Vol.2013-MBL-68 No.2
Vol.2013-ITS-55 No.2
Vol.2013-DCC-5 No.2
2013/11/14

GMMを用いたWiFi位置推定手法の実用化に向けた課題解決

浅見 宗広[1,a)]　福井 隆司[1]　葛城 友香[1]　大杉 苑子[1]

概要：屋内での位置推定手法として，Gaussian Mixture Model（GMM）を用いたWiFi位置推定手法が提案されている．本稿では，この手法を渋谷駅周辺エリアに実際に適用した際に明らかになった課題やそれに対する対策などを報告する．具体的には，GMMでモデル化するにあたり事前にWiFi電波情報を現地でフロア毎に収集するが，位置推定処理に利用可能な信頼できるWiFi電波の選定方法が挙げられる．また，位置推定処理ではまずフロアを特定する必要があるが，フロア毎に事前に計測されたBSSID毎の最大強度の情報からフロアを特定する方法について紹介する．その他，フロア推定の正解率や位置推定結果の誤差などを報告する．

キーワード：無線LAN，GMM，屋内測位，WiFi，位置推定

1. はじめに

近年のスマートフォン端末の普及により，端末に標準搭載されているGPSセンサを利用した自己位置の取得はもはや当然の世の中になっている．しかし，それはGPSの電波が届きやすい屋外であることが前提条件であり，GPSの電波が届かないエリア，特に屋内においてはGPSでの測位が困難であり，ユーザはその便利さを享受できていない．そこでこの課題を解決するために屋内位置推定技術の研究が盛んに行われている．

スマートフォンは通常，WiFiなどの無線通信機能を搭載しており，スマートフォンの普及と同時に無線LANアクセスポイントの設置も進み，主要な場所では無線LANアクセスポイントが近くに存在することがほぼ確実となっている．この無線LANを利用する方法が[1]や[2]で提案されている．無線LANアクセスポイントから発信される電波情報を取得し，アクセスポイントからの距離を求め，それを元に位置を推定する方法が[1]である．一方，アクセスポイントの位置は直接的に必要とせず，事前に電波強度を計測して電波強度分布をモデル化することで位置を推定する方法が[2]である．また，文献[3]では，低消費電力の位置推定専用の無線LANアクセスポイントを設置することで測位精度を向上させる方法が提案されている．

[1] ヤフー株式会社システム統括本部マップイノベーションセンター
Map Innovation Center, System Management Group, Yahoo Japan Corporation
[a)] muazami@yahoo-corp.jp

無線の代わりに，超音波を用いた方法[4]，赤外線タグを用いた方法[6]，RFIDタグを用いた方法[5]，更に，GPSと同じ信号を用いるIMES[7]を利用する方法などが提案されている．

スマートフォンは加速度センサやジャイロセンサなども備えているものが多く，これらのセンサを用いて歩行距離や曲がりなどを推定し位置推定に応用する方法も[8]で提案されている．

上記の手法はどれも一長一短あり，デファクトスタンダードと呼べるものはまだないのが現状と言える．

我々は，初期導入コストが最も小さい観点で[2]の，GMMを利用したWiFi屋内位置推定技術を採用し，渋谷駅エリアで実証実験を行ない，実用化に向けての課題を洗い出し，この方法の実現可能性を検証することにした．

2. GMMを用いた位置推定手法

無線LANの電波強度分布を適切な2次元領域（以下，フロアという）毎にGMMによってモデル化する．GMMとは，複数の正規分布の重ねあわせを意味し，それにより無線LANの電波強度分布を近似する．GMMは次式で表される．

$$p(\boldsymbol{r}) = \sum_{k=1}^{K} \pi_k \mathcal{N}_k(\boldsymbol{r}|\boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k) \tag{1}$$

$$\sum_{k=1}^{K} \pi_k = 1 \tag{2}$$

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

Vol.2013-MBL-68 No.2
Vol.2013-ITS-55 No.2
Vol.2013-DCC-5 No.2
2013/11/14

ここで，$\mathcal{N}_k(\boldsymbol{r}|\boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k)$ は，平均 $\boldsymbol{\mu}_k$ と分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}_k$ を持つ 2 次元正規分布であり，次式で表される．

$$\mathcal{N}_k(\boldsymbol{r}|\boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{\mu}_k)^T\boldsymbol{\Sigma}_k^{-1}(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{\mu}_k)\right\}}{2\pi\sqrt{|\boldsymbol{\Sigma}_k|}} \quad (3)$$

また，π_k は混合係数であり，式 (2) の条件のもと k 番目の正規分布の重みを表す．さらに，式（1）の値を電波強度の値に変換するには更に一次式による変換を要する．

