1 \cos(\theta - \alpha)$$

$$yp_2 = y_1 + R_1 \sin(\theta - \alpha)$$

となる。

これらの円の交点  $(xp_1, yp_1)$ ,  $(xp_2, yp_2)$  は、一方が真、他方が偽の位置を示すため、2 つの交点から真の交点を見つける必要がある。そこで、出来たすべての交点の重心を求め、その重心からより近い交点を二つのうちから選び位置推定を行う。

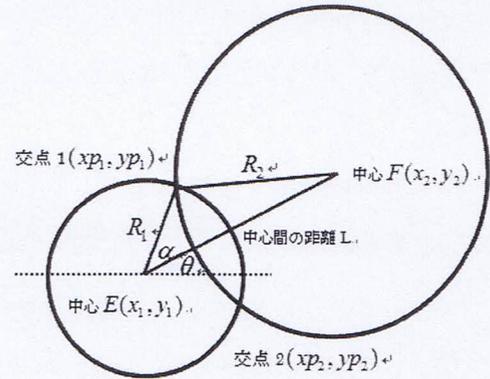


図 3 候補位置の求め方

### 3.2 未知無線 LAN 基地局の位置推定

未知の無線 LAN 基地局の位置推定は端末の位置推定可能範囲を拡張するために必要である。未知の無線 LAN の位置推定を行い、その推定された未知の無線 LAN 基地局の情報を元に端末の位置推定を繰り返すことで、位置推定可能範囲の拡張をすることが出来る。

未知の無線 LAN 基地局の位置推定方法は端末の位置推定方法と同様に距離比を用いて推定を行う。端末の位置推定によって推定された位置から未知の無線 LAN 基地局までの距離比を算出し、円の交点で位置推定を行う。ここで、無線 LAN 基地局推定に用いる端末の位置は同一直線上に無い 4 箇所以上が必要となる。このような 4 ヶ所のうち、たとえば 2 ヶ所の端末の位置 1, 端末位置 2 が位置推定されたとする。このとき各位置で近隣の未知の無線 LAN 基地局までの距離比を求めるとき、未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度を  $P_0$ , 端末の位置 1, 端末の位置 2 で測定した電波強度をそれぞれ  $P_1$ ,  $P_2$ , 端末位置 1 と端末位置 2 からの距離比をそれぞれ  $d_1$ ,  $d_2$  とするとき、以下の式で距離比を表せる。

$$d_1 = \frac{10^{\frac{P_0 - P_1}{20}}}{32\pi}, \quad d_2 = \frac{10^{\frac{P_0 - P_2}{20}}}{32\pi}$$

となりこの  $d_1$ ,  $d_2$  の式を比に直し整理すると

$$\frac{d_1}{d_2} = 10^{\frac{P_2 - P_1}{20}}$$

となる。この式より未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度  $P_0$  の変数が入っていないため、2 ヶ所の端末の位置から未知の無線 LAN までの距離比をそれぞれの地点から取得した未知の無線 LAN 基地局の電波強度から表せる。この比により 3.1 章で挙げたアポロニウスの円を用いて交点情報から未知の無線 LAN 基地局の位置を推定する。

次に未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度を求める必要がある。その出力電波強度は、既知の複数の無線 LAN 基地局から端末までの電波強度の減衰比を利用し、出力電波強度の推定を行う。そこで 3 節で説明した自由空間伝播損失を用いて出力電波強度から 1dBm ごとの距離 d の値の関係を調べた(図 5)。

