

# 屋内位置推定のための動的地磁気マップ生成

安部北斗<sup>†1</sup> 廣津登志夫<sup>†2</sup>

**概要:** 屋内での位置推定において、地磁気情報を活用する手法が提案されている。ここでは、加速度やジャイロから得られた推定位置情報に対して、事前に生成した地磁気マップを元にして地磁気情報の尤度を求めることで、位置推定の精度を向上させている。しかし、事前に地磁気マップを作成する作業は負担が大きく、マップの作成範囲が大きくなるにつれてその負担は大きくなる。本研究では、加速度やジャイロから得られた推定位置の情報に含まれる誤差を考慮し、空間中の地磁気分布の滑らかさに基づいて、地磁気マップを動的に生成する手法を提案する。

**キーワード:** 位置推定, デッドレコニング, 地磁気, パーティクルフィルタ

## Dynamic Creation of Geomagnetic Map for Indoor Location Estimation

HOKUTO ABE<sup>†1</sup> TOSHIO HIROTSU<sup>†2</sup>

**Abstract:** In indoor dead reckoning technique, geomagnetic information is expected useful to improve the estimation accuracy. The geomagnetic map, that depicts the geomagnetic information for each position, is required to calculate the likelihood of each candidate of current position estimated using the information obtained from acceleration sensor and gyroscope. However, it takes much effort to create geomagnetic map previously. This cost of creating maps increases as target area of map is increased. In this paper, we propose a dynamic geomagnetic map generation scheme using the smoothness of the geomagnetic distribution and reflecting the errors included in the candidate positions estimated from the acceleration sensor and gyroscope.

**Keywords:** location estimation, dead reckoning, position estimation, geomagnetism, particle filter

### 1. はじめに

スマートフォンの普及により位置情報を利用したサービスが多く提供されている。屋外での測位では GPS が広く利用されているが、衛星からの電波を利用するため屋内での測位は難しい。そのため、屋内での位置推定には GPS 以外の推定技術を使用する必要がある。屋内の測位技術としては、加速度やジャイロを用いて移動を追跡する手法や、BLE などのマーカを配置して位置を特定する手法などがある。これに対して地磁気情報は、主に位置推定の精度を高めるために使われている。地磁気は地球が発する磁場であり、基本的にはどこでも同じ向きであるため、端末の絶対的な方向を知るためには役に立つが、空間中の位置を特定できるほどの変化がなく、地磁気単体では位置推定を推定することはできない。しかし、建物の中の地磁気分布を見ると、鉄骨などによる歪みによる局所的な変異を特徴量として使うことで位置推定に使用することができる。最近のスマートフォンには地磁気センサが搭載されており、地磁気の偏位が利用できると、特別な位置推定システムを導入することなく安価に屋内位置推定の性能を向上させることができるという利点がある。

地磁気偏位を位置推定に活用するには、対象となる範囲について地磁気と測定場所の対応が付いたマップが必要になる。推定の際には、候補となる点についてこのマップから得られる地磁気情報とユーザの持つ端末で測定された値を比較することで、各候補点の尤度を求める。そしてこの尤度が最も高い点を現在の位置と推定する。

しかし、この地磁気マップは対象となる範囲すべてに対して事前に用意しておくことが必要になり、その生成の負担は大きい。本研究では、事前に地磁気マップを作成することなく、加速度とジャイロから推定した移動距離と移動中に測定した地磁気情報だけで、動的に地磁気マップを生成する手法を提案する。ここでは、移動距離の誤差の見積もりと、地磁気情報の変位の滑らかさを用いることで、ある空間を繰り返し歩行しサンプルが増えれば徐々に地磁気マップの精度が高まっていくことを狙っている。

### 2. 既存研究

地磁気の偏位を使用した位置推定において、マップを作成する際に複数の角度で地磁気を測定する手法が挙げられる [1]。この手法では地磁気マップ作成の際に専用の機器を使用している。地磁気センサを一定角度で回転させなが

<sup>†1</sup> 法政大学情報科学研究科

<sup>†2</sup> 法政大学情報科学部

ら一か所につき地磁気ベクトルの大きさを測定している。この測定を複数の場所で行い、地磁気マップを作成する。位置推定の際は地磁気センサを搭載した機器を使用し、地磁気センサで測定した地磁気ベクトルの大きさと、マップの各点の100個ベクトルの大きさとを比較する。その差の総和をその地点の地磁気ベクトルの差とし、地磁気ベクトルの差が一番小さい個所を現在地と推定している。この手法を使用した実験では、周りに壁が多い廊下では7割程度の性能で正しい場所を推定している。