2.1 モデルパラメータの導出

無線 LAN の電波強度分布を近似する GMM パラメータの導出方法を説明する．大きく分類すると次のステップからなる．

(1) 電波強度を 2 次元点分布へ変換
(2) 2 次元点分布から GMM へ変換

式（1）からも分かる通り，これは確率モデルと捉えることができ，そのパラメータは最尤法に基いて推定することが可能である．その手法の一つである，EM アルゴリズムによりパラメータを導出する．電波強度に関しては，2 次元点分布の密度として対応付けることにより確率モデルに置き換えることができる．

2.1.1 電波強度を 2 次元点分布へ変換

フロア毎に次の作業を実施する．事前計測点の計測図面上の座標を母点としてボロノイ図を求め，各領域（V_i）内に，対応する計測点で計測された電波強度 α_i に応じてばら撒く点の数 M_i を決定し，その数だけランダムに各ボロノイ領域内に点を配置する．M_i は次式で与えられる．

$$M_i = (\alpha_i - \alpha_{th})\frac{S_i}{S_{min}} \quad (4)$$

ここで，S_i は，領域 V_i の面積であり，S_{min} は，$S_i(i = 1, 2, \cdots, N_m)$ の最小値である．α_{th} は電波強度の閾値であり，この値より小さい強度については V_i に点はばら撒かないとする．

2.1.2 2 次元点分布から GMM へ変換

前項で求めた 2 次元点分布を $\boldsymbol{R} = \{\boldsymbol{r}_1, \boldsymbol{r}_2, \cdots, \boldsymbol{r}_{N_b}\}$ とすると，式（1）より対数尤度関数は次式で表される．

$$\ln p(\boldsymbol{R}|\boldsymbol{\pi}, \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}) = \sum_{i=1}^{N_b} \ln\left(\sum_{k=1}^{K} \pi_k \mathcal{N}_k(\boldsymbol{r}_i|\boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k)\right) \quad (5)$$

この式（5）を最大にするパラメータ，平均 $\boldsymbol{\mu}_k$，分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}_k$，混合係数 π_k を求めることで電波強度分布を GMM で近似する精度が高まる．ただし，GMM の混合数 K については固定した状態で GMM パラメータを求め，いくつかの K を試行して実際の計測した電波強度との誤差が最小になるような GMM を採用する．式（5）を最大にするパラメータを求めるには，EM アルゴリズムを用いる．EM アルゴリズムは，E ステップと M ステップと呼ばれるステップを反復することでパラメータの推定値を見つける．

E ステップでは，現在推定されているパラメータにおいて負担率を計算する．負担率とは，混合要素 k が 2 次元点分布の点 $\boldsymbol{r}_i$ を負担する度合いを示したものであり次式で表される．

$$\gamma_{i,k} \equiv \gamma(\boldsymbol{r}_i|\pi_k, \boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k) = \frac{\pi_k \mathcal{N}_k(\boldsymbol{r}_i|\boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k)}{\sum_{j=1}^{K} \pi_j \mathcal{N}_j(\boldsymbol{r}_i|\boldsymbol{\mu}_j, \boldsymbol{\Sigma}_j)} \quad (6)$$

M ステップでは，式（6）を用いて平均 $\boldsymbol{\mu}_k$，分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}_k$，混合係数 π_k を次のように再計算する．

$$\boldsymbol{\mu}_k = \frac{1}{N_k}\sum_{i=1}^{N_b} \gamma_{i,k}\boldsymbol{r}_i \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\Sigma}_k = \frac{1}{N_k}\sum_{i=1}^{N_b} \gamma_{i,k}(\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{\mu}_k)(\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{\mu}_k)^T \quad (8)$$

$$\pi_k = \frac{N_k}{N_b} \quad (9)$$

ただし，N_k は次式で表される．

$$N_k = \sum_{i=1}^{N_b} \gamma_{i,k} \quad (10)$$

E ステップと M ステップを繰り返すことで式（5）は増加することが保証されている．実際には，対数尤度関数の変化量を収束条件に設定し，それを満たすまで繰り返す．これにより式（1）を求めることができたが，更にこれを電波強度に変換するための変換式 $\alpha_i = \kappa \cdot p(\boldsymbol{r}_i) + \eta$ を最小二乗法により求めモデル化が完了する．

なお，式（6）の初期値は次のように計算する．2 次元点分布をクラスタ数を K の K-means 法によりクラスタ化して，各クラスタのサンプル平均，サンプル共分散を $\boldsymbol{\mu}_k$ や $\boldsymbol{\Sigma}_k$ の初期値とし，混合係数 π_k は各クラスタの属するサンプル点数の割合を初期値として代入し，式（6）の初期値を計算する．

2.2 位置推定処理

ここでは，ある地点で計測された BSSID と RSSI の組み合わせの複数情報から，前節で求められた GMM を用いて位置推定する処理について説明する．この処理は，大きく分類すると次の 2 つのステップから成る．

