

既設アクセスポイントを利用した屋内位置情報取得システムのための位置推定精度による分析

川村 諒^{†1} 久保田 真一郎^{†2} 副島 慶人^{†1}
古川 誠^{-†1} 杉谷 賢^{-†2}

屋内では GPS による位置情報取得が困難であるため、センサネットワークや無線 LAN のアクセスポイントを用いた位置情報を取得する研究が行われている。センサネットワークを用いた研究の多くは位置情報を取得するためにセンサが理想的に配備された実験環境で行われる。一方、情報通信基盤を目的として整備されたアクセスポイントは、位置推定の対象となるパソコンからアクセスポイントを見通すことができないなど、明らかにフェージングなどの影響を受け、位置推定を行うには不利な環境となっている。そこで、我々はフェージングなどの影響が大きいと考えられる既設アクセスポイントを用い、位置情報を取得するシステムを構築する場合に必要と考えられる条件について考察を行った。これらの情報は、既設アクセスポイントを用いた位置情報取得システムをこれから検討するユーザにとって有意義なものである。

Analysis Based on Accuracy of Position Estimation for Indoor Positioning System with Installed Access Points

RYO KAWAMURA,^{†1} SHIN-ICHIRO KUBOTA,^{†2}
YOSHIHITO SOEJIMA,^{†1} SEIICHI FURUKAWA^{†1}
and KENICHI SUGITANI^{†2}

It has been proposed that indoor positioning system with sensor networks and wireless LAN access points, because it is known for difficulties to get position information by GPS in the indoor area. According to many previous studies using sensor networks, the sensors are intentionally equipped in the line-of-sight environment for the position estimation. However, all access points as an information infrastructure are not in the line-of-sight environment. This environment makes fading phenomena, and makes accuracies of the position estimation worse. As a result, we show necessary conditions on implementations of position estimation in the practical environment, using access points as an information infrastructure, which involved fading phenomena. These re-

sults are meaningful for any other users developing the system to provide the position information in the practical environment.

1. はじめに

現在、人や物の位置情報は、行動の決定や、その位置固有の情報を得るために必要不可欠な情報である。たとえば、現在の位置が分かれば、目的地までの経路や所要時間などの情報を得ることや資源の管理にも役立つ。位置情報を取得する代表的なものに、車のカーナビゲーションシステムがある。カーナビゲーションシステムは、GPS (Global Positioning System) を用いて車の位置を検出し、周囲情報や目的地までの運転経路情報を与える。しかし、GPS を使ってターゲットの位置情報を特定するためには、衛星を捕捉するための見通しが必要であり、GPS を利用して屋内のターゲット位置を特定することはできない。また、GPS 受信機の費用が高価であるという欠点もある。

そこで近年、無線 LAN を用いた屋内の位置推定システムの実用性が高まりつつある¹⁾⁻³⁾。無線 LAN の利用は大学、企業といった環境だけではなく、駅、空港、娯楽施設といったあらゆる場所で可能となってきた。さらに一般家庭においては情報家電が無線対応となり、最近では無線 LAN 機能を持っていない情報家電を無線 LAN 化する機器や、無線 LAN 機能を搭載した携帯電話も発表されている。アクセスポイント (以下、AP と略称) は一般的に位置情報を取得するために設置されることはなく、その目的の多くは情報通信設備として配備されている。このように既設の情報通信設備を位置情報を取得するために利用し、有効活用することは今後多くの大学や企業において検討が進められるだろう。情報通信基盤として整備された AP を位置推定に利用する場合、必ずしもその配置は理想的とはいえない。つまり、多くの場合、位置を特定するパソコンから位置推定に利用する AP を見通すことができない。小野ら⁴⁾ の行った研究は地下街という人の往来のある環境で行っており、我々の知見の参考になるが、位置推定に利用される無線ノード (我々の研究では AP) が地下街天井にメッシュ状に整列された理想的な配列環境で行われている。このため、小野らの知見は情報通信基盤として整備された AP を用いて行われる位置推定の誤差がどの程度

