

# Particle Filter を用いた複数無線 LAN 基地局の位置推定手法

鈴木啓之<sup>†</sup>

伊藤誠悟<sup>†</sup>

河口信夫<sup>††</sup>

近年、無許可での無線 LAN 基地局の設置などに対応するため、無線 LAN 基地局の位置を特定するニーズが増えている。無線 LAN 基地局の位置推定手法として、佐藤らのベイズ推定による自走機と指向性アンテナを用いた手法が挙げられる。しかし、複数の無線 LAN 基地局を同時に位置推定するには計算量が大きく、計算量の少ない手法を用いる必要があった。本研究では、指向性アンテナを搭載した自走機で走行し、自身の移動情報と電波強度のデータを取得する。その後、計算量を容易に少なく出来る Particle Filter を用いてデータを解析することにより複数の無線 LAN 基地局の位置を同時に推定することが出来る。

## Positioning Estimation Method for Multiple Wireless Accesspoints using Particle Filter

HIROYUKI SUZUKI,<sup>†</sup> SEIGO ITO<sup>†</sup> and NOBUO KAWAGUCHI<sup>††</sup>

Recently, needs to specify the position of Wireless Accesspoint are increasing for finding out rogue Accesspoint. In the previous research, the method that Sato uses Bayes estimation was picked out as positioning estimation method for Wireless Accesspoint. But, it is very hard to search multiple Wireless Accesspoints because of a large calculation amount. This method also uses self-propelled vehicle mounting directional Antenna and get self-position data and radio field strength. After that, analyzing that data using Particle Filter leads location estimate of position of multiple Wireless Accesspoints.

### 1. はじめに

近年、無線ネットワークの発達と普及により様々な問題が発生している。例えば、無許可での無線 LAN 基地局の設置が挙げられる。イベント会場などに無許可で無線 LAN 基地局を設置することにより、無線ネットワークを利用したデモを行おうとしていた発表者にトラブルが発生する可能性がある。他にも、ホットスポットが設置されている場所に無線 LAN 基地局を設置し、本来のホットスポットになりすまし、ID やパスワードの盗難などを行う EvilTwin ホットスポット<sup>1)</sup> を作ることが出来る。これらの無許可で設置された無線 LAN 基地局は、早急に探索し、除去する必要がある。このため、無許可で設置された無線 LAN 基地局の探索や、端末の位置を推定するための情報として無線 LAN 基地局の位置を推定するニーズが増えている。現在では無線 LAN 基地局の位置を推定する手法として

AirPatrol<sup>2)</sup> が挙げられる。専用の端末を探索したい環境に設置し、無線 LAN 基地局の位置推定を行う。このため、端末を設置していない環境において無線 LAN 基地局の位置推定を行うためには、基地局探索前に端末を設置するための時間が必要となる。また、Ekahau Site Survey<sup>3)</sup> などでも挙げられるが、探索の際に非常に時間がかかる。

本研究では、自走機<sup>4)</sup> を用いて、屋外で迅速に無線 LAN 基地局の位置推定を行える佐藤らの手法<sup>5)</sup> を改良し、屋内における無線 LAN 基地局探索の実現を目指す。無線 LAN 基地局の位置推定には、自走機の移動距離と方向、電波強度が必要となる。自走機の移動距離と方向は、光センサを用いてタイヤの走行距離を計測することにより求める。電波強度は指向性アンテナを用いて取得する。

本論文では、まず、第 2 章で無線 LAN 基地局の位置を推定する既存の手法を紹介する。第 3 章で、光センサを用いた自走機の移動距離計算手法を述べる。Particle Filter を用いた無線 LAN 基地局の位置推定手法を第 4 章で述べ、第 5 章で、これらを用いた位置推定システムを提案する。

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science, Nagoya University

<sup>††</sup> 名古屋大学大学院工学研究科  
Graduate Course of Engineering, Nagoya University

## 2. 既存の手法

無線 LAN 基地局の位置を推定する既存の手法として、Cirond 社の AirPatrol<sup>2)</sup> が挙げられる。AirPatrol Sensor を探索したい環境へ設置することにより Sensor が無線情報を収集分析し、無線 LAN 基地局の位置や違法な帯域の無線電波の検知を行う。Sensor 内にはエージェントベースのソフトウェアが内蔵されており、収集した情報が AirPatrol Enterprise software へ自動的に送信され、このソフトウェアが解析を行う。