(1) 複数のフロアから最適なフロアを推定する
(2) 選択されたフロア内で最適な位置を推定する

2.2.1 初期版フロア推定処理

式（1）は 2 次元空間のある限られた領域でのモデル化であり，対象エリアを全てカバーするには一般に複数のフロアについて事前計測し各フロア毎に GMM によるモデル化が必要になる．従って，位置推定するには，まずどのフ

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

ロアに存在しているかを推測する必要がある．今回サービス対象としたエリアでは，吹き抜け空間が多数存在し，このフロア推定精度が課題となった．

本節では，まず初期の段階で実装した処理方法について述べる．改良した処理方法については節 2.2.3 で説明する．

(1) 計測された複数の BSSID から，事前計測したデータと比較し可能性のあるフロアを全て抽出する
(2) そのフロア毎に，事前計測したデータと照らし合わせ，フロアに固有な BSSID を抽出し，その個数 C を求める
(3) C が最大のフロアを推測フロアとする
ただし，$C = 0$ あるいは最大の C となるフロアが複数存在する場合は次の処理を行なう
- 最大の C（$C = 0$ も含め）となるフロアを抽出する
- そのフロア毎に次節の「フロア内での位置推定処理」を実施し位置を推測する
- 各フロアで推測された位置での GMM モデルから推測される電波強度と実測された電波強度の差から，その位置での確率（に相当する値．下記掲載の式 (11)）を計算する
- 各フロアで，複数の BSSID の確率の平均値を求め，その平均確率の最も高いフロアと推測座標を結果として返す

2.2.2 フロア内での位置推定処理

フロア内では，一般にそのフロアで計測された複数の BSSID に対応した GMM モデルが存在する．端末が計測した BSSID と RSSI の組み合わせと，その BSSID と GMM モデルから計算される電波強度の組み合わせとが最も近いと判断される位置を求めればよいが，それには Particle Filter を利用する．まず，計測された i 番目の BSSID の RSSI を α_i，同じ BSSID の GMM で位置 $\boldsymbol{r}$ での電波推測強度を $\hat{\alpha}_i(\boldsymbol{r})$ と表すと，計測位置が位置 $\boldsymbol{r}$ である確からしさを表す量 $F(\boldsymbol{r}, \alpha_i)$ を次のように定義する．

$$F(\boldsymbol{r}, \alpha_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\hat{\alpha}_i(\boldsymbol{r}) - \alpha_i)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{11}$$

ただし，これは実測値からのずれが大きくなれば確からしさが減少する振る舞いを正規分布で代用したにすぎない．なお，実際の処理では $\sigma = 5$ とした．複数の BSSID の存在を反映して位置 $\boldsymbol{r}$ である確からしさを表す量 $F(\boldsymbol{r})$ は次式のように定義する．

$$F(\boldsymbol{r}) = \prod_i F(\boldsymbol{r}, \alpha_i) \tag{12}$$

ただし，積 i は観測された全ての BSSID についてとる．このパラメータを使ってあるフロア内で位置を推定する処理の概要は以下のとおりである．

(1) フロアに均等になるように Particle を N_p 個ばらまく．
(2) 各 Particle を距離 d の範囲内でランダムウォークさせる．
(3) 各 Particle の位置における式 (12) の値 $F(\boldsymbol{r})$ を求める．
(4) $F(\boldsymbol{r})$ の小さい方の半数の Particle を，残りの $F(\boldsymbol{r})$ の大きな Particle に一つづつ重ねていく．
(5) Particle の重心位置を求め，Particle 全体の重心からの距離についての標準偏差を求める
(6) その標準偏差が指定した値より小さくなれば処理を終了し重心位置を推定位置とし，そうでなければ（2）に戻って処理を繰り返す．

ただし，ランダムウォークさせる距離 d は，(5) での標準偏差を反映し可変とし，標準偏差の閾値は 3m と設定した．

2.2.3 改良版フロア推定処理

前述した初期段階でのフロア推定処理では，正解率が思わしくなかったため，線形判別関数を導入した．関数の変数としては，事前計測時に計測したフロア毎に計算した BSSID の最大 RSSI を利用する．計測される電波強度のばらつきがなく理想的な環境下では，あるフロアの最大 RSSI より大きな RSSI が計測されているなら，測位位置はそのフロアではないことになる．しかし，実際はばらつきが存在するため可能性としてはあり得ることになる．その可能性の大小を計る尺度としてこの RSSI の最大値は有効と考えられる．フロア f であるかどうかの判別関数は次式で表される．

$$\psi_f = k_0 + \sum_{j=1}^{6} k_j \xi_{f,j} \tag{13}$$

表 1 判別関数の変数

$\xi_{f,1}$	$\alpha_i - \alpha_{f,i}^{max}$ の最大値
$\xi_{f,2}$	$\alpha_i - \alpha_{f,i}^{max}$ の最小値
$\xi_{f,3}$	$\alpha_i - \alpha_{f,i}^{max}$ が正となる個数
$\xi_{f,4}$	$\alpha_i - \alpha_{f,i}^{max}$ の平均
$\xi_{f,5}$	$\alpha_i - \alpha_{f,i}^{max}$ が正の要素の平均
$\xi_{f,6}$	対象となる BSSID の数

