

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

伊藤 誠悟[†] 河口 信夫^{†‡}

本論文では、既設の無線 LAN アクセスポイントと、既存の無線 LAN アダプタ付ノート PC を用いて端末の位置推定を行う手法とその応用を提案する。本手法では、位置推定を行う場所において各無線 LAN アクセスポイントからの電波強度を事前に測定し、ユーザはそれらを事前モデルとして保持する。ユーザは事前モデルと現在ユーザが観測できる無線 LAN アクセスポイントの電波強度を用いて現在位置を推定する。本システムを用いることによりユーザは、不要な人物に位置情報を知られることがなくユーザ自身が必要な時に位置推定を行うことができる。名古屋大学 IB 電子情報館において本システムの評価実験を行い本手法の有用性を確認できたので報告する。

Indoor Location estimation system and application using Wireless Ethernet

Seigo ITO[†] Nobuo KAWAGUCHI^{†‡}

In this paper, we propose a location estimation system and an application using existing wireless access points. We use signal strength of access point and Bayesian inference to estimate user location. Our system allows users to know his/her location when they want without beacon searched by System Administrator or unexpected person. We exemplify the effectiveness of this method with the experiment in Nagoya University.

1. はじめに

昨今、無線 LAN の利用は大学、企業、自宅といった環境だけではなく、駅、空港、娯楽施設や商店街等多くの場所で可能となっている。更に、無線 LAN 機能搭載の携帯電話[1]も発表され、今後ますますあらゆる場所での利用が可能となることが予想される。このような状況下で無線 LAN を利用した位置推定システムがいくつか提案されているが、位置推定用の専用ハードウェアを必要とする場合や、プライバシーの問題に十分に配慮しているものが少ないという問題点がある。本稿では既存に設置されている汎用の無線 LAN アクセスポイント（以下 AP とする）と無線 LAN アダプタを搭載したノート PC を用いた位置推定システムの提案を行う。本手法では AP からの電波強度を事前に測定し、ユーザはそれらを事前モデルとして保持する。ユーザは事前モデルと現時点でユーザが観測できる AP の電波強度より現在位置を推定する。本システムの実装と名古屋大学 IB 電子情報館における評価実験を行い、システムの有用性を確認できたので報告する。

2. 位置推定システム

本章では既に実用化もしくは現在研究されている位置推定システムの概要と、無線 LAN を用いた位置推定システムについて述べる。

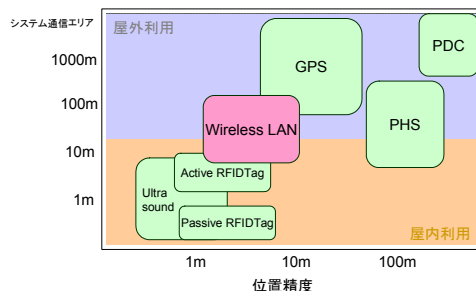


図 1 さまざまな位置推定システム

2.1. 既存位置推定システム

近年、多様なインフラやハードウェアを用いた位置推定システムが登場しており、サービス段階から研究段階のものまで非常に多岐にわたる。現在ではサービスの用途や利用可能な環境に応じて、各システムの使い分けが行われている。主に屋外で利用されている位置推定システムとしては GPS (Global Positioning System)[2]を利用したシステム、PHS (Personal Handy phone System)[3][4]を利用したシステム、PDC (Personal Digital Cellular)[5]を利用したシステムなどがあり、広域での位置推定サービスを提供している。これらのシステムは衛星電波の受信ができない(GPS)、位置推定精度が低い(PDC,PHS)などの理由により屋内での利用は困難である。屋内用途の位置推定システムとしては、超音波を利用したシステム[6][7]、RFID (Radio Frequency Identification)を利用したシステム[8]、無線 LAN を利用したシステム(2.2節)がある。多くのシステムでは位置推定用の専用

名古屋大学大学院情報科学研究科(Graduate School of Information Science, Nagoya University)[†]
名古屋大学情報連携基盤センター(Information Technology Center, Nagoya University)[‡]

ハードウェアを必要とし、低コストかつ容易に構築することの出来るシステムは少ない。本稿における無線 LAN を利用したシステムはシステム通信エリア、位置精度の観点から屋内屋外の間にあたる。これら位置推定システムを通信エリアと位置精度の観点からシステム間の関係を表したものが図 1 である。

