

確率的な位置情報算出アルゴリズムにおける 実環境を考慮したシミュレーションによる特性評価

田畑 亮馬[†] 佐伯 幸郎[†] 中村 匡秀^{††}

[†] ^{††} 神戸大学 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: [†]tabata@ai.cs.kobe-u.ac.jp, ^{††}masa-n@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 絶対座標系や相対座標系などの様々な系の位置情報から変換し、一般化して扱うことができる確率的な位置情報と、確率的な位置情報を地理座標情報とすれちがい情報に基づいて算出するアルゴリズム (PLPA-GP) を先行研究において提案している [1]。異なる系の位置情報を PLPA-GP によって組み合わせることで、未知の位置情報を推定することが可能になる。本稿では、実環境を考慮した状況における PLPA-GP の位置推定成功率や検知面積などの性能を、計算機シミュレーションにより評価する。またその結果から、パラメータ設定の違いによる性能への影響について考察する。

キーワード 位置情報, 確率的な位置情報, シミュレーション

Evaluation of Probabilistic Location Positioning Algorithm by Simulation considering Actual Environment

Ryoma TABATA[†], Sachio SAIKI[†], and Masahide NAKAMURA^{††}

[†] Faculty of Engineering, Kobe University Rokko-dai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

E-mail: [†]tabata@ai.cs.kobe-u.ac.jp, ^{††}masa-n@cs.kobe-u.ac.jp

Abstract We proposed **probabilistic location information** which can be converted from various absolute/relative coordinate system, in our previous study [1]. Moreover, we propose Probabilistic Location Positioning Algorithm based on Geographic coordinate information and Pass-by information (PLPA-GP). In this paper, we investigate ability of PLPA-GP on the situation considering the actual environment by computer simulation. The ability of PLPA-GP is such as positioning success rate and detection area. Then, we consider the effect of parameter differences to the ability.

Key words Location Information, Probabilistic Location Information, Simulation

1. はじめに

IoT やセンサ技術などの発展に伴い、モバイルデバイスを活用した位置情報測定の簡易化が進み、その利活用が進められている。既に、屋内外において様々な形で位置情報を利用するサービスが実現され、広く利用されている。例えば、子供の見守りなどを目的とし、他者の位置情報をいつでも追跡できるサービス [2] や、ユーザの位置に応じて近くを走行中のタクシーを配車できるサービス [3] などが存在する。また、屋内においても、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 [4] が提供されている。

位置情報は対象とするサービスによりそれぞれ独自の形式で表現される。これらの位置情報は表現している位置の主体と対

象の関係の差異 (属している座標系の種類) により、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2つに分類することができる。位置情報を利用するサービスでは、サービス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っているため、それぞれが独立にこれらの位置情報系を定義している。したがって、基準となる位置や情報の表現方法の違い、表現可能な時間的・空間解像度の違いなどが存在し、サービス間における位置情報の相互参照ができず、位置情報の再利用性が低くなっているという問題がある。また、相対位置情報を絶対位置情報に変換することはできず、相対位置を一般化して絶対位置を結びつけることができるシステムはまだ存在しない。

この問題に対し、我々は先行研究 [1] において、様々な系の位

置情報から変換し一般化することができる確率的置情報を提案している。確率的置情報は、あるオブジェクトの、ある時刻における位置を、領域と存在確度の組み合わせに変換することで、様々な置情報の表現形式の一つの形式で表現できる置情報である。確率的置情報は、絶対置・相対置情報から変換可能であり、相対置情報を絶対置情報と組み合わせることによって、異なる系の置情報から新たな置情報を推定することが可能になる。確率的置情報で扱うことが可能な、異なる系の置情報の組み合わせには様々なものが考えられるが、先行研究では一例として、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置情報を利用し、確率的置情報を算出するアルゴリズム (PLPA-GP) について提案している。また、PLPA-GP の性能を確認するための評価実験を計算機シミュレーションによって行い、利用時の状況設定やアルゴリズムのパラメータの違いによる変化を調べている [5]。具体的には、計算機シミュレーションによって、仮想空間上で多くのオブジェクトを動かすことによって記録された置情報を基に PLPA-GP によって確率的置情報を測位し、算出された確率的置情報でオブジェクトの置推定を行い、様々な観点から評価を行っている。しかしながら、先行研究では、自由空間上にオブジェクトを配置して直線的な動きをさせていることなど、実際の利用環境は想定されていない。