^{†1} 熊本大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

^{†2} 熊本大学総合情報基盤センター

Center for Multimedia and Information Technology, Kumamoto University

小さくなるかなどの検討には利用できない。また、既存の製品としてエカハウ社のポジショニングエンジン⁵⁾があり、この製品は、キャリブレーションをすべての場所において行い、精度良く位置情報を提供するシステムとなっている。しかし、この製品の場合、ある一定のキャリブレーション作業に加え、その精度表記には電波障害のない場合の表記であり、我々の想定する見通しのない位置に設置された AP からの受信電波強度を用いる点については表記が見られない。このため、情報通信基盤として整備された AP を用いて行われる位置推定の検討には利用できないと考えられる。そこで、我々は位置を推定するパソコンから見通すことのできない AP を含むような情報通信基盤環境を対象に、既発表である最尤推定を用いた位置推定^{6)–8)}を行い、その推定精度、必要な事前測定、推定に必要な経過時間について詳しく分析を行った。

既設の AP を利用することから、AP の既存の機能を使いデータを集め、位置推定を行う方法を検討しなければならない。無線 LAN 環境で PC の位置を推定するにはまず、AP と PC との距離を測定しなければならない。その測距技術には到来時間 (TOA: Time Of Arrival)、到来角 (AOA: Angle Of Arrival)、受信電波強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) の 3 つの方法がある²⁾。TOA 測距は精度は良いが、正確な時刻同期と高速サンプリングの機能が必要のため高価な無線 AP が必要となる。AOA 測距は時刻同期を必要としないが、複雑な測定装置が必要である^{9),10)}。RSSI は多重伝播により RSSI の測定値にばらつきがあることが欠点であるが、既存の AP でそのまま得られるため、設備への投資を必要としない。このため、既設の AP を利用した位置情報取得を試みる場合には必然的に RSSI が利用されることが多く、我々も RSSI を利用する。RSSI によって測定された距離をもとに位置推定が行われるが、無線 LAN 環境における位置推定方法には、三辺測量法、三角測量法、確率に基づく推定、パターンマッチングなどが提案されている¹¹⁾。三辺測量法、三角測量法による距離測定は正確ではなく、ノイズによって精度が下がる。パターンマッチングによる推定では、精度良く行うためには事前に多くの測定情報をデータベースに学習させる必要がある。さらに、パターンマッチングでは、AP の位置が変わったり、部屋のレイアウトが変わったりした場合には、その電波の伝播特性が変化し、データベースにあるこれまでの値と実際の環境の値が異なるため、新たな環境の情報をデータベースに学習させなければならない。そのため効率良く伝播特性の環境値を取得する必要がある。確率に基づく推定はノイズの統計情報を利用しており、その精度は良いことが知られている¹²⁾。

既存の AP を用いた位置情報を取得する方法としては、特別な設備投資を必要としない RSSI の測定データを用い確率推定を行う方法が適当であると考えられる。既存 AP を用い

る場合は先行研究と比べると過酷であり、ノイズが多いと容易に考えることができ、実際に我々が行った実験では、同一のフロアにない AP を 2 台、同一のフロアで可視性のある AP を 1 台の計 3 台の AP を用いて実験を行った。このように過酷なケースで知見を得たケースはなく、このような環境下で位置推定精度をもとに位置情報を取得するシステム (以下、位置情報取得システム) について検討しておくことは、今後同様に既存 AP を使った位置情報取得システムの構築を考えるユーザにとって有意義であると考えられる。

2 章では、位置推定の手法について概説し、3 章では実験方法を述べ、位置情報取得システムを検討するうえで必要となる条件について解説し、4 章では実験結果に対する考察を行う。

2. 距離により減衰する RSSI と最尤推定法を用いた位置推定

PC の位置推定を行うためには、AP と PC 間の距離と RSSI が必要である。RSSI は、式 (1) のように距離の α ($\alpha < 0$) 乗に比例して減衰することが分かっている。一般的に自由空間では、 $\alpha = -2$ 乗であるが、実環境では、フェージングやシャドウイングなどの他の環境因子による減衰のため、RSSI は大きく変動し、 $\alpha < -2$ となる。

$$A(r) = 10 \log_{10} (Cr^\alpha) \quad (1)$$

ただし、 $A(r)$ は平均受信電波強度、 r は AP と PC 間の距離を示しており、 C と α は伝搬環境により決まるパラメータである。位置の測定値と RSSI の測定値に対して最小二乗法を用い、導出される近似曲線によってこれらのパラメータ C と α は事前に決定する^{6)–8)}。