変数 $\xi_{f,j}$ は，**表 1** のとおりである．ここで，フロア f における BSSID(i) の最大 RSSI を $\alpha_{f,i}^{max}$，測位時に端末が計測した RSSI を α_i（$i = 1, 2, 3, \cdots, N_m$）と表した．ただし，N_m は計測された BSSID の数である．

係数 $k_i (i = 0, 1, \cdots, 6)$ は，以下のように算出する．

(1) 事前にフロアが既知の複数地点での計測を行ない，BSSID と RSSI の組み合わせデータ（検証データ）を取得する．
(2) 一計測での BSSID と RSSI の組み合わせデータより，そこに含まれている BSSID から事前計測したデータ情報と照らし合わせ可能性のあるフロアを全て抽出する．

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

Vol.2013-MBL-68 No.2
Vol.2013-ITS-55 No.2
Vol.2013-DCC-5 No.2
2013/11/14

(3) 抽出された各フロアについて，事前計測において該当フロアで計測された BSSID と検証データの双方に含まれる BSSID のみ抽出し，表 1 に従って変数 $\xi_{f,j}(j = 1, 2, \cdots, 6)$ を計算する．

(4) 該当フロアが正解のフロアであれば $\psi_f = 1$ とし，不正解であれば，$\psi_f = 0$ を与える．

(5) 以上を全ての検証データについて求め，回帰分析の手法により係数 $k_i(i = 0, 1, \cdots, 6)$ を求める．

表 2　フロア毎の検証データ

フロア No.	1	2	3	4	5	6	7
地点数	9	7	10	10	17	20	15
計測数	200	140	200	201	372	419	360
フロア No.	8	9	10	11	12	13	14
地点数	6	11	21	33	4	10	11
計測数	120	260	392	740	80	200	256
フロア No.	15	16	17	18	19	20	21
地点数	11	16	3	8	3	12	16
計測数	220	320	60	180	60	322	333

表 3　判別係数の t 値

係数	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
t 値	43.7	-30.9	-12.1	-34.8	8.0	10.3	52.7

なお，係数を求める際の具体的な検証データは，21 のフロアについて，一フロアについて地点数 3 から 33（総地点数:253），各地点で 20 回程度計測した合計 5,435 計測分を用いた（**表 2**）．その結果，決定係数 $R^2 = 0.1903$ となり，各係数に対する t 値は**表 3** のとおりである．

定数 k_0 を除くと，k_6（つまり，対象となる BSSID の数）が最も寄与することが分かる．次に，k_3，k_1 と続き，この 2 つは判別関数の値を小さくする方へ寄与すること，および k_2 も同様に負であることは，$\xi_{f,2}$ が正であるケースを考えれば予想どおりである．ただし，k_4 と k_5 が正であることは精査が必要と思われる．

フロア推定の結果は，可能性のある全てのフロアについて ψ_f を求め，この値が最も大きいフロアとして求めることができる．

3. 事前計測

今回のサービス対象エリアは，渋谷駅と近隣の商業施設の一部であり，入手した，或いは，新たに作成した計測図面がカバーする領域等の都合により計測図面は，渋谷駅：17 面，近隣商業施設：9 目の合計 26 面に分割した上で無線 LAN の電波強度を計測した．計測にあたっては新たに計測専用の Android アプリを開発した．アプリをダウンロードすると計測図面も同時に端末に保存される．任意の地点の電波強度を計測する際は，次のステップを行なう．

(1) アプリを起動



図 1　電波計測アプリの画面

(2) 計測したいフロアの計測図面を読み込む

(3) 計測したい地点まで端末を移動させる

(4) 計測図面上に現在位置をロングタップで指定しマーク

(5) 「測定」ボタン押下

(6) 以下計測したい地点の数だけ（2）または（3）から（5）を繰り返し

これにより，SSID，BSSID，RSSI，計測図面名称，図面での計測位置座標，日時などがログとして保存される．

実際の現地での計測では，次のようにロングタップで端末の位置を指定する操作を省くようにした．まず，予め計測地点の座標を等間隔（7m）で自動生成しリスト化したファイルを用意する．このファイルはアプリをダウンロードさせる際に計測図面と同時に端末に保存される．計測時はタップ操作で順次計測地点にマークを移動させ，端末をその地点に移動させてから測定ボタンを押すことで電波強度が記録されるようにした．これは計測工数を削減すると同時に，計測間隔が適切か気にする必要がないので計測初心者でも容易に計測できるメリットがある．また，計測済みの地点をピンクマークにより表示する「履歴表示」機能も搭載し，計測忘れを防ぐようにしている（**図 1**）．図 1 において，水色マークは現在の計測地点を表している．