そこで本研究では、仮想空間上への道路の設置などによって、先行研究より実際の利用状況に近い状況を仮想空間上に作り出す。仮想空間上のオブジェクトの置情報をもとに、PLPA-GP によってオブジェクトの置推定を達成できるかについて評価を行い、実際の利用状況により近い環境で PLPA-GP を用いた置推定が有効であるか調べる。

2. 確率的置情報

確率的置情報とは、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、領域と存在確度の組み合わせで表現する置情報である。確率的置情報は、領域を表現するために複数の絶対置情報をデータ構造に含み、それぞれの絶対置情報に対して、そこにオブジェクトが存在する確度を表す情報 (数値、または “high”, “low” など) を含んでいる。

確率的置情報を利用するシステムでは、系の異なる絶対置情報や相対置情報を連携することで、確率的置情報に置情報を変換することができる。これを利用する外部のサービスにとっては、様々な系の置情報を一般化することで、置情報の測位方法によらず統一的な形式の確率的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。確率的置情報を用いることによって、絶対置情報の記録されてない時間における位置や、相対置情報の記録のみを行うオブジェクトの置についても、周囲のオブジェクトの絶対・相対置情報を連携することによって、オブジェクトの存在するおおよその領域を推定し、表現することができる。

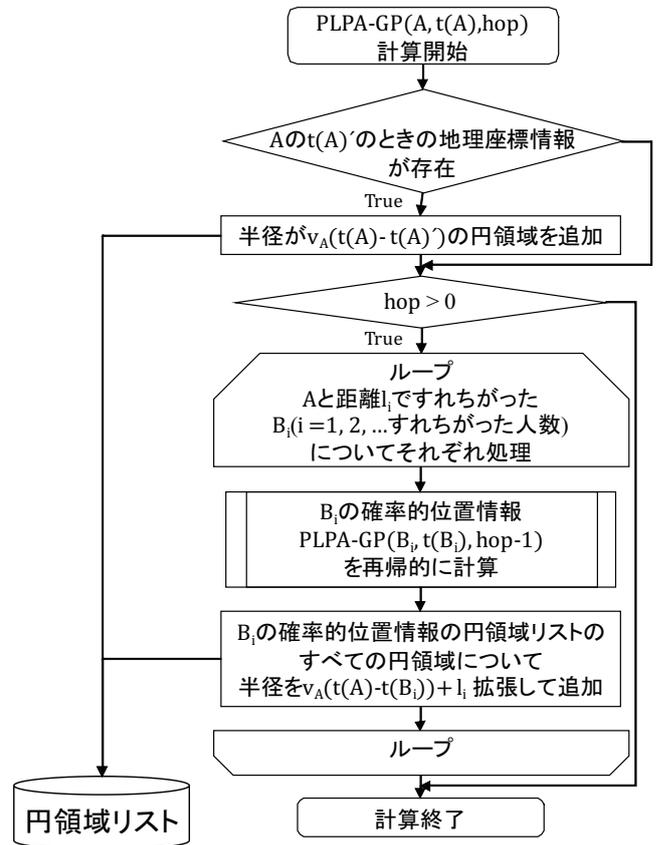


図 1: PLPA-GP のフローチャート

複数の系における置情報を組み合わせることで、確率的置情報を算出できる。算出に用いる置情報系の組み合わせとしては、様々な物が考えられるが、先行研究では一例として、緯度・経度で表現される地理座標情報と、別の対象物からの距離で表現されるすれちがい情報を基に確率的置情報を算出するアルゴリズム (PLPA-GP) について提案している [5]。本稿では、地理座標情報は GPS によって検知を行い、すれちがい情報は Bluetooth によって検知を行うものとする。

