

修士論文

地磁気フィンガープリンティングの精度向上のための 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた SVM による地磁気の変化検知

寺井 元基

2019 年 3 月 9 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

寺井 元基

審査委員：

藤川 和利 教授 （主指導教員）

安本 慶一 教授 （副指導教員）

新井 イスマイル 准教授 （副指導教員）

地磁気フィンガープリンティングの精度向上のための 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた SVM による地磁気の変化検知*

寺井 元基

内容梗概

近年屋内環境は増加し、屋内における歩行者ナビゲーション需要が高まってきている。本研究では、あらかじめ特定のセンサデータに対するセンサデータマップを作成し、実測値と比較して測位を行うフィンガープリンティングという手法に着目する。フィンガープリンティングでは時間によらず一定であるデータが理想とされる。そのようなデータとして本研究では地磁気を用いることを考える。地磁気フィンガープリンティングにおいて、地磁気が短期的に変化する可能性を考慮し、地磁気は短期的に変化しそうな地点で地磁気の定点観測を行なった。結果として、電車が発車するタイミングで地磁気が大きくその影響を受け変化することがわかった。そのため電車が発車するタイミングでの変化の傾向を調査し、地磁気の変化量から閾値を計算し、閾値を各ステップの変化量が超えたかどうかで電車が発車状態にあるかどうかを判定した。また SVM を用いてデータを複数種類用意し推定を行った。3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時にもっとも精度が高く、f 値は 0.9599 で、交差検定の正解率も 0.9935 であり良い性能であった。

キーワード

屋内測位, フィンガープリンティング, 地磁気

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, 2019 年 3 月 9 日.

Detection of geomagnetism change by SVM using triaxial geomagnetism and triaxial acceleration for improving accuracy of geomagnetic fingerprinting*

Genki Terai

Abstract

Demand for pedestrian navigation indoors is increasing. In this research, we focus on a method called fingerprinting. In the method, create a sensor data map, and compare with actual measurement and position. In fingerprinting, Ideally the data is constant at all times. In geomagnetic fingerprinting, we observed a fixed point at a place where the geomagnetism is likely to change in the short term. The geomagnetism greatly changed when the train departed. Therefore, at the timing when the train departed, the threshold was calculated from the amount of change in geomagnetism, and it was judged whether or not the train was departed by whether or not the threshold was exceeded. As a result, most departure timings could not be detected with walking data. In addition, multiple types of data were prepared using SVM and estimated. The most accurate was when using 3 axis geomagnetic and 3 axis acceleration. F-measure is 0.9599 and the accuracy rate of the cross-validation is 0.9935, which is a good performance.

Keywords:

indoor position estimation, fingerprinting, geomagnetic

*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, March 9, 2019.

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	先行研究	3
2.1	地磁気によるフィンガープリンティング	3
2.2	地磁気の変化への対処	5
第 3 章	地磁気の変化の基礎実験	6
3.1	実験内容	6
3.2	実験結果	8
3.3	考察	15
第 4 章	地磁気の変化が測位精度に及ぼす影響の基礎実験	16
4.1	実験内容	16
4.2	実験結果	17
4.3	考察	18
第 5 章	提案手法	19
5.1	地磁気の補正	19
5.2	閾値による地磁気の変化検知	19
5.3	SVM による電車の発車状態の分類	21
第 6 章	閾値決定の評価実験	22
6.1	実験内容	22
6.2	閾値での検出結果	22
6.3	SVM での二値分類結果	23
6.4	考察	26
第 7 章	結論	30
謝辞		31

参考文献	32
発表リスト	34

図目次

2.1	センサデータマップの例	3
3.1	エレベーター前での取得環境	7
3.2	エレベーター 1m 前での取得環境	8
3.3	プリンター前での取得環境	9
3.4	線路下での取得環境	10
3.5	エレベーター前での取得結果	11
3.6	エレベーター前 1m での取得結果	11
3.7	7 階エレベーター前での取得結果	12
3.8	プリンター前での取得結果	12
3.9	線路下 10m での定点での取得結果	13
3.10	線路下 10m での歩行時の取得結果	13
3.11	電子レンジ前での取得結果	14
3.12	線路下 10m での 3 軸方向の取得結果	15
4.1	作成したセンサデータマップ例	17
5.1	地磁気センサーの軸対応	20
6.1	線路横 3m での歩行観測結果	23
6.2	線路横 3m での歩行観測結果のフィルター適用後	24
6.3	線路横 3m での定点観測による発車推定	25
6.4	線路横 3m での歩行観測による発車推定	26
6.5	線路横 3m での歩行観測の 2 軸による発車推定	27
6.6	線路横 3m での歩行観測の 2 軸の変化量の和による発車推定	28
6.7	SVM を用いて幅 1 を変動させた時の結果	28
6.8	SVM で 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時系列データ	29
6.9	SVM で 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時系列データの拡大	29