しかし、間違った地点を推定しているパターンには50mと大きく外れた場所を推定している場合がある。地磁気の偏位が発生しにくい広い場所では推定の精度が低くなる課題が存在する。また、専用の機器で一か所に対して複数の角度で地磁気を測定する必要があり、地磁気マップ作成の負担は非常に大きい。

移動中に地磁気マップを動的に作成する研究として、iRobotを使用するものが挙げられる[2]。この研究では、iRobot上に地磁気センサを搭載し、移動中の地磁気量を測定している。iRobot自身の位置の尤度と地磁気マップの尤度を Rao-Blackwellized particle filter という手法で同時に計算し、位置推定中の地磁気マップ生成を行っている。この手法により、移動距離を測定するセンサとジャイロセンサのみで位置推定をしている場合は、ジャイロセンサのドリフト誤差の蓄積により時間経過ごとに位置にずれが発生していたが、地磁気の測定値を使うことによってずれを補正している。地磁気値から一度移動した場所に再び来たと検出したとき、現在地がその場所と同じ座標になるように iRobot との位置と角度を修正している。この手法によりドリフト誤差の影響を除去した位置推定と、位置推定中の動的な地磁気マップ生成を行っている。

しかし、この手法をそのまま歩行者による地磁気マップの動的生成に使用したとしても、良い結果は得られない可能性が高い。iRobot は速度がほぼ一定であり、移動速度はモーターの回転数などから加速度センサよりも高精度で推定できる。そのため、位置情報に蓄積する誤差のほとんどは、ジャイロセンサのドリフトから生じる進行方向のずれによるものである。一方歩行者の場合は歩く速度が常に一定ではなく個人差もあるため、移動方向の誤差と進行方向の誤差の二種類の誤差が発生する。そのため、iRobot よりも誤差が複雑であり、iRobot で高精度な位置推定が可能だと実証されている手法を、そのまま歩行者に適用しても有効ではない。

### 3. 地磁気による位置推定

本研究で前提としている地磁気を使用した位置推定手法について説明する。位置推定の基本となるのは、加速度やジャイロなど情報である。それらの情報から空間中の現在位置の確率分布を算出する。この分布に地磁気測定値と

地磁気マップの情報から求めた確率分布を組み合わせ、現在地の確率が一番高い場所を現在地と推定する。

#### 3.1 パーティクルフィルタによる位置推定

位置の推定においては、空間中の複数地点における離散的な近似を行い、各地点の存在確率を求めるパーティクルフィルタを用いる。パーティクルフィルタは逐次モンテカルロ法の一つであり、事前確率に基づいて発生させた複数のサンプルとそれに対する尤度を計算することで、対象となる分布を推定する手法である。ここでは加速度センサとジャイロセンサの値から移動を追跡して位置を推定するがこの位置には誤差が含まれる。事前に設定した分布に応じて、位置情報を保持したパーティクルを生成する。各パーティクルは地磁気マップから自身の位置に対応する地磁気の分布を求め、端末の測定値と各パーティクルの分布を比較して尤度を算出する。パーティクルが保持する分布において、端末の測定値で観測される確率が高いとそのパーティクルの位置が現在地である可能性が高く、確率が低い場合は現在地の可能性は低いと推測できる。すべてのパーティクルで尤度を算出後、尤度の合計が1になるよう各パーティクルの尤度を正規化する。その後、正規化したパーティクルの尤度を重みとしてパーティクルの位置の重みつき平均を算出し、その位置を現在地とする。ここまですテップとし、次のステップでも同じように各パーティクルで尤度を算出し、前のステップまでで求めた尤度に掛け合わせる。この手順によってステップの経過とともに、保持している位置情報が現在地である確率が高いパーティクルほど尤度が高くなっていく。