オブジェクト A の時刻 $t(A)$ における確率的置情報を計算する際の、アルゴリズム PLPA-GP のフローチャートを図 1 に示す。以下、 A の $t(A)$ のときの実際の位置を $P(A, t(A))$ と表記する。

PLPA-GP では、すれちがった人の置情報を参照する際に、PLPA-GP 自身を再帰呼び出しする処理がある。そこで、再帰呼び出しの深さを制限するために、hop 数という値を入力として設定する。

このアルゴリズムでは、まず対象 A の過去の地理座標情報を調べ、過去の位置からの移動可能範囲を、円領域として算出する。さらに、 A とすれちがった $B_i (i = 1, 2, \dots \text{すれちがった人数})$ について、再帰的に PLPA-GP を求め、算出された円領域を、さらに $P(A, t(A))$ が含まれるように拡張し、 A の円領域として算出する。

円領域の半径を決める際に用いる速度 v_A の求め方について述べる。PLPA-GP では、 A の速度が GPS などによって測定されている場合、直近の GPS 情報に含まれる速度情報を v_A と

して設定する。速度が測定されていない場合、地理座標情報を記録しているオブジェクトとすれちがった際に、すれちがったオブジェクトの位置情報を線で結ぶことで測位対象の移動経路を算出し、移動にかかった時間で除算することで速度を求めている。また、計算を簡略化するために、アルゴリズム中ですべてのオブジェクトの速度をある一つの値(以下、固定移動速度とする)であると見なし、計算することもできる。

対象および周囲のオブジェクトの位置情報を基準とした位置推定結果を示す円領域が複数算出されると、複数の円が重なりあう領域ができる。最も円が重なっている領域(以下、推定領域とする)に、 A が $t(A)$ のときにいた場所が含まれる可能性が高いと推定することができる。

3. シミュレーションによる性能評価

3.1 実験の目的

先行研究では、PLPA-GP の性能を確認するための評価実験を計算機シミュレーションによって行っている。仮想空間上において、位置情報を記録しているオブジェクトについて算出した確率的な位置情報を分析し、検知回数などを調べ、利用時の状況設定やアルゴリズムのパラメータの違いによる変化を調べている [5]。先行研究における実験では、配置されたオブジェクトが自由空間上でランダムな方向に直線的に動いている。また、速度はすべてのオブジェクトについて一定としている。しかしながら、これらの設定は、実際に PLPA-GP が用いられる状況では、オブジェクトは道路に沿った動き方をすると考えられ、オブジェクトによって移動速度がそれぞれ異なると考えられる。

そこで本研究では、計算機シミュレーションにおいて、より実際の利用状況に近い条件設定を適用し、PLPA-GP の評価を行う。先行研究の実験と異なる点として、仮想空間上に道路を設置し、オブジェクトは道路上をそれぞれ異なる速度で移動する様に設定する。複数のオブジェクトの確率的な位置情報の算出結果について、位置推定成功率や、推定領域の面積を評価することで、実際の環境における PLPA-GP の性能を確認する。

3.2 評価項目

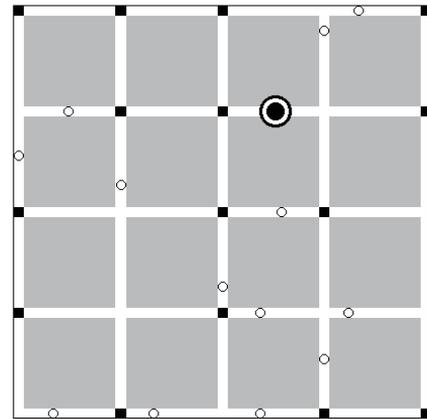
本実験では、以下の 2 つの項目について定量的に評価する。

- 検索対象者の位置推定成功率
- 円領域リストの推定領域の面積

本実験では、1 回の試行で対象のオブジェクトについての確率的な位置情報を PLPA-GP によって算出し、位置推定の成功もしくは失敗を記録する。パラメータ設定毎に 2000 回の試行を行い、位置推定の成功率を調べる。本実験における位置推定の成功の定義として、対象オブジェクトの地理座標情報が未知の状態、PLPA-GP によって算出される確率的な位置情報の円が最も重なり合う領域(以下、推定領域とする)の内側に対象オブジェクトの実際の位置が含まれている場合、成功とみなす。