表目次

6.1	閾値での推定結果	24
6.2	SVM での推定結果	25
6.3	3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時の混同行列	25

第 1 章 序論

歩行者ナビゲーションは需要が高いが，屋内では衛星電波が不通で GPS 測位が困難である．近年屋内環境における測位の需要が増えてきており，駅構内や地下街などではナビゲーションが必要な場面が考えられる．特に 2020 年には東京オリンピックが予定されており，外国人観光客が東京駅をナビゲーションを利用して移動することや，地下街でのナビゲーションを利用する事などが考えられる．そのため屋内において，スマートフォン搭載センサを活用した屋内測位手法が数多く研究されている．

本研究ではフィンガープリンティングという屋内測位手法に着目する．フィンガープリンティングでは，あらかじめ特定のセンサデータに対するセンサデータマップを作成しておき，センサデータマップの値と実測値を比較して現在地を推定する．測位精度はマップの鮮度や粒度等に依存し，同一地点で観測できるセンサデータの値が一定であることが前提であるが，その値は環境の変化といった長期的な時間の経過で変化することが考えられる．そのため巡回ロボットによる自動更新 [1] や，2 地点間のセンサデータの差をマップに用いるセンサデータとすることで全体の変化に対応する手法 [2] などが提案されている．

フィンガープリンティングに用いるセンサデータとして，Wi-Fi や Bluetooth Low Energy の電波の受信強度や地磁気为主に挙げられる．フィンガープリンティングにおいて用いるセンサデータは計測地点ごとに違い，不変であることが望ましいため，適したセンサデータを選ぶ必要がある．本研究では地磁気に着目して検証，実験を行う．地磁気は方位を特定するときに主に使用される，地球が持つ磁場である．地磁気は屋外においては一定で，南から北へ向けて発せられている．しかし屋内においては，地磁気は建物の鉄骨や棚や机などに依存して決まるため，建物の構造が変化したり，模様替えなどを行ったりしない限り基本的に変化することはない．そのため地磁気は特殊な器具や物理的な準備を必要とせず利用でき，フィンガープリンティングに用いるセンサデータに適していると言える．しかし地磁気のみを用いたフィンガープリンティングでは高い精度は出ておらず，あくまで Wi-Fi フィンガープリンティングなどと合わせて使うのが基本になっている．さらに地磁気は，大電流が流れたり，電磁気を活用する電子機器の影響などを受け，短時間

で変化する．また金属が高速で移動した時などにも変化しうる．本研究では地磁気の短期的な変化を対象とする．そのような場所として，本研究ではエレベータの近く，プリンターの近く，電車の線路の高架下において，変化が見られると考え，地磁気の変化を定点観測しその結果を示す．また，地磁気の変化のタイミングが検知できれば，複数のセンサデータマップを用意しておき，切り替えて使用するなどと言った対処が考えられる．そのため，大きな変化が見られた電車の発車時に発生する大電流および金属の移動による地磁気の変化の検知手法を提案し，その検出精度を示した．閾値を計算し，地磁気の変化が閾値を超えたタイミングを発車開始と判定する手法では扱うデータを工夫することで精度向上を図ったが，良い結果は得られなかった．また SVM を用いた手法では地磁気の値に加えて端末の加速度を用いることによって高い精度が得られ，f 値は 0.9599 であった．

本研究では 2 章で先行研究を述べ，本研究で行う手法の必要性を述べる．3 章で基礎実験の結果を示し地磁気は短期的に変化することを確認する．4 章で提案手法を示し，5 章でその手法の評価結果を示し，6 章で結論を述べる．

第 2 章 先行研究

地磁気を用いたフィンガープリンティングの研究として，地磁気の有用性を検証した研究がある．しかし地磁気が変化した時に測位精度が落ちることが示されており，それを回避する研究がなされている．

2.1 地磁気によるフィンガープリンティング

フィンガープリンティングではあらかじめセンサデータマップを作成しておくことが前提となる．例えば図 2.1 のようなセンサデータマップを作成したとする．ス

y_3	2	5	7
y_2	3	4	6
y_1	8	9	1
	x_1	x_2	x_3

図 2.1 センサデータマップの例

マートフォンユーザーは現在の位置情報を得たい時，現在位置のセンサデータを取得する．ユーザーが仮にセンサデータとして 4 を取得したとすると，あらかじめ作

成したセンサデータマップで該当する座標である (x_2, y_2) が測位結果として得られる。また例では 1 点のセンサデータのみから現在地を推定しているが、広い地形などでは誤差が大きくなるため、複数の点を用いるなどの研究もなされている。

屋内で地磁気をセンサデータとして扱ったフィンガープリンティングの研究がなされ、その測位精度の高さが示されている。

S Suksakulchai らの研究 [5] では廊下でセンサデータ取得ポイントを 3 点指定し、ロボットを走行させもともとセンサデータが近い地点にロボットがいると判定している。この論文ではセンサデータとして地磁気を用いており、水平方向と鉛直方向のみの 2 軸を用いている。センサデータの比較時には最小平均二乗誤差を求めて全近傍法で比較を行っている。この手法により推定された点の正解率が高く、地磁気によるフィンガープリンティングの有用性を証明している。