Ekahu 社の Ekahau Site Survey<sup>3)</sup> は、探索したい場所でノート PC を持ち歩き、3 ~ 5 m 間隔で無線電波強度を計測し、無線 LAN 基地局の位置を推定できる。しかし電波強度を計測する度に端末の位置を地図上にクリックする作業が必要となりデータ収集に時間がかかる。

佐藤らによる指向性アンテナを用いた無線 LAN 基地局位置推定手法<sup>5)</sup> は、Global Positioning System (GPS)<sup>6)</sup> を用いて自走機の位置を取得し、方向センサによって自走機の方角を取得する。無線 LAN 基地局の電波強度は指向性アンテナを用いて取得する。無線 LAN 基地局の位置推定には事前に作成した電波強度モデルを使用している。これは、候補位置と自走機の距離、向き、取得した電波強度を入力し、事後確率を出力するモデルである。事後確率をベイズの定理に基づき計算することにより各候補位置の存在確率を求めている。屋内での位置推定には GPS を使用出来ないため、自走機の位置を取得する方法として、光センサを用いる。しかし、佐藤らの手法では、ベイズの定理の計算に時間を要し、光センサによってタイヤの走行距離を計測する間隔が長くなり、正確な計測が行えなかった。このため、自走機の位置取得精度が悪かった。

本研究では、仮説の数の増減により計算量の調整が容易な計算手法である Particle Filter<sup>7)</sup> を用いて、計算時間を短縮する。無線 LAN 基地局の位置推定において、自走機の位置を中心に固定し、自走機が移動した際に仮説を相対的に移動させる。これにより、自走機的位置ではなく、自走機の移動方向と移動距離のみで無線 LAN 基地局の位置推定を行えるようになった。また、自走機の移動距離を屋内でも取得可能にするため、自走機のタイヤに光センサを取り付け、タイヤの動きを観測し、自走機がどのように動いているかを計算する。

## 3. 光センサを用いた自走機の移動距離計算

本研究では、無線電波強度を取得する指向性アンテ



図 1 概観図

ナや、位置推定処理を行うノート PC を用いる。これらの機材を携帯して移動する必要があるため、これらの機材を搭載しても迅速な移動を行える自走機を移動手段として用いる。また、自走機はその場を動かずに回転出来るため、狭い場所でも方向を容易に変えることが出来る。本手法で用いる自走機を図 1 に示す。

以下では自走機的位置を取得する手法について説明する。まず、3.1 で、光センサで各タイヤの移動量を計測する手法を説明する。3.2 でタイヤの移動量を用いて、自走機の移動量を計算する手法を説明する。

### 3.1 タイヤの移動量取得

図 2 左に示すように、自走機のタイヤに反射板を取り付け、それを光センサで観測する。光センサは図 2 右で示すように一つのタイヤにつき、二つの光センサをペアにする。反射板は光を強く反射するため、それぞれの光センサは、反射板上にあるかどうかを光の反射量を元にして判断する。