3.1 漏れ電波の状況

全ての計測図面（26 面）における計測により観測された BSSID の総計は 5,388 個となった．なお，本稿では各計測

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

表 4　複数フロアで計測された BSSID 数

フロア数	1	2	3	4	5	6	7
BSSID 数	4335	539	162	144	69	54	32
フロア数	8	9	10	11	12	13	14
BSSID 数	13	15	11	4	2	5	3

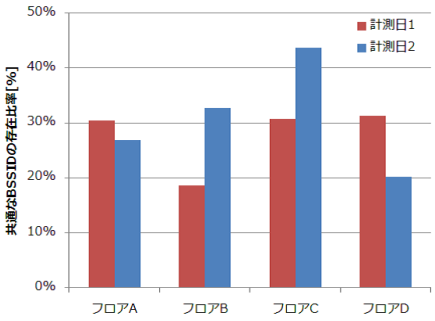


図 2　計測日が異なる日の共通な BSSID 比率

図面をフロアと呼び，同じ階数で連続している空間でも計測図面が異なればフロアは異なると解釈する．節 2.2.1 で述べたようにフロア推定処理が課題となったが，その要因の一つとして漏れ電波が沢山のフロアまで拡散していたことが挙げられる．実に最大で 14 フロアまで観測されていたことが分かった．BSSID 毎にその BSSID が観測されたフロアの数をカウントし，その観測フロア数について BSSID の度数を求めた結果を**表 4** に示す．

3.2　利用可能な電波

表 5　異なる計測日で観測された BSSID

		計測日 1		計測日 2	
フロア	共通数	総数	比率 [%]	総数	比率 [%]
フロア A	25	82	30	93	27
フロア B	59	316	19	180	33
フロア C	28	91	31	64	44
フロア D	21	67	31	104	20

事前計測でかなりの数の BSSID が観測されたが，実際に測位に利用できる BSSID をどのように選別すべきかが次の課題となった．当初は，ある強度以上で，かつ，観測地点数がある値以上の全ての BSSID の GMM パラメータを求めてモデル化する方針を採ったが，残念ながらこれは無駄な労力となった．事前計測した日とは別な日に再計測した結果との比較を**図 2** および**表 5** に示す．四つのフロアについてそれぞれの計測日に観測された BSSID のうち，双方で観測された BSSID の数の比率を示しており，該当フロアで観測された BSSID の総数の 20%から 40%程度という結果となった．基地局の廃止，新設の可能性もあるが，この数値からして観測された多くの BSSID の殆どがモバイル端末等の移動を伴う機器から発信されたものと推測できる．この二日の計測において双方で観測された無線 LAN 情報を調べた結果，いわゆる公衆無線 LAN の SSID を多く含んでいることが分かった．従って，これらの公衆無線 LAN 等の予め信頼できると思われる SSID をリスト化し，このリストに掲載された SSID の BSSID のみ測位に利用する（つまり，GMM パラメータを導出する）というフィルター処理を付け加えた．

3.3　あえて利用しない電波

前節では利用可能な電波について議論したが，ここでは逆に固定されたアクセスポイントから発信されているが利用しない方がよい電波について説明する．屋内であっても屋外のアクセスポイントから発信される電波が観測されることは珍しいことではない．事前計測によって収集した電波の中に，このような屋外からの電波が含まれていると，明らかに屋外で位置測位したにも関わらず，整備した屋内フロアの地点を位置推定した誤った結果を返す可能性が高くなる．これを避けるには，屋外から漏れ入ってくる電波を測位処理から取り除くことが必要になる．そのため，我々は，事前計測を屋内のみでなく屋外の計測も同時に実施した．ただし，屋外での計測時は計測地点の座標はそれほど精度良く記録する必要はなく屋外であるかどうか判断できればよい．屋内と屋外の双方で観測された BSSID のうち屋外で観測された電波強度が屋内のそれより強い BSSID をリスト化して，それらは測位処理に利用しないような処理を追加してこの課題に対応した．

4.　結果と考察

ここでの検証データは，節 2.2.3 の中で説明した表 2 と同じものを用いた．以下にフロア推定処理の正解率，および，フロア推定が正しかった場合のフロア内での位置推定の精度などの結果と考察を示す．

