

Azim:方向センサを用いたユビキタス位置情報サービス

岩崎 陽平[†] 河口 信夫^{†*} 稲垣 康善[§]

近年、携帯電話などの携帯端末の普及、GPS モジュールの低価格化により、位置情報を用いた様々なサービスが普及しつつある。しかし、屋内・屋外を問わず広い範囲で利用可能、かつ安価な位置測定手段は現状では存在しない。本論文では、方向センサを用いた位置情報システム Azim を提案する。本システムでは、位置が既知の複数のマーカの方位角を、ユーザが指し示して測定することにより、ユーザの位置を推定する。この測定には誤差が伴うため、ユーザの位置は確率密度として計算した。本手法では、ユーザの位置だけでなくその方向も取得できるため、ユーザが指し示している物体を特定するなどの、位置と方向を用いたより高度なサービスが実現できる。

Azim: Ubiquitous Location Based Services using an Angle Sensor Device

Yohei Iwasaki[†] Nobuo Kawaguchi^{†*} Yasuyoshi Inagaki[§]

As cell phones and other mobile terminals have become widely available in recent years, and GPS modules have come down in price, an increasing range of location based services is being offered. Yet at the present time there is still no means of measuring position that is both inexpensive and can be used over a wide range of environments, both indoor and outdoor. In this paper, we propose a system named *Azim* that provides location based services using an angle sensor device. In this system, a user's position is estimated by having the user point to and measure azimuths of several markers whose positions are already known. Because the measurements are naturally associated with some degree of error, the user's position is calculated as a probability distribution. Since both the user's position and azimuth data are obtained in this method, both sources of data are used to realize more advanced services such as identifying the object pointed by a user.

1 はじめに

近年、携帯電話などの携帯端末の普及、GPS モジュールの低価格化により、Mobile Info Search[1] や SpaceTag[2] などをはじめ、位置情報を用いた様々なサービスが提案されている。位置を取得する方法としては、例えば GPS を用いる方法がある [3] が、衛星からの電波が届かないビル街や屋内などの場所での利用が困難である、電源投入後センサが利用できるようになるまでに時間がかかる (cold-start)、などの問題がある。屋内向けの測位技術として、位置が既知の超音波受信装置への超音波の到達時間を用いた Active-BAT[4] などがあるが、至る所に超音波受信装置を配置した場合、環境側の設備が高価となってしまふ。このように、屋内・屋外を問わず広い範囲で利用可能、かつ安価な位置測定手段は現状では存在しない。

本論文では、方向センサを用いた位置情報システム Azim を提案する。本システムでは、位置が既知の複数のマーカの方位角を、ユーザが指し示して測定することにより、ユーザの位置を推定する。ユーザの能動的な測定なしに位置が取得できないため、プライバシーを重視するユーザにとって有用である。マーカの方位角の測定には誤差が伴うため、方位角の測定誤差のモデルを仮定し、ユーザの位置を、確率密度として計算した。本システムでは、ユーザの位置だけでなくその方向も取得できるため、位置と方向を用いたより高度な位置情報サービス (Direction Based Service) を提供できる。その例として、ユーザが指し示している物体を特定するサービスを提案する。本システムでは、ユーザにサービスを提供するために無線 LAN を用いており、無線 LAN の基地局情報より得られる粗い精度の位置情報を活用して、広い範囲での運用を可能としている。本手法の実現可能性を示すために、磁気センサと加速度センサを組み合わせた方向センサを用いてプロトタイプシステムを実装した。また、このプロトタイプシステムを

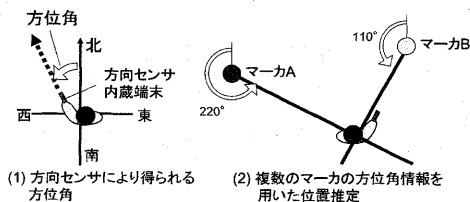


図1 方位角情報を用いた位置推定

用いた実験により位置推定の精度を評価し、本手法の有用性を確認した。

2 方位角情報を用いた位置推定手法

本節では、複数の方位角情報を用いた位置推定手法を提案する。簡単化のため、位置座標系として、2次元平面を仮定する。本手法では、位置が既知のマーカ (目印) を様々な場所に配置し、ユーザが複数のマーカを指し示してその方位角を測定することにより、ユーザの位置を取得する。ここで、方位角とは、図 1-(1) のような、北を基準とした水平面上の絶対角であり、方向センサを内蔵した携帯端末により測定する。2つ以上のマーカの方位角が分かった場合、図 1-(2) のように、各マーカより引かれる半直線の交点がユーザの位置となる。