まず、3.1.1 節のようでタイヤのカウント数を求める。次に 3.1.2 節のようにカウント数を基にタイヤの走行距離を求める。

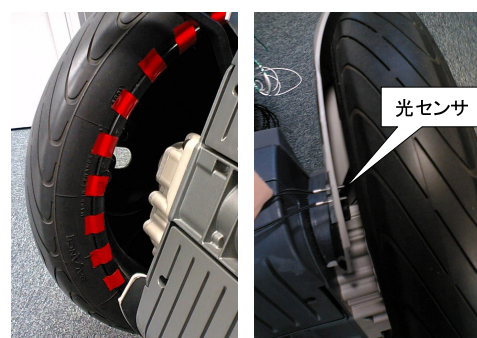


図 2 自走機のタイヤ

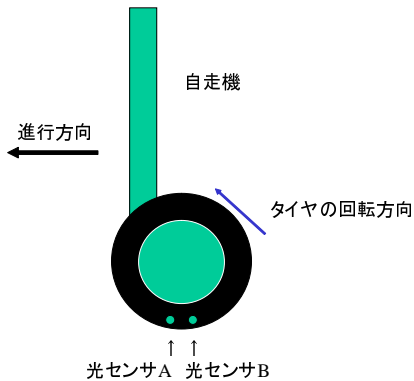


図 3 自走機に取り付けられた反射板

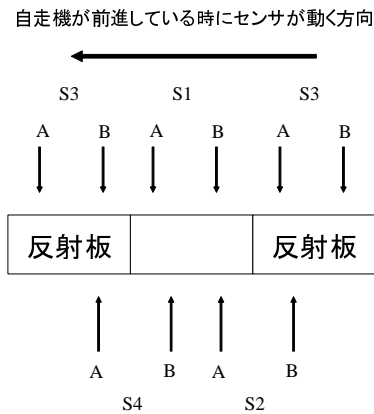


図 4 各状態の反射板と光センサ

### 3.1.1 タイヤのカウント数計測

まず、各タイヤにおいてカウント数を計測する。カウント数は、光センサの反射板による状態遷移がどれだけあったかを示す。光センサの観測データは反射板上にあるときに ON、ない時に OFF を示す。光センサは図 3 のように自走機のタイヤに二つ取り付けられている。光センサ (A,B) の観測データが (OFF,OFF) の時を  $S_1$ 、(OFF,ON) の時を  $S_2$ 、(ON,ON) の時を  $S_3$ 、(ON,OFF) の時を  $S_4$  とする。各状態と反射板の関係を図 4 に示す。実際には反射板が動き、光センサは停止しているが、説明上光センサを動かして示す。

ある時点での状態が  $S_1$  である場合の次状態と、その時のカウント数を考える。次状態が  $S_1$  の場合は、動きが無いものとし、カウント数は変化させない。次状態が  $S_2$  の場合は、前進する方向とは逆に進んでいるため、カウント数を-1 する。次状態が  $S_3$  の場合は、前進する方向に進んだのか後進する方向に進んだのかが分からない。このため、次状態が  $S_3$  にならないように状態を調べる間隔を短く調整する。次状態が  $S_4$  の

表 1 光センサの状態遷移表

現状態 \ 次状態	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$S_1$	0	1	×	-1
$S_2$	-1	0	1	×
$S_3$	×	-1	0	1
$S_4$	1	×	-1	0

場合は、前進する方向に進んでいるため、カウント数を + 1 する。これを各状態において考慮する。カウント数は表 1 に基づき増減する。×は、その遷移が起こらないことを表す。

### 3.1.2 各タイヤの走行距離の計算

自走機のタイヤには反射板を張っている部分と張っていない部分が交互に表れる。表 1 で示した通り  $S_1$  から  $S_2$ 、 $S_2$  から  $S_3$ 、 $S_3$  から  $S_4$ 、 $S_4$  から次の反射板の  $S_1$  へ状態が遷移するごとにカウント数は 1 増える。つまり、一つの反射板につき、カウント数が 4 増える。

自走機に取り付けられた反射板の枚数を  $p$  枚とすると、自走機のタイヤが一周する間にカウントする数は  $4p$  回となる。よってタイヤの回転量  $n$  は実際にカウントした数  $c$  を用いて式 (1) より求まる。

$$n = \frac{c}{4p} \quad (1)$$

自走機のタイヤの直径は 0.48m なので、タイヤの走行距離  $length$  は回転量  $n$  及び円周率  $PI$  を用いて次のように求まる。

$$length = n \times 0.48 \times PI \quad (2)$$

### 3.2 自走機の移動量の計算

左のタイヤの走行距離 (m) を  $left$ 、右のタイヤの走行距離 (m) を  $right$ 、自走機が移動した距離 (m) を  $l$ 、移動する前の方向と移動する方向の差 (rad) を  $d$ 、自走機の横幅 (タイヤとタイヤの距離) を  $WIDTH$  と表す。 $left$ 、 $right$ 、 $WIDTH$  を用いて  $l$ 、 $d$  を求める。

図 5 で示すように、回転の中心からそれに近い方のタイヤまでの距離を  $t$ 、回転の中心での回転角を  $c$  とする。内側のタイヤの走行曲線を弧とする扇形と、外側のタイヤの走行曲線を弧とする扇形で、以下のように連立方程式が立つ。右に曲がっている場合は  $left$  と  $right$  が逆になる。

$$\begin{cases} t \times c = left \\ (t + WIDTH) \times c = right \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) を解くと式 (4) を得られる。

$$\begin{cases} c = \frac{|right-left|}{WIDTH} \\ t = \frac{left \times WIDTH}{|right-left|} \end{cases} \quad (4)$$