2.2. 無線 LAN を用いた位置推定システム

無線 LAN を用いた位置推定システムとしては大きく次の 3 つの方式に分類することができる。

• セル ID 方式

端末が現在接続している AP のカバーする範囲(セル)を現在の端末の位置として推定する方式。端末側に AP の MAC アドレスと所在データを保持するだけで位置推定出来るが、AP の通信エリア全域が位置推定の精度となり、位置推定精度が低いという問題がある。

• TDOA (Time Difference of Arrival)方式

AirLocation[9][10]が採用している方式。端末が発する位置要求エコーを、複数の AP が受信し、AP 間におけるエコー受信タイミングのずれと、各 AP が保持する内部時計の誤差を加味して端末の位置を推定する方式。このシステムでは汎用の AP ではなく専用の AP を必要とする。

• 電波強度 (RSSI : Received Signal Strength Indication)方式

受信電波強度を利用して端末の位置推定を行う方式。電波強度の利用方法によりさらに複数の方式がある。RADAR[11]では AP で電波強度を測定し、電波の距離特性を加味して端末の位置を推定する。WiPS[12]では電波強度を測定する側と測定される側の役割をなくしすべての無線 LAN 端末を用いてそれらの距離特性を加味し位置推定を行う。上記システムは電波の距離特性から位置を推定しているため干渉や反射によるマルチパスの問題がある。Ekahau[15]では事前に電波強度を測定しておき、それらをサーバに保存しユーザからの問い合わせに応じて位置推定を行う。本システムは電波強度方式に属する。

2.3. 位置推定システムにおける課題

位置推定システムにおける問題のうち大きな問題として以下 2 つがある。

• プライバシー問題

多くの位置推定システムでは、端末の位置情報はシステム側の管理者に知られており、ユーザはシステム側を完全に信頼しなければいけない。GPS、PDC、PHS を利用した位置推定システムのような屋外での位置推定レベル(例えば建物 A にいる、公園 B にいる)と異なり屋内での位置推定システムは精度が高いものが多い。このため人に知られたくない部屋や場所などにいる場合において、システム側、もしくは予期していない人物にユーザの位置を検知・把握されることというのは好ましくない。(Geo-Privacy [13][14])

• 導入容易性

位置推定システムを導入する際に位置推定のためだけに専用の高価なハードウェアを環境側へ設置することや、ユーザに位置推定のためだけの専用の端末を持たせるということはシステム導入の際の大きなハードルとなる。

次に、無線 LAN を用いた位置推定システムのうち電波強度方式における課題としては以下のものがある。

• 受信電波強度のゆれ

ある場所において端末が受信する AP 毎の電波強度は一定ではなく、予期せぬ妨害やチャンネル間での干渉など多様な理由で変化し、予測するのが非常に困難である。さらに受信電波強度は端末を保持しているユーザと AP との方向関係によって大きく変化する。

例えば、図 2 に示すように、ある AP から 5m 離れた場所に無線 LAN を搭載したノート PC を自身の前側に持ちながら立っているユーザがいるとする。この時 AP と逆方向、AP 側と順方向にそれぞれ 10 分間電波強度とノイズの比 SNR (Signal Noise Ratio)を測定した結果は図 3 となる。順方向(方向 B : 図 3 右図)で SNR の分布を取得した場合、端末が受信場合は端末が受信した SNR は 53db~55db で全体の 8 割以上を占めているのに対し、逆方向