#### 3.2 パーティクルのリサンプリング

推定を進めていくと正しい状態を表している確率が高いパーティクルほど重みが大きくなっていく。確率に該当する重みは全パーティクルの合計が1になるよう正規化しているため、一部のパーティクルの重みが大きくなると相対的にほかのパーティクルの重みは小さくなってゆく。重みが極端に小さくなったパーティクルは現在地を算出する際に考慮しなくてもほぼ影響がないため、現在地の推定は重みがある程度大きいパーティクルで求めてもあまり差のない結果が出る。しかし、計算に使用するパーティクルの数は一定のため、一部のパーティクルの重みが大きくなると、現在地を推定するために十分な情報量を持つパーティクルが少なくなり、十分な精度が保てなくなる。そのため、パーティクルの重みの分散が一定の値以上になった場合、パーティクルを生成しなおすリサンプリングを行い、常に現在地を推定するために十分な情報量を持つパーティクルが一定数以上存在するようにする。このような十分な情報量を持つサンプルのことを有効サンプルサイズ(ESS)という。リサンプリングは

$$ESS = \frac{1.0}{\sum_{i=0}^n w_i^2}$$

で表される ESS が一定の閾値以下になった時に行う。ESS は重みの分散が大きいほど小さくなる数値であり、ESS はすべてのパーティクルの尤度が等しいほど  $n$  に近づき、特定のサンプルのみ尤度が大きくなるほど  $1$  に近づく。リサンプリングでは、リサンプリング前のパーティクルをもとに新たなパーティクルを  $n$  個生成する。新しいパーティクルの元となるパーティクルは各パーティクルの尤度がそのパーティクルが選ばれる確率となる確率分布に従って選択される。リサンプリング後、各パーティクルの尤度は  $1/n$  に設定する。リサンプリングによって、有意な情報量を常に保ちながらの推定が可能になる。

#### 4. 地磁気マップの作成

本研究における地磁気マップの作成手法を説明する。既存手法をもとに、加速度の時系列データから歩行の検出を、ジャイロセンサのデータから進行方向を算出する。進行方向にあらかじめ定数として与えた歩幅の距離だけ現在地の座標を移動する。この時、移動した距離と座標に含まれると予測される誤差を記録する。その後、現在地の座標、その時間での地磁気の測定値、座標の誤差情報を基に拡張した Gaussian Process Regression(GPR)を使用して地磁気マップを作成する。

##### 4.1 加速度・ジャイロセンサによる移動の推定

加速度センサとジャイロセンサによる移動の推定について述べる[3]。歩行の検出は加速度センサの測定値の時系列での変化により検出する。ある時間  $t$  における重力加速度を減算した全加速度を

$$a(t) = \sqrt{a_x(t)^2 + a_y(t)^2 + a_z(t)^2} - g$$

と表記する。  $g$  は重力加速度であり、  $9.8m/s^2$  とする。この値が正の値から負の値に変化した時を歩行したタイミングと判定するが、手の動きなどの微細な振動を歩行と誤検出してしまふことを防ぐため、歩行を検出してから  $0.5$  秒間は条件を満たす値の変位が発生しても、歩行の検出は行わない。

進行方向は端末の回転状態によって判別する。端末の三軸の回転状態を  $3 \times 3$  の行列  $C$  で表現し、ジャイロセンサの測定値によって行列を変形することで状態を更新する。ある時刻  $t$  におけるジャイロセンサの各軸を中心とした角速度を

$$\omega_b(t) = (\omega_x(t), \omega_y(t), \omega_z(t)) = (\varphi, \theta, \psi)$$

とする。このとき、端末の回転状態を表す行列  $C$  は

$$C = \begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\psi & -\sin\theta \\ \sin\theta\sin\psi\cos\varphi - \cos\theta\sin\varphi & \sin\theta\sin\psi\sin\varphi - \cos\theta\cos\varphi & \sin\theta\cos\psi \\ \cos\theta\sin\psi\cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi & \cos\theta\sin\psi\sin\varphi - \sin\theta\cos\varphi & \cos\theta\cos\psi \end{pmatrix}$$

と表せる。回転角  $\varphi, \theta, \psi$  は時間推移するため行列  $C$  も時間変化する。ある時刻  $t$  からサンプリング周期である  $\Delta t$  秒後の回転状態  $C(t + \Delta t)$  は

$$C(t + \Delta t) = C(t) \left( \mathbf{I} + \frac{\sin\sigma}{\sigma} \mathbf{B} + \frac{1 - \cos\sigma}{\sigma^2} \mathbf{B}^2 \right)$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_z\Delta t & \omega_y\Delta t \\ \omega_z\Delta t & 0 & -\omega_x\Delta t \\ -\omega_y\Delta t & \omega_x\Delta t & 0 \end{pmatrix}$$