$P$  点は移動前の自走機の位置、 $P'$  点は移動後の自走

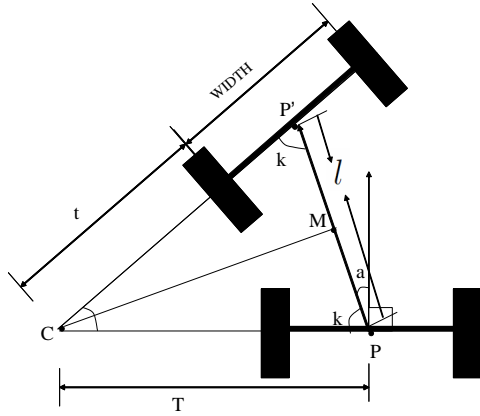


図 5 自走機の軌跡

機の位置を表す。三角形 CPP' は二等辺三角形であるため、式 (5) が成り立つ。

$$\begin{cases} \frac{l}{2} = T \sin \frac{c}{2} \\ T = t + \frac{WIDTH}{2} \end{cases} \quad (5)$$

三角形 CPP' は二等辺三角形であるので、回転角以外の残り二つの角度は同じ値である。ここでは図 5 の通り k とおく。k は式 (6) より求まる。

$$k = \frac{PI - c}{2} \quad (6)$$

図 5 より a が式 (7) で与えられる。

$$a = \frac{PI}{2} - k \quad (7)$$

式 (6)(7) より式 (8) が求まる。

$$a = \frac{c}{2} \quad (8)$$

a は移動する前の方向と移動する方向の差を表す。式 (5)(8) から、式 (9) が成り立つ。

$$\begin{cases} d = \frac{c}{2} \\ l = (2 \times t + WIDTH) \times \sin \frac{c}{2} \end{cases} \quad (9)$$

式 (9) に式 (4) を代入し、d、l を求める。

$$\begin{cases} d = \frac{|right - left|}{2 \times WIDTH} \\ l = \frac{|right + left| \times WIDTH \times \sin d}{|right - left|} \end{cases} \quad (10)$$

図 5 では右の走行距離の方が長い、左の走行距離の方が長い場合は left と right の関係が逆になる。しかし、式 (10) は right と left を入れ替えても同じ式になる、右のタイヤの走行距離が長い場合も左が長い場合も同じ式になる。また、両タイヤの進行方向が違う場合は、回転の中心が自走機の内側にあるだけで、式 (4) において t がマイナスになったときである。このため、同じ式で求める事が出来る。

各タイヤの走行距離を基にした自走機の移動方向と

移動距離の計算式を以下のようにまとめる。

- 直線走行している場合

$$\begin{cases} d = 0 \\ l = |left| \end{cases} \quad (11)$$

- それ以外

$$\begin{cases} d = \frac{|right - left|}{2 \times WIDTH} \\ l = \frac{|right + left| \times WIDTH \times \sin d}{|right - left|} \end{cases} \quad (12)$$

これにより、自走機の両タイヤの走行距離を用いて、自走機の移動距離、移動方向を求める。

#### 4. Particle Filter を用いた複数無線 LAN 基地局位置推定手法

本章ではまず Particle Filter の概要を述べ、それを用いたシステムのアルゴリズムを提案する。

##### 4.1 Particle Filter

Particle Filter は、任意の確率密度関数を扱える手法である。時刻 t における状態ベクトルを  $s_t$  とし、観測ベクトルを  $r_t$  とする。また、観測ベクトルの集合を  $R_t$  とする。Particle Filter における状態推定とは、状態ベクトル  $s_t$  の確率密度関数  $p(s_t | R_t)$  を求めることである。この確率密度関数を表すために、複数の離散的な仮説群を用いる。仮説群は、複数の仮説とそれぞれに対応する重みからなる。仮説は位置座標を表す。仮説群は予め定義された動作モデルに基づいて移動し、得られた観測データを基に重みを再構築する。これを繰り返し、大きな重みの仮説がたくさん集まっている場所を推定位置として決定する。

この仮説群の数は自由に操作することが可能であるが、少ないほど精度は悪くなる。<sup>8)</sup> 以降では、仮説群は N 個あるとする。

Particle Filter の処理は、以下の初期設定と 4 つの処理に分かれる。個々の仮説は独立に処理される。

- 初期設定 仮説群の構築

N 個の仮説群を事前確率に基づき構築する。例えば事前情報がない場合、候補位置に均等に配置し、重みも一定にすればよい。

- 処理 1 仮説の移動

仮説を、事前に定められた法則と観測データに基づいて移動させる。

- 処理 2 仮説の拡散

仮説をランダムノイズに基づき移動させる。観測データが確実でない場合に、その誤差を緩和させる目的で行う。観測データに基づいた修正を行ってもよい。

- 処理3 重みの更新  
観測データと仮説の状態に基づいて重みを決定する。但し、仮説群の重みの総和は1とする。仮説の重みは、仮説群が表す確率密度関数と大きく関係している。また、再構築の際にも重みを考慮される。