実伝搬環境の RSSI における確率分布は正規分布である。このとき、距離 r における条件付き確率密度関数 $p(Pr|r)$ は次のように表すことができる。

$$p(Pr|r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta^2}} \exp\left(-\frac{(Pr - A(r))^2}{2\delta^2}\right) \quad (2)$$

Pr は実際に測定した RSSI、 δ^2 は分散を表している。

測定されたデータをもとに平均が決まり、実際に位置推定を行う際に位置推定を行う場所の RSSI から推定位置の期待値を得ることができるが、それが尤もらしい値かどうかは判断できない。そこで我々は最尤推定法を用いて尤もらしい期待値を導出する。最尤推定法は、確率モデルの未知パラメータを推定する 1 つの方法として知られており、分布の形が既知である母集団から母数 θ を推定しようとする場合、 n 台の AP から PC が受信する電波強度のサンプル値 Pr_0, Pr_1, \dots, Pr_n が与えられとすると、条件付き確率密度関数の積 $\prod_{i=1}^n p(Pr_i|\theta)$ が得られる。さらに、この積を未知数 θ の関数だと考えると、尤度関数

$$l(\theta) = \prod_{i=1}^n p(Pr_i|\theta) \tag{3}$$

を定義することができる．この尤度関数を最大にする θ を見つけることによって，推定量 $\hat{\theta}$ を確定することが可能である．

これらの最尤推定法を用いた位置推定は多くの研究^{(6)~(8)}が行われており，本研究でも同様に，AP と PC 間の RSSI と式 (1)，式 (2) から各 AP との距離を推定し，最尤推定法を用いて PC の位置を推定する．

PC の位置を (x, y, z) ， n 台の AP の位置を (x_i, y_i, z_i) [$i=1, 2, \dots, n$] とすると， i 台目の AP と PC 間の距離 r_i はデカルト座標 x, y, z で表すと次のようになる．

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \tag{4}$$

今回，PC の高さ z は固定して行ったため， z 座標の推定は行わず， x と y のみの推定を行う．

観測した RSSI を Pr_i とすると，距離 r_i に関する観測データ Pr_i の条件付き確率密度関数は $p(Pr_i|r_i)$ である．求める x, y の関数である尤度関数 $l(x, y)$ は $p(Pr_i|r_i)$ の積により次式で定義される．

$$l(x, y) \equiv \prod_{i=1}^n p(Pr_i|r_i) \tag{5}$$

さらに，これを x, y の関数と見なしたとき，対数尤度関数を

$$L(x, y) = \sum_{i=1}^n \ln p(Pr_i|x, y) \tag{6}$$

と表すことができる．ここで， $L(x, y)$ を最大にする (\hat{x}, \hat{y}) が PC の推定位置となる．最大にする (\hat{x}, \hat{y}) は $L(x, y)$ の x と y それぞれの導関数により求まる．今の場合，非線形連立方程式

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} L(x, y) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial y} L(x, y) = 0 \end{cases} \tag{7}$$

を解くことで，PC の推定座標 (\hat{x}, \hat{y}) を求めることができる．

3. 実験方法

実際に応用される場面を考えると 2 次元面上のどの位置であるかが必要な情報となるため，PC の高さを 0.5 m に固定し，総合情報基盤センター 5F 廊下に 2 m 間隔にポイントを定め，各ポイントで測定を行った (図 1)．高さの次元を固定したことにより，位置推定の計算が容易になるという効果も見込める．

RSSI の測定には Network Stumbler^{*1} と呼ばれるソフトウェアを利用し，各測定ポイントで RSSI を 1 秒ごとに記録し，30 分間測定を行った．我々が測定を行った総合情報基盤センター 5F では，6F 廊下，6F センター長室，5F 廊下に設置されている AP から RSSI を測定できる．6F センター長室および 6F 廊下に設置された AP は測定する PC から見えない位置に設置されており，見通しが無いために AP から PC へ到達する電波は様々な反射波の影響を受け，フェージング現象が起きる．このように必ずしも AP への見通しがな