位置推定のためには、ユーザの指し示したマーカを特定する必要がある。このため、マーカに色や形状などによって種類を設け、ユーザがこれをボタン等により入力する (以下では、色のみを考慮する)。複数のマーカが同一の色を持つことある。できるだけ少ない色数でマーカを配色できれば、色入力のためのボタン数等が減少し、使いやすさが向上する。

マーカは、単に色が判別できればよいので、安価に実現することができる。また、既に存在するランドマークや建物などをマーカとして代用することもできる。この場合、色を入力する代わりに、ランドマークの名称などを選択する。

2.1 方向センサ

北を基準とした絶対的な方位角を測定するための方向センサとしては、例えば、磁気センサと加速度センサを組

[†] 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

^{*} 名古屋大学 総合音響情報研究拠点, Center for Integrated Acoustic Information Research (CLAIR), Nagoya University

[§] 愛知県立大学 情報科学部, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

み合わせたもの (Microstrain 社の 3DM[5] など) が存在する。これは、地磁気の方角を磁気センサにより測定し、また重力の方角を加速度センサにより測定することにより、ほかに特別な設備を使わなくても、デバイスの姿勢 (方位角, 仰角, ロール角) を取得することができる。

2.2 位置確率密度の計算

ユーザがマーカの方角を測定する際には、誤差が伴う。従って、単に、測定された方位角の半直線をマーカから引いて、その交点を求めるだけでは、解が存在しない場合がある。例えば、2つの半直線が交わらない場合や、3回以上の測定を行った場合などである。また、解が得られたとしても、その求まった位置がどの程度正確なのか (精度) が分からない。従って、方位角の測定誤差のモデルを仮定し、ユーザの存在するであろう位置を、確率密度として計算する。

本節では、ユーザの位置の確率密度関数の計算方法について述べる。なお、各確率変数の実現値を、その変数を小文字にしたもので表す。例えば、確率変数 P の実現値は p で表す。また、 f は、1つまたは複数の確率変数の確率密度関数 (離散値の場合は確率関数) を表す。

方位角の測定誤差モデル: ユーザがマーカの方角を測定する際には、誤差が伴う。方位角の測定誤差モデル $f_e(\theta)$ は、測定目標の真の方角に対して、方向センサで測定した方位角がどのくらいずれるのか (相対角度) を表す確率密度である。誤差の原因としては、測定時の腕のずれや、目の視差などが考えられる。ここでは、最もシンプルなモデルとして、平均値 0 の正規分布を用いる。標準偏差 σ はモデルのパラメータであり、ユーザの習熟度などによって調節する。

確率変数の導入: 問題の定式化のために、以下の確率変数を導入する。ただし、指定マーカとは、(i 番目の測定で) 指し示したマーカのことである。

- P : ユーザの位置 (2次元ベクトル)
- A_i : 指定マーカの方角の測定値 (連続値)
- C_i : 指定マーカの色 (離散値)。複数のマーカが同一の色を持つ可能性もある。
- M_i : 指定マーカの識別子 (離散値)。ユーザが実際にどのマーカを指し示したのかを表す。各識別子は唯一のマーカに対応する。

ユーザは、マーカを選んで指し示しその色を入力する作業 (測定) を複数回繰り返す。全測定回数を n する。 A_i, C_i, M_i は 1 回の測定結果である。ただし、システムが直接知ることのできるのは A_i, C_i のみであり、 M_i は入力されない。

独立の仮定: ユーザの位置 P を固定した時、 i 回目の測定は、他の測定結果 (i 回目以外) の影響を受けないとする。つまり、各測定結果 (A_i, C_i) は、互いに P の条件付独立とする。すなわち、以下の式が成り立つと仮定する。

$$f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n | p) = f(c_1, a_1 | p) f(c_2, a_2 | p) \dots f(c_n, a_n | p) \quad (1)$$

独立を仮定することにより、位置確率密度の計算を単純化することができる。

位置推定の定式化: 求める位置確率密度は、各測定結果 c_i, a_i が分かったときの P の事後確率 $f(p | c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n)$ である。

$$f(p | c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n) = \frac{f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n, p)}{f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n)}$$