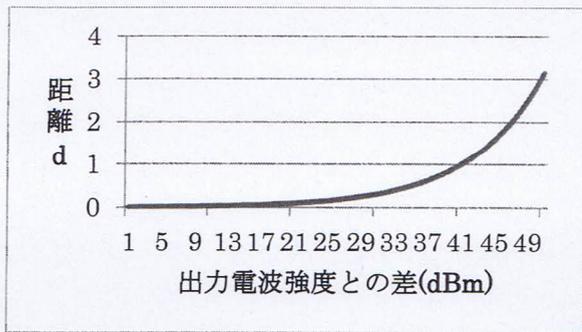


図5 1dBm ごとの距離の変化

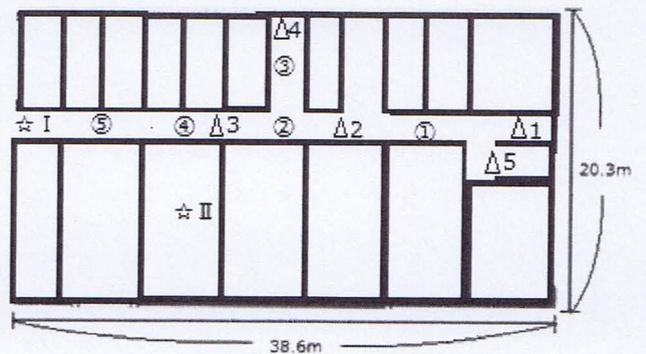
地図上で基準となる無線 LAN 基地局から端末の推定位置までの距離と、基準となる無線 LAN 基地局の出力電波強度と観測点で取得した同じ無線 LAN 基地局の電波強度から図 5 のグラフより距離を求める。また端末の推定位置から未知の無線 LAN 基地局の推定位置までの距離も算出する。既知の無線 LAN 基地局と端末の推定位置の距離の情報を用いて、基準となる無線 LAN 基地局からどの程度の距離を離れば電波強度が減衰するのか算出できるため、未知の無線 LAN 基地局と端末の位置までの距離で電波強度がどの程度減衰するか算出し未知の無線 LAN 基地局の電波強度を求める。その際、各基準となる基地の無線 LAN 基地局から同様の手順を行い、推定された未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度の平均の値を未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度とした。

#### 4. 実験

3 節で説明した位置推定法の実環境下での効果を測るため、電波強度情報の収集を行った。情報収集は HTC 社が開発した Android OS を搭載した HTC EVO 3D ISW12HT を使用した。実験は法政大学小金井キャンパス西館の実環境で行った(図 6)。収集した電波強度から 3 節で説明した自由空間伝播損失により位置を求めるために、まず実環境において基準となる位置が既知の基地局を 5 個設定した(図 6, △印)。次に、この環境の 5 箇所を観測される無線 LAN 基地局毎の電波強度を記録した(図 6, ①から⑤)。無線 LAN 基地局のサンプリングは各地点で 60 回ずつ行った。送信電力については、外部観測で知ることが出来ないため、各々の基準無線 LAN 基地局から 5cm 程度の距離で 60 回電波強度を測定した最大値を用いた。各無線 LAN 基地局からの出力電波強度は表 1 のようになった。

#### 5. 提案手法の評価

図 6 中の☆I, ☆II が今回の実験で使用した未知の無線 LAN 基地局の位置である。これらの推定結果から 3 節の手法を用いて位置測定をしたプログラムの実行例を図 7 に示し、結果を表 2 に示す。この位置推定では、60 回のサンプリング中 40 回程度の実測値が取れたものを使って位置推定を行い、②の位置で各基準となる無線 LAN 基地局からの電波強度を測定し、位置推定を行った結果である。また図 7 の○印は△1 から△5 までの基準となる無線 LAN 基地局からアポロニウスの円の交点の重心を取り、その重心により近い円の交点を選んだ際に選ばれた 1 つ



△印:基準無線 LAN ①から⑤:サンプリング場所  
☆I・☆II:未知の無線 LAN 基地局  
図 6 実験環境(廊下一部分)

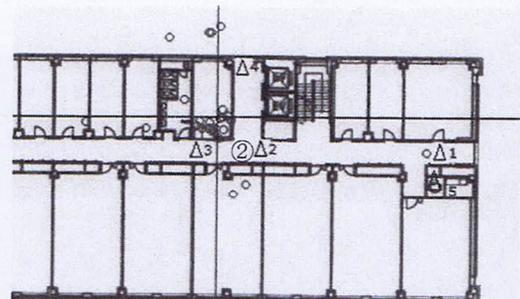


図 7 端末の位置推定プログラムの実行例(廊下一部分)

