

## コンテキスト情報と操作履歴の関連付けによる 操作予測システムの提案

遠山 緑 生<sup>†</sup> 豊田 陽 一<sup>†</sup>  
加藤 文 彦<sup>†</sup> 服部 隆 志<sup>††</sup>

本論文は、コンテキストに応じた操作を予測するシステムでの利用を想定した、位置情報の利用手法を提案する。本手法では、抽象度の高い位置表現を得るため、測位履歴をクラスタリングによって有意位置の形にまとめる。GPS を内蔵した携帯電話をターゲットとし、プロトタイプとして携帯電話上で位置情報と操作の記録を行うクライアントと、サーバ上で位置履歴の分析と位置予測を行うシステムを実装した。これを用いた実験結果について述べる。

### A Prediction System based on Context Information and Operation Histories

NORIO TOYAMA,<sup>†</sup> YOUICHI TOYOTA,<sup>†</sup> FUMIHIRO KATO<sup>†</sup>  
and TAKASHI HATTORI<sup>††</sup>

We propose a management method of location information for such system that predicts the user's next operations depending on contexts. The method analyzes a history of measured locations and generates a set of significant locations by clustering. The significant locations are more suitable to be used by the prediction system. Targets of the method are GPS-equipped cellular phones. We implemented a prototype system which consists of a client and a server. The client records a history of locations and operations on a cellular phone. The server analyzes the history and makes predictions of next locations. We show the result of an experiment with this prototype system.

#### 1. はじめに

本節では、最初に本研究の背景について述べる。次に本研究が目標とするシステムである、コンテキストウェアアプリケーションをルールの組み合わせによって構築するシステムについて述べる。最後に本論文の位置づけとして、このシステムにおいて位置情報を扱う際に必要となる位置情報の分析手法について述べる。

##### 1.1 背景

本研究の背景として、携帯情報機器の高度化とユビキタス情報環境の普及がある。携帯情報機器の高度化は、特にネットワーク接続機能の向上と、センサデバイスの内蔵という二方面において著しい。特にセンサデバイスについては、GPSをはじめとして、バーコードリーダ、赤外線タグリーダなどが内蔵されつつある。また、ユビキタス環境に関する研究も進んでいる。今

後、ホームネットワーク経由で操作可能な機器や、埋め込みのセンサデバイスが広く利用されるようになると考えられる。

このような高度化した携帯情報機器とユビキタス環境が組み合わせが今後発展すると、携帯情報機器を、環境とのインタラクションを行うためのインターフェース装置として活用することが考えられる。本研究の最終的な目標は、このような環境に向けたコンテキストウェアアプリケーションの作成と利用を可能とすることである。

##### 1.2 目標とするシステム

目標とするシステムの簡単な利用例は、「駅の近くで時刻表を調べる」、「部屋に入ったら電気をつける」といったコンテキストウェアアプリケーションである。これらのアプリケーションは、次のような基本 if-then ルールを組み合わせで構築されると仮定する。

if (あるコンテキスト) then (ある操作)

ルールの条件となるコンテキストとしては、現在位置、現在時刻、曜日、近い将来の位置、気温、天気、今日の予定などが考えられる。操作としては、携帯電話であれば電話をかける、メールを送信する、ある Web

<sup>†</sup> 慶應義塾大学 政策・メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Keio University

<sup>††</sup> 慶應義塾大学 環境情報学部  
Faculty of Environmental Information, Keio University

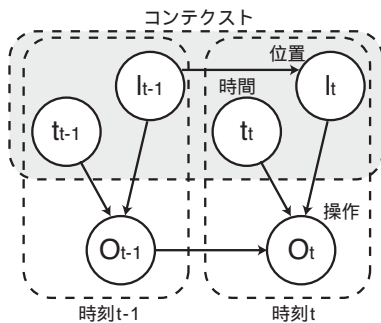


図 1 DBN によるコンテキストと操作の関係の記述

ページを見る, などの操作が考えられる。

ルールの作成は, 携帯情報機器の操作のみで可能としたい。しかし, 携帯情報機器の制約が多いユーザインタフェースでこのようなルールを作成可能とするには, 次のような問題がある。

通常のプログラムのようなテキストによる記述は携帯情報機器上では難しい。コンテキストの定義やコンテキストと操作の組み合わせは, メニュー選択などの形を取るにしても, 提示すべき項目や選択肢が複雑で, 携帯端末上の制約が多いユーザインタフェースでの提示は困難である。また, 多くのコンテキスト, 特に位置情報は, 定義が曖昧さを持ち, 条件節の記述定義の範囲が困難である。例として「if (自宅朝起きて平日) then (天気予報を見る)」というルールを記述する場合, 自宅, 朝, 平日の範囲を定義する必要があるが, 携帯機器上での記述的な定義は困難である。<sup>11)</sup>