3.3 実験環境

仮想空間の内部で生成された各オブジェクトについて地理座標情報及びすれちがいが情報の検知を行い、確率的な位置情報の算出に利用する。二つのオブジェクトが一定の距離以内に互いに



●: TargetPerson ○: NormalPerson ■: BeaconStation

図 2: 実験に用いる仮想空間のイメージ

接近したとき、すれちがいが情報が検知される。

本実験のシミュレーションにおける仮想空間のイメージを図 2 に示す。仮想空間の設定について、先行研究の実験と異なる点として、本実験では仮想空間内を格子状に網羅する道路を設置している。各オブジェクトは道路に沿って動き、地理座標情報及びすれちがいが情報の検知を行う。

仮想空間に配置するオブジェクトの設定について述べる。本実験では、PLPA-GP を活用できる状況を想定し、オブジェクトの動き方を設定する。活用例としては徘徊高齢者の位置推定を想定し、オブジェクトの位置推定の対象として、町を徘徊している高齢者を想定して動き方を設定する。仮想空間には、以下の 3 種類のオブジェクトを配置する。

- **TargetPerson (検索対象者)**

位置を推定する対象を表すオブジェクトである。1 回の試行において 1 人が配置される。位置情報測定開始時点で、いずれかの交差点に配置されている。位置情報の測定が開始されると、それぞれ異なる方向に一定の速度(時速 $3.0\text{km} \sim 9.0\text{km}$ の間でランダム)で直進する。TargetPerson は目的地が設定されておらず、交差点を通過する際にランダムな方向に曲がる。すれちがいがの検知に用いられる信号を発信できる端末を所持しており、受信可能な端末を持つ周囲の GeneralPerson によってすれちがいを検知してもらうことができる。また、直接地理座標情報を検知することはできない。

- **GeneralPerson (協力者)**

地理座標情報とすれちがいが情報を記録している一般人を表すオブジェクトである。TargetPerson を含めた様々なオブジェクトとのすれちがいが情報を記録しているため、無意識に TargetPerson の位置推定に協力している。TargetPerson と同様、位置情報測定開始時点で、一定の数の Person オブジェクトが仮想空間内の道路の交差点上に一様に配置されている。位置情報の測定が開始されると、それぞれ異なる方向に一定の速度(時速 $3.0\text{km} \sim 9.0\text{km}$ の間でランダム)で直進する。TargetPerson と異なる点としては、それぞれ仮想空間内に目的地が設定されており、目的地に到着した時点で位置情報の記録を停止する。仮想空間内の、位置情報を記録している GeneralPerson の人数

表 1: 位置情報生成シミュレーションに適用するパラメータ

パラメータ	値
仮想空間の大きさ	1000m × 1000m
一区画の長さ	100m
すれちがいを検知できる距離	10m
検索対象者の人数	1
協力者の人数	580 人 (Town 1), 1294 人 (Town 2), 2574 人 (Town 3)
ビーコン設置率	50% (B1), 75% (B2), 100% (B3)
GPS 所有率	0% (G1), 25% (G2), 50% (G3)

を均一に保つために、GeneralPerson が仮想空間で位置情報の記録を停止すると同時に、いずれかの交差点からランダムで新たな GeneralPerson が生成される。移動経路は、発生地点から目的地までの最短経路を通る。すれちがいの検知に用いる信号の送受信が可能であり、すれちがった結果を PLPA-GP サービスに送信することができる。また、一定の割合で地理座標情報を検知できる GeneralPerson が存在する。

• BeaconStation (ビーコン)