Jaewoo Chung らの研究 [4] ではセンサデータマップとセンサデータの観測値が近い点を現在の位置として推定する手法を提案している。この論文では 60m 四方の空間で手法を適用し平均誤差が 1.6m 程度に収まっている。さらに精度向上のため、Wi-Fi フィンガープリンティングと組み合わせる手法も示している。この論文でも同様に、センサデータが常に一定であることが前提となっている。またこの論文では地磁気が長期的に変化するかを複数の端末を用いて半年間定点で地磁気を観測し続けることにより調査している。結果として大きな変化が見られなかったが、付近にエレベーターがある地点の方が、何もない地点に比べ変化が生じたことが示されている。このためさらに地磁気に大きな変化を及ぼすものが存在する可能性がある。

Binghao Li らの研究 [6] においても、地磁気が長期的に変化するかを検証しており、同じ地点で 1 年間地磁気を観測しほぼ変化がないことを示している。しかしリフト付近では変化が何もない場所に比べて大きいことや、ナビゲーションを想定した時に地磁気の色は水平方向と鉛直方向の 2 種類しか現実的には利用できないことを問題提起している。

Hongwei Xie らの研究 [3] では取得した地磁気データを補正してノルム値に変換してマッピングを行い、測位時には Wi-Fi フィンガープリンティングにも用いられているベイズ推定を用いている。この論文では測位の平均誤差が 3.5m 程度に収まっており、スマートフォンの持つ位置や、ユーザーの歩行速度によらず安定して

測位が可能であることを示している．しかし本研究で挙げるような短期的な地磁気の変化は考慮されておらず，地磁気が変動しないことが前提となっている．

Vandermeulen Dries らの研究 [7] では端末によって取得される地磁気の値が変化するかを検証し，キャリブレーションが必要であることを示している．さらに木製の廊下と鉄骨の廊下で検証を行い，木製の廊下では地磁気の値をどこで観測しても似た値になってしまうことから木製の廊下では地磁気でのフィンガープリンティングが適していないことを示している．そのため本研究でも木製の廊下は対象外とする．またスピーカーを動作させた時とさせていない時での観測される地磁気の違いを検証しており，スピーカー付近 25cm では地磁気の値が変動するため，対処が必要であることが述べられている．

Ryoji Ban らの研究 [8] では，ユーザーの姿勢を推定して現在の端末の向きを推定し 3 軸の地磁気を利用することを提案している．45 点のセンサデータを用いて実験を行い，平均誤差が 8m であることが示されているが，ユーザーがショッピングモールで見ている店を推定するには誤差 5 m 以内が求められることが言及されているため，さらに高い精度が必要である．

2.2 地磁気の変化への対処

2.1 節に示したように時間経過による地磁気の変化が考えられるため，測位精度を向上するための研究がなされている．

Chenshu Wu らの研究 [2] では，あらかじめ取得するセンサデータを，各一点のデータではなく，その点と隣接した点との値の差をセンサデータとして取得する．これにより，ある一点の値が不安定であったとしても，全体のセンサデータが同時に揺らぐ場合においては改善が見込める．しかし屋内の一部のみのセンサデータが揺らぐ場合には対応できない．

Kensaku K らの研究 [1] では自律型ロボットを巡回させることにより，定期的なセンサデータマップの更新を行なっている．これにより AP の設置位置の変更といった周辺環境の変化に対して対応できる．しかし本論文であげるような，短時間で変化するセンサデータに対しては対応できない．

第 3 章 地磁気の変化の基礎実験

フィンガープリンティングに用いるセンサデータは変化しないことが前提である。しかし一般にそのようなデータは存在しておらず、地磁気も外的要因で変化する。地磁気は屋内においては建物の構造や家具の配置などによって決まるため、建物の構造や家具の配置を変更すると地磁気の数値も変化する。また、地磁気そのものは大電流が流れたり、金属が付近を高速に移動したり、電磁気を活用する電子機器の影響などを受け、短時間で変化すると考えられる。そのため短時間で変化するセンサデータに対応するために、その原因となりうる箇所の地磁気を定点観測し、その結果を示す。