- 処理4 仮説の再構築  
N個の仮説をその重みに基づいて再構築する。再構築する際は既存の仮説の中から復元抽出する。このため、再構築前に存在しなかった仮説が表れることはない

Particle Filter では、4つの処理を繰り返し、仮説群の表す確率密度関数を更新する。本研究では、Particle Filter を用いて、無線 LAN 基地局の存在する確率密度関数を提示し、位置推定を行う。

#### 4.2 複数無線 LAN 基地局位置推定手法

本節では無線 LAN 基地局の位置推定アルゴリズムを提案する。

##### 4.2.1 アプローチ

ユーザは、探索したい範囲を後述する収集システムを用いて必要な情報を保存し、推定システムでその情報を解析し、複数の無線 LAN 基地局の位置を同時に推定する。推定システムにおける解析では、Particle Filter を用いる。仮説の数は任意の範囲で減少出来るため、全ての候補位置における存在確率とそれらの和を求める佐藤らの手法に比べ、大きく計算量を減らすことが出来る。また、仮説は移動出来る場所、出来ない場所を指定したり、移動する向きや量を調整出来る。このため、壁など無線電波の障害となりうる情報を保持し、それに基づいた推定を行うなどの拡張性が期待出来る。

##### 4.2.2 演算アルゴリズム

無線 LAN 基地局の探索時には、自走機の移動方向、移動距離、探索対象である基地局からの受信電波強度を逐次計測する。計測データと前述の電波強度モデルを用いて仮説の移動、重み付けを行い、無線 LAN 基地局の位置推定を行う。時刻  $t$  における計測データ  $O_t$  は自走機の移動距離  $l$ 、自走機の移動方向  $d$ 、探索対象の基地局の受信電波強度  $s$  の組で構成される。ただし、方向  $d$  は、自走機に搭載した指向性アンテナが向いている方向を正面とし、これを  $0$ 、右を  $\frac{1}{2}PI$ 、後ろを  $PI$ 、左を  $\frac{3}{2}PI$  とする。

$$O_t = \{l_t, d_t, s_t\} \quad (13)$$

仮説群を  $S$  とする。時刻  $t$  における  $i$  番目の仮説群を  $S_t^i$  とする。各仮説群には式 (14) のように、そのときの仮説の位置  $p$  と仮説の重み  $w$  の組で表される。ま

た、仮説の位置  $p$  は式 (15) のように、二次元座標で表され、無線 LAN 基地局の候補位置を表す。

$$S_t^i = \{p_t^i, w_t^i\} \quad (14)$$

$$p_t^i = \{x_t^i, y_t^i\} \quad (15)$$

以下に 4.1 節で述べた Particle Filter のそれぞれの処理について、本手法で用いた具体的な処理を述べる。

- 初期設定  
仮説群の初期設定を行う。事前に無線 LAN 基地局の位置についての情報が無いため、どの位置にも存在する確率は等しいとし、全ての仮説の座標  $p$  に  $-16 \sim 16$  のランダム座標を入力する。また、重みは全て均等になるように、1 を仮説群の個数  $N$  で割った値とする。

$$w_t^i = \frac{1}{N} \quad (16)$$

- 仮説の移動  
仮説の移動では、仮説の位置  $p_t^i$  を  $p_{t-1}^i$  と、計測データ  $O_t$  を用いて求める。自走機の移動距離  $l_t$ 、自走機の移動方向  $d_t$  を用いて座標を更新する。本手法では自走機が座標  $(0,0)$  で静止していると仮定し、無線 LAN 基地局が相対的に動いているものとしている。このため、式 (17) を用いて、仮説を移動させる。

$$\begin{cases} x_t^i = x_{t-1}^i + l_t * \cos(d_t + PI) \\ y_t^i = y_{t-1}^i + l_t * \sin(d_t + PI) \end{cases} \quad (17)$$

- 仮説の拡散  
仮説の移動では、全ての仮説に対して、同じ移動しかしなないため、仮説の存在する場所が限られてしまう。このため仮説の拡散処理では、 $0 \sim 2PI$  のランダムな方向  $d_r$  に  $0 \sim 0.1m$  のランダムな距離  $l_r$  を移動させる。これにより、多くの座標へ仮説が移動することが可能になる。

$$\begin{cases} x_t^i = x_{t-1}^i + l_r * \cos(d_r) \\ y_t^i = y_{t-1}^i + l_r * \sin(d_r) \end{cases} \quad (18)$$