固定されたビーコンを表すオブジェクトである。地理座標情報を保持している。また、すれちがいを検知するための電波信号を常に送信しており、受信できる端末を保持している Person オブジェクト (TargetPerson, GeneralPerson) が信号を受信することによって、BeaconStation と Person オブジェクト間のすれちがい情報を記録できる。位置情報測定開始時点で仮想空間内の道路の交差点に一定の割合で設置されている。

3.4 条件設定

3.4.1 位置情報生成のパラメータ

本実験で、仮想空間上でオブジェクトを動かし、位置情報を生成する際に適用するパラメータを表 1 に示す。

本実験では縦 1000m、横 1000m の正方形の仮想空間を計算機シミュレータ上で設定し、格子状に道を設置する。道に挟まれている一区画の長さは 100m と設定しているため、仮想空間内には 121 箇所の交差点がある。

本実験ではすれちがいを検知できるオブジェクト間の距離を 10m とする。これは、すれちがいを検知することのできる技術として、多くのスマートフォンに搭載されている Bluetooth の “Class 2” を想定しており、その通信距離はおよそ 10m とされているためである [6]。

本実験において、協力者の人数のパラメータについては Town 1, Town 2, Town 3 の 3 種類の設定を定義する。数字が大きいくほど、人数の設定は多くなり、人が多く集まる町を想定している。

本実験では、ビーコンの数が推定結果に与える影響を調べるため、ビーコン設置率を 50%, 75%, 100% の 3 種類のパラメータ

表 2: PLPA-GP に適用するパラメータ

パラメータ	値
固定移動速度	アルゴリズム中で推定, 3km/h, 6km/h, 9km/h
hop 数	2

タについてそれぞれ評価項目を調べる。設置率の数値は、仮想空間内の交差点の数 (121 個) に対する割合を示す。

また、協力者のうち GPS 情報を提供している人の割合が算出結果に与える影響を調べるため、GPS 所有率を 0%, 25%, 50% の 3 種類のパラメータについてそれぞれ評価項目を調べる。所有率の数値は、仮想空間内の Person オブジェクト (協力者および検索対象者) のうち、GPS を所持する協力者の割合を示す。

3.4.2 PLPA-GP による計算時のパラメータ

本実験で、PLPA-GP で確率的な位置情報を算出する際に用いるパラメータを表 2 に示す。

本実験の先行研究における実験との違いとして、オブジェクトごとに速度が異なるという点が挙げられる。先行研究における実験では、前提条件としてオブジェクトの速度は一定の値 (3km/h) であったため、固定移動速度を 3km/h と設定していた [5]。本実験では、位置情報生成シミュレーションのパラメータによる違いを調べる際には、PLPA-GP において固定移動速度を設定せず、アルゴリズム中で速度を推定する。しかしながら、アルゴリズムによる速度推定には移動経路から推定を行っており、誤差が生じることで算出結果に影響を与える場合があると考えられる。そこで、推定誤差が与える影響について調べるため、各オブジェクトの正しい速度 (以下、実測速度とする) をアルゴリズム中で用いた場合について、1 つのパラメータの組み合わせ (Town 1, B1, G1) において算出し、アルゴリズム中で推定を行った場合との比較を行う。また、固定移動速度を 3 通り (3km/h, 6km/h, 9km/h) に設定した場合の結果についても比較を行い、評価する。

本実験においては、hop 数は 2 に固定する。理由としては、hop 数が 1 つ上昇することによって計算時間が非常に大きくなることが挙げられる。本実験の様な大規模な人数を想定した計算では、hop 数を 3 以上に設定すると、計算時間が非常に長くなり、十分なサンプル数を得ることが難しいと判断したためである。

3.5 実験方法

まず、シミュレータによって地理座標情報及びすれちがい情報の生成を行う。シミュレーション中は、1 秒ごとに各オブジェクトについて地理座標情報とすれちがい情報を検知し記録する。シミュレーション開始から 30 分が経過した時点で、検索対象者についての確率的な位置情報を PLPA-GP によって求め、確率的な位置情報を算出する。それぞれのパラメータの組み合わせについて、それぞれ 2000 回の試行を行い、位置推定の成功率と推定領域の面積を求める。