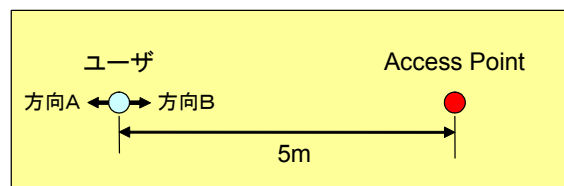


図 2 異なる方向での電波強度測定

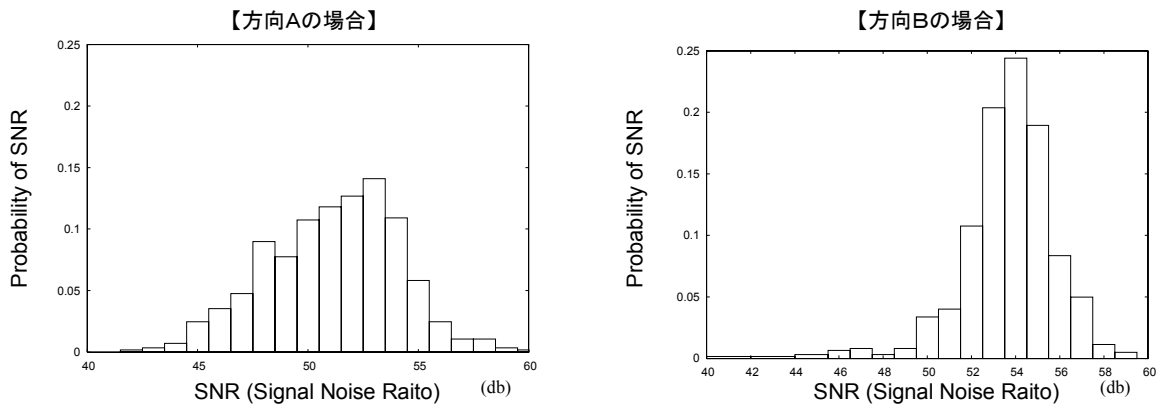


図 3 同一場所で異なる方向の SNR 分布

(方向 A : 図 3 左図) で SNR を取得した場合は SNR の分布が広がった結果となっている。このため位置推定の際には電波強度を観測している方向も考慮する必要がある。

● マルチパス等の問題

電波強度を利用する方式のうち電波の距離特性から位置を推定するモデルにおいて必ず問題となるのが反射によるマルチパスや干渉等による雑音の問題である。特に屋内においてはこれらの予測が非常に困難である。

● 電波強度データベースの構築方法

電波強度方式のうち電波強度を事前測定するモデルにおいて最も大きな課題として考えられることは、位置推定のための電波強度データベースをどのように構築するかである。このモデルにおいて事前測定は位置推定に必須であるため、電波強度データベースを効率よくかつ広域に構築することは重要である。

2.4. 本システム概要

2.3 節の課題を考慮しつつ、本システムは次の特徴を持っている。

● クライアントベースでの位置推定

本システムでは、不要な対象から位置推定されることを防ぐために位置推定のための計算は端末で行う。事前測定した電波強度のデータベースを端末側に持たせ、ユーザが自身の位置推定が必要となった際に、現在の状態で取得可能な AP の受信電波強度と電波強度データベースを用いて3章のアルゴリズムにより位置推定を行う。

● 既存 AP の利用

本システムでは、既存 AP、無線 LAN アダプタ付端末、本システムソフトウェア (Java)

を用いて位置推定を行う。このため位置推定の専用ハードウェアを新規に導入する必要がなく、端末は無線 LAN アダプタを持っていればよい。これにより容易なシステム導入が可能となる。

● 電波強度分布としてのリクエストと多方向測定

図 3 で示したように同一場所で同一方向を向き続け停止したまま電波強度を受信した場合においても、受信電波強度は大きく変化する。このため本システムでは、端末からの位置推定リクエストをある時点での電波強度ではなく一定期間の電波強度分布としている。方向による電波強度分布の違いについては複数方向の電波分布を取得し、電波強度データベースに保存する場合に座標情報に加え方向情報も端末状態として加えている。

● 事前観測結果を利用した位置推定

マルチパス等の問題は非常に難しい問題である。このため本システムではマルチパス等の予測を行うのではなく、干渉やマルチパスを含めた事前観測電波強度の事前観測を十分に行っておき、事前観測の結果を利用して、ベイズ推定を用いた位置推定を行う。

● ユーザのコラボレーションと移動無線調査による電波強度データベース構築

電波強度データベースを効率よく大規模に構築するための一つ目の方法としてはユーザのコラボレーションによるデータベース構築が考えられる。例えば、講義室などにおいてユーザは端末を持ちながら一定時間同じ状態にとどまる (教壇側を向いて授業を受ける)。このときに端末に電波強度のソフトウェアを起動してもらい、そのユーザがい

る場所で観測を行った結果を事前観測として用いる方法である。二つ目の方法としては移動無線調査によるデータベースの構築が考えられる。車や自転車に無線 LAN AP を探索するためのソフトウェアを搭載させ、移動しながら AP を発見する。移動しながら動的に電波強度データベース構築を行えば、データベース構築の負担はいくらか軽減する。しかし移動しながら無線調査を行う際の問題として、現在どの場所の電波強度データベースを構築しているか知る必要がある。屋外の場合では GPS による座標とのマッピングが行うことが可能であるが屋内では利用できない。このため現在我々は、屋内での移動無線調査を可能とするために、相対的な移動距離と現在向いている方向を取得する機能を備えた Segway[16]を開発中である。これにより屋内でも移動無線調査を実施することが出来る。