この問題を解決し, 携帯情報機器上の操作のみによるルールの作成を可能とするため, ユーザの利用履歴を例示として捉え, 学習によってルールを作成する, という PBD (Programming by Demonstration)<sup>6),7)</sup>の方法を用いる。事前にコンテキストやルールを定義するのではなく, 利用履歴から, コンテキストやルールの定義を事後的に学習可能とすることで, この問題に対処できる。

学習・予測システムの実現には, コンテキストと操作の間を関連付けるモデルが必要である。本研究では, この目的に Dynamic Bayesian Network(以下 DBN)<sup>8)</sup>を利用する。

DBN を利用するためには, 事前にネットワーク構造を決める必要がある。この構造により, コンテキストの種類や, コンテキスト同士あるいはコンテキストと操作の因果関係を表現する。想定する DBN の概念を図 1 に示す。定義したネットワーク上で, コンテキストと操作の多値的な相関関係や, 各コンテキストの値などを確率的に表現し, その値を利用履歴から得ることで, 学習可能なシステムという目標を達成することができる。

### 1.3 本論文の位置づけ

本論文では, このような方法によるルールの生成を

可能とするために最も重要なコンテキストの一つである位置情報に着目し, 有意位置 (Significant Location)<sup>4),5)</sup> の概念を用いた分析と利用の手法を提案する。また, 有意位置に基づいた近い将来の位置の予測手法についても述べる。

ターゲットは GPS 内蔵の携帯電話とし, 電話の発信, メール送受信, ブックマークなどの機能をルール化できるようにする。また, GPS 内蔵の携帯電話の測位機能によって得られる位置情報をルール中でコンテキストとして利用するための手法を提案する。携帯電話の測位機能によって得られる位置履歴は, 通常の GPS から得られる履歴とは異なる特長を持つため, 従来とは異なる手法が必要になる。

位置情報をルールの条件として利用可能な形にするためには, 単一地点の緯度・経度より抽象度を上げた形で位置を表現する必要がある。本論文では, このような位置表現として有意位置を用いる。提案する手法では, 測位履歴に対してクラスタリングを行うことで, ユーザにとって意味のある一定領域を有意位置に変換する。

ルールの条件となり, 操作の説明要因となるコンテキストの位置情報としては, 現在の位置, 場所だけでなく, 近い将来の場所も利用可能となるべきである。例えば, 「30 分以内に駅に着きそうな場合, 駅から大学行きのバスの時刻表を見る」といったルールを記述したい場合, 30 分以内の位置が操作の条件となる。このような機能を実現するには, ある時点における因果関係のモデル化だけでなく, 近い将来の予測が必要となる。クラスタリングによって得られる有意位置を単位とした DBN を構成することで, これを用いた位置の予測が可能である。

本論文の構成を示す。2 節では, 本研究のシステムについて, その概要と実装の現状を述べる。3 節では, GPS 内蔵の携帯電話を用いた位置履歴の性質と, 有意位置の分析手法について述べる。4 節では, テストユーザの利用履歴を用いた実験結果により, 分析手法の詳細について議論する。5 節では, 有意位置を用いた将来位置の予測手法について検討する。

## 2. システムの概要

本節では, 提案するシステムについて, その利用手順と構成, 現在の実装状況について述べる。

### 2.1 システムの利用手順

本研究は, 利用履歴からの学習によるルールの作成とその実行を, 携帯情報機器上の操作で実現可能なシステムを目標とする。利用履歴からの学習を用いるため, 本システムの利用には次に示す手順を想定する。  
履歴収集 ユーザの携帯情報機器の操作を, コンテキスト, 特に時間と位置情報と共に履歴として記録する。

学習 利用履歴が一定量獲得された後、コンテキストと操作の関係を履歴から学習する。

予測 システムはある時点で得られるコンテキストから過去の学習に基づき、次に行う可能性が高い操作を予想する。

予測提示と選択 システムは予測結果をユーザに提示する。提示が正しいものであった場合、ユーザはその操作が選択することで、学習が強化される。本論文では、履歴収集と学習、予測に位置情報を利用する手法について論じる。

## 2.2 システムの構成

今回実装したプロトタイプシステムは、ユーザ側携帯情報機器として携帯電話を利用する。クライアントとサーバから構成し、それぞれに以下に述べる機能を持たせる。クライアントは履歴取得機能とルール実行機能の二つを持つ。サーバ側は履歴管理機能と、履歴の分析・学習機能を持つ。

### 2.2.1 クライアント

クライアントの具体的な実装環境は au(KDDI) の携帯電話、W11K である。この機種は、J2ME<sup>10)</sup> によるアプリケーションの実行機能と、GPS を用いた測位機能を持つ。