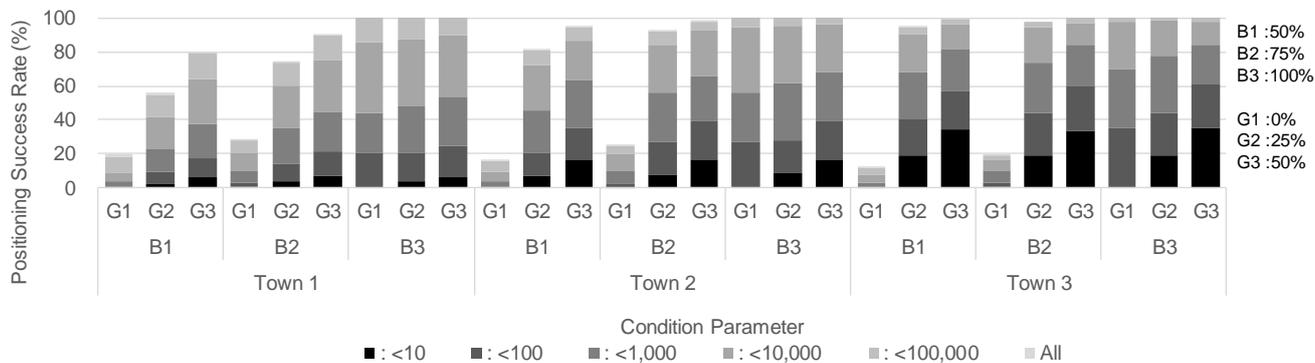


図 3: パラメータ毎の推定成功率と推定領域の面積

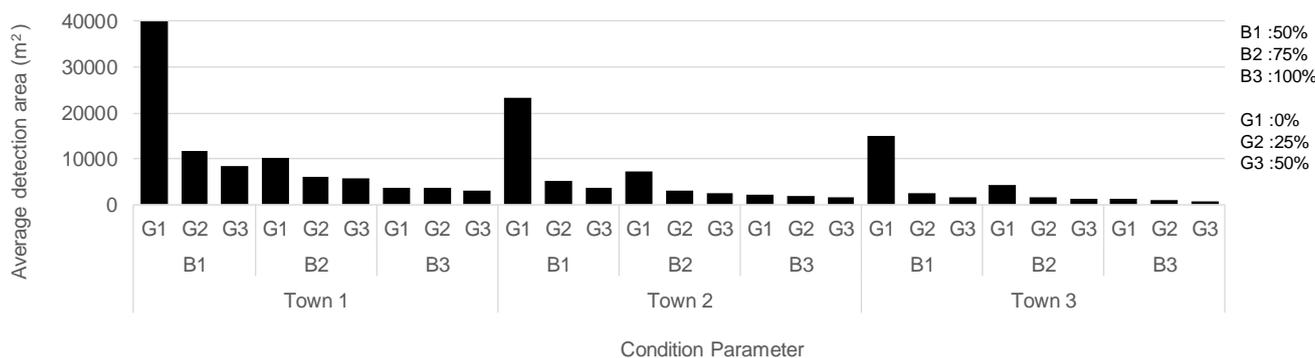


図 4: パラメータ毎の推定領域の面積の平均

4. 実験結果

4.1 概要

図 3 に、本実験を行った結果のパラメータ毎の推定成功率と、それぞれの推定領域の面積を段階で分けた割合を表す積み上げ棒グラフを示す。また、図 4 に、推定領域の面積の平均を表す棒グラフを示す。上記のグラフについて、3つのパラメータそれぞれに着目して分析した結果を述べる。

- 協力者の人数：ビーコン設置率 75%以下、GPS 所有率 0%の設定における推定成功率は、協力者の人数が多いほど低くなっていた。一方、その他の場合では、人数が多いほど、推定成功率が高くなっているが確認できた。また、協力者の人数が多いほど推定領域の面積の平均が小さくなった。