$$\sigma = |\omega_b(t)|$$

である。進行方向はスマートフォンの  $Y$  軸の正方向であり、進行方向を表す角度は

$$\psi = \arctan(x_{21}, x_{11})$$

と表すことが可能である。このようにして、ジャイロセンサの測定値から端末の回転状態を変化させ、進行方向を計算している。

##### 4.2 Gaussian Process Regression (GPR)

地磁気マップはある座標における地磁気の値を推定するような関数とみなすことができる。ここでは地磁気マップを事前に作成しないため、それまでに地磁気が測定されていない場合、すでに測定した地磁気の値から、地磁気の測定値の分布を推定する必要がある。いくつかサンプルからそれらの分布を推定する手法として GPR が使用する。GPR はノンパラメトリックな推定手法の一つであり、入力に対して出力がガウス分布に従うと仮定したときに、入力に対する測定値の分布を表すような関数を算出する。入力  $x_{1:n}$  とそれに対応する  $y_{1:n}$  が与えられたときに、新たな入力  $x_{n+1}$  に対応する  $y_{n+1}$  を予測する。任意の座標である入力  $x_{n+1}$  に対する地磁気の値である出力  $y_{n+1}$  の平均と分散は、各サンプルの共分散を表す行列  $K$  を用いて

$$E[y_{n+1}] = \mathbf{k}(K + \sigma^2 I)^{-1} \mathbf{y}$$

$$V[y_{n+1}] = \mathbf{k}(x_{n+1}, x_{n+1}) - \mathbf{k}(K + \sigma^2 I)^{-1} \mathbf{k}$$

$$\mathbf{k}(x_1, x_2) = \alpha * \exp(\beta * (x_1 - x_2)^2)$$

$$\mathbf{k} = (k(x_{n+1}, x_2), k(x_{n+1}, x_2), \dots, k(x_{n+1}, x_n))$$

$$K = \begin{pmatrix} k(x_1, x_1) & k(x_1, x_2) & \dots & k(x_1, x_n) \\ k(x_2, x_1) & k(x_2, x_1) & \dots & k(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x_n, x_1) & k(x_n, x_2) & \dots & k(x_n, x_n) \end{pmatrix}$$

と表すことができる。  $\mathbf{k}(x, x)$  は各サンプル間の相関を表すような関数である。各サンプルの座標が近いほど、その入力に対する出力を近い値であるという仮定から、入力の差の二乗が小さいほど値が大きくなる関数を設定するほかのサンプルとの相関が高いほどその座標での推定結果に影響を及ぼす。  $K$  は各サンプル相関をまとめた共分散行列である。このようにして事前に与えたサンプルから、新たな入力に対する分布の平均と分散が求められる。

新たな入力  $x_{n+1}$  に対する出力の平均と分散は各サンプルの相関にどのような値に設定するかで変化する。そのため、出力の分布を  $\mathbf{k}(x, x)$  を決定するハイパーパラメータの  $\alpha$  と  $\beta$  を決定することである。ハイパーパラメータ  $(\alpha, \beta)$  を  $\theta$  と

したとき、最適なハイパーパラメータは

$$L = -\frac{1}{2} \log|K| - \frac{1}{2} y^t K y - \frac{N}{2} \log 2\pi$$

である  $L$  が最大になるような値である。  $L$  を最大化するためには  $L$  をハイパーパラメータで微分した値

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -\frac{1}{2} \text{tr} \left( K^{-1} \frac{\partial C}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{2} y^t K^{-1} \frac{\partial C}{\partial \theta} C^{-1} y$$

によって傾きを計算する。  $\text{tr}(C)$  は行列の対角要素の和である。計算した傾きに従いハイパーパラメータを更新することで、サンプル間の相関を決定する。相関が正しくなるようなハイパーパラメータ決定することにより、入力に対する出力の分布を正しく推定することができる。

### 4.3 重み付き GPR

GPR により座標と地磁気の測定値を複数サンプル用意することにより、新たな座標の地磁気の測定値の平均と分散を推定することができる。しかし、GPR では測定値に含まれる誤差は想定しているものの、入力に対する誤差は想定されていない。加速度とジャイロから位置を求める場合、地磁気の測定値だけではなく位置情報にも誤差が含まれているため、位置情報をそのまま使用して GPR を行うと、求めた結果が実際の結果と異なってしまう可能性がある。地磁気による位置推定では、座標に対する地磁気の値の想定される分布をもとに、その座標が現在地である尤度を計算している。そのため、間違った位置情報で地磁気マップを作成すると、実際には現在地から離れている場所の尤度を高く設定したり、現在地に近い場所の尤度を低くしてしまう。その結果推定される尤度がものと異なってしまう。この問題を解消するため、座標に含まれる誤差を考慮した GPR を提案する。