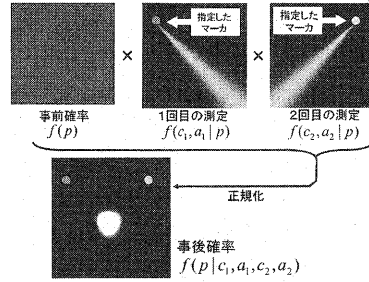


図2 位置確率密度の計算

$$= \frac{f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n, p)}{\int_p f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n, p) dp}$$

また、式 (1) より

$$\begin{aligned} f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n, p) &= f(c_1, a_1, c_2, a_2, \dots, c_n, a_n | p) f(p) \\ &= f(c_1, a_1 | p) f(c_2, a_2 | p) \dots f(c_n, a_n | p) f(p) \end{aligned}$$

また、

$$\begin{aligned} f(c_i, a_i | p) &= \sum_m f(c_i, a_i, m | p) \\ &= \sum_m \{f(c_i | a_i, m, p) f(a_i | m, p) f(m | p)\} \end{aligned}$$

ここで、 $f(c_i | a_i, m_i, p), f(a_i | m_i, p), f(m_i | p), f(p)$ は以下のように与える。

- $f(c_i | a_i, m_i, p)$: これはマーカ m_i の色を表す。マーカ m_i の色が c_i の時には 1, さもなくば 0 となる。
- $f(a_i | m_i, p)$: マーカ的位置は既知のため、マーカ識別子 m_i と、ユーザの位置 p より、マーカの真の方向が定まる。従って、 $f(a_i | m_i, p)$ は、方位角の測定誤差モデルより計算できる。すなわち、マーカの真の方向を θ とすると、 $f(a_i | m_i, p) = f_e(a_i - \theta)$ となる。
- $f(m_i | p)$: ユーザのマーカ選択モデルである。すなわち、ユーザが、位置 p において、 i 回目の測定の際に、どのマーカを選択するのかわかる確率関数である。例えば、位置 p から利用できる (見える) 全マーカに対する一様分布を用いる。
- $f(p)$: ユーザの位置の事前確率である。例えば、システムの利用可能な領域に対する一様分布を用いる。障害物などユーザが存在しえない場所をあらかじめ除外することもできる。

以上により、求める確率密度を計算できる。2つのマーカの方角を測定して位置を推定した場合の計算例を図2に示す。ユーザは、正方形の区画の中心付近にあり、1回目に左 45 度方向にあるマーカを、2回目に右 45 度方向にあるマーカを指し示した。図中の正方形は、各確率密度を位置空間上にプロットしたものであり、白い部分が確率値の高い部分である。事後確率を見ると、ユーザが正方形の中心付近にいることを推定できていることが分かる。

2.3 指定対象物の推定手法

本システムでは、ユーザは方向センサを内蔵した携帯端末を持つため、ユーザの位置だけでなく、指し示している

方向も取得できる。従って、位置と方向を用いたより高度なサービスが実現できる。例えば、ユーザが機器などの物体を直接指し示し、その機器を遠隔操作したり、関連する情報を表示するサービスや、指し示している方向に存在する施設などを検索するサービスなどが考えられる。本節では、前者のサービスに着目し、ユーザの指し示している物体を推定するための計算方法について述べる。

ユーザの指し示す対象となる物体を対象物、実際にユーザが指し示した対象物を指定対象物と呼ぶことにする。対象物の位置は既知とする。2.2節の手法で計算できるユーザの位置確率密度、および指し示している方位角を元に、指定対象物の推定推定計算を行う。

確率変数の導入：問題の定式化のために、以下の確率変数を導入する。

- P : ユーザの位置 (2次元ベクトル)
- A : 指定対象物の方向の測定値 (連続値)
- S : 指定対象物の識別子 (離散値)。ユーザが実際にどの対象物を指し示したのかを表す。各識別子は唯一の対象物に対応する。

指定対象物推定の定式化: 指定対象物を推定するためには、ある対象物が指定対象物である確率の分布を計算すればよい。求める確率は、方向の測定値 a が分かった時に、対象物 s が指定対象物である確率 $f(s|a)$ である。

$$f(s|a) = f(a, s) / f(a) = f(a, s) / \sum_s f(a, s)$$

$$f(a, s) = \int_p f(a, s, p) dp$$

$$f(a, s, p) = f(a|s, p) f(s|p) f(p)$$

ここで、 $f(a|s, p)$, $f(s|p)$, $f(p)$ は以下のように与える。

- $f(a|s, p)$: 対象物の位置は既知のため、対象物の識別子 s と、ユーザの位置 p より、対象物の真の方向が定まる。マーカの場合と同様に、方向センサの測定誤差モデルより計算できる。
- $f(s|p)$: ユーザの対象物選択モデルである。すなわち、ユーザが、位置 p において、どの対象物を指し示すかを表す確率関数である。例えば、位置 p から見える全対象物に対する一様分布を用いる。
- $f(p)$: ユーザの位置の確率密度である。これは、2.2節の計算によって得られた位置確率密度である。