表 1 基準となる無線 LAN 基地局の出力電波強度

無線 LAN	△1	△2	△3	△4	△5
出力電波強度[dBm]	-39	-39	-37	-22	-23

表 2 端末の位置推定の誤差

場所	①	②	③	④	⑤
誤差	0.5m	2m	2m	5m	10m

の交点の位置を示す。また上下左右にある直線の交点の位置が端末の位置推定結果の場所である。端末の位置推定では、5 つの既知の無線 LAN 基地局から取得したサンプルデータから位置推定を行うと誤差が最大で 2m となった。④, ⑤の位置推定の精度が上がらないのは、端末と基準無線 LAN 基地局の距離が大きく離れてしまうためであると考えられる。次に、未知の無線 LAN 基地局の位置推定を行った結果を表 3 に示す。未知の無線 LAN 基地局の位置推定では、推定誤差が 4m と 5m で実際に各無線 LAN 基地局直下で推定した出力電波強度の値とは 3dBm と 6dBm の誤差が生じた。これは図 6 の②, ③, ④, ⑤の地点から位置推定を行ったが電波強度の壁による減衰や、反射などが原因で誤差が生じたと考えられる。また、図中の△2 の無線 LAN 基地局を未知の無線 LAN 基地局として位置推定と出力電波強度推定を行うと、誤差は 2m、電波強度は 5dBm の誤差が生じた。これは基準となる無線 LAN 基地局が△2 の近傍に複数設置されていたため、精度が向上したと考えられる。

表3 未知の無線 LAN 基地局の推定の誤差

場所	推定誤差	出力電波強度推定 (正解電波強度)
☆ I	4m	-36dBm(-39dBm)
☆ II	5m	-27dBm(-23dBm)
△2	2m	-34dBm(-39dBm)

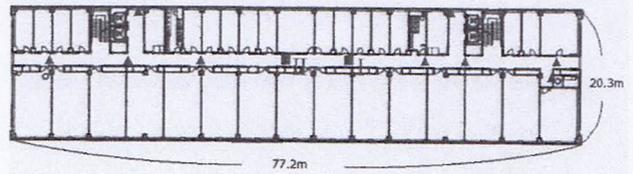
## 6. 端末の位置推定範囲の拡張

5章で行った実験で、未知の無線 LAN 基地局の位置推定と出力電波強度推定を行うことにより、推定前までは未知だった無線 LAN 基地局を既知の無線 LAN 基地局として扱うことが出来るようになる。それにより端末の位置推定可能範囲を拡張する。実験環境は同じく法政大学小金井キャンパス西館の実環境で行った。また、実験環境に設置した基準となる無線 LAN 基地局と未知の無線 LAN 基地局の位置を図 8 に示す(図 8)。図 8 の実験環境を左右に分割したとき、右側に 5 個の基準となる無線 LAN 基地局を左側に 4 個の基準となる無線 LAN 基地局を設置し、その設置した箇所を▲印で示している。また、図 8 の中央付近の■印は推定を行う未知の無線 LAN 基地局の実際に設置されている箇所を示す。

図 9 の●印は全部で 15 個あり、端末の位置推定を行う位置を示している。また、矢印は実際に移動した方向を示す。各●印の箇所で 10 回の基準となる無線 LAN 基地局からの電波強度のサンプリングを行っている。そして移動していく際に、未知の無線 LAN 基地局の推定を行いその情報を用いて図中の矢印の方向に移動していった際も端末の位置推定を可能にする。

図 9 の矢印の方向に端末の位置推定を行い、端末の位置推定が同一直線状に無い 4 箇所以上の場所を推定したとき、3章で説明した手法で I の未知の無線 LAN 基地局の位置推定と出力電波強度推定を行う。未知の無線 LAN 基地局 I の推定情報と、基準となる無線 LAN 基地局の情報に合わせて使用し、端末の位置推定を行う。位置推定の手法は 3章で挙げた距離比を使用し端末の位置推定を行うが、未知の無線 LAN 基地局の位置推定と出力電波強度の推定結果を利用し、それまで未知だった無線 LAN 基地局を既知のものとして扱い、距離比を求め端末の位置推定を行う。推定した無線 LAN 基地局を使用し、端末の位置推定を行うときは、基準となる無線 LAN 基地局だけを利用して端末の位置推定した結果と、推定した未知の無線 LAN 基地局と既知の無線 LAN 基地局の情報を使用し、端末の位置推定を行った結果の 2 つの位置推定の結果の平均位置で推定をした。

同様に II の未知の無線 LAN 基地局情報の推定を行い、図 9 の矢印の方向へ端末の位置推定を続ける。ここで、未知の無線 LAN 基地局は 5章で挙げたように、設置箇所、出力電波強度ともに誤差が生じる。そのため図 9 の矢印の向きへ端末の位置推定を行うとき、推定された未知の無線 LAN 基地局の情報を使い端末の位置推定を行うことで、より誤差が蓄積され、端末の位置推定や未知の無線 LAN 基地局の位置推定は基準となる無線 LAN 基地局が密に設置してある場所から離れれば離れるほど精度が悪くなる。その誤差の修正方法は、GPS の取得できる場所で端末の位置推定結果の修正を行うことなども考えられる