図 4 屋内外で移動無線調査可能な Segway

3. 位置推定アルゴリズム

本システムで端末の位置推定を行うステップは大きく分けて次の 2 ステップである。

- **Survey Step** : 無線 LAN アダプタ付き端末を用いて、ある状態における AP 毎の電波強度を観測。観測した電波強度データをデータベース化する。
- **Estimation Step** : 端末は一定時間ある場所で AP の電波強度の観測を行う。Survey Step で取得した電波強度データと端末がその時点で取得した AP の電波強度分布を用い

て端末の状態を推定する。通常時のユーザの利用方法としては Survey Step は行わず、電波強度データベースを事前取得しておく Estimation Step のみを行う。

3.1. Survey Step

Survey Step においては、それぞれの場所において AP 毎の電波強度事前観測を行い、事前モデルとしてデータを蓄積する。ユーザが Survey Step において電波強度の事前観測をする際の状態集合を S とする。

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad (3.1)$$

(3.1)における各状態 s_k は、ユーザが現在向いている方向 θ 、ユーザが現在いる x 座標、 y 座標より構成される。(k は状態の数)

$$s_k = (\theta_k, x_k, y_k) \quad (3.2)$$

ユーザはある状態 s_k において各 AP の電波強度の観測を行う。各観測 o は、観測した AP の Mac Address β と SNR の値 α の組 (β, α) より構成される。(n は観測 o で得られた AP の個数)

$$o = \{(\beta_1, \alpha_1), (\beta_1, \alpha_2), (\beta_2, \alpha_3), \dots, (\beta_n, \alpha_j)\} \quad (3.3)$$

(3.3)より、状態 s_k における各 AP β から取得できる SNR α の確率分布 $P(\alpha | \beta)$ と観測 o における AP β の頻度 γ を計算する。これらより状態 s_k において o を観測する確率分布 $P(o | s_k)$ を以下のように定める。

$$P(o | s_k) = \left(\prod_{i=1}^n P(\alpha | \beta_i, s_k) \cdot P(\gamma_i | s_k) \right) \quad (3.4)$$

$P(\alpha | \beta_i, s_k)$ は状態 s_k において Mac Address β の AP が SNR α で観測される確率分布、 $P(\gamma_i | s_k)$ は状態 s_k における、ある AP i の観測全体に対する頻度である。これより Survey Step において観測 o を得た場合に状態 s_k にある確率分布すなわち事後確率分布をベイズ推定より以下の式を用いて計算する。

$$P(s_k | o) = \frac{P(s_k) \cdot P(o | s_k)}{\sum_{k=1}^n P(s_k) \cdot P(o | s_k)} \quad (3.5)$$

$P(s_k)$ はユーザが状態 s_k にある事前確率分布を表し、Survey Step においては一様分布とする。 $P(o | s_k)$ は (3.4) の定義により計算する。(3.5) により計算した事後確率分布を保持し Estimation Step において利用する。また本システムでは、