3 ユビキタス位置情報システム

本節では、2節の手法を応用した位置情報システム Azim について述べる。本システムは、屋内・屋外問わず広い範囲でどこでも利用可能 (ユビキタス位置情報システム) であることを指針としており、2.2節で述べた手法によりユーザの位置を推定する。また、本システムは、ユーザの位置だけでなく方向も利用した、より高度な位置情報サービス (Direction Based Service) を提供することができる。その例として、2.3節で述べた手法に従い、ユーザが指し示した対象物を推定し、その指定対象物に関連した応用サービスを提供する。システムの概要を図3に示す。

3.1 利用形態

ユーザは、まず複数のマーカを指し示して自分の位置を測定する。次に対象物を指し示して、その指定対象物に関連した様々な応用サービスを受ける。ユーザは、一度位置を測定すれば、同じ位置で指定対象物を様々な切り替えて応用サービスを受けることができる。位置を移動した場合には、再度位置を測定する。

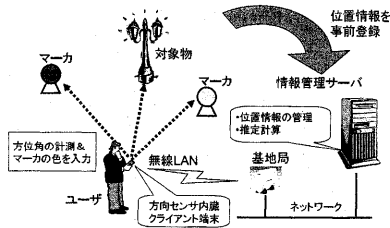


図3 ユビキタス位置情報システム Azim

応用サービスとは、対象物を指し示すことによりユーザが受けることのできるサービスである。例えば、指し示した機器を遠隔操作する、指し示した建物の情報を端末画面上に表示する、等が考えられる。

3.2 ネットワーク環境

近年、ホットスポットなどの公衆無線 LAN サービス、および家庭・オフィス等での無線 LAN の利用が急速に普及しつつある。本手法では、ユーザの携帯端末と情報管理サーバとの通信のために、無線 LAN を用いる。

無線 LAN では、現在接続中の基地局 ID をクライアント端末が取得可能であり、これによりユーザがこの基地局の電波到達範囲内にいることが分かるため、粗い精度の位置情報が得られる。具体的には、屋外では半径 50-100m、屋内では壁二枚分程度である。2.2節で述べた位置確率密度の計算において、事前確率 $f(p)$ 、および位置空間の積分範囲を、この電波到達範囲内に制限することができる。また、この電波到達範囲内で利用できるマーカのみが指定の対象となるため、同じ色のマーカがこの範囲外に存在しても区別可能となり、配色に必要な色数を削減することができる。

3.3 システムの構成要素

本システムは、以下のような要素により構成される。(図3参照)

- クライアント端末: ユーザの持ち歩く携帯端末である。PDA や携帯電話のようなものを想定している。方向センサを搭載し、ユーザがマーカや対象物を指し示した際に、その方位角を測定することができる。
- 情報管理サーバ: マーカ、対象物、基地局に関する情報 (位置情報、利用可能領域など) を管理する。また、位置確率密度および指定対象物の推定などの計算はこのサーバ側で行う。
- 基地局: 無線 LAN の基地局である。クライアント端末は、現在接続中の基地局の ID (MAC アドレス等) を取得することができる。
- マーカ: ユーザが位置を測定する際に指し示す目印である。マーカには色などにより種類が設けられており、ユーザは、マーカを指し示す際にこれを入力する。ランドマークや建物などをマーカの代用とすることもできる。
- 対象物: ユーザが指し示す対象となる物体である。機器、店、ランドマーク等を想定している。

3.4 利用可能領域

ユーザが見えないマーカや対象物を指し示すことはないため、広い範囲での運用を考えた場合、これらの利用可能な領域を考慮することが必要となる。また、基地局の電波の到達範囲も管理する必要がある。従って、マーカ、対象物、基地局に対して、その利用可能領域を定義する。マーカ・対象物の利用可能領域により、ある位置から利用できるマーカ・対象物が特定可能となり、マーカ選択モデル