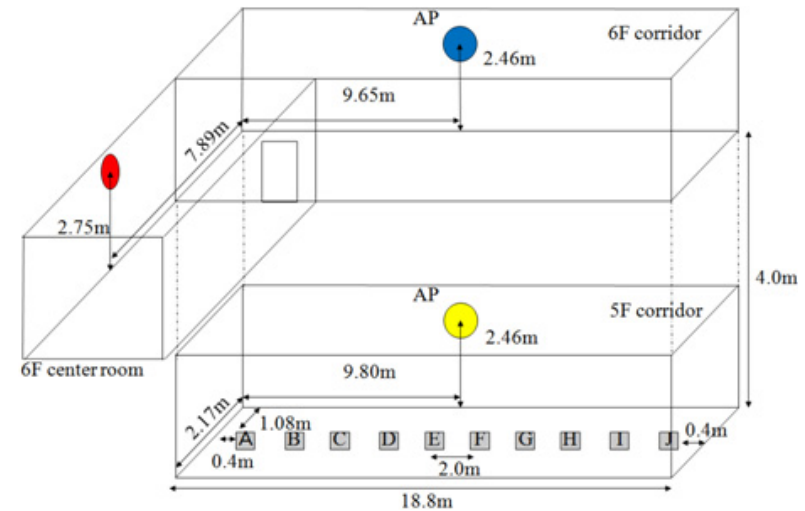


図 1 総合情報基盤センター測定ポイントの様子

Fig.1 Measurement points and APs in the Center for Multimedia and Information Technologies.

*1 Network Stumbler : <http://www.netstumbler.com/>

表 1 プログラムへの入力ファイルが含む項目
Table 1 Items in input files.

DateTime	RSSI を取得した時間
RSSI-1	1 番目の AP から取得した RSSI
RSSI-2	2 番目の AP から取得した RSSI
RSSI-3	3 番目の AP から取得した RSSI

表 2 プログラムからの出力ファイルが含む項目
Table 2 Items in output files.

DateTime	RSSI を取得した時間
RSSI-1	1 番目の AP から取得した RSSI
RSSI-2	2 番目の AP から取得した RSSI
RSSI-3	3 番目の AP から取得した RSSI
x-pos	推定した x 座標
y-pos	推定した y 座標

表 3 実験で使用した AP
Table 3 AP specification in our experiment.

アクセスポイント	AIR-AP1252G-P-K9
無線規格	802.11b/g/n
プラットフォーム	2.4 GHz 802.11n モジュラ IOS AP

表 4 AP から受信する RSSI と AP から測定 PC までの距離との相関係数
Table 4 Correlation coefficients between AP and distance from AP to PC.

	6 階廊下 AP	6 階センター長室 AP	5 階廊下 AP
相関係数	-0.6718	-0.9281	-0.7656

い場所において測定した結果を用い解析を行ったことが我々の研究の特徴である。これらの測定結果より、式 (1) のパラメータ C と α を決定し、最尤推定法により位置推定を行う。我々は今回の実験に合わせ、RSSI のデータを読み込み、最尤推定法により PC の座標を出力するプログラム（以下、位置推定計算プログラムと呼ぶ）を作成した。以下の最尤推定法による位置推定結果では、すべてこのプログラムを用いている。このプログラムは入力ファイルおよび出力ファイルはともに CSV 形式であり、入力ファイルには各行に表 1 の情報を含み、出力ファイルは表 2 の情報を含む。

以上の実験結果をもとに、推定した座標と実際の座標の二乗平均平方根誤差 (RMSE: Root Mean Square Error) を求め、その大小により位置推定の精度が考察される。

我々の研究において、位置情報を取得するシステムとは、そのインプットは位置情報を得たい場所での RSSI の値であり、その値をもとにアウトプットに位置座標を返すシステムが考えられる。今回の位置推定方法では、以下の 4 つの見積りについて位置推定精度をもとに分析を行う。

- (1) パラメータ C と α を決定するまでに事前にデータがどれくらい必要であるかを見積もるために、測定ポイントの数の増減によりパラメータ C と α がどのような影響を受けるかを考察する。
- (2) 決定した C と α をもとに位置推定を行う際に RSSI の測定時間を見積もるために、位置推定結果の誤差と位置推定に用いる RSSI のデータ数との関係について考察する。
- (3) 推定結果を返すプログラムの実現可能性と実行時間を見積もるために、位置推定結果を計算するプログラムの実行時間を考察する。
- (4) 確率推定を行う必要があるかどうかを見積もるために、最尤推定法による推定値と減衰特性を表す式による推定値とを比較する。