- ビーコン設置率：ビーコン設置率が高いほど、すべての場合について推定成功率が高くなっていた。また、ビーコン設置率が高いほど推定領域の面積の平均が小さくなった。

- GPS 所有率：GPS 所有率が高いほど、他のパラメータに関わらず推定成功率が高くなっていた。また、GPS 所有率が高いほど推定領域の面積の平均が小さくなった。

また、実測速度と固定移動速度 3 種類をオブジェクトの速度として設定した場合と、速度推定をアルゴリズム中で行った場合の推定成功率と推定領域の面積を段階で分けた割合を比較したグラフを図 5 に示す。また、推定領域の面積の平均を比較したグラフを図 6 に示す。アルゴリズム中で速度を推定した場合

の推定成功率は 20%と比較的低いが、実測速度の場合と固定移動速度を時速 9km とした場合の推定成功率は 100%となり最も高くなった、しかし、固定移動速度が 9km/h の場合の推定領域の面積の平均はアルゴリズム中で速度推定を行っている場合より大きくなっており、検索対象者の位置の特定がより難しくなった。また、固定移動速度を時速 6km とした場合の推定成功率もアルゴリズム中で速度を推定した場合より高く、さらに、推定領域の面積の平均も小さくなっており、位置の特定がより容易である傾向がみられた。したがって、固定移動速度を時速 6km とした場合の結果はアルゴリズム中で速度推定を行った場合と比較して良い結果となった。

4.2 考察

4.2.1 各パラメータが算出結果に与える影響

位置推定成功率は、ビーコンの設置率が 100%の場合には、他のパラメータの設定にかかわらず成功率は 100%を示しており、推定領域の面積の平均が最も小さいため、検索対象者の検索対象者の居場所の特定が行いやすく、良い結果が算出できると言える。一方で、75%以下の場合では、他パラメータの設定による成功率の変動が比較的大きい。検索対象者の位置を正しく追跡するためには、できるだけ多くの交差点にビーコンを設置することが最も重要だと考えられる。

多くのビーコンを設置することが難しい場合は、GPS の所有率を高めることでも、推定成功率を上昇させることは可能であると考えられる。

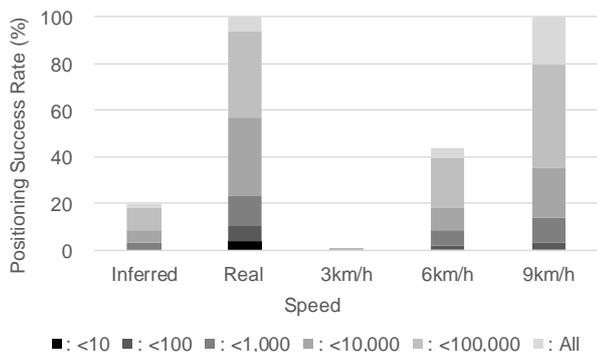


図 5: 速度設定毎の推定成功率と推定領域の面積

協力者の人数に関しては、ビーコン設置率と GPS の所有率が双方とも高い場合は、協力者の人数が多いほど推定成功率は高くなるが、ビーコン設置率と GPS の所有率が双方とも低い場合は、逆に推定成功率が低くなると考えられる。

4.2.2 速度推定の誤差の影響

図 3 において、ビーコン設置率 75%以下、GPS 所有率 0%の設定における推定成功率は 50%以下となっており、他のパラメータの組み合わせと比較して低い値となった。特に注目すべき点として、ビーコン設置率 75%以下、GPS 所有率 0%の場合における、協力者の人数による推定成功率の違いを見ると、人数が多いほど、推定成功率が下がっていた。この要因について考察する。

図 5 の速度の設定の違いによる算出結果の違いを確認する。アルゴリズム中で速度推定を行った場合は推定成功率が 20%を下回ったが、同様のパラメータで速度設定に実測速度を用いた場合は、推定成功率は 100%となった。このことから、ビーコン設置率と GPS 所有率が低い場合に推定成功率を低下させている要因は、速度推定の誤差の影響が大きいと考えられる。