現在、J2ME 上で実装した履歴収集アプリケーションが動作している。このアプリケーションには次の機能を実装した。

定期的な測位履歴の記録 指定した時間間隔で測位を行い、位置を記録する。

操作履歴の記録 電話の発信、電子メールの送受信、ブックマークからの Web ページの呼び出しを記録する。

簡易ブックマーク機能 Web ページへのアクセスはこの簡易ブックマークを利用したもののみが記録される。

履歴のサーバへの送信 一定個数位置・操作履歴が蓄積されると、サーバへ履歴を送信する。

測位の間隔は設定可能だが、デフォルトでは 10 分ごとに測位を行う。履歴個数が 10 個を超えるとサーバへ HTTP によって接続し、履歴を送信する。履歴送信の完了後、クライアント側からは履歴を消去する。ルール実行機能は現時点では実装していない。

### 2.2.2 サーバ

サーバは履歴管理機能と、履歴の分析・学習機能を持つ。クライアントから送信された履歴を蓄積し、管理する。サーバは Linux 上の Perl スクリプトと PostgreSQL データベースシステムによって構築した。

クライアントからの履歴の取得は CGI スクリプトによって行う。クライアントから送信された履歴はデータベースに保存する。履歴の分析と学習の機能は、コマンドラインから実行するスクリプトによって行う。履歴管理機能で蓄積した履歴を読み込み、以下の分析を行い、有意位置と確率分布を出力する。

有意位置の分析 位置情報の測位履歴を元に、有意位置の分析を行う。

ノード間の条件付き確率分布の計算 DBN の各ノードと、ノード間の関係に対応する要素を数えあげ、条件付き確率分布を計算する。

この他にデータビューワとして、DB 中から履歴を取得し一覧表示する CGI、指定された緯度・経度の位置を Web サービスを利用して表示する CGI、与えられた位置からの指定された時間範囲の予測を表示する CGI を作成した。

## 3. クラスタリングによる有意位置の分析

本節では、測位履歴からの有意位置の分析手法について述べる。まず、本研究の想定する位置情報のルール条件としての利用の形態とその必要要件を示す。次に、ターゲットである GPS 内蔵携帯電話によって得られる測位履歴の特長について述べる。その後、位置情報をクラスタリングすることで有意位置に変換する手法と、その詳細について述べる。

### 3.1 ルールの条件としての位置情報

1.2 節で述べたようなルールにおける条件として位置情報を利用するには、場所に対して抽象度の高い意味付けが必要である。本論文の提案手法では、測位履歴に対しクラスタリングを行い、条件として利用できるような抽象度の高い位置表現を生成する。

携帯電話による測位の結果として得られるものは、緯度・経度によって表される空間上の一点である。一方、ルールの条件として必要なのは、「自宅」「駅の近く」など、ユーザにとっての意味が付与された、ある程度の範囲を含む場所である。ルールの条件として位置情報を利用するには、緯度・経度によって得られた点を、ユーザにとって意味がある場所のレベルまで抽象度を上げる必要がある。

意味のある場所として位置を表現する方法として、Point of Interest (以下 POI) からの距離の利用が考えられる。駅などの著名地点を緯度・経度で記しておく、最寄りの著名地点からの距離によって、「新宿駅から 100m」などの形で表す方法である。

このような、グローバルな POI を利用する場合の問題点は、ユーザ個々の事情に必ずしも合致しないことである。自宅が最も顕著な例である。個々のユーザにとって最も有意な場所は自宅だと考えられるが、グローバルな POI が近くにないと、必ずしも適当な位置を得られるとは限らない。逆に、グローバルな POI が特定のユーザにとって意味があるとも限らない。

POI のこのような問題を避けるためには、個々のユーザの事情を考慮した形で位置表現の抽象度を上げることが可能にすることが望ましい。個々のユーザの位置情報の履歴から、ユーザが定期的に訪れる場所、長時間居た場所を分析すれば、このような抽象的表現

である、有意位置を生成することができる。

本研究において、有意位置は大きく二つの役割を持つ。まずここに示したように、実際に得られる測位点を抽象化し、ルールの条件として利用可能な形にするという役割である。もう一つは、DBN を用いた位置予測の単位としての役割である。

### 3.2 gpsOne による GPS 機能の特長

本システムは、ユーザが持ち歩く機器として、携帯電話で完結するシステムを目指した。このため、携帯電話内蔵の GPS と測位機能を利用する。ターゲット機種とした au(KDDI) W11K は、Qualcomm 社の gpsOne 技術<sup>9)</sup> による、GPS を基本とした測位機能を内蔵している。

この測位機能を利用する場合、一般的に利用されている単体の GPS 測位装置の利用に比べ、どこでも測位できる、精度のばらつきが大きい、測位頻度が低い、速度が計測できないという 4 つの特長を持つ。以下にこれらの特長について述べる。