3.1 実験内容

フィンガープリンティングに用いるセンサデータの地磁気は、磁石・鉄などに影響を受けて変化する。また電流なども磁気を発生させ地磁気を変化させる要因となる。そのため取得される地磁気のセンサデータの値が短時間で変化する要因として、大電流が流れる場合や電磁気が発生する電子機器の使用などが考えられる。このため大電流が流れている時とそうでない時、電子機器を使用している時と非使用時でそれぞれパターンが認識できた場合、フィンガープリンティングに用いるセンサデータマップを変更することが考えられる。地磁気フィンガープリンティングに悪影響を与えるような現象を確認するために、実際に短時間で地磁気に変化しそうな箇所としてエレベーターの近く、プリンターの近く、電車の線路の下、電子レンジの近くでそれぞれエレベーターが動いているとき、印刷時、電車が停車、発車する時間、電子レンジの動作時間に着目して、地磁気の変化を調査する。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学棟内の地磁気変化が大きそうなエレベーター前、プリンタ前、電子レンジ前、学研北生駒駅の線路 10m 下で 1 時間地磁気を取得し続ける。エレベーター前での定点観測の様子を図 3.1 に、エレベーター 1m 前での取得状況を図 3.2 に、プリンター前での取得状況を図 3.3 に、線路下での取得状況を図 3.4 に、それぞれ示す。エレベーターに関しては、エレベーターの通過、停止、扉の開閉が観測できる箇所として最もモーターから遠い 2 階とモーターに最

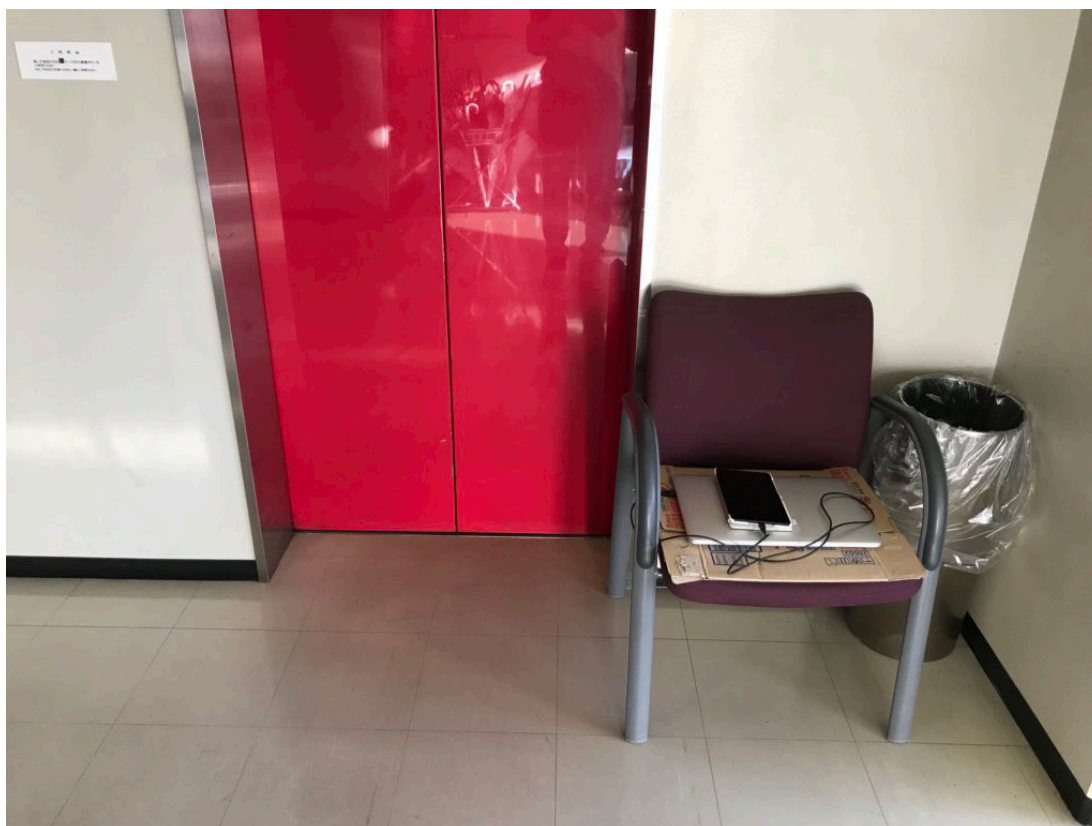


図 3.1 エレベーター前での取得環境

も近い 7 階の扉の前でそれぞれ取得し比較した．また電子レンジ前でのみ計測時間を 20 分間とした．それぞれエレベーター前では上から下への通過，下から上への通過，ドアの開閉のタイミングを，プリンタ前では印刷のタイミングを，線路下では電車の停車と発車のタイミングを手動で記録した．

使用端末は Nexus 7 2013, Android 5.0. センサデータ取得間隔は 20ms で csv ファイルに書き込みを行う．取得する値は Android 端末に対しての x , y , z 方向の 3 軸に対する地磁気の値とし，グラフの縦軸を 3 軸のノルムの差とする．ここではこの値を Δn , また時刻 i に観測された 3 軸方向の地磁気の値をそれぞれ x_i, y_i, z_i と定義する．



図 3.2 エレベーター 1m 前での取得環境

$$\Delta n = \left| \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} - \sqrt{x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2 + z_{i+1}^2} \right| \quad (3.1.1)$$