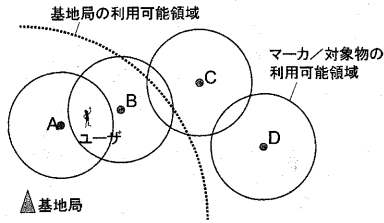


図4 利用可能領域の定義例

(2.2節参照), 対象物選択モデル(2.3節参照)を具体的に計算できる。基地局の利用可能領域は、基地局の電波到達範囲を表し、3.2節で述べたように、ユーザーの存在する位置をあらかじめ制限するために用いられる。

ここでは簡単化のために、利用可能領域を円領域としてモデル化した。円領域モデルを用いた利用可能領域の定義例を図4に示す。

クライアント端末の接続している基地局を特定することにより、ユーザーが現在基地局の利用可能領域の範囲内にいることが特定できる。基地局の利用可能領域とマーカの利用可能領域が重なっている場合のみ、そのマーカが指定の対象とみなされる。例えば、図4のA-Dがマーカであるとした場合、マーカDは(ユーザーが基地局の利用可能領域のどこにいたとしても)指し示されることはない。マーカの配色を考えた場合、少なくともこの範囲のマーカが別々の色に配色されていれば、色からマーカを唯一に特定できる。

次に、ユーザーの位置を計算できたとする。ユーザーの存在する位置(位置の確率密度の高い部分)に対して、対象物の利用可能領域が重なっている場合のみ、その対象物が指定の対象とみなされる。これにより、見えない対象物が指定対象物の候補として推定されることはない。例えば、図4のA-Dが対象物であるとした場合、図中のユーザーの位置と利用領域が重なっている対象物A,Bのみが、指定の対象となる。

4 実装

3節で提案したユビキタス位置情報システムのプロトタイプを実装した。方位角の測定には、3軸の磁気センサと3軸の加速度センサを組み合わせた方向センサである、MicroStrain社の3DM[5]を用いた。ソフトウェア開発環境として、Java 2 Platform SDK 1.3, およびネットワーク機器間の連携を支援するミドルウェアである cogma[6]を用いた。また、ネットワーク環境としては無線LAN (IEEE802.11b)を用いた。ただし、現在のバージョンではマーカ・対象物・基地局の利用可能領域は考慮していない。

クライアント端末と情報管理サーバの二つのサービスが存在し、互いにネットワーク経由で通信する。クライアント端末の動作画面を図5に示す。クライアント端末には方向センサが接続されており、図中(1)のコンパス画面に現在指し示している方位角が表示される。位置の推定のため、ユーザーはクライアント端末でマーカを指し示し、その色をボタンで入力する。これを複数回繰り返すことにより位置が推定される。図中(2)のように、地図上で現在の位置と方向を確認できる。次に対象物の方向を指し示し、Find ボタンを押すと、指定対象物の推定が行われ、図中(3)のように、指定対象物の候補がリスト表示される。自動的に確率の高い指定対象物が選択されるが、ユーザーがその候補を手動で選択することもできる。指定対象物を選択すると、それに関する応用サービスを受けることができる。具体的な応用サービスとしては、対象物に関する説明文を表示するサービス、対象物(機器)をGUIにより遠隔

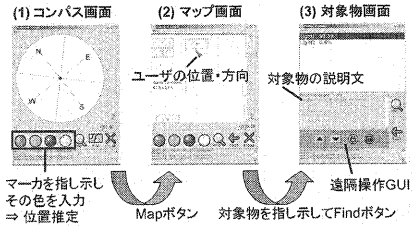


図5 クライアント端末の動作画面

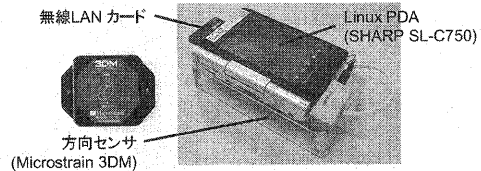


図6 携帯可能なクライアント端末 LocPointer

操作可能なサービス、および Touch-and-Connect[7] のボタンインタフェースにより機器間の連携を指示可能なサービスを作成した。

情報管理サーバ側では、2節で提案した手法により、ユーザーの位置確率密度の計算、および指定対象物の推定計算を行う。位置確率密度は 128×128 の2次元配列として計算した。また、方位角の測定誤差のモデルは、2.2節に基づき、標準偏差 σ を5度とした正規分布を用いた。

クライアント端末のソフトウェアは、J2ME (Java 2 Micro Edition) 環境でも動作する。J2ME が動作する PDA (SHARP SL-C750) を用い、図6のような実際に携帯可能なクライアント端末 LocPointer を製作した。