#### 3.2.1 どこでも測位できる

室内や地下など、GPS からの電波が届かない場所であっても、基地局からの補助を受け、ある程度の計測が可能である。携帯電話の電波が届く限り、測位が可能である。

#### 3.2.2 精度のばらつきが大きい

一方、どこでも測位できることの代償として、精度のばらつきが大きい。通常の GPS 機器は、それぞれの機器の特性による一定の範囲内で位置計測の精度が期待できる。一方、gpsOne による測位は、完全に GPS 単体での測位が可能の場合には精度数 m の測位が可能だが、そうでない場合、近隣基地局の位置などから推測できる概ねの場所が示されるため、誤差が 1km を超える場合もある。

なお測位誤差については、API より *majoraxiserr*, *minoraxiserr*, *axisangle* という三つの値が得られる。これらの値の意味は非公式な情報は Web 掲示板などで得られたが、一般公開されている文書から説明が得られなかった。

実際に実験機を一カ所で固定して継続的に記録をしたところ、*majoraxiserr* の数値をメートルとして解釈すると、9 割近くの確率でその範囲内に実際の誤差が収まる事が確認できた。この結果に基づいて、本システムでは *majoraxiserr* をメートルとして解釈したものを、推定誤差として利用した。

#### 3.2.3 測位頻度が低い

一般的に単独の GPS 測位装置は、通常数秒単位での GPS 測位記録を 1 日程度に渡って記録し続けることができる。一方、携帯電話では、測位を持続的に行い、バッテリーを実用的な時間持たせようとすると、数分から 10 分程度に一度の間隔でしか計測ができない。

例えば、今回テスト機として用いている au(KDDI) W11K では、実装したアプリケーションで一定頻度で

測位を続けた場合、測位頻度とバッテリー持続時間は表 1 に示すような結果となる。なお、これは購入後一ヶ月程度利用した状態のバッテリーで一回計測を行った値である。

このように、バッテリーの充電なしに一日の行動中継続的に測位記録を残すためには、比較的低頻度な記録しか得られない。

#### 3.2.4 速度が計測できない

通常の GPS 装置であれば、数秒間隔で精度に大きく違いのない記録が得られるため、速度と移動方向を一定精度で求めることができる。

一方本システムの記録は、低頻度の記録しかなく、精度にばらつきが多いため、意味のある速度の値を計測することができない。

#### 3.2.5 gpsOne による測位記録の利用

以上に示したように、本システムでは継続的に測位記録が得られる代わりに、低頻度で、精度のばらつきが多く、速度情報は得られない、という制約を持つ測位履歴の利用を前提とする。

これらの制約、特に精度のばらつきと速度が得られない点は、ナビゲーションなどの比較的厳密な測位や予測が必要な場合には大きな欠点となる。

一方、本研究の目的であるコンテキストからの操作の予測を実現するという観点では、これらの点は絶対的な欠点にはならず、利点を生かしつつその欠点を乗り越えることが可能である。

まず、操作の説明要因としての位置は、厳密さは必ずしも必要ではなく、どの有意位置の範囲内かが分かれば良いため、精度のばらつきの問題を吸収できる。また、室内や地下であってもある程度の測位が可能である点は大きい利点である。頻度の低さと速度が得られない点は、位置予想を難しくはするが、本研究では、有意位置単位での位置予測を利用することで、この欠点を解消する。

### 3.3 位置情報のクラスタリング

3.1 節で述べた有意位置を得るため、本システムでは、クラスタリングによる位置情報の分析を行う。

連続的に取得された測位履歴から有意位置を割り出すためには、履歴内で一定時間滞している位置を分析することが考えられる。Ashbrook ら<sup>4),5)</sup> は、このようなアイデアに基づき、有意位置を GPS の測位履歴からクラスタリングによって取り出す手法を提案している。本システムではこのアイデアを元に、gpsOne 携帯電話による測位履歴の特性と想定用途に合うように改良した手法を用いた。以下では、この手法の概要

表 1 測位頻度とバッテリー持続時間

測位頻度	バッテリー持続時間
10 分	21 時間 20 分
5 分	14 時間 30 分
2 分	9 時間 40 分

- (1) 履歴中で一定時間滞在している地点 (Places) を取り出す、
- (2) (a) 任意の一地点を選び、その地点から半径内に収まる全ての地点を抜き出す。  
 (b) それら全ての地点の平均を取り、新しい中心点として設定する。  
 (c) 再び新しい中心点から半径内に収まる全ての地点を抜き出し、平均を取り、中心点として再設定する。  
 (d) 中心点が移動しなくなるまで繰り返す。  
 (e) 中心点の座標と半径の組を有意位置とし、その範囲内の各地点を割り当て済みとする
- (3) 割り当てられていない別の任意の一地点を取り出し、2. を繰り返す