3.2 実験結果

エレベーター前での 1 時間の測定結果を図 3.5 に，エレベーターから 1m 離れた箇所での測定結果を図 3.6 に，7 階のエレベーター前の測定結果を図 3.7 に，プリンター前での測定結果を図 3.8 に，学研北生駒駅の線路下 10m での定点での測定結果を図 3.9 に，線路下 10m での歩行時の測定結果を図 3.10 に，電子レンジ前での測定結果を図 3.11 それぞれ示す．測定開始時は筆者が付近にいる影響で値の変



図 3.3 プリンター前での取得環境

動が大きいためここでは省いた。

図 3.5 では大きな変化はないが、図 3.6 のエレベーターから 1m 離れた位置での実験と比較すると、多少の変化は見られる。特にドアが開閉しているときは地磁気の変化が多少は見られるため、鉄の物体の移動が地磁気に影響を与えていると考えられる。一番変化が大きい時はドアの開閉で Δn が平均約 2.1 程度であった。この変化量が測位精度にどの程度関わるかを検証する必要がある。また図 3.7 においても大きな変化は見られず、エレベーターのモーターが地磁気に与える変化も小さいものであることがわかった。図 3.8 では値の大きな変化はなく、エレベーター前よりも安定していることがわかる。このためプリンターに関しては、ほとんど地磁気に影響を与えないことがわかった。図 3.9 の線路下 10m での定点での測定結果では、電車が停車するとき、発車する時にそれぞれ大きく地磁気変動していること

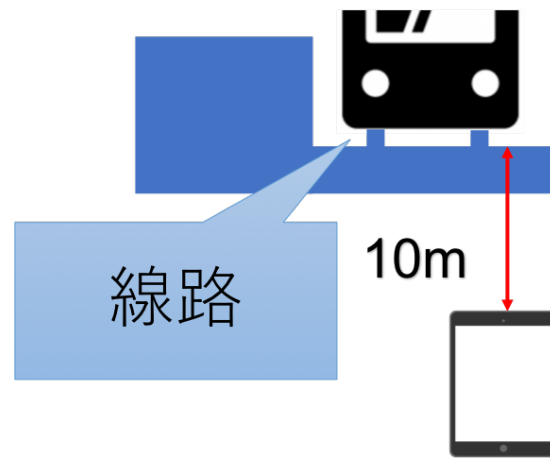


図 3.4 線路下での取得環境

がわかる．いずれも変化が大きく出ており Δn が平均約 2.6 変化した．図 3.10 の線路下 10m での歩行時の測定結果では，電車の発車による影響と思われる変化もあるが，それ以外の地点でも取得されたデータが大きく変化しており，補正や検証が必要であるため 4 章で扱う．今回は線路から約 10m 離れているにも関わらず大きな変化が見られたため，今後さらに検証が必要であると考えられる．図 3.11 のレンジ前での測定結果では， Δn が平均約 1.7 程度の変化であった．