位置情報にたまる誤差は、歩行を検出して移動するごとに蓄積されるものとする。位置情報に誤差が発生している場合、誤差を基に求めた位置情報が正しい確率を求め、各サンプルの重みとすることである。これによって、位置情報の誤差を考慮した GPR が可能となる。GPR では各サンプル間の相関によって分布を推定し、新たな入力に対する出力の分布を推定している。そのため、入力の誤差を考慮することは、誤差の大きさに応じれ誤差の発生しているサンプルに対する相関を低くすることに相当する。  $i$  番目のサンプルの座標に発生している誤差をそれぞれ  $\varepsilon_i$  としたとき

$$k(x_1, x_2) = \alpha * \exp(-0.5 * \beta * (x_1 - x_2)^2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2)$$

と定義する。ハイパーパラメータ  $\alpha$  と  $\beta$  は 0 より大きいため、  $\varepsilon_i$  が大きくなるほど  $i$  番目のサンプルとほかのサンプルとの相関は小さくなり、GPR の出力に与える影響も小さくなる。重みをつけることで間違った平均と分散を出力する可能性は低くなるが、新たな入力との相関が低くなるため、分散は通常的手法よりも大きくなる。

### 4.4 地磁気マップの動的生成

地磁気マップは入力を座標とし、出力が測定値の  $x$  軸成分、  $y$  軸成分、  $z$  軸成分それぞれとした地磁気マップを作成する。ユーザの現在地の座標は加速度センサとジャイロセンサの測定値から求める。加速度センサの測定値の振幅から移動距離を、ジャイロセンサの測定値から端末の回転角を求め移動方向と距離を決定する。ただし、加速センサとジャイロセンサから求める移動距離と移動方向には誤差が含まれている。測定端末では加速度の変位を観測し、特定の変位が起きたタイミングで歩行したと判断する。歩行を検出したら、現在の進行方向ベクトルを事前に設定した歩幅の距離移動する場所に位置を更新する。この時、事前の情報から想定される正しい位置との誤差  $\varepsilon$  と今まで発生している誤差から、現在の位置情報に含まれる誤差を推定する。位置の更新後、誤差を考慮した位置情報と地磁気の測定値をもとに地磁気マップを更新する。この動作を繰り返すことで地磁気マップを動的に生成していく。生成した地磁気マップから予測した平均と分散は図 1, 2 のようになる。