5 評価実験

本手法によって推定される位置の精度を評価するために、プロトタイプシステムを用いた実験を行った。本手法は屋外・屋内を問わず広い範囲で利用することを想定しているが、本実験では磁気の乱れの少ない場所が存在する、図7のような屋外環境で実験を行った。

建物(図中の建物A)の両端2箇所をマーカとした。マーカ間距離は30.5mである。マーカ周辺の20地点で、本手法に基づく位置の推定を行った。方向センサ3DM[5]に、方向合わせを補助するための棒状のガイドを取り付けた測定装置を用いて、2箇所のマーカを指し示し、マーカの方位角を測定した(指し示し測定)。各地点において、この測定を10回行った。また、指し示し動作による誤差の影響を評価するために、棒状のガイドを片目で覗き込んで、測定装置を正確にマーカの方向に合わせた状態での測定(ガイド測定)も行った。測定地点の正しい位置は、超音波を用いた距離計(STMS-850B)により、両マーカ地点からの距離を測定して求めた。

実験結果を図7に示す。数字が添えられた黒塗りの印は、測定地点の正しい位置を表す。白抜き印は、指し示し測定により推定された位置(10回分)を表す。本手法ではユーザーの位置は確率密度として計算されるため、確率密度の重心を推定された位置とした。また、中央に点のある印は、ガイド測定により推定された位置である。図を見やすくするために、同一の地点での測定結果を破線で囲んだ。印の形状の違い(三角, 四角, 丸)は、単に図の見やすさを考慮したものであり、近傍で印の形状が同じものが、同一の地点での測定結果である。

本手法により推定された位置(指し示し測定の場合)は、

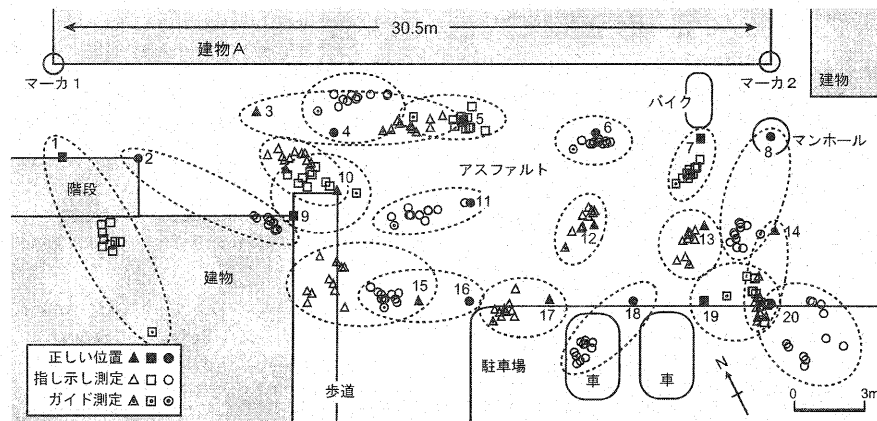


図7 推定された位置

正しい位置から平均で 2.7m 離れていた。図を見ると、多くの地点でこの程度の精度の位置情報が得られていることが分かる。しかし、特に地点 1, 2, 3, 8 などでは、正しい位置と推定された位置のずれが大きい。これは、鉄筋コンクリートや鉄板などの影響で環境の磁気が乱れ、方向センサにより測定される方位角がずれたためと考えられる。

実際、ガイド測定により正確に方向合わせをした場合の推定位置も、正しい位置から平均で 3.1m 離れており、測定される方位角に誤差が生じていることが分かる。一方で、指し示し測定による推定位置と、ガイド測定による推定位置との距離は、平均で 1.35m となり、両推定位置は比較的近くにあることが分かる。また、指し示し測定の方位角測定値と、ガイド測定の方位角測定値とのずれ（負の値もありうる）の分布は、平均値 +0.34 度、標準偏差 3.3 度となった。すなわち、指し示し動作そのものによる誤差の影響は比較的小さく、地磁気の乱れによる方位角測定値のずれを補正することにより、位置の精度が改善することが期待される。地磁気の乱れを補正し、平均 1.35m の精度の位置情報が得られれば、屋外において対象物を指定するような応用に対しては、十分に利用可能な精度であるといえる。また、位置の推定精度は基本的にマーカ間の距離に比例するため、より精度の高い位置推定を必要とする場合はマーカをより密に配置することで対処できる。