▲印:基準となる無線 LAN 基地局の設置箇所  
■印:推定する未知の無線 LAN 基地局の設置箇所  
図 8 実験環境と無線 LAN 設置箇所

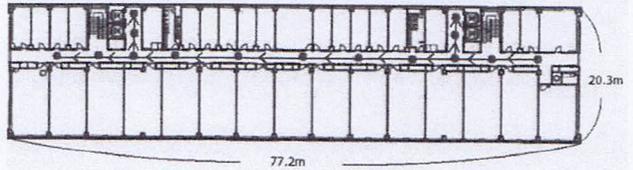


図 9 端末の移動位置

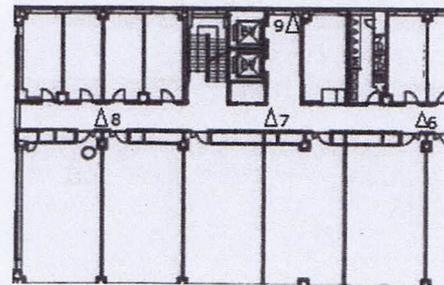


図 10 実験環境の基準無線 LAN 基地局(廊下一部分)

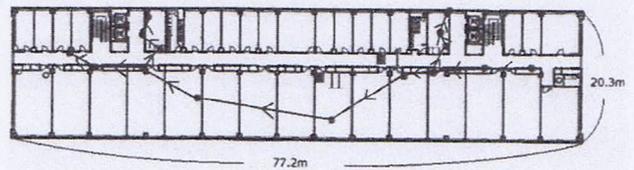


図 11 端末の位置推定結果

が、本研究では図 8 の左側にも基準となる無線 LAN 基地局を 4 つ設置し誤差を修正した(図 10)。

## 7. 端末の位置推定範囲拡張の評価

実環境で図 9 の矢印の向きにサンプリングを行いながら、端末の位置推定と未知の無線 LAN 基地局の位置と出力電波強度の推定を行い、端末の位置推定可能範囲を拡張し、位置推定を行った結果を図 11 に示す(図 11)。またその時に利用した推定した未知の無線 LAN 基地局の位置推定結果と出力電波強度推定結果を表 4 に示す。

実際に移動したものが図 9 の矢印であり、端末の位置推定結果が図 11 である。基準となる無線 LAN 基地局が密に設置されている地点では推定誤差は約 2m 以内であるが、基準となる無線 LAN が密に設置されていない箇所、つまり未知の無線 LAN 基地局の位置推定と出力電波強度情報を推定し、位置推定を行った図 11 の中間あたりの端末の位置推定の誤差が最大で約 12m となった。

表4 右側から未知の無線 LAN 基地局の推定結果

未知の無線 LAN 基地局	■ I	■ II
位置推定誤差	4m	7m
出力電波強度推定 (正解電波強度)	-34dBm (-39dBm)	-32dBm (-39dBm)

表5 未知の無線 LAN 基地局の推定結果

未知の無線 LAN 基地局	■ I	■ II
位置推定誤差	3m	3m
出力電波強度推定 (正解電波強度)	-35dBm (-39dBm)	-35dBm (-39dBm)

また未知の無線 LAN 基地局 I と II の推定では図 11 の右側から端末の位置推定を行い、はじめに I の未知の無線 LAN 基地局の推定を行いその後 I の基地局と基準となる無線 LAN 基地局からの情報を用いて端末の位置推定を行い II の未知の無線 LAN 基地局の推定を行ったため、II の位置の誤差が大きくなっており、I では位置推定の誤差が約 4m、II は約 7m となった。また I の未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度の誤差は I の基地局の直下で測定した電波強度との差は 5dBm あり、II では基地局の直下で測定した電波強度との差が 7dBm となった。この誤差を修正するために、図 9 と同様の地点で矢印の向きと逆向きにサンプリングを行い未知の無線 LAN 基地局の推定を行った。矢印の向きの行きと帰りの往復のデータを測定し、その往復から得られた未知の無線 LAN 基地局を平均位置で推定を行うと、位置推定の誤差の結果は I、II とともに約 3m、出力電波強度が 4dBm となった(表 5)。