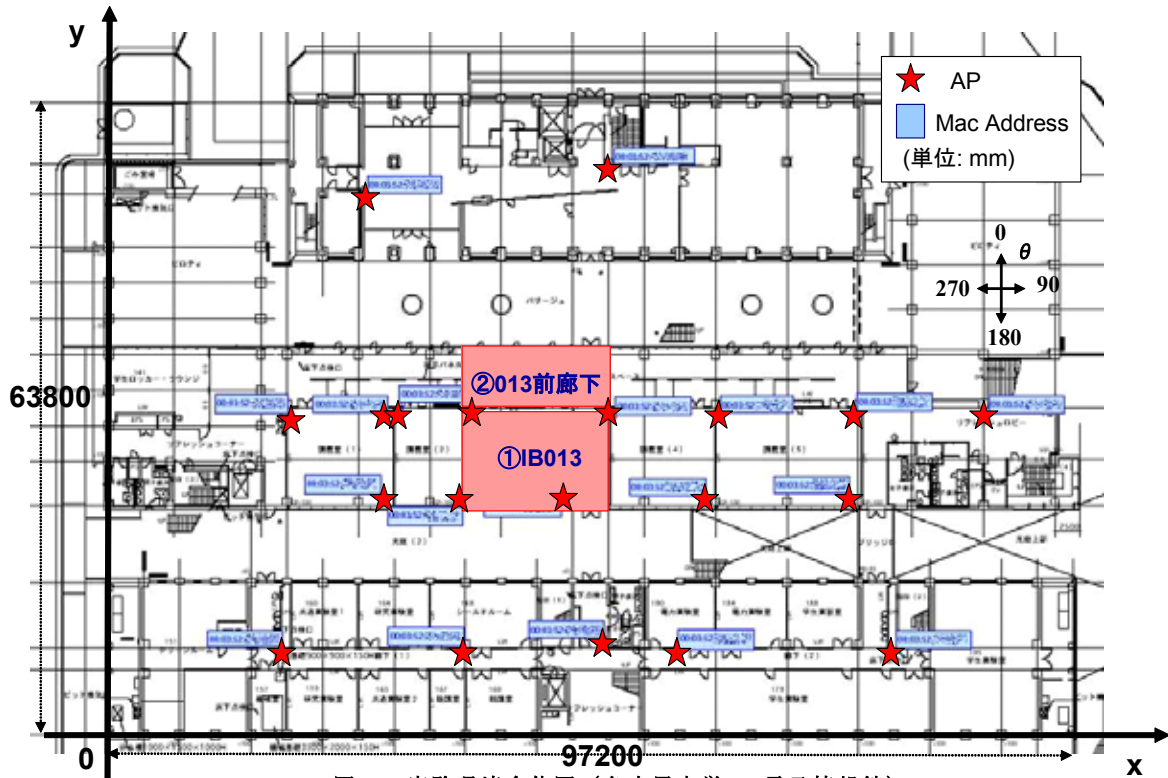


図 5 実験環境全体図 (名古屋大学 IB 電子情報館)

観測を行ったサンプル地点の状態以外の状態補完モデルとしてサンプル地点からの IDW (Inverse Distance Weighting) を用いて補完処理を行った。IDW 補完を行う間隔と範囲はあらかじめ設定しておく。

3.2. Estimation Step

ユーザは位置推定を行いたい場所において無線 LAN AP からの受信電波強度を一定時間測定する。この観測を o_2 、Survey Step における事前観測を o_1 とする (o_1, o_2 は独立とする)。(3.5) において分母は分子の項が分かれば容易に得られるため分母を定数とみなした場合、

$$P(s_k | o_1) \propto P(s_k)P(o_1 | s_k) \quad (3.6)$$

を得る。(3.6) にて観測 o_1 を与えた後に観測 o_2 を与えた場合、 o_2 は o_1 と独立なため、

$$P(o_1 | s_k, o_2) \propto P(o_1 | s_k)P(o_2 | s_k) \quad (3.7)$$

となる。したがって、観測 o_1 の後 o_2 を得た場合にユーザが状態 s_k にある確率分布 $P(s_k | o_1, o_2)$ は

$$\begin{aligned} P(s_k | o_1, o_2) &\propto P(s_k)P(o_1 | s_k, o_2) \\ &\propto P(s_k)P(o_1 | s_k)P(o_2 | s_k) \\ &\propto P(s_k | o_1)P(o_2 | s_k) \end{aligned} \quad (3.8)$$

となる。すなわち Survey Step の (3.5) で求めた事

後確率分布 $P(s_k | o_1)$ を Estimation Step における事前確率分布とすればよい。これらより、Estimation Step における事後確率分布 $P(s_k | o_1, o_2)$ は、

$$P(s_k | o_1, o_2) = \frac{P(s_k | o_1) \cdot P(o_2 | s_k)}{\sum_{k=1}^n P(s_k | o_1) \cdot P(o_2 | s_k)} \quad (3.9)$$

となる。(3.9) で得た事後確率分布は Estimation Step における観測を行った場合にユーザが状態 s_k にある確率分布である。この事後確率分布より以下のステップを経てユーザの位置推定結果とする。

- $P(s_k | o_1, o_2)$ に含まれる s_k の座標系を複数の S_k を含む一定の大きさのグリッドで探索
- $P(s_k | o_1, o_2)$ より各グリッドの期待値を計算し期待値が最も高いグリッドを選択
- 期待値が最も高かったグリッドの重心を位置推定結果として端末へ回答する

$P(s_k | o_1, o_2)$ で得た最も確率の高い状態 s_k をそのまま推定結果としているのではなく上記のような計算を行っている理由は、観測 o_2 が本来の正解場所とまったく異なるある一つの状態 s_k でのみ事後確率が高くなるという事象を確認したため、一定の領域として事後確率が高い場所を推定場所として回答するように現在では実装している。