4. 考 察

4.1 実験環境に関する考察

実験では表 3 に示すアクセスポイントを用いた。表からも分かるように今回の実験では、2.4 GHz 帯でのみ動作するアクセスポイントを用いており、IEEE802.11a を利用した位置推定については、その検証を行っていない。また、このアクセスポイントは設置が容易となるように、設置場所の電波状況などの環境にあわせ、チャンネルや出力を自動調整する機能を有するが、設置されてから半年以上経過しており、設置以降も実験期間中も、他の AP が設置や起動されたことはなく、その環境に変化はなかったため、実験に影響するようなチャンネルや送信電力が大きく変化することはなかったと考えられる。また、このことは実験で測定された 3 つの AP それぞれから受信する RSSI とそれぞれの AP との距離との相関係数が強い負の相関を示していることから確認できる (表 4)。また、Bluetooth は 2.4 GHz 帯を使用するが、利用する周波数を頻繁に変更して通信を行い、無線 LAN の存在する環境で利用した場合には無線 LAN の使用する周波数を避けるように通信をするアルゴリズム (周波数ホッピング)^{13),14)} を持っており、今回の実験には関与しない。

4.2 事前データに関する考察

前章でも述べたように式 (1) のパラメータ C と α を決定するためには、事前に RSSI の測定を行わなければならない。ここでは位置推定を行うために十分なパラメータ C と α を決定するために、事前に RSSI を測定する場所の数 (測定ポイントの数) とその測定時間とについて考察する。

我々はこの考察において、パラメータ C と α の変化に注目する。1 つは測定ポイント数の増減による変化、そしてもう 1 つは測定時間の長さによる変化である。考察の対象となる

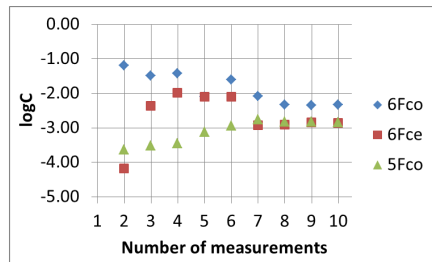


図2 測定ポイントの数と $\log C$ の推移
Fig.2 Relation between the number of measurement points and $\log C$.

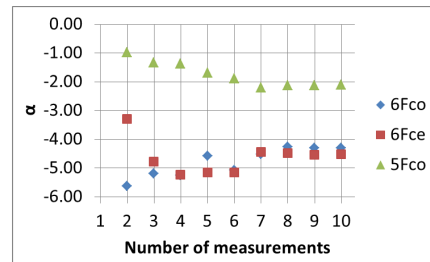


図3 測定ポイント数と α の推移
Fig.3 Relation between the number of measurement points and α .

パラメータ C と α は、距離と RSSI の対から導出される近似曲線により決定される。このため、測定ポイント数の増減による変化を検討する場合、各アクセスポイントとの距離の変化ができるだけ大きくなるよう測定ポイントを選定する方がよい。もちろん、今回の実験で用いられる 3 つのアクセスポイントすべてに対して等しい長さで変化するよう測定ポイントを設定することは不可能であるが、できるだけ大きく変化する組合せとなるように測定することでパラメータ C と α の変化の偏りを軽減できると考えられる。図 1 を見て分かるように、測定場所である 5 階廊下に設置された AP と測定ポイントとの距離は、測定ポイント A から E または F までは順にその距離が短くなり、測定ポイント E または F から J までは順にその距離が長くなる。6 階廊下に設置された AP についても同様である。一方、6 階センター長室に設置された AP と測定ポイントとの距離は、測定ポイント A から J まで順にその距離が長くなる。これを考慮し、測定の順番を E→J→B→H→D→G→A→F→C→I とし考察を行っている。

図 2、図 3 は各測定ポイントの数を横軸とし、それまでの測定結果をもとに導出されるパラメータ C と α を表している（以降の図中の 6Fco は 6 階廊下、6Fce は 6 階センター長室、5Fco は 5 階廊下を表す）。10 カ所すべての測定結果をもとに導出されるパラメータの値はグラフの右端である。グラフから見て分かるように測定ポイントの数が 7 から 8 カ所を超えたあたりから、パラメータの値は大きく変化しないことが読み取れる。このことは、約 20 メートルの直線上を 10 カ所すべてで事前に測定する必要はなく、7 から 8 カ所まで十分であったことを表しており、約 3 メートル間隔に測定位置をもうけることで十分な事前測定の結果が得られると考えられる。