PLPA-GP では、速度が測定されていない場合、地理座標情報を記録しているオブジェクトとすれちがった際に、すれちがったオブジェクトの位置情報を線分で結ぶことで測位対象の移動経路を算出し、移動にかかった時間で除算することで速度を求めている。したがって、ビーコン設置率および GPS 所有率の少ない環境では、ユーザがビーコンの設置されていない交差点で曲がったことを認識できず、すれちがったビーコンのみを直線で結んだ経路を移動経路として算出することで、本来の移動経路より短くなり、結果として速度が実測速度より遅い値として推定されることが考えられる。

また、対象オブジェクトの速度推定の誤差のみならず、対象オブジェクトとすれちがった他のオブジェクトの速度誤差が、PLPA-GP の再帰呼び出しの際に伝播し、対象オブジェクトの確率的位置情報の算出結果に影響すると考えられる。協力者の人数が多いほど、対象と他のオブジェクトのすれちがいを検知する回数は多くなるが、速度推定の誤差が生じやすい環境だと、すれちがいの多さによって速度推定の誤差も伝播し易いと考えられる。

一方、固定移動速度を設定した場合の結果を確認すると、ア

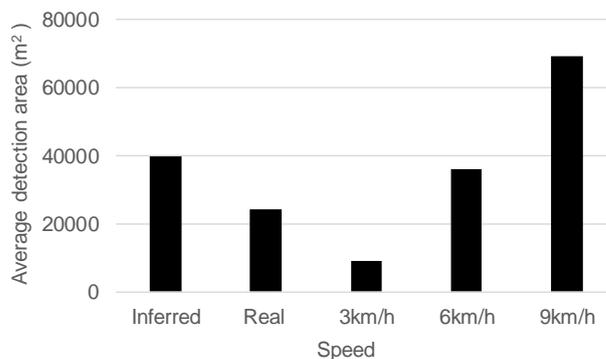


図 6: 速度設定毎の各パラメータの検知領域の面積の平均

ルゴリズム中で速度推定を行った場合より固定移動速度を時速 6km とした場合の方が推定成功率が高く、推定領域の面積の平均は小さくなっており、より検索対象者の位置を特定しやすい算出結果となった。この結果によって、速度の誤差が生じやすい環境においては、アルゴリズム中で速度の推定を行わずに、ある一定の値を速度として見なした方が良い結果が得られる場合があることが分かった。

5. おわりに

本研究では、地理座標情報とすれちがい情報から確率的位置情報を計算する手法 (PLPA-GP) によって算出された確率的な位置情報について、実環境に近い条件設定を計算機シミュレーションにおける仮想空間に適用した上で、PLPA-GP によるオブジェクトの位置推定成功率と検知面積について評価を行い、PLPA-GP の性質を確認した。結果として、実際に利用される状況に近い環境で、位置情報を記録している協力者の人数やビーコンの設置数が多い場合には、PLPA-GP を用いた位置推定が有効であることを確認した。

今後の課題として、オブジェクトの速度が正確に推測できない場合における、速度推定の方法の見直しなどが考えられる。

謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費（基盤研究 B 16H02908, 15H02701, 基盤研究 A 17H00731, 萌芽研究 15K12020), および、立石科学技術振興財団の研究助成を受けて行われている。

文 献

- [1] 田畑亮馬, 林亜梨沙, 佐伯幸郎, 中村匡秀, “絶対・相対位置情報を活用した確率的な位置情報の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, 第 116 巻, pp.13-18, March 2017.
- [2] “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/>.
- [3] “Ride with uber - tap the uber app, get picked up in minutes,” <http://www.uber.com/ride/>.
- [4] “東京国立博物館 - アプリ「トコハクナビ」について,” http://www.tnm.jp/modules/r_free_page/index.php?id=1467.
- [5] 田畑亮馬, 佐伯幸郎, 中村匡秀, “地理座標情報とすれちがい情報を用いた確率的な位置情報の特性評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, 第 117 巻, pp.65-70, Sept. 2017.
- [6] “Radio versions — bluetooth technology website,” <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions>.