図 2 k-means クラスタリング法の応用による有意位置の分析アルゴリズム

と、本システムにおけるこの手法の改良点を述べる。単一の測位結果が緯度・経度で表される一つの点であるのに対し、クラスタリングによって得られる有意位置は、緯度・経度で表される中心点と半径からなる一定範囲によって表現される。半径内を同一領域とみなすことで、範囲内であると判定される実際の位置に幅を持たせると共に、測位誤差を吸収することができる。Ashbrook ら<sup>4),5)</sup>の提案するクラスタリング手法は、k-means クラスタリングアルゴリズムを位置情報に適用したものである。アルゴリズムの概要を図 2 に示す。このアルゴリズムによって、中心点と半径の組み合わせが有意位置 (Significant Location) として出力される。各有意位置にはユニークな ID が付与される。各有意位置は、ユニーク ID と緯度・経度、半径の組み合わせによって表現される。

文献 4), 5) 中では、このアルゴリズムを基本とし、パラメータをどう設定するか、という議論が行われている。以下では元の手法と、本システムにおける変更点を比較する。3.4 節では、滞在中か移動中かの判定方法について、3.5 節では適切な有意位置数を得るための半径の大きさについて、それぞれ論ずる。

### 3.4 滞在中か移動中かの判定方法

まず、滞在中か移動中かの判定の問題について検討する。文献 4), 5) は Garmin 社の GPS 測位装置を利用して得た高頻度 (1 分以下) の測位履歴を用い、その性質から次のような滞在地点の定義を行っている。滞在時には通常室内に居るため GPS 信号が跡絶えることに着目し、一定時間  $t$  以上の GPS 信号のロストがあった点を滞在中場所 (Places) として定義している。クラスタリングによる有意位置分析の対象は、測位履歴中の全ての点ではなく、一定時間以上滞在中の Places のみが対象となる。

一方我々のシステムでは、前述の gpsOne の特性から、この定義は利用できない。室内においても測位が可能であるため、GPS 信号のロストを滞在中の判別に用いる意味はない。また、測位頻度が低頻度 (10 分) であり、速度も判定できない。特に精度が粗くなりや

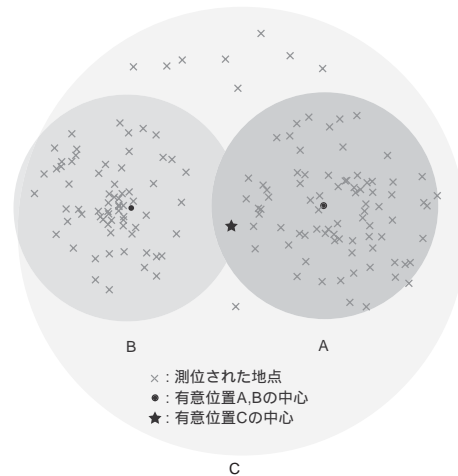


図 3 複数半径の有意位置の組み合わせ例

すい個所においては、実際には移動していなくても、連続する二回の測位結果が数百 m 以上離れることもあり、履歴中で隣接する個々の測位結果の差から移動中か滞在中かの判定は難しい。

このため、我々のシステムでは、滞在中か移動中かの判定はクラスタリング前には行わず、先に全ての測位履歴から直接クラスタリングを行う。従って、ある地理的範囲が有意位置として判定されるか否かは、範囲内に収まる履歴個数が一定の個数を超えるかどうかによって決まる。今回のシステムにおいて、元の手法で時間  $t$  に相当するパラメータは、有意位置の候補に含まれる履歴中の測位個数の閾値となる。

一つの有意位置とすべき範囲内にいる時間が長ければ、より多くの測位がその周辺で行われるので測位個数は増え、結果として長く滞在中場所が有意位置として検出される。例えば、測位頻度が 10 分に一回で、範囲内への最小滞在時間が 10 分であるとすると、平均して 2 回の滞在中に 1 度は測位結果が同一範囲内に収まるはずである。一方、移動途中では、滞在中の個所に比べて同一範囲内の地点が複数回測位される可能性は少ないので、比較的少ない測位個数しか得られず、閾値を下回る可能性が高い。この閾値の適正值については 4.1 節で実験結果に基づいて議論する。

### 3.5 有意位置の半径

次のパラメータとして、有意位置の半径について検討する。プロトタイプシステムでは、半径の選択について、下で述べる精度と適正半径の関係の問題を検討した結果、複数段階の半径を用い、組み合わせで利用することとした。

複数半径の組み合わせの例を図 3 に示す。この例の場合、広い半径の C に含まれる領域中に、密度が高い領域が二つある。狭い半径の A, B と、両者を含む広い半径の C を組み合わせることで、状況に応じて適切な半径の有意位置を利用することができる。

文献 4), 5) では、有意位置の半径と有意位置の個数は、有意位置の個数がクラスタリング前の Places の個数に急速に近づきはじめる手前の半径を *knee* と呼び、その半径を適正半径としている。この考えに基づき、*t* を 10 分とした時、基本半径を 0.5 マイル (約 800m) としている。