これらの導出したパラメータ C と α の見積りが位置推定精度へ影響を与えることがない

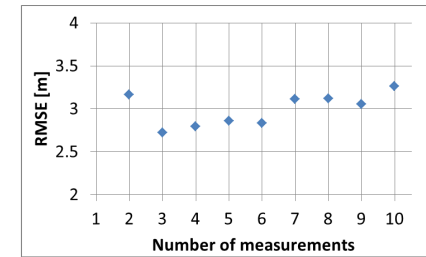


図4 測定ポイント数と位置推定精度
Fig.4 Relation between the number of measurement points and RMSE.

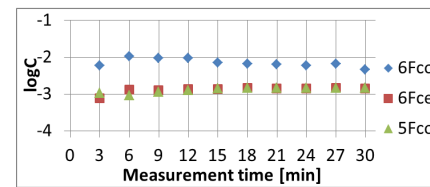


図5 測定時間と $\log C$ の推移
Fig.5 Relation between the measurement times and $\log C$.

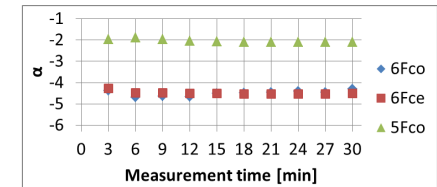


図6 測定時間と α の推移
Fig.6 Relation between the measurement times and α .

か確認するために、実際の座標と推定した座標との RMSE を考察する。図 4 に、測定ポイントの数を横軸として、その RMSE をプロットしたグラフを示す。測定ポイントの数にかかわらず、その誤差は 2.5~3.5 メートルの間で遷移しており、精度として 4 メートル以内の誤差を無視する場合には、 C と α の値とは無関係に必要な精度での位置推定が可能といえ、RSSI の減衰特性が明らかであれば多くの測定ポイントを必要としないということが分かる。このことは最尤推定法による推定方法と近似曲線による推定方法の比較によっても明らかとなる。

次に図 5、図 6 に 3 分ごとに累積した 10 カ所での測定データをもとに導出される C と α をプロットしたグラフを示す。このグラフから測定時間によりパラメータ C と α は大きく変化しないことが分かる。測定時間によりその値が大きく変化しないことから、適切なパラメータ C と α を決定するためには、測定時間は長時間である必要はないことが分かる。

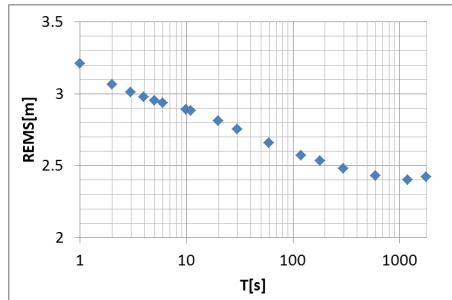


図 7 測定時間による位置推定精度への影響
Fig. 7 Variations of RMSE with the measurement times.

4.3 位置推定に要する時間の考察

この節では決定した C と α をもとに位置推定に必要なとなる測定時間を見積もるための考察を行う。 j 秒目に測定した RSSI を用いて位置推定を行った座標を (x_j, y_j) [$j = 1, \dots, T$] とすると、推定した座標の T 秒間の平均をとった座標 $P_T(x, y)$ は

$$P_T(x, y) = \left(\frac{1}{T} \sum_{j=1}^T x_j, \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T y_j \right) \quad (8)$$

と表すことができる。図 7 に横軸に T 、縦軸に実際の座標と $P_T(x, y)$ との RMSE を示す。図 7 より、 $T \rightarrow T + 1$ としたときの RMSE の変化について考察すると、 $T = 1$ のときのその差は 14.7 cm となり、 $T = 3$ のときのその差は 3.3 cm、 $T = 5$ のときのその差は 1.7 cm、 $T \geq 10$ では 1 cm 未満の差しか見られなかった。その振幅は $T = 3$ や $T = 5$ で十分小さく、十分実用に耐える時間で推定結果を得られることが分かる。