## 8. 考察

実験より、端末の位置推定では既知の無線 LAN 基地局の配置が密な地点では位置推定精度が約 2m 以内となった。既知の無線 LAN 基地局の配置が密でない地点での位置推定精度が 10m 以上となったことは、無線 LAN からの電波強度は壁による反射や減衰により変動するため、推定精度が上がらなかったと考えられる。

また、未知の無線 LAN 基地局の位置推定に使う端末の位置推定は、既知の無線 LAN 基地局が密になっている地点での位置推定の情報をもとに提案手法を行うと、密な地点での端末の位置推定の精度が良いため、未知の無線 LAN 基地局の位置推定もそれに伴い精度が上がったと考えられる。また、未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度を求めることは未知の無線 LAN 基地局の位置推定にも影響してくるが、電波減衰と距離の関係を用いることで約 4dBm 以内の精度が求めることができた。

さらに、実験環境の一方方向から未知の無線 LAN 基地局の位置と出力電波強度の推定結果を用いて端末の位置推定範囲を拡張すると、誤差が大きいく所では 12m ほどになり、また出力電波強度の誤差は 7dBm となった。基準となる無線 LAN 基地局が密に設置されておらず、未知の無線 LAN 基地局の推定情報を使い、端末の位置推定とその結果を用いた未知の無線 LAN 基地局の位置推定では基準となる無線 LAN 基地局が密に設置されていない箇所

から離れば離れるほど誤差が大きくなる。これは基準となる無線 LAN 基地局が密になっていない箇所での端末の位置推定が設置箇所と出力電波強度に誤差を含んでいる推定された基地局の情報を使用しているためであると考えられる。そこで本研究では実験環境を一方方向だけではなく往復をし、未知の無線 LAN 基地局の位置推定を行うことで、未知の無線 LAN 基地局の推定誤差を少なくし位置推定誤差は 3m、出力電波強度は 4dBm で推定でき、端末の位置推定では約 10m の誤差となった。

## 9. まとめ

設置箇所と出力電波強度の既知な無線 LAN 基地局からの電波強度情報を持ちいて、端末の位置推定と未知の無線 LAN 基地局の位置推定、また未知の無線 LAN 基地局の出力電波強度の推定とそれらの情報を用いた端末の位置推定可能範囲の拡張を試みた。その結果、既知の無線 LAN 基地局からの電波強度を用いて端末の位置推定結果では誤差は約 2m 以内となった。また設置箇所と出力電波強度の既知でない無線 LAN 基地局の推定では、設置箇所での位置推定が約 3m 以内、出力電波強度の推定が約 4dBm 以内で推定できた。また推定された無線 LAN 基地局の情報を用いて端末の位置推定可能範囲を拡張すると実験環境では端末の位置推定誤差が最大で約 10m となった。

本研究では現在広く普及している電波強度が測定できる Android 端末を用いることで特殊な機能が必要とせず、また家庭や街中にも普及し設置されてきた無線 LAN 基地局の情報を用いて端末の位置推定を行い無線 LAN 基地局の設置箇所の位置推定を行った。その結果、あらかじめ少数の無線 LAN 基地局の情報を提供すれば、他の無線 LAN 基地局の位置情報も収集可能であると考えられ、さらに端末の位置推定も行える場所を拡大できた。

## 文 献

- [1] Atri Mandal, Cristina V.Lopes, Tony Givargis, Amir Haghighat, Raja Jurdak and Pierre Baldi, "Beep:3D Indoor Positioning Using Audible Sound", Consumer Communications and Networking Conference, 2005, CCNC. 2005 Second IEEE
- [2] Paramvir Bahl, Venkata N, Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System", INFOCOM 2000. Ninth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings.
- [3] 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.1-5, 2006
- [4] PlaceEngine home page. <http://www.placeengine.com>.
- [5] 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, 協調とモバイルシンポジウム, pp.1-4, May, 2005
- [6] 藤田迪, 佐々木威, 河口信夫, "地下鉄構内の制約条件を利用した無線 LAN 位置推定手法", 電子情報通信学会技術研究報告, pp.153-157, July, 2008
- [7] Ekahau HeatMapper home page. <http://www.ibsiapan.co.jp>