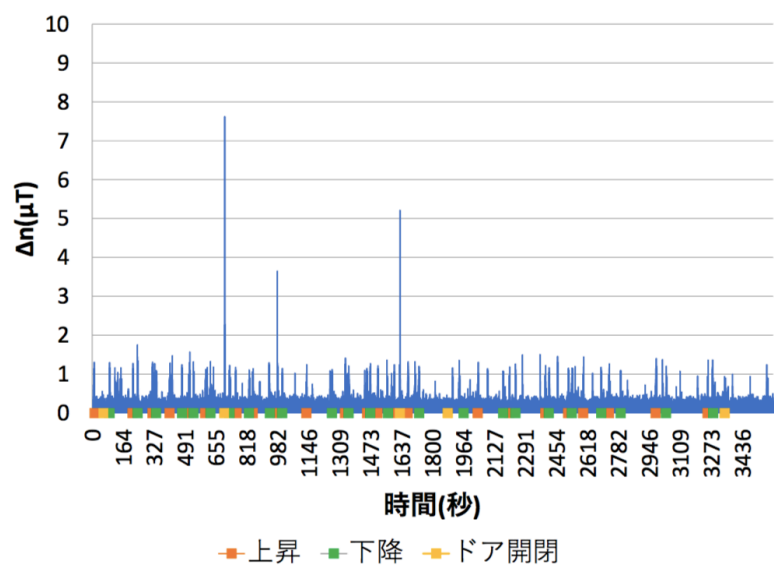


図 3.5 エレベーター前での取得結果

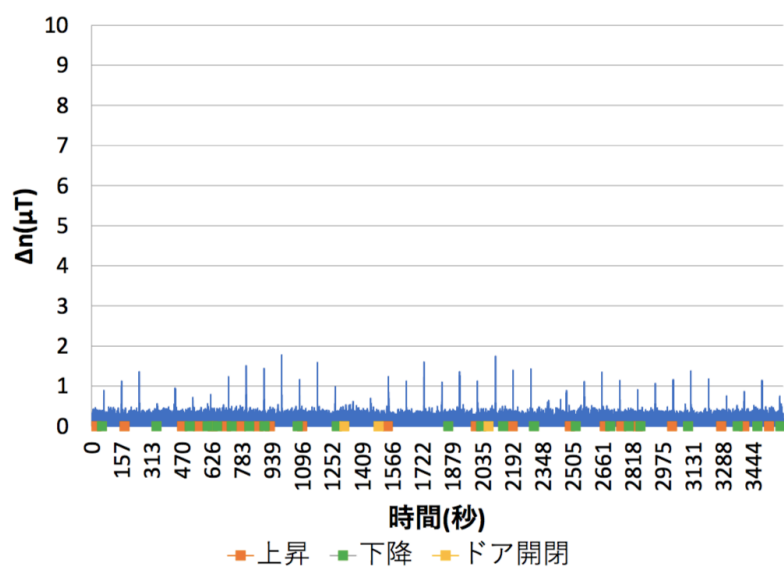


図 3.6 エレベーター前 1m での取得結果

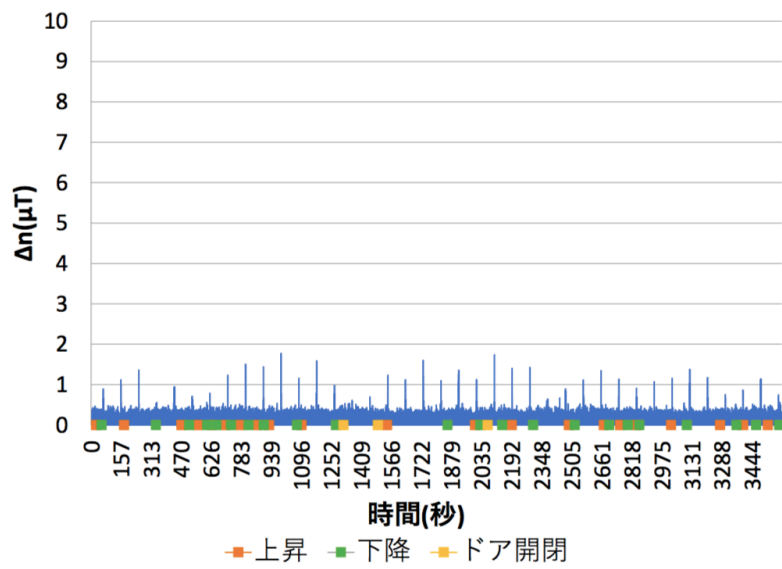


図 3.7 7 階エレベーター前での取得結果

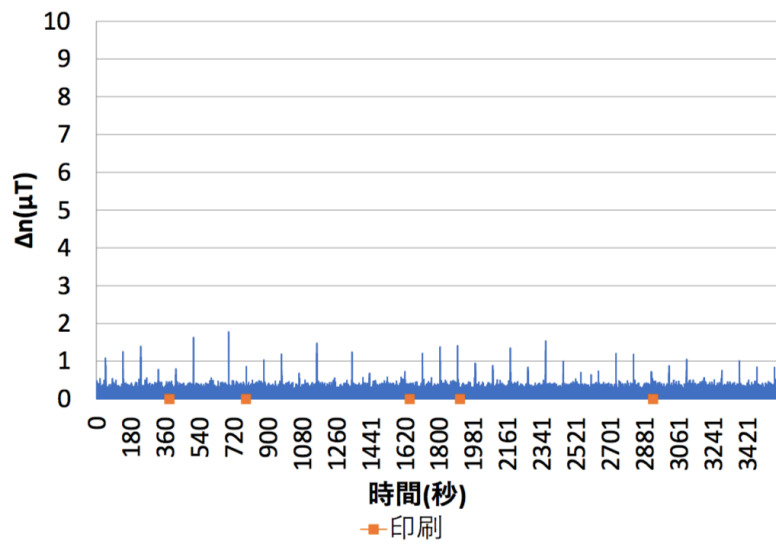


図 3.8 プリンター前での取得結果

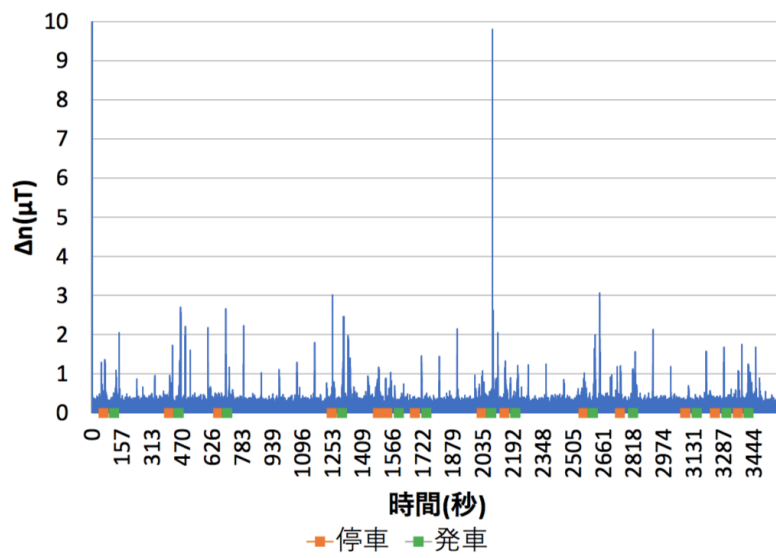