4.4 位置推定計算プログラムの実行時間の考察

この節では作成した位置推定計算プログラムのデータの読み込み時間 T_{in} 、位置推定の計算時間 T_{cal} 、位置推定結果の出力時間 T_{out} の考察について述べる。それぞれの実行時間 T_{in} 、 T_{cal} 、 T_{out} は表 5 のように定義する。

測定ポイントである A から J の 10 カ所 で 10 分、20 分、30 分測定した RSSI のデータを用いて、それぞれ表 6 の環境で位置推定計算プログラムによる計算を 100 回繰り返したときの時間を測定し、その時間をデータ数で割り 1 秒の RSSI を処理するのに要した時間を考えると、それぞれの実行時間は表 7 のようになる。その結果、すべての場合において、

表 5 実行時間の定義

Table 5 Definitions of the run-time.

T_{in}	測定した RSSI の CSV ファイルを読み込みメモリに展開する時間
T_{cal}	メモリ上に展開した RSSI のデータから位置推定の計算を行い、推定した座標を別の配列に格納するまでの時間
T_{out}	メモリ上の座標データの配列をファイルに書き込むまでの時間

表 6 プログラム実行時間測定で用いた PC 環境

Table 6 PC specifications in the program run-time measurements.

PC	Dell vostro 1520
OS	Windows XP Professional SP3 32 bit
CPU	Intel(R) Core(TM)2 Duo P8700 2.53 GHz
メモリ	4 GByte

表 7 プログラム実行時間の測定結果

Table 7 Measurement results of the program run-time.

実行時間 [μ s]	10 分平均	20 分平均	30 分平均
T_{in} [μ s]	2.84	1.81	1.53
T_{cal} [μ s]	51.72	47.60	50.45
T_{out} [μ s]	3.70	2.18	1.62
合計 [μ s]	58.26	51.42	53.60

取得した 1 つの RSSI のデータから位置推定結果を出力するまでの一連の処理を 1 秒未満で実行できることを示しており、推定結果の処理に時間を要することはないと考えられる。

4.5 最尤推定法の有効性の考察

この節では、測定した RSSI から式 (1) の近似曲線を用いて求めた 3 つの AP との距離、測定した RSSI から最尤推定法を使って位置推定を行った座標と 3 つの AP との距離を求め、それぞれ実際の距離との誤差の平均を求め、その累積確率を比較した。その結果を図 8 に示す。

この結果、式 (1) の近似曲線により推定した距離の平均誤差は 1.56 m、最尤推定法を使って求めた距離の平均誤差は 1.22 m となり、その差の 0.34 m ($t = -42.68$, $P < 0.01$) が有意な差であることが確かめられた。このことから、最尤推定法を用いた場合、精度が約 22%向上することが分かった。

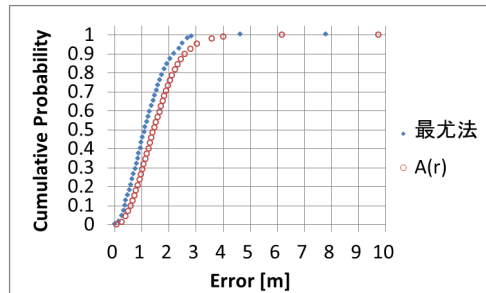


図 8 近似曲線による推定結果の誤差の累積確率と最尤推定法による推定結果の誤差の累積確率
Fig. 8 Cumulative probability of regression estimation error and maximum likelihood estimation error.

5. ま と め

本論文では、総合情報基盤センターに既設の AP から受信する RSSI を用い、最尤推定法により位置推定を行い、推定結果の精度をもとに屋内における位置情報を取得するシステムを構築する場合に必要なと考えられる条件について考察を行った。この結果、事前測定の測定ポイントの数、事前測定の各測定ポイントでの測定時間、位置推定に必要なとなるインプットデータの数、最尤推定法の有効性について知見を得ることができた。これらの結果により、利用するユーザが求める精度に合わせ、事前の測定ポイント数や測定時間、推定結果を出力するためのインプットに必要なデータ数を判断することができるようになった。我々はこの結果を多くのユーザに利用してもらい、既設 AP の有効利用を期待する。

参 考 文 献

- 1) 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田 晃: 無線 LAN を用いた屋内ユーザ向け位置測定方式 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 (DICOMO 2004) シンポジウム論文集, pp.349-352 (2004).
- 2) Patwari, N., Ash, J.N., Kyperountas, S., Hero, III, A.O., Moses, R.L. and Correal, N.S.: Locating the nodes, *IEEE Signal Process. Mag.*, Vol.22, No.4, pp.54-69 (2005).
- 3) 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, 電気学会論文誌ホームネットワーク特集号, Vol.126, No.10, pp.1212-1220 (2006).
- 4) 小野昌之, 福井 潔, 柳原健太郎, 福永 茂, 原 晋介, 北山研一: 無線を使った位置検出, 沖テクニカルレビュー, 第 204 号, Vol.72, No.4 (2005).