- 重みの更新  
自走機は常に座標  $(0,0)$  に存在するため、仮説と自走機の距離  $dis$  は次のように求める。

$$dis = \sqrt{(x_t^i)^2 + (y_t^i)^2} \quad (19)$$

自走機から見た仮説の方向  $dir$  は以下のように求める。

$$dir = \arctan \frac{x_t^i}{y_t^i} \quad (20)$$

$dis$ 、 $dir$  及び計測データより得られた電波強度  $s_t$  を佐藤らの手法と同様に電波強度モデル SignalModel に入力し、存在確率  $e_t^i$  を得る。



$$e_t^i = \text{SignalModel}(dis, dir, s_t) \quad (21)$$

Particle Filter では、全ての仮説の重みの和は1でなければならない。このため、ある仮説の重み  $w_t^i$  は、それぞれの仮説の存在確率  $e_t^i$  を用いて次のように表される。

$$w_t^i = \frac{e_t^i}{\sum e_t^i} \quad (22)$$

- 仮説の再構築

仮説の再構築では、仮説の重みを元に新たな仮説群を作成する。まず、各仮説を、重みに比例した数だけ複製し、これを仮説候補領域とする。仮説候補領域から N 個を新しい仮説群としてコピーする。

## 5. 複数無線 LAN 基地局位置推定支援システム

本手法に基づいた無線 LAN 基地局位置推定システムを開発した。このシステムでは、まず、探索したい無線 LAN 基地局の電波の届く範囲を走行して、自走機の位置と電波強度に関するログデータ作成する。このログデータを基に無線 LAN 基地局の位置を推定する。

### 5.1 ハードウェア

本手法で用いるハードウェア機器は、指向性アンテナ、光センサ、ノート PC であり、これらを自走機に搭載する。システム構成図を図 6 に示す。

本手法では、観測データとして、自走機の移動距離  $l_t$ 、方向  $d_t$ 、基地局からの受信電波強度  $s_t$  を必要とする。 $l_t$  と  $d_t$  は光センサ、 $s_t$  は指向性アンテナを用いて取得する。これらの計測データは、ノート PC へ出力され、ノート PC 側で起動しているソフトウェアで利用される。

### 5.2 ソフトウェア

ハードウェアで計測した観測データを用いて無線

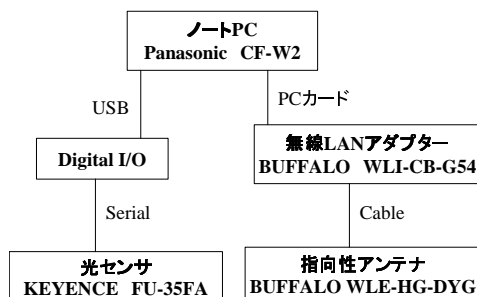


図 6 システム構成図

LAN 基地局の位置推定支援システムを Java 上で実現した。ソフトウェアは、観測データを収集するシステム (以下、収集システムと呼ぶ) と、収集されたデータを基に無線 LAN 基地局の位置を推定するシステム (以下、推定システムと呼ぶ) がある。

収集システムでは、観測データの入力が必要とし、自走機の位置及び方向を保持する。これらは、両タイヤの回転量より更新される。基地局からの受信電波強度と BSSID、それが得られた時の自走機の位置及び方向をログデータとして記録する。

推定システムでは、収集システムで作成されたログデータを解析して、複数の基地局の位置を推定し、提示する。図 7 に推定システムのスクリーンショットを示す。

無線 LAN 基地局の推定を行いたい場所で記録したログデータを読み込み、そのデータを解析し、終了すると図 7 のような画面になる。左側の円が探索区域を表し、その中で無線 LAN 基地局ごとに仮説が移動し、位置推定支援を行う。右側にある BSSID のマークと仮説のマークが対応している。探索区域の中心が自走機の位置を表し、不動である。また、常に、探索区域の上が指向性アンテナの向いている方向を示す。

## 6. 評価実験

複数の無線 LAN 基地局の位置を推定するときに、ユーザは仮説の位置を基に判断する。仮説は自走機の移動距離が正しく取得できていないと、正しい移動を行わない。このため、以下のような評価実験を行い、自走機の移動距離精度を調べ、無線 LAN 基地局の位置推定精度を確認する。4 つの無線 LAN 基地局を図 8 のように配置し、太矢印で示す経路を 10 回走行した。実験の様子を図 9 に示す。