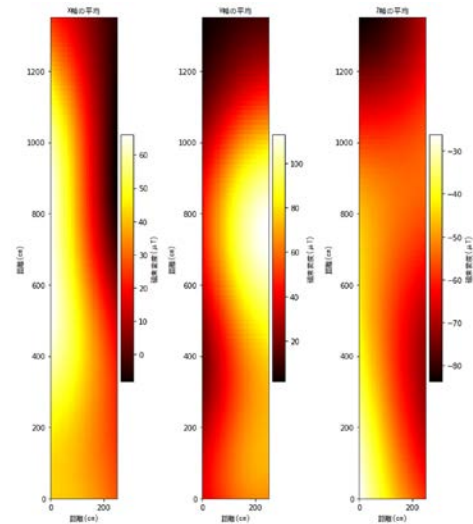


図 1 重み付き GPR で生成した地磁気マップの平均

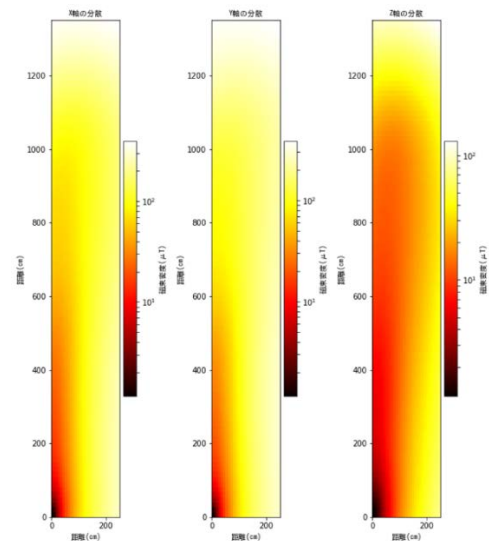


図 2 重み付き GPR で生成した地磁気マップの分散

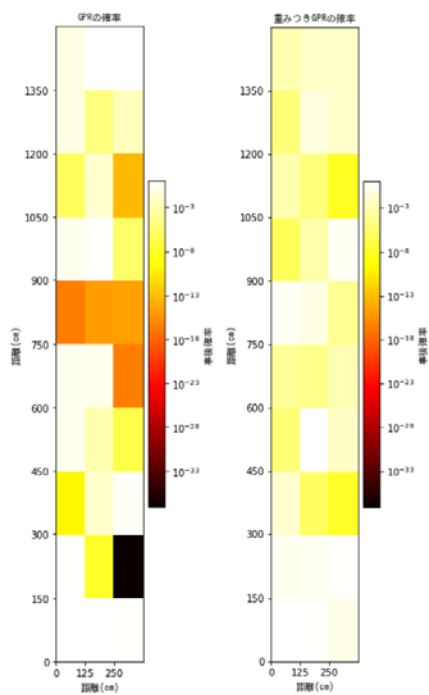


図2 正しい値を測定した時の確率

## 5. 実験

生成した地磁気マップが正確な情報を示しているかを評価するための実験を行う。パーティクルフィルタを使用している場合、パーティクルの尤度を正しく計算できているかが推定の性能に影響する。パーティクルの尤度は地磁気マップから求まる地磁気の分布をもとに、端末の測定値が観測された際に現在の状態である事後確率によって決定する。そのため、正確な地磁気マップであるほど、正しい値を与えたときに計算される事後確率が大きい。そこで、正しい測定値と状態の組を用意し、生成した地磁気マップと正しい値から計算した事後確率を評価する。

評価する地磁気マップの作成は横 2.7m、縦 15m の 2 往復しながら行った。比較評価のために、正解となる地磁気マップを事前に作成しており、この評価に使った空間を横 3×縦 10 の区間に区切り、区間毎に 1 サンプル、計 30 サンプルを用意した。重み付きの GPR で作成した地磁気マップと重み付き GPR で生成した地磁気マップのそれぞれについて、各サンプルが測定される確率を測定した。各サンプルに対して、測定値に対する確率を示したのが図 2 である。GPR では確率の高い場所と低い場所があるが、重み付き GPR は全体的に高い値である。

地磁気マップを生成した手法による位置推定の精度を比較するため、GPR と重み付き GPR のそれぞれの手法で生成された地磁気マップを使用した位置推定の実験を行う。実験環境と使用する地磁気マップは事後確率を比較した実験と同一である。比較する手法は GPR で生成した地磁気マップを使用した手法、重み付き GPR で生成した地磁気マップを使用した手法、加速度とジャイロセンサのみで地

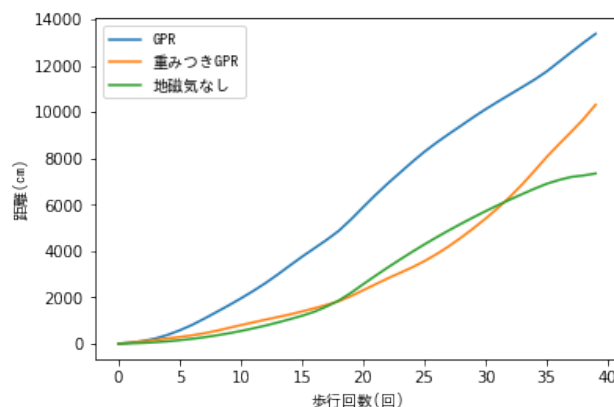


図3 正しい推定経路との差の累積

磁気を使わない手法の 3 つである。加速度センサで歩行を検出するごとに、各手法で推定した経路と正しい経路との距離を累積したものを示したのが図 3 である。GPR で生成した地磁気マップを使う手法では、常に正解の経路と離れた経路を推定している。一方、重み付き GPR で生成した地磁気マップを使用した場合、時間が経過しても大きなずれは発生せず、実際の経路に近い経路を推定している。そのため、GPR で生成した地磁気マップを使用した場合、GPR によるものよりも正解の経路との差が小さくなっている。

