

## 絶対・相対位置情報を活用した確率的な位置情報の検討

田畑 亮馬<sup>†</sup> 林 亜梨沙<sup>†</sup> 佐伯 幸郎<sup>†</sup> 中村匡秀<sup>††</sup>

<sup>† †</sup> 神戸大学 〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: <sup>†</sup>tabata@ai.cs.kobe-u.ac.jp, <sup>††</sup>masa-n@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 位置情報には緯度・経度や住所で表される絶対座標系の位置情報（絶対位置情報）と、二つのオブジェクトの位置関係を表す相対座標系の位置情報（相対位置情報）が存在する．絶対・相対位置情報は位置情報の座標系が異なり相互参照性を持たないが、相互に変換可能で柔軟な表現ができる位置情報があれば、異なる系の位置情報の連携によって、新たな位置情報を推測できる．本研究では、位置情報を領域と存在確率の組み合わせで表す確率的な位置情報を提案する．確率的な位置情報は、絶対位置情報や相対位置情報のログから、今まで不可視だった位置情報を推測し、表現できる．また、緯度・経度による地理的座標を表す絶対位置情報と、二つのオブジェクトのすれちがいを表す相対位置情報を利用して確率的な位置情報を計算するためのアルゴリズムについて検討し、そのアルゴリズムを適用した確率的な位置情報計算サービスの設計について検討する．

キーワード 位置情報, すれちがい, 絶対位置情報, 相対位置情報, 確率的な位置情報

## A Study of Probabilistic Position Information using Absolute and Relative Position Information

Ryoma TABATA<sup>†</sup>, Arisa HAYASHI<sup>†</sup>, Sachio SAIKI<sup>†</sup>, and Masahide NAKAMURA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Kobe University Rokko-dai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

E-mail: <sup>†</sup>tabata@ai.cs.kobe-u.ac.jp, <sup>††</sup>masa-n@cs.kobe-u.ac.jp

**Abstract** Position information is classified into 2 categories: absolute position information and relative position information. The former is expressed by an absolute coordinate system such as latitude/longitude and address. The latter is expressed by a relative coordinate system which shows a positional relation of 2 objects. Absolute/relative position information differs on a coordinate system, thus they cannot cross-reference. If there is position information that can be converted from both of them to express position more flexible, it can infer new position information by a cooperation of position information expressed by different systems. In this study, we propose probabilistic position information which expresses position by combinations of area and probability of presence. The probabilistic position information can express position which is inferred from logs of absolute/relative position information and which was invisible so far. Then, we consider an algorithm that infers the probabilistic position information from 2 kinds of position information; absolute position information that expresses geographic coordinates (latitude and longitude), and relative position information that expresses pass-by of 2 objects. Finally, we consider designing of a service which applies the algorithm.

**Key words** Position Information, Pass-by, Absolute Position Information, Relative Position Information, Probabilistic Position Information

### 1. はじめに

近年、モバイルデバイスなどの電子機器の高性能化やインフラ整備が進み、あらゆるモノがインターネットに接続するIoT (Internet of Things) の時代が到来している．それに伴い、ユーザはモバイルデバイスなどのセンサによって、様々な場所

で位置情報などの現在位置に基づいた情報を取得し、それをインターネットと連携して活用するサービスの利用が広がっている．例えば、位置情報のログを記録して活用するサービスとして、家族の位置情報をいつでも追跡できるサービス [1] が提供されている．また、ユーザの位置情報に基づいて適切なサービ

スを提供するロケーションウェアサービスとして、東京国立博物館では、近くの展示品の解説を自動で行うサービス[2]が提供されている。このように、様々な分野で位置情報のスマートサービスへの利用が進んでいる。

位置情報には様々な表現方法が存在する。例えば、緯度と経度を組み合わせた情報や住所、「公園から東に500メートル」といった二つのオブジェクトの位置関係などが存在する。このような位置情報は、絶対的な位置情報を利用する絶対位置情報と、相対的な位置関係の情報を利用する相対位置情報の二つに分類できる。絶対位置情報とは、測位システムにとってある一つの地点を表す位置情報である。一方、相対位置情報とは、別のオブジェクトから見た相対的な位置を表す位置情報である。絶対位置情報は、緯度・経度や住所などの一意な場所を示す絶対座標系で表され、相対位置情報は、二つのオブジェクトの位置関係を、距離や方角などによって示す相対座標系で表される。近年のモバイルデバイスでは、絶対位置情報と相対位置情報それぞれを検知する技術が搭載されている。絶対位置情報は、GPS (Global Positioning System, 全地球測位システム)などの位置情報システムによって測位可能であり、相対位置情報は、BLE (Bluetooth Low Energy) や Wi-Fi のアドホック・モード等の近接検知機構で、二つのオブジェクトの近接(すれちがい)を検知することによって測位可能である。

近年、位置情報利用の簡易化に伴い、絶対位置情報や相対位置情報を用いた様々なアプリケーションやサービスが開発されている。しかし、位置情報を用いたアプリケーションは、それぞれ基準となる位置や情報の時間的・空間的解像度が異なり、アプリケーション間における位置情報の相互参照性はない。よって、アプリケーションごとにそれぞれの表現方法を考慮した位置情報の設計を行う必要があるが、結果的に位置情報の再利用性が低くなり、アプリケーション間で位置情報を共有することも難しい。ここで、様々な系から変換可能な、より柔軟性の高い時空間情報を表現できる位置情報の系があれば、位置情報を相互に参照することで、異なる系の位置情報から新たな位置情報を推測することが可能になる。

そこで、本研究では、柔軟性の高い位置情報の系として確率的な位置情報を提案する。確率的な位置情報とは、あるオブジェクトの、ある時刻における位置を、領域と存在確率の組み合わせで表現する位置情報である。確率的な位置情報を用いることによって、あるオブジェクトの、ある時刻における、存在する可能性がある領域を推測し、表現することができる。絶対位置情報と相対位置情報の連携による位置情報の推測は、Dead Reckoning 技術[3]やその改善法[4]などがすでに提案されているが、相対位置情報の扱いについて一般化されてるとはいえない。

本稿では、異なる系の位置情報を組み合わせて、任意の時間における確率的な位置情報を計算する手法について検討する。異なる系の位置情報の組み合わせには様々なものが考えられるが、一例として、緯度・経度などによって表現される、地理座標系による絶対位置情報と、二つのオブジェクト間の距離によって表現される、すれちがいによる相対位置情報を利用する手法に

ついて検討を行う。提案手法では、あるオブジェクトの、ある時刻における位置情報を出力する際、近傍時間における絶対位置情報のログを参照することや、相対位置情報と絶対位置情報を連携することによって、オブジェクトがある時刻に存在する可能性のある領域を推測し、確率的な位置情報として表現する。本手法によって、これまで認識できなかった位置情報を利用することが可能になる。また、提案手法による確率的な位置情報の計算精度を検証するために、提案手法を扱うサービスの設計について検討する。

## 2. 準備

### 2.1 位置情報

一般的に利用される位置情報は、測位システムによって位置情報の表現形式が異なる。例えば、緯度・経度の組み合わせや住所、別のオブジェクトからの距離など、様々な形式で表される。これらの位置情報は、二種類に分類することができる。

#### 絶対位置情報

絶対位置情報は、位置情報測位システムにおけるある一地点を示した、絶対座標系で表す位置情報である。絶対座標系として、緯度・経度の組み合わせや、ある建物の位置を示す住所などが利用される。絶対位置情報は、モバイルデバイスにおいてはGPSなどによって検知することができる。

本稿では、あるオブジェクト  $A$  の時刻  $t$  における絶対位置情報を  $P(A, t)$  と表現する。また、あるオブジェクト  $A$  の時刻  $t$  における絶対位置情報が地点  $P$  であることを示すデータを、 $\langle A, t, P \rangle$  と表現する。

#### 相対位置情報

相対位置情報は、二つのオブジェクトの位置関係を示した、相対座標系で表す位置情報である。相対座標系をとって、距離や方角などが利用される。また、二つのオブジェクトが、ある一定の範囲内に、ある一定の時間存在することをすれちがいと呼び、すれちがいは相対位置情報として表すことができる。相対位置情報は、モバイルデバイスにおいてはBLE (Bluetooth Low Energy) や Wi-Fi のアドホック・モードによって、オブジェクト同士がすれちがいを行うことで、検知することができる。

本稿では、ある二つのオブジェクト  $A$  と  $B$  の時刻  $t$  における相対位置情報を  $R(A, B, t)$  と表現する。また、ある二つのオブジェクト  $A$  と  $B$  の時刻  $t$  における相対位置情報が  $R$  であることを示すデータを、 $\langle\langle A, B, t, R \rangle\rangle$  と表現する。

### 2.2 位置情報システムの課題

既存の位置情報システムは、絶対座標系同士であっても絶対位置の基準が違えば、それぞれの座標系で表現される位置情報は異なる。また、相対位置情報は単に二つのオブジェクト間の位置関係を表現するものであり、絶対的な位置を表現するものとはなり得ない。これらのことから、絶対座標系・相対座標系に関わらず、基本的に位置情報システムでは相互参照性はないといえる。さらに位置情報システムでは、システムごとに表現できる空間的・時間的解像度も異なるため、たとえ同一の位置

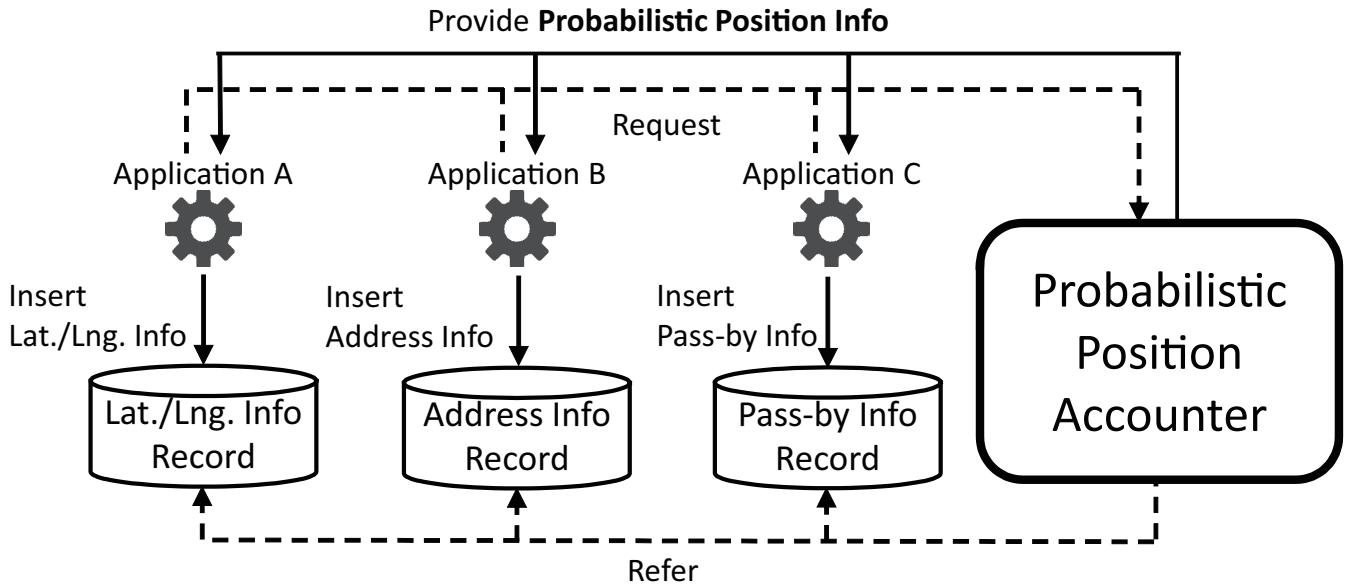


図 1 確率的位置情報の利用概略図

情報システムを利用している場合であっても、設定の差異があるだけでお互いの情報を利用することが難しくなる。この相互参照性の低さによって、アプリケーション間での位置情報の再利用が難しい。

ここで、様々な座標系で扱われる位置情報を、共通の系で表現される位置情報へと変換することが出来れば、様々な位置情報システムで収集される位置情報を相互に利用できるようになる。このような系が存在した場合、それぞれの位置情報システムがもつ位置情報を相補的に利用することで、時間的・空間的解像度の差異を吸収できる。また、単一の位置情報システムを利用した場合と比較して、アプリケーションは、位置情報の測位方法によらず、様々な時間における位置情報を参照できるようになる。また、相対位置情報のような相対座標系で表された情報でも、基準となる別のオブジェクトの絶対位置情報が既知の場合、オブジェクトの絶対位置を推測することができる。

### 3. 確率的位置情報

確率的位置情報とは、あるオブジェクトが、ある時刻において、存在する可能性がある位置を、領域と存在確率の組み合わせで表現する位置情報である。確率的位置情報は、領域を表現するために複数の絶対位置情報をデータ構造に含み、それぞれの絶対位置情報に対して、そこにオブジェクトが存在する確率を表す情報（数値、または“high”、“low”など）を含んでいる。確率を利用することによって、オブジェクトがある値以上の確率で存在する領域を求めることができる。

確率的位置情報の利用概略図を図 1 に示す。確率的位置情報を利用するシステムでは、系の異なる絶対位置情報や相対位置情報を連携することで、確率的位置情報に位置情報を変換することができる。アプリケーションにとっては、様々な系の位置情報を間接的に参照し、確率的位置情報を求めることによって、位置情報の測位方法によらず統一的な形式の確率的位置情報を参照可能になり、情報の時間的・空間的解像度を調整すること

表 1 確率的位置情報のデータ構造

要素名	例	
object	オブジェクトの ID	
time	日時	
position (list)	place	絶対位置情報
	rate	確率（数値、または“high”、“low”など）

ができるようになる。また、様々なアプリケーションから記録された位置情報を相互に利用可能になり、再利用性が高い。

確率的位置情報を用いることによって、絶対位置情報の存在しない時間についても、求める時間の近傍時間における絶対位置情報から、オブジェクトの存在するおおよその領域を予測し、表現することができる。さらに、相対位置情報のみを記録するオブジェクトについても、相対座標系の基準となるオブジェクトの絶対位置情報を参照し連携することで、確率的位置情報に変換することができる。

#### 3.1 データ構造

確率的位置情報のデータ構造の例を表 1 に示す。一つの確率的位置情報は、その位置情報がどのオブジェクトについてのものかを表す object 情報と、いつの位置情報なのかを示す time 情報を保持している。そして、position 情報でその具体的な位置を示す。position 情報はリスト構造であり、リストの各要素は、絶対位置情報を表す place 情報と、その位置にオブジェクトが存在する確率を表す rate 情報を保持している。

#### 3.2 計算方法

あるオブジェクトの、ある時刻における確率的位置情報の計算方法として、そのオブジェクトのある時刻の近傍時間における絶対位置情報の遷移から位置情報を推測する方法と、そのオブジェクトの相対位置情報と、基準となる別のもう一つのオブジェクトの絶対位置情報を連携する方法がある。二つの方法で領域を求め、求めた領域を合算し確率的位置情報とすることで、より確実性の高い位置推定が可能になる。

### 3.2.1 絶対位置情報の遷移から推測する方法

あるオブジェクトの絶対位置情報の推移から、確率的な位置情報を用いることによってそのオブジェクトがある時間において存在する可能性がある領域を推測することができる。例として、オブジェクト  $A$  の時刻  $t_3$  における位置情報を調べるために、既知の位置情報として  $\langle A, t_1, P_1 \rangle$  と  $\langle A, t_2, P_2 \rangle$  (ただし  $t_1 < t_2 < t_3$ ) の二つの絶対位置情報を利用する場合の推測方法について述べる。二つの絶対位置情報間の距離と時間差を求めることで、 $A$  の移動速度  $v_A$  を推測できるので、 $A$  の  $t_3$  における位置情報は、「 $P_2$  を起点に、速度  $v_A$ 、時間  $(t_3 - t_2)$  で移動できる場所にいる」と表現でき、確率的な位置情報として表すことができる。

### 3.2.2 相対位置情報と絶対位置情報を連携する方法

あるオブジェクトの相対位置情報から絶対位置情報を推測するとき、その相対位置情報の相手にあたるもう一つのオブジェクトの絶対位置情報を連携することで、相対位置情報からオブジェクトの絶対座標系における位置情報を推測することができる。例として、オブジェクト  $A$  の時刻  $t_3$  における位置情報を調べるために、既知の位置情報として、絶対位置情報  $\langle B, t_1, P \rangle$  と、相対位置情報  $\langle \langle A, B, t_2, R \rangle \rangle$  (ただし  $t_1 < t_2 < t_3$ ) を利用する場合の推測方法について記述する。 $t_1 = t_2$  の場合、 $B$  は  $A$  のいる地点  $P$  を基準として、 $R$  という位置関係にあるものと推測できる。よって、 $A$  の  $t_3$  における位置情報は、 $A$  の移動速度  $v_A$  が推測できる場合、「 $P$  から  $R$  という位置関係にある場所から、速度  $v_A$ 、時間  $(t_3 - t_2)$  で移動できる場所にいる」と表現でき、確率的な位置情報として表すことができる。また  $t_1 \neq t_2$  の場合、絶対位置情報が既知である  $B$  について速度  $v_B$  が計算できる場合、「 $P$  から  $R$  という位置関係にある場所から、速度  $v_B$ 、時間  $(t_2 - t_1)$  で移動し、さらに速度  $v_A$ 、時間  $(t_3 - t_2)$  で移動できる場所にいる」と拡張することによって、確率的な位置情報として表すことができる。

## 4. 地理座標系の情報とすれちがいの情報を用いた確率的な位置情報の計算手法

確率的な位置情報の実現に向け、緯度・経度による地理座標系で表す絶対位置情報と、二つのオブジェクト間のすれちがいを表す相対位置情報から、あるオブジェクトの、ある時間における確率的な位置情報を導出するためのアルゴリズム (Probabilistic Position Accounting algorithm based on Pass-by, 以下、PPAP) について検討する。また、PPAP を実際に確率的な位置情報計算サービスに適用した場合のサービス (以下、PPAP サービス) の設計について検討する。

### 4.1 PPAP

オブジェクト  $A$  の時刻  $t$  の位置  $P(A, t)$  が未知であり、その位置情報を調べるアルゴリズムについて検討する。また、 $A$  が直近で別のオブジェクト  $(B_1, B_2, \dots, B_n)$  とそれぞれ  $t_1, t_2, \dots, t_n$  においてすれちがったことを示す相対位置情報があるとすると、このとき、位置  $P(B_1, t_1), P(B_2, t_2), \dots, P(B_n, t_n)$  が既知の情報であるならば、各  $t_i$  から  $t$  の経過時間と  $A$  の移動速度

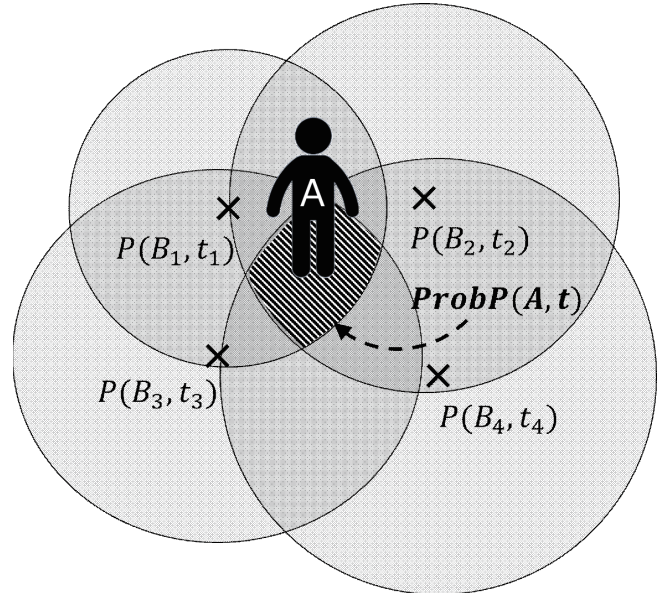


図 2 複数の円領域による確率的な位置情報の計算の例

### Algorithm 1 円領域に基づく確率的な位置情報の計算

```

1: function PROBL(A, t) // A の t での確率的な位置情報を返す
2:   Set(Circle) circleSet_A; // 円領域の集合
3:   if P(A, t) が既知である then
4:     return P(A, t); // A の t での絶対位置を返す
5:   end if
6:   if P(A, t') (s.t. |t - t'| < ε) が既知である then
7:     // 直近の A の絶対位置からの移動範囲を候補に
8:     Circle c = new Circle(P(A, t'), v_A * (t - t'));
9:     push(circleSet_A, c);
10:  end if
11:  // 直近で A とすれ違った B_i を求める
12:  pbSet = {B_i | <<A, B_i, t_i, t_i>> かつ |t - t_i| < ε}
13:  for B_i in pbSet do
14:    Loc_{B_i} = ProbP(B_i, t_i); // B_i の t_i での位置
15:    p_i = Loc_{B_i} の重心;
16:    r_i = p_i から Loc_{B_i} 内の最も遠い点との距離;
17:    Circle c = new Circle(p_i, r_i + v_A * (t - t_i));
18:    push(circleSet_A, c);
19:  end for
20:  // 円集合の重なり部分を返す
21:  return circleSet_A.intersection();
22: end function

```

$v_A$  を考慮して  $P(A, t)$  を推測できる。図 2 に直感的な説明図を示す。 $A$  は  $P(B_i, t_i) (1 \leq i \leq n)$  から距離  $v_A(t - t_i)$  の範囲内にいると推測できるので、各位置から半径  $v_A(t - t_i)$  の円を書き、 $n$  個の円の重なった部分が  $P(A, t)$  の候補となる。この範囲内に  $A$  の位置があるという意味で、重なった部分  $ProbP(A, t)$  を確率的な位置情報と定義する。また、この方法で導き出される領域において、一つの円領域内のあらゆる地点において存在する確率は一律であるとしている。

このように円の重なりに基づいて  $ProbP(A, t)$  を計算するアルゴリズムを Algorithm 1 に示す。アルゴリズム中、時

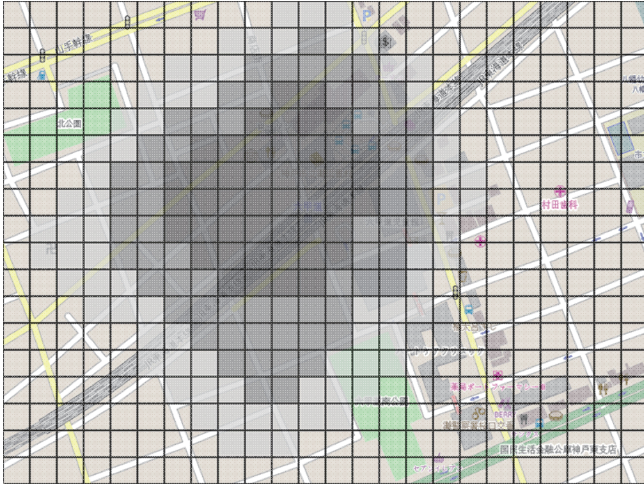


図 3 PPP データの可視化マップ

刻  $t$  において  $A$  が別のオブジェクト  $B$  との、距離  $l_i$  でのすれ違いによって生成される相対位置情報を  $\langle\langle A, B, t, l_i \rangle\rangle$  と表現する。このアルゴリズムでは、 $A$  とすれ違った  $B_i$  の位置情報  $P(B_i, t_i)$  を求める際、 $ProbP(B_i, t_i)$  を再帰呼び出ししている。これによって、 $B_i$  の  $t_i$  における位置は領域 ( $Loc_{B_i}$ ) となる可能性がある。 $A$  の  $t$  における位置は、 $Loc_{B_i}$  から  $v_A(t - t_i)$  以内の距離の領域に存在すると推測できる。この存在領域を計算するために、まず  $Loc_{B_i}$  の重心を中心として、 $Loc_{B_i}$  を含む半径  $r_i$  の円を考え、これを  $A$  の速度とすれちがったときの距離に応じて、 $v_A(t - t_i) + l_i$  の距離だけ引き延ばした円領域  $c$  を導出している。このように、すべての  $B_i (1 \leq i \leq n)$  について円領域を導出し、その交わり (intersection) を  $ProbP(A, t)$  として返す。

#### 4.2 PPAP サービス

PPAP サービスは、データベースに記録されている地理的座標によって表された絶対位置情報と、すれちがいによって検知された相対位置情報のログから、PPAP を用いて確率的な位置情報を計算し、結果を外部のアプリケーションに提供するサービスである。以下、PPAP サービスによって求められる確率的な位置情報を、Probability Position information based on Pass-by Data (PPP データ) とする。PPAP サービスは API を通じて様々なアプリケーションからリクエストを受け、リクエスト内容に応じてアプリケーションに PPP データなどの情報を提供する。

##### 4.2.1 PPP データの表現形式

確率的な位置情報は、領域と存在確率の要素を持つオブジェクトのリストをデータ構造に含んでいる。PPP データでは、導出された領域を一定の間隔で格子状に分割し、領域に含まれる全ての格子点における緯度・経度を、領域を示す絶対位置情報とし、存在確率と組み合わせるとしてリストとしている。

PPP データをマップ上で可視化したものを図 3 に示す。地図上の領域は格子状に区切られており、PPAP データは、着色された格子領域についての、格子点の絶対位置情報と存在確率の情報を含んでいる。図 3 では、格子領域ごとの存在確率の差

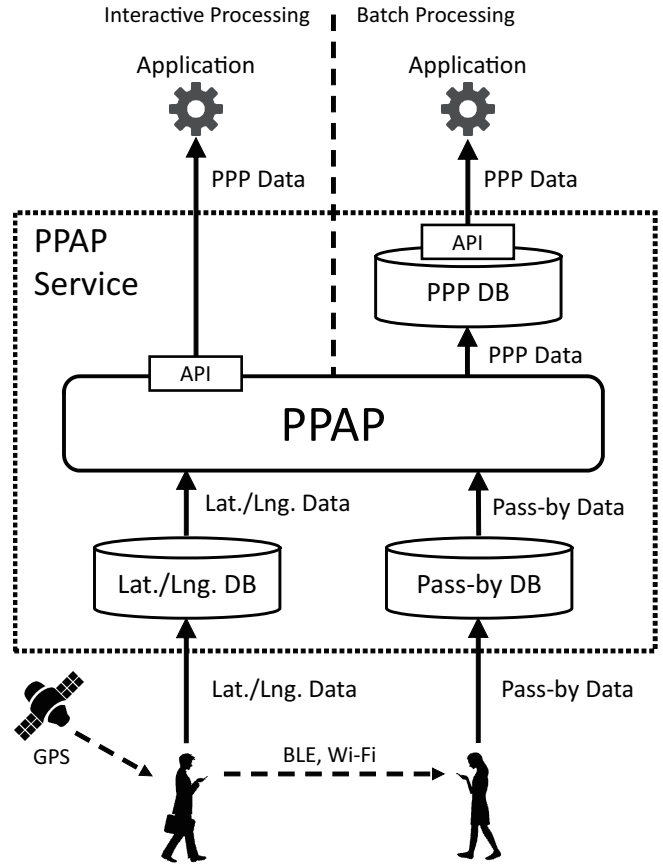


図 4 PPAP サービスのアーキテクチャ

異を色の濃度の変化によって表している。

##### 4.2.2 アーキテクチャ

PPAP サービスのアーキテクチャを、利用時のデータフローをもとに図 4 に示す。人やモノなどのオブジェクトは、モバイルデバイスなどの GPS によって地理的座標情報 (Lat./Lng. Data) を検知し、PPAP サービスのデータベースに記録する。また、BLE や Wi-Fi によってすれちがいの情報 (Pass-by Data) を検知し、データベースに記録する。PPAP サービスは、様々なオブジェクトが記録した位置情報をもとに、PPP データの計算を行う。

PPP データの計算を行うタイミングとして、アプリケーションからの問い合わせに対してインタラクティブに処理する方法と、定期的にバッチ処理を行い、計算した PPP データをデータベースに記録する方法がある。PPP データの計算をインタラクティブ処理で行う場合、常に最新の情報に基づいた計算結果が得られるというメリットがある。しかし、非常時や時間帯によってはトラフィックが集中し、サーバに負荷がかかることがあるというデメリットがある。一方、PPP データの計算をバッチ処理で行う場合、PPP データがリクエストされてから結果がアプリケーションに提供されるまでの処理時間が短くなるというメリットがある。しかし、インタラクティブ処理と異なり、PPAP システムは PPP データを記録するためのデータベースを用意する必要があり、また、過去の位置情報を後からデータベースに記録する場合、過去に計算した PPP データを更新しなくてはならないというデメリットがある。

表 2 API によって返されるデータの例

要素名	例		
<b>Where</b>			
object	" tabata "		
time	" 2017-01-01T12:00:00 "		
where (list)	place (object)	lat.	34.7269
		lng.	135.2354
	rate	0.22	
<b>Who</b>			
place (object)	lat.	34.7269	
	lng.	135.2354	
time	" 2017-01-01T12:00:00 "		
who (list)	object	" tabata "	
	rate	0.22	
<b>When</b>			
object	" tabata "		
place (object)	lat.	34.7269	
	lng.	135.2354	
when (list)	time	" 2017-01-01T12:00:00 "	
	rate	0.22	

#### 4.2.3 API

PPP データをアプリケーションから問い合わせる際の API の設計について検証する。先行研究では、位置情報のデータベースにアクセスする際の問い合わせ方として、下記の 3 通りが提案されている [5]。

- Where (オブジェクトがある時刻に“どこに”いるか)
- Who (ある時刻のある場所に“誰が”いるか)
- When (オブジェクトがある場所に“いつ”いるか)

上記の考え方に基づいて、検討サービスの API は下記の三つとする。

##### (1) Where(object, time)

オブジェクトと時刻を指定することで、あるオブジェクトが、ある時刻にいる可能性のある場所の領域を導出する。

##### (2) Who(position, time)

場所と時刻を指定することで、ある時刻に、ある場所にいる可能性のあるオブジェクトのリストを導出する。

##### (3) When(object, position)

オブジェクトと場所を指定することで、あるオブジェクトが、ある場所にいる可能性のある時刻のリスト(期間)を導出する。

上記のそれぞれの API によって返されるデータ構造を表すための例を表 2 に示す。

PPAP は、Where がリクエストされたときの処理として利用され、PPP データは Where のリクエストによる計算結果を示すために利用される。Who の処理は、全オブジェクトについて指定した時刻の Where の処理を行い、得られた PPP データから、指定した場所に存在する可能性があるオブジェクトを抽出する。また、When の処理は、指定したオブジェクトについて、過去の一定時間ごとに対して Where の処理を行い、得られた PPP データから、指定した場所に存在する可能性のある時刻を抽出する。

## 5. 考 察

PPAP によって、オブジェクトの移動速度がシステムによって計算された速度より大きくなる場合を除き、理論的には位置情報を推測できると考えられる。しかし、提案手法には下記のような問題が存在する。

- 導出される領域  $ProbP(A, t)$  について、 $A$  の位置は領域内に一様の確率で存在するものと仮定している。実際には  $A$  の移動方向や生活行動によって、領域内の確率分布には偏りがある可能性がある。

- Algorithm 1 の 17 行目で導出される円領域が大きい場合、確率の密度が低くなるため、その領域の重要性は低いと考えることができる。よって、領域の大きさがある閾値を超えると、円領域のリストから除外する方が適切である可能性がある。

確率的な位置情報をアプリケーションで扱うことによって、これまで位置情報システムが認識できなかった位置情報を認識できる。この性質は様々なアプリケーションに応用することができ、特に、紛失物や行方不明者の捜索などに大いに役立てることができると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、様々な位置情報を連携し変換できる、確率的な位置情報という新たなデータ系の位置情報を提案した。これによって、任意の時刻におけるオブジェクトの位置情報を推測し表現することが可能となる。また、地理的座標による絶対位置情報とすれちがいによる相対位置情報から確率的な位置情報を計算する手法 (PPAP) について提案し、PPAP を利用したサービスのアーキテクチャや API 設計について検討を行った。今後の課題として、PPAP サービスの実装を行い、相対位置情報のログから絶対位置情報を推測する際の精度を評価実験によって確認し、必要ならば PPAP を改良する。また、実際に PPAP サービスを大規模に運用した場合の計算コストを測定する必要がある。

謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費(基盤研究 B 16H02908, 15H02701, 26280115, 若手研究 B 26730155, 萌芽研究 15K12020)の研究助成を受けて行われている。

### 文 献

- [1] “Life360 - 家族で位置情報を共有、いつでも確認できる無料アプリ #life360,” <http://life360.yahoo.co.jp/>.
- [2] “東京国立博物館 - アプリ「トーハクナビ」について,” [http://www.tnm.jp/modules/r\\_free\\_page/index.php?id=1467](http://www.tnm.jp/modules/r_free_page/index.php?id=1467).
- [3] “Dead reckoning( dr/デッドレコニング/自律航法)とは — フルノ製品情報,” [http://www.furuno.com/jp/gnss/technical/tec\\_dead](http://www.furuno.com/jp/gnss/technical/tec_dead).
- [4] 亮小河原, 裕之羽多野, 雅弘藤井, 篤 伊藤, 裕 渡辺, “Gps 測位情報とセンサ情報に基づく位置推定システムに関する研究,” 情報処理学会論文誌, vol.56, no.1, pp.2-12, Jan. 2015.
- [5] H. Takatsuka, S. Tokunaga, S. Saiki, S. Matsumoto, and M. Nakamura, “KULOCS: Unified locating service for efficient development of location-based applications,” International Journal of Pervasive Computing and Communication, vol.12, no.1, pp.154-172, May 2016.