図 3.9 線路下 10m での定点での取得結果

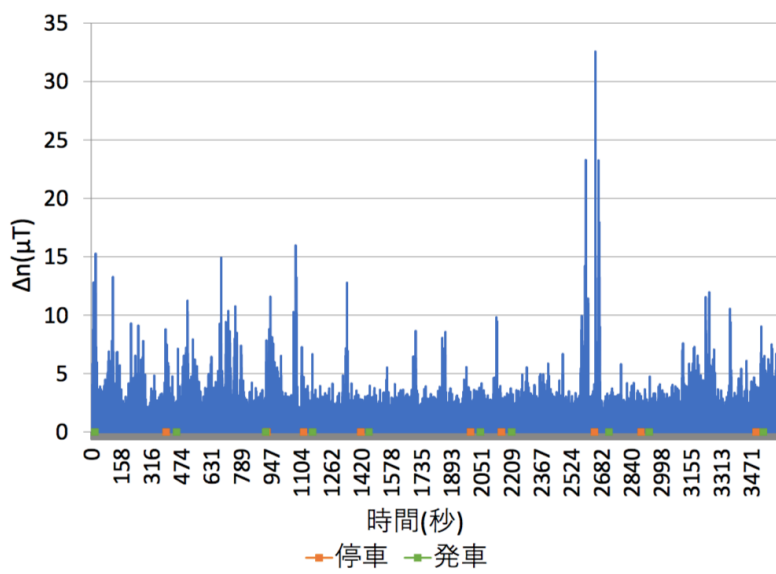


図 3.10 線路下 10m での歩行時の取得結果

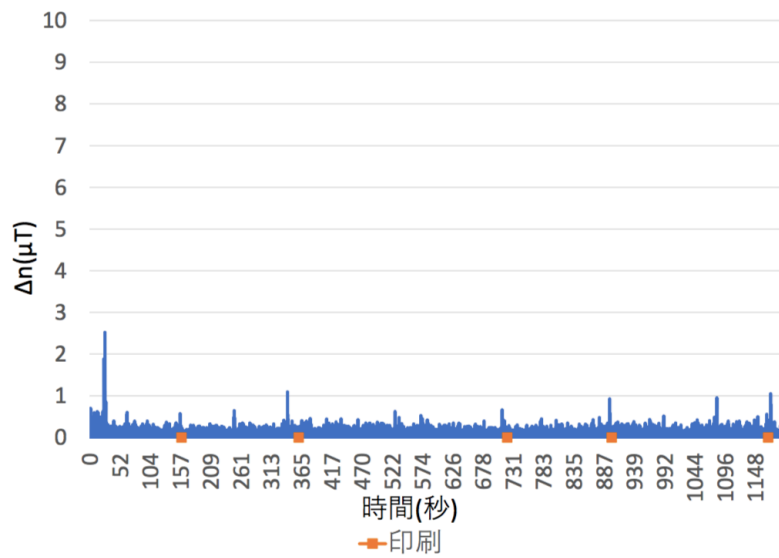


図 3.11 電子レンジ前での取得結果

ここで、最も変化が大きく、フィンガープリンティングに影響を及ぼす可能性が高い観測結果になった線路下 10m の 3 軸データを図 3.12 に示す．電車が停車するときはあまり目立った変化はないが，発車するタイミングで毎回同じよう変化をしていることがわかる．