## 6. 考察

正しい位置と測定値に対する事後確率を比較した結果、重み付き GPR で生成した地磁気マップは GPR で生成したものよりも正しい位置の事後確率が高かった。そのため、正しい測定値を測定したときにその場所が正しいと推定する地磁気マップを作成することができたといえる。個々のサンプルにおける事後確率を見た場合、GPR で生成した地磁気マップでは正しい位置なのにもかかわらず推定された確率が低いサンプルもあった。重み付き GPR ではサンプルによる事後確率の違いは少なかった。そのため、事後確率をもとに設定しているパーティクルの尤度も重み付き GPR のほうが正しく設定でき、正しい推定結果を示すと考えられる。各正解のサンプル別に確率を比較すると、実際に移動した経路上にあるサンプルほど事後確率が高く、通っていない経路上のサンプルは確率が低かった。ただし、通常の GPR では、進路上のサンプルでも事後確率が高いサンプルも存在した。これは、地磁気マップを GPR で生成する際に、測定値に対する座標が間違った状態で使用してしまい、間違った地磁気マップを生成しているためだと考えられる。一方、各サンプルに測定時点で座標に発生する誤差を考慮した重み付き GPR では、後半になるほど測定したサンプルがマップに及ぼす影響が小さくなるため、予測する測定値の分散は大きくなってしまふ。しかしパーティクルフィルタによって推定される位置は各パーティクルの尤度の重み付き平均で求めるため、各パーティクルの確率の比

正しければ推定結果は同じなので、推定結果に大きく影響はしないと考えられる。

位置推定の実験では、通常の GPR で生成した地磁気マップを使用した場合、序盤から正しい経路とは大きく違った経路を推定しており、その後も大きく外れた位置を推定し続けていた。重み付き GPR で生成した地磁気マップを使用した場合は、通常の GPR で生成した地磁気マップを使用した場合よりも正しい経路に近い推定結果となった。通常の GPR のように間違っただけで位置情報で地磁気マップを作成してしまうと、本来測定値が異なっている場所でも近い測定値が測定されると判断してしまうことが考えられる。その結果、パーティクルの尤度の計算が正しく行われず、尤度が低いはずのパーティクルの尤度が高く設定されてしまい、重み付き平均から算出した現在地が間違っただけのパーティクルに偏ってしまったと考えられる。重み付き GPR では入力に発生する誤差を考慮するため、地磁気マップにより推定した測定値の分布が比較的正しいものとなり、パーティクルの尤度を正しい値に近く設定できたと考えられる。ただし、後半になるにつれ、正しい経路との差が大きくなっていった。この範囲は地磁気マップ生成の際に誤差がある程度累積していると判断されている範囲であり、マップ内による推定値の分散も大きい範囲であった。そのため、パーティクルの重みにあまり差がなく、地磁気による位置の補正が行われずずれ続けていったものと考えられる。

実験の結果から、誤差を考慮せずに GPR で地磁気マップを生成したときのように、正しい位置の尤度を実際のものより低く予想することは重み付き GPR で軽減することができた。しかし、地磁気マップ生成時に誤差を考慮してした範囲では、実際の分布のように正しい位置のみの尤度を高く設定することができず、推定の精度を高めることはできなかった。そのため、対象となる範囲全域で十分な情報量を持つ地磁気マップを生成するためには、範囲全体をカバーできる量のサンプルを用意するか、生成時に蓄積する誤差を軽減するような仕組みが必要だと考えられる。

## 7. まとめ

地磁気の偏位を使用する位置推定手法において、事前に生成する必要があった地磁気マップを動的に生成する手法を提案した。位置情報に発生する誤差を考慮するし、地磁気の空間中の滑らかさを利用することで、加速度センサとジャイロセンサから求めた移動経路に誤差が含まれていても正しい情報を持った地磁気マップを生成することができた。これにより、十分な情報量を持つ範囲では正しい尤度で現在位置の推定を行うことができた。しかし、事前に想定した誤差以上の間違いを補正することはできていないため、位置を正確に推定するにはそれらの誤差を補正する手法が必要である。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP17K00138 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] CHUNG, Jaewoo, et al. Indoor location sensing using geomagnetism. In: *Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2011. p. 141-154.
- [2] VALLIVAARA, Ilari, et al. Magnetic field-based SLAM method for solving the localization problem in mobile robot floor-cleaning task. In: *Advanced Robotics (ICAR), 2011 15th International Conference on*. IEEE, 2011. p. 198-203.
- [3] RACKO, Jan, et al. Pedestrian dead reckoning with particle filter for handheld smartphone. In: *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016 International Conference on*. IEEE, 2016. p. 1-7.