4. 評価実験

3章で示したアルゴリズムに従って、Java 2 Platform Standard Edition 1.4.2 によりシステムを実装した。また、本システムの有用性を確認するために名古屋大学 IB 電子情報館にて評価実験を行った。

4.1. ハードウェア

電波強度測定のために本実験で用いたノート PC・無線 LAN カードは以下ハードウェアである。(Survey Step, Estimation Step ともに利用)

- ノート PC : 東芝 DynaBook SS3500 DS/EP/2
- 無線 LAN カード : PROXIM ORiNOCO 11a/b/g Combo Card

また、IB 電子情報館に固定設置されている無線 LAN AP は以下のハードウェアである。

- AP: Colubris Networks CN-320

4.2. 実験環境全図

図 5 は本実験対象がある名古屋大学 IB 電子情報館 1F の環境全体図と環境内における無線 LAN AP 配置図を示している。現在、IB 電子情報館では無線 LAN AP を約二百個（建物固定設置 AP, 研究室独自で設置している AP 含む）確認しており、さらに名古屋大学全体では約三百数十個の AP を確認している。今回の実験では IB 電子情報館にある AP のうち建物に固定で設置されている AP の電波強度を位置推定のための情報として利用し、その他研究室毎に独自に設置されている基地局に関してはフィルタリングを行った。図 5 の全体図の左下、建築物の南西の端を x, y の原点（単位 mm）とし、地図上側から時計回りに θ を $0 \sim 360$ とする。

4.3. 実験 1: 講義室内

第 1 の実験として図 5 の①にあたる IB013 講義室にて評価実験を行った。図 6 は IB013 講義室の拡大図である。IB013 講義室は座席側と教壇側に分かれており座席側には 9 列にわたり計 103 席の座席と机が設置されている。教壇側には特に障害物はない。この講義室内に設置されている無線 LAN AP は 2 箇所（図 5 中の★印）のみであるが、講義室内からは他の講義室に設置されている AP や廊下に設置されている AP などからの電波強度を取得することが可能であり、常時 30 個前後の AP を講義室内から観測することが出来る。

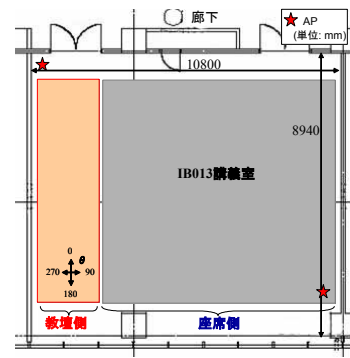


図 6 IB013 講義室詳細図

(Survey Step)

事前電波強度測定として座席がある座席側と教壇がある教壇側に分けてそれぞれ電波強度の測定を行った。座席側では、実際の位置推定シーンとして $\theta=270$ すなわち教壇側を向いていることがほとんどと考えられるため、 $\theta=270$ で全座席 103 席 (12*9 席:一部 9 列の箇所あり) に対して 1 分間の電波強度測定を実施した。教壇側では $\theta=0, 90, 180, 270$ に対して 1000mm 間隔で 1 分間の電波強度の測定を行った。Survey Step におけるデータ総数は、ある時点で観測した Mac Address と SNR の一つの組 (α, β) を 1 個とした場合、209267 個である。

(Estimation Step)

Survey Step を行った日時と異なる日時に Estimation Step を実施した。全 103 の座席のうちユーザは 5 箇所の席に座り、教壇方向を向きながら端末を机の上に置き受信電波強度を測定した。30 秒間に端末が取得することができる受信電波強度分布を 1 回分の位置推定リクエストとし、計 100 リクエストの電波強度分布測定を実施した。Estimation Step における 1 リクエストの平均データ数は 631 個である。

4.4. 実験 2: 講義室前廊下

第 2 の実験として図 5 の②にあたる講義室前廊下にて実験を行った。IB 電子情報館 1F の講義室前廊下に AP は設置されておらず、講義室内や他の廊下に設置されている AP からの電波強度を測定する。

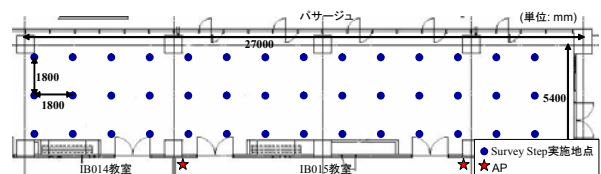


図 7 講義室前廊下詳細図

(Survey Step)