本手法は、屋内での利用も目標としているが、特に屋内では地磁気の乱れが大きく、例えば我々の研究室内では、磁気の方は北方向から 40 度程度ずれている。従って、特に屋内環境では、方位角測定値のずれの補正は重要である。磁気の方が時間的に変化しないとすれば、あらかじめ、利用区域内の様々な位置において、磁気の方角を測定し、磁場の空間的な分布を学習することができる。2.2 節において $f(a_i | m_i, p)$ を計算する際に、学習された磁場の空間的な分布を用いて、方位角の測定値 a_i を補正することができる。

6 関連研究

提案手法に関連した研究としては、以下のようなものが挙げられる。

6.1 位置取得技術

位置取得技術としては、GPS を用いる方法が広く普及している [3]。GPS は、屋外の見通しの良い場所であれば、10m 程度の精度の位置情報を得ることができる。しかし、ビル街や屋内など、GPS 衛星からの電波が届きにくい場

所や電波が反射してしまう場所での利用は困難である。また、GPS は電源投入後、GPS 衛星を補足してセンサが利用できるようになるまでに時間がかかるという問題もある。

携帯電話向けの位置測定技術として、基地局側で GPS 衛星を補足することにより、位置取得にかかる時間を短縮する Assisted-GPS [8] がある。また、屋内向けの測位技術として、位置既知の超音波発生装置への超音波の到達時間を用いた Active-BAT [4] がある。しかし、これらの手法は、一般に環境側の設備が高価になってしまう。

複数の無線 LAN 基地局からの（または基地局への）電波強度を用いて、端末の位置を推定する手法が提案されている [9][10]。提案手法でも基地局 ID によってユーザの存在する位置を電波到達範囲（100m 程度）内に制限している（3.2 節参照）が、複数の基地局からの電波強度情報を使ってより詳細な位置範囲（10m 程度）に制限することも考えられる。これにより、マーカ配色に必要な色数を削減（もしくはより密に配置）したり、マーカの方向を測定する回数を少なくすることができる。

しかし、特に屋内では、障害物による反射・吸収などにより、電波は空間的・時間的に乱れている。文献 [11] の手法では、あらかじめ、システム利用区域内の各位置において、電波強度の測定を行い、電波強度の空間的な分布を学習する。これにより、電波の乱れに対してロバストな位置測定を実現している。提案手法においても、5 節で提案したように、磁場の空間的な分布をあらかじめ学習しておくことにより、地磁気の乱れに対してロバストな位置推定を行うことができる。

既存の位置測定技術と比較して、本研究で提案したマーカの方位角を用いた位置測定手法は、以下のような特徴がある。

- 低コストな運用：環境側に特別な装置が必要な手法と比較すると、本手法は単にマーカを配置すればよく、またマーカは電力等の運用コストも不要なため、環境側の設備を安価にできる。また、マーカの代わりにランドマーク等を用いれば、マーカを配置する必要もない。無線 LAN との組み合わせを考えた場合でも、無線 LAN 基地局は安価であり既に広く普及している [10]。
- どこでも利用可能：磁気センサを用いた方向センサと磁気分布の事前学習により、屋内・屋外問わず広い範囲で本手法を運用できる。
- 位置センサが不要：位置と方向に基づく応用サービスを考えた場合、方向センサだけで位置・方向ともに取得で

き、新たに他の位置センサが不要なため、クライアント端末のコストを安くできる。

- 素早い起動：GPSと比較すると、携帯端末の電源を入れてからすぐに位置情報の取得が行えるという利点がある。
- プライバシー：ユーザが能動的に位置を測定しない限り、ユーザの詳細な位置をシステムが知りえないため、プライバシーを重視するユーザにとって有用である。

6.2 位置依存サービス

既に様々な位置依存サービスが提案されている。SpaceTag[2]では、位置および時間を限定して情報を発信できる。kokono Search[1]は、WWWドキュメントに含まれる住所等の位置情報を自動抽出し、位置情報に基づいたWWW検索を可能としている。Follow-me Application[4]では、ユーザに最も近いディスプレイが自動的に作業環境として選択される。

提案した位置情報システムの最大の特徴は、ユーザの位置だけでなく方向も利用したより高度なサービス(Direction Based Service)を提供できることである。位置のみの場合、ユーザは「今いる場所」の情報を得ることができる。方向を併用することにより、「今見ているもの」「今指し示しているもの」など、より細かな情報を得ることができる。我々は、Direction Based Serviceの他の例として、クライアント端末をレーダのように回転させて「どの方向に望んでいるサービスがあるか」を検索するサービスを計画している。指し示した方向にサービスが存在する場合、振動や音でユーザに通知する。