さらに、比較的大範囲の移動 (家からキャンパスへの移動など) と、比較的小範囲の移動 (キャンパス内の建物間の移動など) を別に考えるため、*sublocations* という概念を導入している。例えば自宅という有意位置を判別したいとすると、適正半径はかなり小さいものとなる。一方大学キャンパスなどの場合、キャンパス全体を含む大きい半径のエリアと、個々の建物程度を含む小さい半径のエリアを両方使うことが望ましい。*sublocations* は、大きい有意位置の範囲内で、より小さい半径によってもう一度クラスタリングを行うことで、個々の有意位置内に子範囲を生成するというものである。

文献 4), 5) は *sublocations* の概念が提案はされているが、その利用方法はあまり考察されていない。5 節では、複数段階半径の有意位置間の関係に基づいた使った位置の予測手法を提案する。

### 3.6 有意位置の半径と精度の関係

精度と適正半径の関係は、3.2.2 節で述べた測位精度のばらつきが大きいという特性からくる検討課題であり、文献 4), 5) では論じられていない新しい要因である。

前述のように、測位履歴の誤差は、小さい場合数 *m* 程度に収まっているのに対し、大きい場合 1km を越すこともある。実際に得られた測位履歴を検討した結果、比較的大きな測位点について、誤差が特定方向に偏る傾向が見られた。この偏りのため、有意位置の形成に用いる半径を実際の誤差より小さい距離としてしまうと、同一方向への偏りを持った測位履歴が複数個蓄積された場合、実際には行っていない場所に有意位置ができてしまうことがある。

例を図 4 に示す。この例では、実際の位置は全く動いていないにもかかわらず、誤差が左方向に偏って発生している。実際に居る場所の回りに形成された有意位置 A は望ましいものであるが、B は誤差の偏りから生まれた本来は発生すべきでない有意位置である。

このような誤差方向の偏りの発生は、GPS からの信号が弱く、基地局の補助を受けた測位やエリア単位の測位を行う際に、基地局との位置関係に測位結果が影響を受けるためと考えられる。

この例のような疑似有意位置が発生する問題を極力避けるため、有意位置の形成時に、半径の値より大きい推定誤差 *majoraxiserr* を持つ測位点は外すことにした。

半径を一定としてこのような処理を行うと、あまり精度が高い測位ができない室内などで有意位置が形成

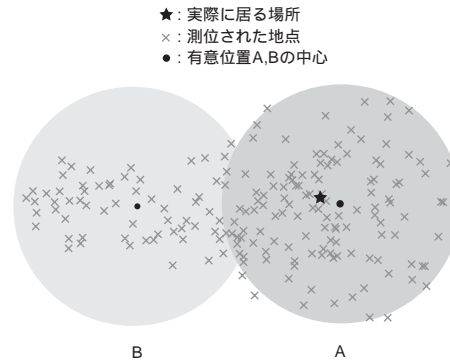


図 4 誤差方向の偏りによって形成される誤った有意位置の例

されにくくなったり、実際には有意位置の範囲内にも関わらず測定結果が範囲外と判断されるケースが増えてしまう。例では、B に属している測位位置はすべて有意位置外と判定される。

この問題は、A, B 両者を含むような半径の広い有意位置を作ることによって対処することができるので、精度のばらつきに合わせた複数段階の半径を利用して有意位置の検出を行う実装を行った。

### 3.7 関連研究

本論文の有意位置分析の手法は、これまで述べたように、GPS 内蔵携帯電話の測位機能によって得られる測位履歴の特性に適合するよう、Ashbrook ら<sup>4),5)</sup>の手法を改良したものである。

文献 1) は、各種の Bayesian Filter の位置判断への適用手法のサーベイを行い、特にローカルエリアで赤外線、超音波などの複数のセンサを組み合わせた場合の利用例について解説している。

文献 2), 3) では、高頻度、高精度の位置情報履歴と GIS データの活用により、DBN を用いた精度の高い位置・行動予測を行っている。目的地と交通モード、速度のノードを DBN 中に導入し、抽象度の低い GPS データと、より抽象度の高い目的地・交通モードの情報を全体として組み合わせ予測を行っている。本論文が想定する低頻度の測位履歴に対してこの手法をそのまま適用することはできないと考えられるが、特に交通モードのノードは、本研究の目標であるコンテキストによる操作の条件付けにおいても有用な役割を果たすと考えられる。