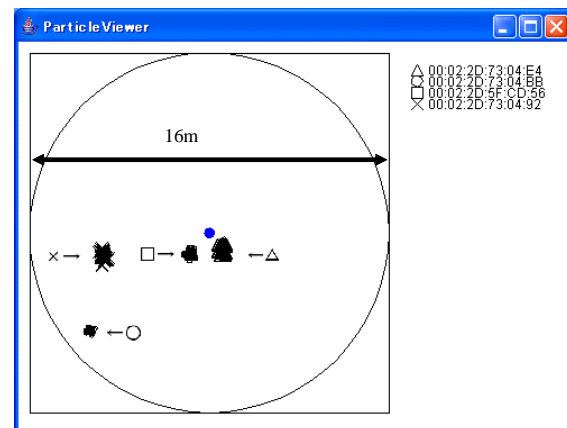


図 7 推定システムのスクリーンショット

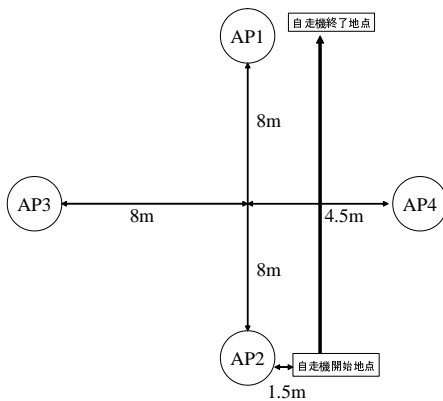


図 8 基地局配置状況



図 9 実験の様子

光センサ	GPS
0.5m	1.3m

### 6.1 自走機移動距離

表 2 は GPS で得た緯度経度を元に計算した自走機の移動距離と、光センサで得た座標を元に計算した自走機の移動距離の精度を比較したものである。GPS での移動距離の計算方法は、緯度経度を直行座標に直し、その上で距離を計算した。<sup>9)10)</sup> ここで、移動距離精度とは、実際の走行距離（今回は 16m 走行したものとす）と計測したデータから得られた走行距離の差とする。

今回は屋外の開けた場所で実験を行ったため、GPS でも 1.3m の精度で移動距離を計ることが出来た。しかし、開けていない屋外や屋内において探索を行う場合は GPS を使用できない。また、無線 LAN 基地局は、建物の中に設置されることが多いため、GPS を使用できない区域にも存在する。そのような場合に光センサを用いて、移動距離の精度が 0.5m で探索出来る。今回の実験において、光センサの移動距離精度は GPS

表 3 基地局位置推定精度

AP1	AP2	AP3	AP4
3.7m	5.3m	13.7m	12.0m

の移動距離精度よりも良く、屋内及び GPS 精度の悪い場所のみではなく、屋外においても無線 LAN 探索に使用出来る。

### 6.2 基地局の位置推定

図 10 は推定された無線 LAN 基地局の位置分布を表す。上の図は AP1 の分布を示し、下の図は AP3 の分布を示す。それぞれ自走機は円の中心に位置する。また、実際に配置した基地局の位置は大きく表されている。今回の実験では AP1 のように常に似たような場所に推定された基地局もあったが、AP3 のようにばらばらな場所に推定された基地局もあった。

表 3 は、光センサを用いて自走機の位置を取得し、それを元に推定した基地局の位置推定精度を表す。ここで、位置推定精度とは、実際に配置した基地局の座標と推定された基地局の座標の差の平均を表す。AP1、AP2 はそれぞれ 3.7m、5.3m の精度で推定が出来る。これらは自走機が走行した経路との距離が近いいため、他の二つの基地局よりも強い電波強度を得ることが出来た。このため、推定精度が良かったと考えられ