- 5) IBS 株式会社: Ekahau ポジショニングエンジン 4.0 .
<http://www.ibsjapan.co.jp/products/EE.html>
- 6) 趙 大鵬, 高島雅弘, 柳原健太郎, 武次潤平, 福井 潔, 福永 茂, 原 晋介, 北山研一: センサネットワークにおける受信信号電力を用いた最尤位置推定法, *IEICE Technical Report*, Vol.104, No.690, pp.409-414 (2005).
- 7) Zemek, R., Takashima, M., Zhao, D., Hara, S., Yanagihara, K., Fukui, K., Fukunaga, S. and Kitayama, K.: Effect of walking people on target location estimation performance in an IEEE 802.15.4 wireless sensor network, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E90-B, No.10, pp.2809-2816 (2007).
- 8) Hara, S., Zhao, D., Yanagihara, K., Taketsugu, J., Fukui, K., Fukunaga, S. and Kitayama, K.: Propagation Characteristics of IEEE 802.15.4 Radio Signal and Their Application for Location Estimation, *Proc. 61st IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2005-Spring)*, Vol.1, pp.97-101 (2005).
- 9) Patwari, N., Hero III, A.O., Correl, N.S. and R.J. O: Relative location estimation in wireless sensor networks, *IEEE Trans. Signal Processing* (2003).
- 10) Niculescu, D. and Nath, B.: Ad hoc positioning system (APS) using AOA, *IEEE INFOCOM '03* (Apr. 2003).
- 11) Ilyas, M. and Mahgoub, I.: Handbook of Sensor Networks: *Compact Wireless and Wired Sensing System*, CRC Press (2004).
- 12) Liu, J., Reich, J. and Zhao, F.: Collaborative in-network processing for target tracking, *EURASIP J. Applied Signal Processing*, Vol.4, pp.378-391 (2003).
- 13) 中矢 猛, 杉浦彰彦: 周波数ホッピングを用いた近距離無線通信方式の他局間干渉低減法の影響評価, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp.2912-2924 (2003).
- 14) 中矢 猛, 杉浦彰彦: 周波数ホッピングを用いた近距離無線通信におけるパケット送受信タイミングのズレ量の影響, 電子情報通信学会技術研究報告 CS, 通信方式, Vol.101, No.670, pp.9-14 (2002).

(平成 22 年 9 月 17 日受付)

(平成 22 年 11 月 28 日採録)



川村 諒

2010 年熊本大学工学部卒業。現在、同大学院自然科学研究科博士前期課程在学中、ネットワーク関係の研究に従事。



久保田真一郎（正会員）

1975年生まれ．熊本大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了．鹿児島大学学術情報基盤センター事務職員，同センター技術職員を経て，2007年より熊本大学総合情報基盤センター助教．同大学社会文化科学研究科教授システム学専攻専任教員．博士（理学）．無線ネットワーク，ITによる教育学習支援システムおよびその設計等の研究分野に従事．教育工学会，教育システム情報学会，ACM各会員．



副島 慶人

2009年熊本大学工学部数理情報システム工学科卒業．現在，同大学院自然科学研究科情報電気電子工学専攻博士前期課程在学中．無線LANを用いた位置推定に関する研究に従事．



古川 誠一

2009年熊本大学工学部卒業．現在，同大学院自然科学研究科博士前期課程在学中．ネットワークトラフィック特定の研究に従事．



杉谷 賢一（正会員）

1959年生．1984年熊本大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了．同年熊本大学工学部情報工学科助手．1994年熊本大学総合情報処理センター助教授．2004年より熊本大学総合情報基盤センター教授．教育システム・サポートアプリケーションの開発ならびにサーバ運用管理システムの開発に従事．IEICE，JSET各会員．