事前電波強度測定として本実験では 1800mm 間隔で $\theta = 90$ に対してそれぞれ 1 分間の電波強度測定を実施した。図 5 に Survey Step で事前測定を実施した地点を示す。実験 2 における Mac Address と SNR の組の総数は 152266 個である。

(Estimation Step)

実験 1 の場合と同様に Survey Step を行った日時と異なる日時に Estimation Step を実施した。図 7 の 5 箇所地点で、1 分間の受信電波強度分布を 1 リクエストとし、各状態において 20 リクエスト分の電波強度分布を測定した。各場所 20 リクエスト分、全 100 リクエストに対して位置推定を行った。

5. 実験結果

5.1. 実験 1: 講義室内

講義室内実験での、各リクエストにおける正解場所からの推定誤差 mm(x 軸)とリクエスト全体のうち何割のリクエストがその誤差の範囲内にあるか(y 軸)を表した結果を図 8 に示す。図より講義室内実験においては全リクエストのうち 35% が位置推定誤差 3m 以内という結果を得た。このような結果なった原因としては実験 1 をおこなった IB013 講義室の大きさが 10000mm \times 8940mm とそれほど大きくなく、さらに講義室の 4分の 3 をしめる座席が鉄筋を含んでおり、鉄筋を含んだ机の上に端末を設置したため、非常に厳しい条件となり、反射等により電波強度分布が大きく乱れたためであると考えられる。

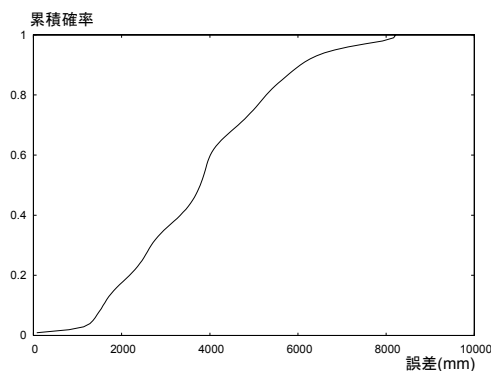


図 8 講義室内実験の推定誤差

5.2. 実験 2: 講義室前廊下

講義室前廊下実験における推定誤差と全体のリクエストに対する割合のグラフを図 9 に示す。図 9 より講義室前廊下実験においては全リクエストのうち 53% が位置推定誤差 2m 以内、81% が位置推定誤差 3m 以内という結果を得た。

実験 1 の講義室内実験より位置推定精度が向上している原因としては、実験 2 においては実験 1 のように鉄筋を含んだ机や椅子が至近になく (IB 電子情報館は当然鉄筋)、さらに見通しが比較的好かったため、環境条件がそれほど厳しくなかったためであると考えられる。

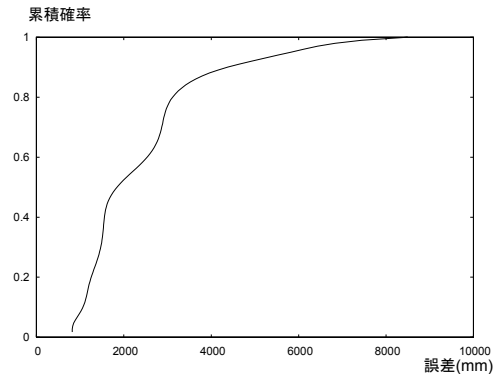


図 9 講義室前廊下実験の推定誤差

6. アプリケーション例

本システムを用いることにより、ユーザは無線 LAN アダプタ付き端末を保持するだけで自身の位置情報を容易に取得することができる。本研究では、位置情報を活用するアプリケーションの一つとして「インスタントメッセージ等プレゼンスツールに対し、ユーザの位置情報を自動的に付与するソフトウェア」を実装した。現在我々の研究室の多数の人がインスタントメッセージにおけるユーザ名の後ろに「@」を付けて「ユーザ名@現在場所」という利用を行い、プレゼンス情報に対し手動で粗い位置情報を付与している。本ソフトウェアは、この「@現在場所」の部分で端末が受信できる AP の電波強度により自動的に変更する。図 10 は河口らが開発中であるネットワーク機器間の連携を支援するミドルウェア Cogma (Cooperative Gadget for Mobile Applications)[17] 上で動作しているインスタントメッセージである。Cogma メッセージは MSN メッセージとしても利用できかつ独自のサーバを建て独自メッセージとしても利用することができる。本システムは「@現在場所」の現在場所指定を部屋単位より細かく指定することが可能な精度を保持している。しかしこのアプリケーションの利用シーンにおいては部屋単位程度で場所を指定できればよく、本システムはアプリケーションからの要求性能を十分に満たしている。