4.1　フロア推定処理

フロア推定処理については，初期版を節 2.2.1 に，改良版を節 2.2.3 で説明したが，それらの推定処理の結果の比較を**図 3** に示す．フロアによっては改良版により正解率が低下するものが存在するものの，全体では正解率が 57%から 72%へ向上していることが分かる．なお，フロア No.18 と No.19 の二つについては改良版の正解率が 0%という結果であるが，該当するフロアの事前計測データを詳細に調べると，これらのフロア内にはアクセスポイントが存在せず隣のフロアから漏れた弱い電波のみであることが分かり，これが影響していると思われる．

4.2　フロア内位置推定処理

フロア推定処理は改良版を用い，その結果が正解となった検証データを対象にフロア内の位置推定処理の誤差（推測位置と正しい位置との距離 [m]）を評価した．フロア毎

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

Vol.2013-MBL-68 No.2
Vol.2013-ITS-55 No.2
Vol.2013-DCC-5 No.2
2013/11/14

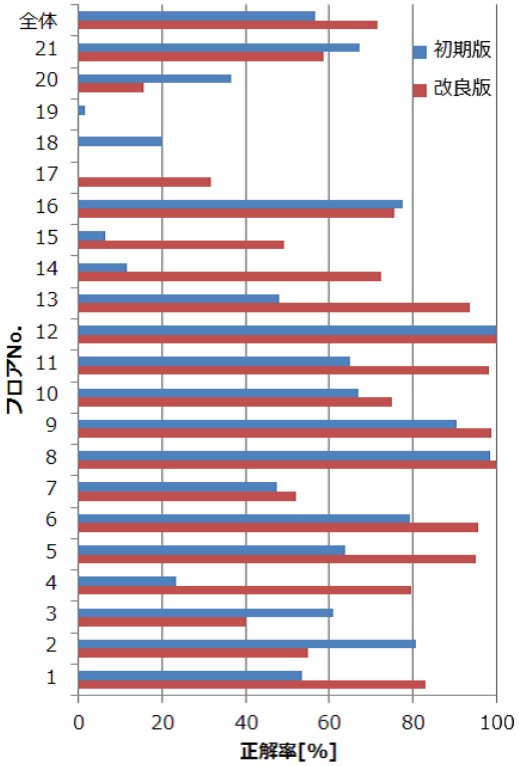


図 3　フロア推定処理結果の比較

に誤差の平均値，最大値，最小値，標準偏差を求め図示したものが**図 4** である．図 4 においてフロア No.18 と No.19 の結果が表示されていないのはフロア推定が全て不正解のためである．誤差の平均において，最も小さいのはフロア No.2 の 7.7[m] であり，最も大きいのはフロア No.12 の 61.0[m] という結果となった．フロア No.2 は，渋谷駅近隣の商業施設の地下 2 階であり，その上下階であるフロア No.1 および No.3 の誤差の平均も比較的小さいことが分かる．今回の対象フロアの中で比較的閉じた空間であることがその精度の高さに影響していると思われる．逆に，フロア No.12 は渋谷駅の地下 2 階の宮益坂東改札の北側付近であり，こちらもアクセスポイントが付近に存在しない領域であることが誤差の平均の大きさに影響していると思われる．

最も精度が悪いフロア No.12 とその逆に最も精度が良いフロア No.2 における観測地点毎の誤差情報を**図 5** に示す．また，その中間の精度である No.7 の同様な結果を**図 6** に示す．計測地点それぞれでバラついている様子が分かる．

また，誤差を複数の区間で区切り頻度を求めた結果を**図 7** に示す．頻度が最も大きい区間は，5m から 10m の区間であり全対象データの 26%を占めていることが分かる．その次は，10m から 15m の区間が 17%，0m から 5m 区間が 14%，15m から 20m 区間が 10%と続く．