6.3 画像認識による指定対象物推定

指定対象物の推定のための手法としては、画像認識技術を用いたものが多く提案されている。InfoPoint[12]は、2次元マトリックスバーコードを対象物に貼り付け、カメラ内臓端末でこれを撮影することにより、ユーザが指し示している対象物を特定する。しかし、対象物から遠く離れた場合はバーコードの認識が困難である。また、AirReal[13]では、部屋側面に取り付けられたカメラで、ユーザがレーザポインタで指し示している座標を画像認識する。しかし、このような手法は、カメラが撮影している場所・方向でしか使うことができない。一方、提案手法は、環境側の設備も安価であり、広い範囲での利用が可能である。

7 まとめ

方向センサを用いた位置情報システム Azim を提案した。本システムでは、位置が既知の複数のマーカの方位角を、ユーザが指し示して測定することにより、ユーザの位置を推定する。ユーザの位置だけでなくその方向も取得できるため、位置と方向を用いたより高度なサービスを提供できる。ユーザにサービスを提供するために無線LANを用いており、無線LANの基地局情報を活用して広い範囲での運用を可能としている。本手法の有用性を判断するために、磁気センサと加速度センサを組み合わせた方向センサを用いてプロトタイプシステムを構築し、評価実験を行った。

今後の課題としては、まず、磁場の空間的な分布を容易に学習する手法を検討する必要がある。この分布を用いれば、5節で提案したように、地磁気が乱れている環境においても精度の高い測定を行うことができる。また、本手法では、まずは簡単化のために2次元平面を対象としたが、方向センサから得られる方位角、仰角両方を使うことにより、本手法を3次元空間に適用することを検討している。

参考文献

- [1] Katsumi Takahashi, Nobuyuki Miura, Seiji Yokoji, and Ken-ichi Shima, "Mobile Info Search: Information In-

tegration for Location-Aware Computing," Journal of the Information Processing Society of Japan, Vol.41, No.4, pp.1192-1201, 2000.

- [2] H. Tarumi, K.Morishita, M.Nakao, and Y.Kambayashi, "SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application," International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'99), Vol.1, pp. 207-212, 1999.
- [3] Rashmi Bajaj, Samantha Lalinda Ranaweera, and Dharma P. Agrawal, "GPS: Location-Tracking Technology," IEEE Computer, Vol. 35, No. 4, pp. 92-94, 2002.
- [4] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggle, Andy Ward and Paul Webster, "The anatomy of context-aware application," Proceedings of the fifth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MOBICOM'99), pp. 59-68, 1999.
- [5] MicroStrain, Inc, "3DM: solid state 3-axis pitch, roll, & yaw sensor," <http://www.microstrain.com/3DM.html>
- [6] 河口信夫, 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/>
- [7] Yohei Iwasaki, Nobuo Kawaguchi, and Yasuyoshi Inagaki, "Touch-and-Connect: A connection request framework for ad-hoc networks and the pervasive computing environment," First IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2003), Mar. 2003.
- [8] Goran Djuknic, and Stephen Wilkus, "Geolocation and wireless multimedia," 2001 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2001), pp.581-584, 2001.
- [9] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," IEEE Infocom 2000, pp.775-784, 2000.
- [10] Bill N. Schilit et al., "Challenge: ubiquitous location-aware computing and the "place lab" initiative," Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless mobile applications and services on WLAN hotspots (WMASH'03), pp.29-35, 2003.
- [11] Andrew M. Ladd, Kostas E. Bekris, Algis Rudys, Lydia E. Kavradi, Dan S. Wallach, and Guillaume Marceau, "Robotics-based location sensing using wireless ethernet," Proceedings of the eighth annual international conference on Mobile computing and networking (MOBICOM 2002), pp.227-238, 2002.
- [12] Naohiko Kohtake, Jun Rekimoto, and Yuichiro Anzai, "InfoPoint: A device that provides a uniform user interface to allow appliances to work together over a network", Personal and Ubiquitous Computing, Vol.5, No.4, pp.264-274, 2001.
- [13] 星野剛史, 堀井洋一, 丸山幸伸, 片山淳詞, 柴田吉隆, 吉丸卓志, "AirReal: ホームネットワークのユーザーインタフェース," インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2001), pp.113-118, 2001.