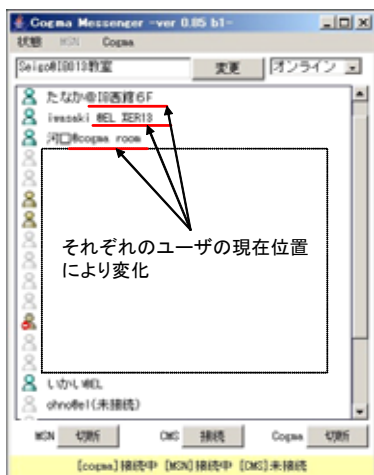


図 10 Cogma Messenger

7. まとめ

実環境における無線 LAN AP を用いた位置推定システムについての提案をした。本システムでは、既存の無線 LAN AP の電波状態から位置を推定する。このため端末に特別なハードウェアを利用せず容易に構築できる。またクライアントベースの位置推定となっているため、位置推定におけるプライバシー問題にも対応している。本システムを用いたアプリケーションの一例として、プレゼンスツールに位置情報を自動的に付与するアプリケーションを示した。TDOA 方式の代表的なシステムである AirLocation では文献[9]において屋内環境実験では 3.3m 誤差で 67% であると報告しており、本システムでは実験結果 2 より、屋内環境において全リクエストの 81% が推定誤差 3m 以内という結果を取得した。屋内実験の実験領域の大きさや建築物の違いこそあれ、本システムの結果は遜色のない結果となっている。電波強度方式のシステムである Ekahau システムではホームページ[15]上において平均 1m で位置推定を行うことができると記述されているが、どのような環境においてどういう実験を行ったかの詳細文献がないため現時点で比較を行っていない。これらより本システムの有用性を確認できた。

今後の課題として、今回はユーザが停止した状態での静的な位置推定のみを行っていたが、ユーザの移動履歴を考慮した位置推定についても検討する。また今回実験を行った名古屋大学 IB 電子情報間 1F はさまざまな学会の総合大会や研究会でよく利用されるのでこのような会議における会議支援として、かつ学期中の学生に

対する位置推定サービスとしてサービス提供を目指している。加えて本手法の 3 次元空間への拡張も検討している。

参考文献

- [1] N900iL <http://www.nttdocomo.co.jp/>
- [2] Rashmi Bajaj, Samanth Lalinda Ranaweera, and Dhara P. Agrawal “GPS Location Tracking Technology,” *IEEE Computer*, Vol. 35, No. 4, PP.92-94, 2002.
- [3] いまどこサービス <http://www.nttdocomo.co.jp/>
- [4] ココセコム <http://www.855756.com/>
- [5] オープン i エリア <http://www.nttdocomo.co.jp/mc-user/i/>
- [6] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggle, Andy Ward and Paul Webster, “The anatomy of context-aware application” *Proceedings of fifth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MOBICOM’99)*, pp. 59-68, 1999.
- [7] N. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan. The Cricket Location Support System. In *Proc. Of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM2000)*, pp32-43, Boston, August 2000.
- [8] *Wireless Technologies for Ubiquitous Services*. NTT Technical Review December 2003 Vol.1 No.9
- [9] 萩野敦, 他. 無線 LAN 統合アクセスシステム - 位置検出方式の検討, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム (DICOM02003), pp. 569-572
- [10] 無線 LAN 位置検知システム「日立 AirLocation(TM)」 <http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/solutions/ssup/airlocation/>
- [11] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, “RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System,” *IEEE Infocom 2000*, pp. 775-784, 2000.
- [12] 北須賀 輝明, 他. 無線 LAN を用いた屋内向けユーザ位置測定方式 WiPS の実装, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム (DICOM02004), pp. 349-352.
- [13] Jon Peterson, *Geographical Location on the Internet: Architectures for Privacy and Policy*. EMERGING TECHNOLOGY CONFERENCE, San Diego CA, February 2004
- [14] *Geo Location & Privacy* <http://ecotroph.net/blojsom/blog/geopriv/>
- [15] Ekahau - <http://www.ekahau.com/>
- [16] Segway - <http://www.segway.com/>
- [17] 河川信夫, 稲垣康善, “cogma: 動的ネットワーク環境における組み込み機器間の連携用ミドルウェア,” *情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム論文集*, pp. 1-8, 2001. <http://www.cogma.org/>