5. まとめ

屋内での位置推定手法として，Gaussian Mixture Model

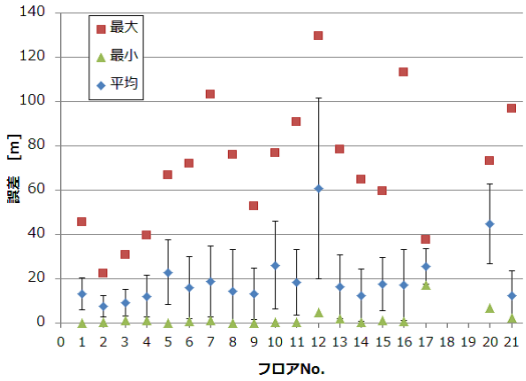


図 4　フロア別フロア内位置推定精度結果

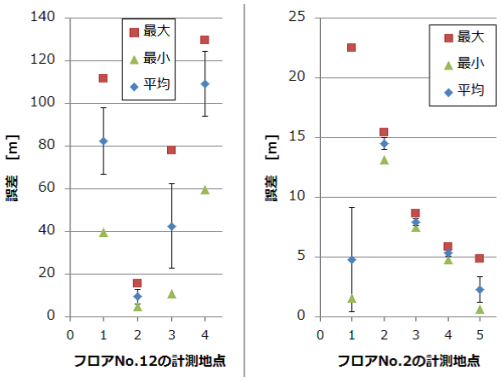


図 5　フロア No.12 と No.2 の地点別精度結果

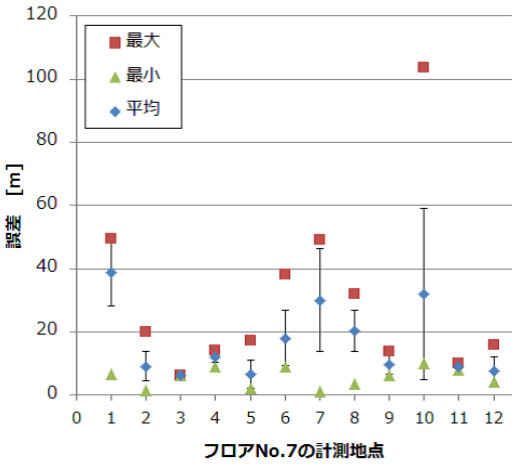


図 6　フロア No.7 の地点別精度結果

（GMM）を用いた WiFi 位置推定手法を採用し，渋谷駅周辺エリアに実際に適用した．その過程で次のような様々な課題に直面した．

- モデル化作業に必要な事前計測で取得した BSSID のうち信頼できるものは何か
- 多数の異なるフロア間で観測される電波によりフロア推定が正しく行えない
- たくさんの地点で測定する必要がある事前計測のコストが大きい
- 事前計測で屋外の電波を拾ってしまって屋外の離れた

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

Vol.2013-MBL-68 No.2
Vol.2013-ITS-55 No.2
Vol.2013-DCC-5 No.2
2013/11/14

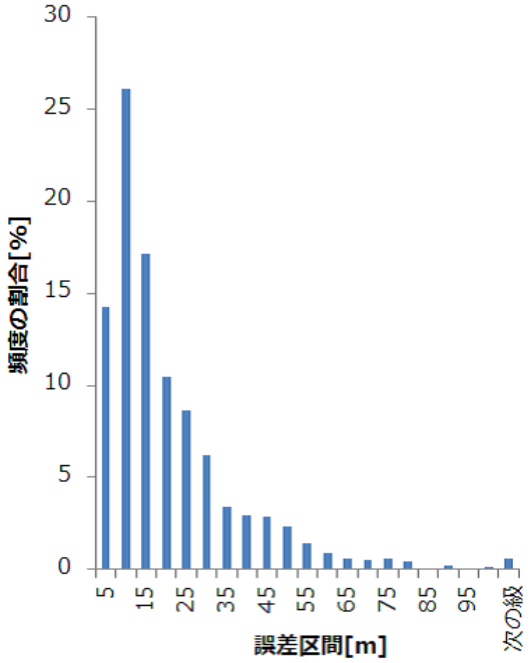


図 7　誤差のヒストグラム

地点で側位しても屋内を案内してしまう

これらに関しては，それぞれ以下のような対策により改善した．

- 公衆無線 LAN など信頼性の高い SSID の電波を利用する
- フロア内での BSSID 毎の最大電波強度を用いたフロア判別関数を導入する
- 事前計測の測定地点は事前に生成して測定者が選択するステップを削減する
- 対象エリア周辺の屋外も事前計測し屋外と推定される BSSID は屋内測位処理には利用しない

今回は既存の無線 LAN を利用した環境下での渋谷駅および近隣商業施設での GMM による屋内測位を検証したが，やはりアクセスポイントが少なかったり遠かったりする場所では十分な測位精度は確保できないことが分かった．ただし，フロアによっては誤差の平均が 10m 程度のものもあり，条件が整えば十分サービス利用に耐えうる精度が確保できることが分かった．

6. おわりに

今回は節 2.2 に記載の位置推定処理は，端末から受け取った BSSID と RSSI の情報をその都度受けとってサーバ側で処理している．従って，直前の測位結果や電波情報などの情報は反映されておらず，観測された電波強度のばらつきを反映し，測位結果の位置をそのまま表示すると飛び飛びの見苦しい状態となってしまった（この課題は，ユーザへの表示方法を工夫することで回避）．また，図 4 から図 6 にも見られるように誤差が極端に大きくなるのも，このばらつきが主な原因と考えられる．更に，事前計測により GMM パラメータを求める際も，このばらつきはモデルの信頼性を低下させる原因にもなっている．従って，精度を向上させるには電波強度のばらつきを如何に制御できるかに関わっていると思われる．