## 4. 実 験

2.2 節で述べたように、現在プロトタイプの履歴記録機能とサーバ側の履歴管理機能は完成している。テスト機をユーザに持ち歩いてもらい、測位履歴を収集している。

以下では、現段階で得られた結果に基づいて、有意位置の分析の際に用いたパラメータについて検討する。

用いた実験結果は、あるテストユーザによる 3130 回の測位履歴に基づく。これは約 21 日分に相当する。

#### 4.1 有意位置とみなす測位個数の閾値

3.4 節で述べたように、本システムが生成する有意位置を妥当なものとするためには、有意位置としてみなす範囲内測位個数の閾値の調整が必要である。

閾値を 10,8,5,3 とした場合に、それぞれの半径において得られる有意位置の個数を表 2 に示す。

閾値を 10,8 とした場合、有意位置個数は半径 250m において最多になるのに対し、閾値を 5,3 とした場合、半径 100m で最多となる。この違いは、半径が小さいほど一つの有意位置の範囲内に収まる測位回数が少なくなるので、閾値を高くすると有意位置を形成しにくくなるためである。一方、半径を一定以上に大きくすると、下位の半径においては別の複数個の有意位置であるものを統合するケースが増えるため、半径 250m, 500m, 1000m と個数は小さくなっていく。

半径 2000m の場合のみ、どの閾値でも 500m, 1000m より個数が増えている。これは、*majoraxiserr* が 1km 以上の値であり、半径 1000m 以下の有意個数の形成に加われなかった測位点が主体となって形成される有意位置がいくつか生まれているためである。

実際に得られた有意位置を検討したところ、閾値が 10 の場合、特に小さい半径において、有意位置として利用する意味がある独立した位置まで切り落としている。一方閾値 3 ではノイズに近い、たまたまサンプルが多かった移動途中の位置と考えられるものまで含まれている。このケースの場合、閾値は 5 から 8 程度が適正であると考えられる。

適正な閾値は、測位履歴の個数の増加と共に再検討すべき問題であると考えられる。今後、利用事例を増やし、再び検討する予定である。

#### 4.2 有意位置の半径

次に、実験結果から、有意位置の半径の大きさについて検討する。現在の実装での半径は、現在のテスト利用者の傾向と推定誤差の傾向から判断して、最小半径を 50m とし、最大半径を 2km とした。この間に 100, 250, 500, 1000m の範囲を設け、それぞれの半径でクラスタリングによる有意位置の判定を行っている。これらの途中の半径の値は、履歴中の推定誤差の傾向から adhoc に決定したものであるが、これが適切なものかどうか検討する。

表 2 から、半径 500m と半径 1000m のケースはその個数にほぼ違いがないことがわかる。実際に得られ

表 2 半径と有意位置個数

閾値	50	100	250	500	1000	2000
10	7	9	11	11	10	12
8	8	12	16	12	12	14
5	12	24	20	16	14	17
3	27	35	28	23	23	24

る有意位置も、半径 500m のものと半径 1000m のものがほぼ 1 対 1 対応している。従って、どちらかは必要ないか、もしくは中間の値に統合できると考えられる。

半径 50m のケースは、閾値がどの場合においても有意位置の個数が 100m のケースに比べ少ない。これは、*majoraxiserr* を推定誤差とし、誤差が半径より大きい点は無視するという、3.6 で述べた処理の影響である。表 3 に、各半径、推定誤差が半径より小さい点数と、その点数が全体点数に占める割合を示す。この表から、半径 50m の場合、全測位点のうち 4 割程度しか推定誤差の条件を満たさず、6 割以上の点が有意位置の形成に利用されていないことがわかる。

半径 50m として形成された各有意位置を検証したところ、ほぼ全ての位置が半径 100m において一対一対応する位置を持っている。これらのことから考えて、半径 50m の有意位置の設定はあまり意味がないと考えられる。

以上の結果より、今回のデータにおいては、100m, 250m, 750m, 2000m の 4 つの半径を利用すれば十分である。今後履歴の蓄積が増えた時点で、この問題も再度検討する予定である。

## 5. DBN を利用した位置情報の予測

本システムでは、現在位置のみでなく、近い将来の予測位置をコンテキストとしたルールの作成も可能とすることを旨とする。このため、複数半径の有意位置を関連付けた DBN による位置予測を試みた。本節では、予想手法の概要と、現在の実装状況について述べる。

DBN の構成には、次の 3 点を検討した。各時間ステップ中のノード間の因果関係と時間ステップ間の推移関係、各時間ステップ間の間隔の意味付け、ノード間の推移確率を表す条件付き確率分布表 (Conditional Probability Table, 以下 CPT) の生成方法である。

ノード間の関係については、図 5 に示すような構造とした。各時刻  $t$  において、各半径の有意位置のノードはそれぞれ次の 2 ノードから決定されるものとした。まず、一つ前の時刻  $t-1$  における同一半径有意位置のノード、次に、同一時刻  $t$  における一つ大きい半径の有意位置ノードである。広い半径の有意位置の推移確率によって広域の行動が予測され、狭い半径の有意位置は広域側に従う形で移動可能性が予測される。一方、広域での移動が行われない場合でも、広い半径の有意位置内における狭域移動の可能性が予測できる。