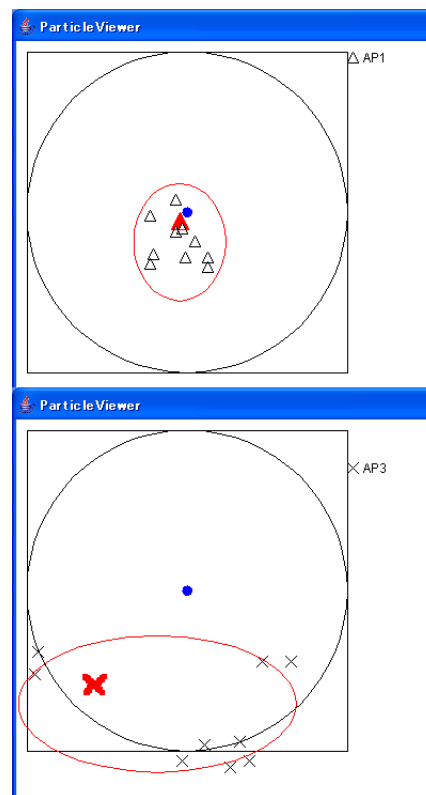


図 10 基地局推定位置の分布

る。また、5m程度であれば、目視可能であるため、位置推定は成功しているといえる。自走機の走行経路から遠くにある AP3、AP4 では、無線 LAN 基地局の位置推定の精度は 13.7m、12.0m となった。また、図 10 下は AP3 の分布を表す。本手法で用いた電波強度モデルは左右対称であり、実験時に左右に方向を変えなかったことが、分布が左右に離れている原因と考えられる。

## 7. むすび

本研究では、屋内における無線 LAN 基地局の探索を目的とし、Particle Filter を用いた複数同時位置推定手法を提案した。本手法は、収集システムを用いて事前に探索したい場所の位置と電波強度の情報を取得しておく。この情報を元に、推定システムで解析を行い、その結果をユーザに提示する。開けた屋外では、自走機の位置を推定する手法として、GPS の精度が挙げられる。しかし、無線 LAN 基地局を探索したい場所には、GPS が使えない、もしくは精度が悪い場所がある。このため、本手法では GPS が使えない場所でも、光センサを用いて GPS 以上の精度で自走機の走行距離を取得する。また、計算量の調整が容易である Particle Filter を用いて計算量を減らす。これにより屋内における無線 LAN 基地局の位置推定を最良で 3.7m の精度で行うことが可能となった。

今後の課題として、収集システムと推定システムを同時に行うシステムの開発が挙げられる。現在では収集と推定を別々に分けているため、収集したデータが位置推定するのに十分なデータ量かどうか分からない。収集と推定を同時に行うことにより、現時点での解析状況が一目で分かるため、ユーザの移動がよりの確になり、無線 LAN 基地局をよりスムーズに位置推定出来る。このためには、位置推定計算における計算量の減少、及び光センサでの位置取得精度の向上が課題として挙げられる。現在のシステムでは、収集された無線 LAN 基地局の全てに位置推定を行っている。収集された無線 LAN 基地局の中には、非常に微弱な電波強度しか捉えられないものもある。これらの情報を排除するなど計算量を減らすことが可能となる。また、精度を保ちながら計算量を減らせる最適な仮説の数を調べることも必要となる。他に、事前に壁などの無線 LAN 基地局や人が入れない場所への対応も考えられる。これらのデータを事前に登録しておき、仮説や自走機がその場所へ移動しないようにするなどの処理を行い、より正確な自走機の移動経路を計測や、位置推定を行うことが出来る。

## 参考文献

- 1) Heidi Litner, Bill Keeler, Liz Serotte. "AirDefense Discovers New Version of "Evil Twin" Attack at Interop 2005" Press Releases, Atlanta, GA- May 10, (2005).
- 2) AirPatrol - <http://www.cirond.com/>
- 3) <http://www.ibsjapan.com/ESS.htm>
- 4) Segway - <http://www.segway.com/>
- 5) 佐藤弘和, 伊藤誠悟, 河口信夫. "指向性アンテナを用いた無線 LAN アクセスポイントの位置推定手法" 電子情報通信学会論文誌, コピキタス社会構築のためのネットワークに対する理論とその応用小特集 . VOL.J88-D1 No.11 pp1634-1647, (2005).
- 6) GPS - <http://www.garmin.com/>
- 7) Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello. "Particle Filters for Location Estimation in Ubiquitous Computing: A Case Study." Proceedings of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004). Volume 3205 of Lecture Notes in Computer Science, pp88-106, (2004).
- 8) Fox, D. "KLD-Sampling: Adaptive particle filters." Advances in Neural Information Processing Systems 14(NIPS). Cambridge, MA, MIT Press, pp713-720, (2002).
- 9) B.R.Bowring. "TOTAL INVERSE SOLUTIONS FOR THE GEODESIC AND GREAT ELLIPTIC" Survey Review, 33, 261, pp461-476, July, (1996).
- 10) 緯度経度-平面直交座標  
- <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/algorithm/bl2xy/bl2xy.htm>