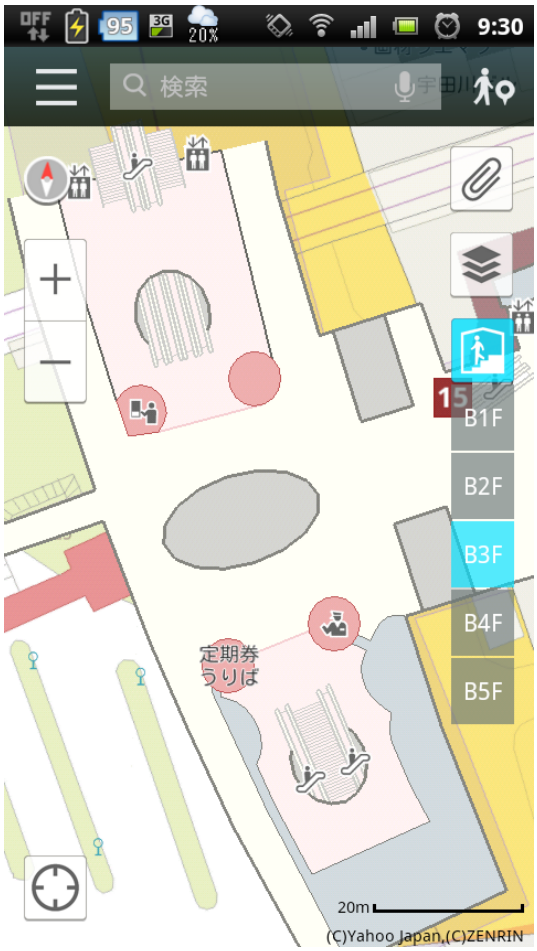


図 8　Android 版「Yahoo!地図」アプリ
渋谷駅の渋谷ヒカリエ改札付近

- ばらつきの制御

は今後の大きな課題である．

その他，実用化という観点での課題は以下の点をあげる．

- モデル化に必要な事前計測の更なる工数削減 [9]
- 基地局の新設や廃止，移動などの環境変化の察知とモデルの更新コスト [10][11]
- 屋外と屋内とのシームレスでスムーズな測位を可能にすること

本稿による屋内位置推定手法による成果は，Android 版「Yahoo!地図」アプリ（図 8）に実装され，渋谷駅エリアの一部で確認することができる．改善点は多々あると思われるが是非体感して頂ければと思う．屋外では GPS により自分の位置が確認できることが当たり前となっているが，屋内でも同様に，それが当然のような世界を目指して今後も取り組んでいきたい．

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

参考文献

[1] 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論文集, pp.95-104(2006).
[2] 藤田迪，梶克彦，河口信夫：Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法，情報処理学会論文誌，Vol.52, No.3, pp.1069-1081(2011).
[3] 岡龍太，Tran Xuan Duc，新井イスマイル，西尾信彦：位置特定インフラ専用無線 LAN アクセスポイントの試作と測位精度の検討評価，情報処理学会 全国大会講演論文集, No.1, pp.275-277(2011).
[4] 南正輝，森川博之，青山友紀：超音波を用いた自律分散型位置検出システムの設計と実装 (位置検出, ¡小特集¿センサネットワーク論文), 電子情報通信学会論文誌，A, 基礎・境界，Vol.88, No.12, pp.1432-1441(2005)
[5] 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, Vol.2000-HI-88 No.39, pp.45-50(2000).
[6] 中村 嘉志 , 並松 祐子 , 宮崎 伸夫 , 松尾 豊 , 西村拓一：複数の赤外線タグを用いた相対位置関係からのトポロジカルな位置および方向の推定，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.3, pp.1349-1360(2007).
[7] 村田正秋，瀬川爾朗，鳥本秀幸：IMES の技術動向　-シームレス三次元測位・航法の新技術-，電子情報通信学会誌，Vol.95, No.2, pp.119-124(2012)
[8] 鈴木惇也，秋山征己，田中博，五百蔵重典：スマートフォン内蔵センサを用いた歩行位置推定に関する基本実験と評価，情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-64 No.10, pp.1-7(2012).
[9] 梶克彦，河口信夫：indoor.Locky:UGC を利用した無線 LAN 屋内位置情報基盤，情報処理学会論文誌，Vol.52, No.12, pp.3263-3273(2011).
[10] 何韜，梶克彦，河口信夫：位置推定のための無線 LAN 観測データベースの健全性維持手法，情報処理学会 全国大会講演論文集, No.1, pp.281-282(2011).
[11] 谷内大祐，前川卓也：歩行者デッドレコニングによる屋内位置推定モデル更新手法の提案，情報処理学会研究報告, Vol.2013-UBI-38 No.55, pp.1-8(2013).

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan