

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12020

研究課題名(和文) 確率的な位置情報を用いる新しい位置情報システムのためのプラットフォームの構築

研究課題名(英文) Development of platform of new information location system using probabilistic location information

研究代表者

佐伯 幸郎 (Saiki, Sachio)

神戸大学・システム情報学研究科・特命講師

研究者番号：40549408

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、従来位置情報システムごとに様々な形で表現されていた位置情報を確率的な位置情報と呼ばれる一つの表現方法に変換することで、相互に位置情報を利用可能となる新しい位置情報システムの実現に向けた検討を行った。特に本研究期間では、確率的な位置情報がどのようなデータを保持するものか、その要件を定義と、実際の確率的な位置情報の算出方法について提案を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose a novel location information system that can use location information mutually by converting location information expressed in various forms for each location information system into one representation method called Probabilistic location information. In particular, during this research period, we have proposed what kind of data the probabilistic position information holds, definition of the requirement and method of calculating actual establishing position information.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：確率的な位置情報 すれちがい

1. 研究開始当初の背景

近年、電子機器の性能向上やインフラ整備に伴い、ユーザは様々な場所で位置情報などの現在位置に結びついた情報を取得できるようになっている。これらの位置情報の活用に注目が向けられ、ユーザの位置情報に基づいた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や、災害時の避難支援など多岐にわたる分野で利用が進んでいる。しかしながらユーザに位置情報を提供する位置情報システムは、その実現方法や提供する位置情報により様々なものがあり、提供する位置情報や精度などはシステムごとに全く異なるため、相互での利用はほぼ不可能であるといえる。また、センサ間の相対位置関係のみを提供するシステムでは、絶対座標としての解決は出来ない。本研究では位置情報システムを、位置情報を存在確率として定義する、確率的な位置情報システムを検討する。本システムでは、種々の位置情報における時間・空間精度の差を存在確率というパラメータで共通化することで一元的に管理可能となる。また、本来解決不可能である相対位置情報から絶対位置への変換も、過去情報と絶対位置系ユーザと連携することで解決することが可能となる。

2. 研究の目的

GPS や屋内測位システムなどの正確性を求める固い位置情報システムは、位置情報とそのシステムの系に対する絶対位置を独自の表現形式で規定するため、システム間で相互に扱うことは出来ない。また、外部から参照出来ない系である相対位置系の位置情報システムは本質的に絶対位置とは共存できない。本研究では、様々な位置情報システムを統一的に扱うフレームワークの開発を目的とする。提案システムでは様々な系を全て確率的座標系と呼ぶ新たな系に変換し、システム間の様々な差を存在確率として隠蔽する緩い位置情報を作る。また、位置情報システムを時間方向への拡張を行うことで、相対位置系の位置情報システムに対しても、絶対位置系と間接的な連携を行うことで、確率的な位置情報を提供可能にするシステムを実現できる。

3. 研究の方法

本研究は、(1). 確率的な位置情報に合わせた統一的数据構造の検討 (2). 確率的な位置情報への変換数理モデルの検討 (3). 相対位置情報から確率的な位置情報への変換手法についての検討 の 3 つのコンポーネントの実現と統合により達成される。まず、確率的な位置情報を扱うフレームワークに必要なデータ設計について検討し、様々な絶対座標を確率的な位置情報に変換するモデルについて検討を行うと共に、相対位置情報から確率的な位置情報への変換方法について検討を行う。これらの結果を元に、目的とする確率的な位置情報システムプロトタイプを試作を行い、複数被験者の協力を仰ぎ、評価実験を行う。

4. 研究成果

研究成果として、まず研究方法で提示している (1) ~ (3) それぞれについて具体的に述べる。

(1). 確率的な位置情報に合わせた統一的数据構造の検討

確率的な位置情報とは、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。確率的な位置情報は、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。

確率的な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、確率的な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、確率的な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形式の確率的な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。

確率的な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、確率的な位置情報に変換することができる。

確率的な位置情報のデータ構造の例を表1に示す。一つの確率的な位置情報は、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。

表 1 確率的な位置情報のデータ構造

要素名	要素例	
object	オブジェクト ID	
time	日時	
position	place	位置情報
	rate	確率

(2). 確率的な位置情報への変換数理モデルの検討

あるオブジェクトの、ある時刻における確率的な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な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。本研究では以下の2つの条件下での算出について述べる。

絶対位置情報の遷移に基づく推測

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、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。

相対位置情報と絶対位置情報に基づく推測

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。

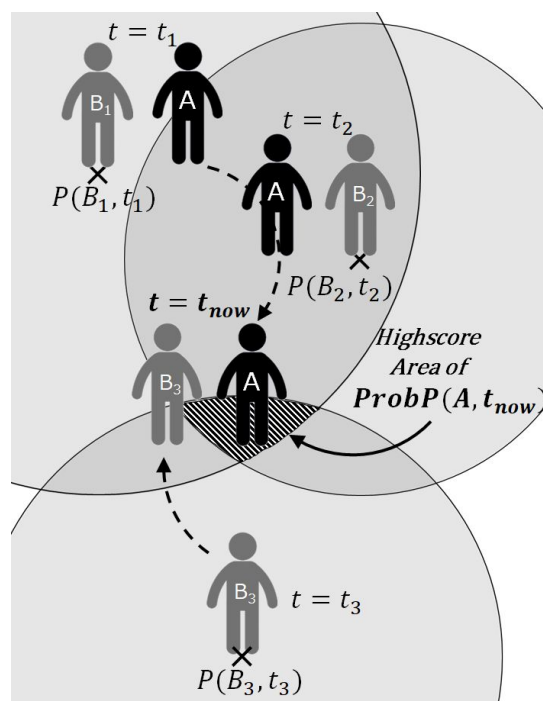
(3). 相対位置情報から確率的な位置情報への変換手法についての検討

相対位置情報を具体的な確率的な位置情報として算出するためには、相対位置情報の種

類ごとに算出方法が必要となる。本研究では定義された相対位置情報としてオブジェクト同士の「すれちがい」を、絶対位置情報として地理座標系を利用し確率的な位置情報を算出する PLPAGP を提案した。以下にその算出法の概要を示す。

例として、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場合について考える。ただし、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。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 v_A を考慮して $P(A, t)$ を推測できる。

図に、PLPA-GP により算出された確率的な位置情報を可視化した例を示す。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ため、各位置から半径 $v_A(t - t_i)$ の円を描く。この円の重なりが多い領域に、 $P(A, t)$ が含まれる可能性が高いということになる。これらの円の集合によって表される領域を確率的な位置情報と定義する。



この方法で算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。しかし、円が大きいほど、その中の任意の点に存在する確率は小さくなる。そこで、オブジェクトが任意の点に存在する確度を確認するために、確率的な位置情報の領域内の任意の点について、重みを示すスコアという値を計算することができる。スコアが大きければ大きいほど、その円の内部に存在する確度が高い。スコアの計算は、その点を包含する円すべてについて、面積の逆数を足し合わせることで求めることができる。

以上3つの検討を経た後、実際の位置情報

システムとしての有効性を確認するため、シミュレータにより実装を行いその効果を確認した。この結果から、本研究はこれまでの位置情報システムが本質的に抱えていた相互参照性の解決を行える可能性を提示し、これからの位置情報システムの在り方を示すことが出来た。今後は本システムが有効に活用できる、様々な社会問題について実際のアプリケーションを開発し、活用することを検討している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Ryoma Tabata, Arisa Hayashi, Seiki Tokunaga, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Experimental Evaluation of Ble-Based Proximity Detection for Pass-By Applications,`` Information Engineering Express (IEE), 査読有, vol.3, no.4, pp.033-042, December 2017.

Hiroki Takatsuka, Seiki Tokunaga, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``KULOCs: Unified Locating Service for Efficient Development of Location-Based Applications,`` International Journal of Pervasive Computing and Communication, 査読有, vol.12, no.1, p.154 - 172, May 2016.

Long Niu, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``WIF4InL: Web-Based Integration Framework for Indoor Location,`` International Journal of Pervasive Computing and Communications, 査読有, vol.12, no.1, p.49 - 65, May 2016.

[学会発表](計11件)

Ryoma Tabata, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Managing Uncertain Location with Probability by Integrating Absolute and Relative Location Information,`` In The 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2017), pp.131-135, December 2017. (Salzburg, Austria)

Ryoma Tabata, Arisa Hayashi, Seiki Tokunaga, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Implementation and Evaluation of Ble Proximity Detection Mechanism for Pass-By Framework,`` In 15th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2016),

pp.891-896, June 2016. (Okayama, Japan)

Arisa Hayashi, Sachio Saiki, Seiki Tokunaga, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Formulating Device-Independent Pass-By Rendezvous,`` In Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2015), August 2015. (Colombo, Sri Lanka)

[その他]

ホームページ等

<https://cs27.org/index.php?%C0%E4%C2%D0%A1%A6%C1%EA%C2%D0%B0%CC%C3%D6%BE%F0%CA%F3%A4%F2%B3%E8%CD%D1%A4%B7%A4%BF%B3%CE%CE%A8%C5%AA%B0%CC%C3%D6%BE%F0%CA%F3%A4%CE%B8%A1%C6%A4>

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐伯 幸郎 (SAIKI, Sachio)
神戸大学・大学院システム情報学研究所・
特命講師
研究者番号：40549408

(4)研究協力者

中村 匡秀 (NAKAMURA, Masahide)
田畑 亮馬 (TABATA, Ryoma)