今回のシステムでは、ステップ間の時間間隔は履歴

表 3 推定誤差が半径より小さい点数

	50	100	250	500	1000	2000
個数	1237	1878	2108	2373	2782	3127
割合	0.395	0.6	0.673	0.758	0.889	0.999

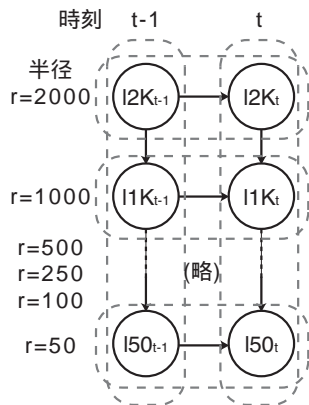


図5 複数半径の有意位置を組み合わせた DBN

の取得頻度に相当すると考えるのが自然であり、約 10 分での位置の推移を意味するものとした。

各ノード間の関係を表す CPT について、現在の実装では、履歴において実際に出現した個数を数え上げ、合計数によって正規化を行って生成した。

以上の設計に基づいた簡単なプロトタイプ実装を行い、提案手法に基づく予想が可能であることは確認した。しかし CPT の生成方法についてより具体的に検討する必要があり、現時点では評価はできていない。

有意位置の予測について、文献 4), 5) では位置予測には sublocations の存在が活かされていないが、我々のシステムでは DBN のノード間の関係として、大きい半径の位置が小さい半径の位置に確率的な影響を与えるという関係を導入することで、複数段階の半径の有意位置を組み合わせて利用することを可能とした。

文献 4), 5) では二階マルコフモデルを用いて、次の有意位置に関する予想を行っている。一方、上に述べた予想手法は、複数段階の有意位置半径を組み合わせるという手法の提案に主眼があり、現在のところ DBN の時間ステップ間の関係は一階で構成している。文献 4), 5) において議論されているように、階数を上げた方が確率分布表が大きくなる代わりに、予想能力は高くなる。今後、我々のシステムでは最大半径の有意位置ノードのみ二階とし、広域行動の予測精度の向上を試みる、などの手法を検討する予定である。

## 6. おわりに

本論文では gpsOne 技術による GPS 内蔵携帯電話から得られる測位履歴を対象とした有意位置の分析手法を提案した。本研究が想定する、コンテキストを条件とした操作の実行というルールを記述するためには、コンテキストとしての位置情報を抽象度の高い形で記述する必要がある。この目的のため、測位履歴をクラスタリングによってまとめ、中心点と半径により記述される有意位置に変換する手法について述べた。テス

トユーザの利用結果に基づいた実験を行い、提案した手法のパラメータについて検討を行った。最後に、この有意位置を単位とした位置情報の予測手法について、その概要と今後の検討課題を示した。

最後に今後の課題について述べる。まず 5 節で述べた位置情報の予測手法の改良を行い、実際の測位履歴に基づいて予測の正確さを評価する予定である。また、本研究の目標である、コンテキストと操作のルール化に向け、測位履歴と操作履歴を関連付けるための DBN のモデルについて検討を行い、その実装を目指す。さらに、位置情報以外のコンテキストについてもモデルへの統合を行う方法についても検討する。

## 参考文献

- 1) D. Fox, J. Hightower, L. Liao, D. Schulz, and G. Borriello: "Bayesian Filters for Location Estimation", IEEE Pervasive Computing Magazine, Volume 2, Issue 3, pages 24-33, 2003.
- 2) L. Liao, D. Fox, and H. Kautz: "Learning and inferring transportation routines", Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, pages 348-353, 2004.
- 3) D. Patterson, L. Liao, D. Fox, and H. Kautz: "Inferring High-Level Behavior from Low-Level Sensors", Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing, pages 73-89, 2003.
- 4) D. Ashbrook, and T. Starner: "Learning Significant Locations and Predicting User Movement with GPS", Proceedings of the IEEE International Symposium on Wearable Computers, pages 101-108, 2002.
- 5) D. Ashbrook and T. Starner: "Using GPS to Learn Significant Locations and Predict Movement Across Multiple Users", Personal and Ubiquitous Computing, Volume 7, Number 5, pages 275-286, Springer-Verlag London Ltd, 2003.
- 6) A. Cypher: "Watch What I Do: Programming by Demonstration", MIT Press, 1993.
- 7) H. Lieberman: "Your Wish is My Command: Programming by Example", Morgan Kaufmann, 2001.
- 8) S. Russell, P. Norvig: "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice Hall, 2002
- 9) "gpsOne", <http://www.cdmatech.com/>
- 10) "Java 2 Platform, Micro Edition (J2ME)", <http://java.sun.com/j2me/>
- 11) 加藤文彦, 遠山緑生, 服部隆志, 萩野達也: "携帯端末上での曖昧なコンテキストに基づく例示プログラミング", 第7回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2004), <http://spa.jssst.or.jp/2004/pub/program.html>