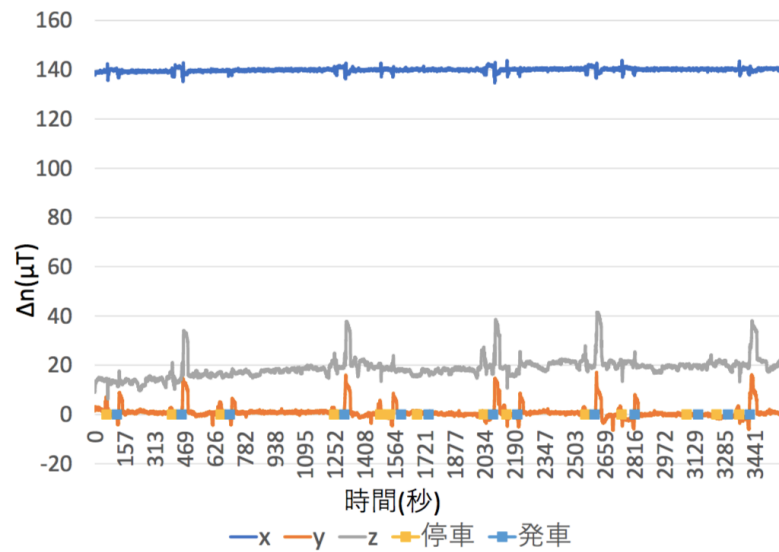


図 3.12 線路下 10m での 3 軸方向の取得結果

3.3 考察

3.2 節の結果より，電車が発車するタイミングで地磁気が大きく影響を受けること，また影響の受け方にパターンがあることがわかった．そのため本研究では電車が最も影響が大きい電車の変化に着目し，電車が発車したタイミングを推定することを考える．発車のタイミングが正しく推定できれば，その影響を考慮して Wi-Fi や他の屋内測位手法と切り替えたり，複数マップを用いて切り替えるなどの対策が考えられる．

第 4 章 地磁気の変化が測位精度に及ぼす影響の基礎実験

3 章の結果より，電車の発車時に生じる地磁気の変化が測位精度に及ぼす影響を調査する．

4.1 実験内容

奈良先端科学技術大学院大学情報研究科 B 棟 2 階を対象にセンサデータマップを作成し，実験を行う．端末は Nexus 6，Android バージョンは 5.0 を用いた．対象の範囲を $90\text{m} \times 90\text{m}$ ごとに区切り，各地点で端末を高さ 1m で北向きに固定し 10 秒ずつ測定をおこないその平均をセンサデータとした．図 4.1 に示すようなセンサデータマップを 3 軸方向分作成した．ここで作成したセンサデータマップを元に，B 棟東側に線路があり，電車が発車状態であることを想定した変化後マップを作成し比較する．電車の発車の影響は各軸ごとに電車の地磁気の変化量の平均を，線路との距離が近いほど大きく，離れるほど小さく加算する．また，端末を高さ 1m で北向きに固定し，歩行データを 10 種類作成し，それを元にセンサデータマップと線路を想定したセンサデータマップで測位精度を算出し比較する．測位精度には Ryoji Ban らの研究 [8] で用いられている全近傍法を用い測位制度を毎ステップ算出し，歩行データ毎ではなくステップ毎に精度を算出する．

あった。

4.3 考察

作成したセンサデータマップと比較し，線路を想定したマップでは測位誤差が2.8m 増加した．また，推定される位置が作成したセンサデータマップに比べ，線路を想定したマップでは線路から水平に離れる場合が多かった．3 章の結果および4 章の結果から，電車が発車状態であるかどうか判断できれば，別の測位手法に切り替えるなどによって誤差を低減できると考えられる．

第 5 章 提案手法

基礎実験において、一番変化が大きかった線路付近での電車の発車による地磁気の変化検知を行う。はじめに地磁気の値の補正方法を示し、実際のデータに対して変化検知手法として閾値を用いた手法と SVM を用いた手法を述べる。SVM を用いた手法では二値分類を行うため、発車状態と発車でない状態が短時間で交互に検知されてしまうなどのリスクが考えられるが、精度は高くなることが期待される。閾値を用いた手法では、電車の発車タイミングを検知し、以降一定時間を発車状態と判定するため、上記のようなことは起こらないが、SVM と比較して精度が低くなる可能性が高い。そのため両方の手法を検証する。

5.1 地磁気の補正

Android に用いられている一般的な地磁気センサーは、図 5.1 に示すように、端末の鉛直方向を z 軸、水平方向を x 軸と y 軸としている。しかし端末は常に水平に固定されているわけではなく、様々な角度になりうる。これを回避するため一般的には重力加速度を利用して端末の現在の角度を求めて補正する。重力加速度は、加速度センサーにより取得された値にローパスフィルターを適用する事で算出する。ローパスフィルターは以下の式により成り立つ。

$$S[t] = \alpha \times Y[t - 1] + (1 - \alpha) \times s[t - 1] \quad (5.1.1)$$

ローパスフィルターは高周波成分を取り除き、時系列データの平滑化をすることができる。ここで $S[t]$ は現在の観測された値、 $S[t - 1]$ は 1 ステップ前に観測された値を示す。また α は 1 を最大値とする重み付けの係数であり、今回は Android Developers[11] に従い 0.8 に設定している。

さらに補正後の地磁気の値の x 軸と y 軸から方角を計算し、補正を行う事で正確な地磁気強度を求める。しかし屋内においては地磁気の値は地球の磁場のみによっては決定せず、建物の構造や家具などの配置によって変化しうる。そのため屋内では方角を正しく求めるのは困難であり、上記の方法は現実的ではない。そのため本研究では端末角度の推定のみを行い、閾値推定においては水平方向と鉛直方向の二

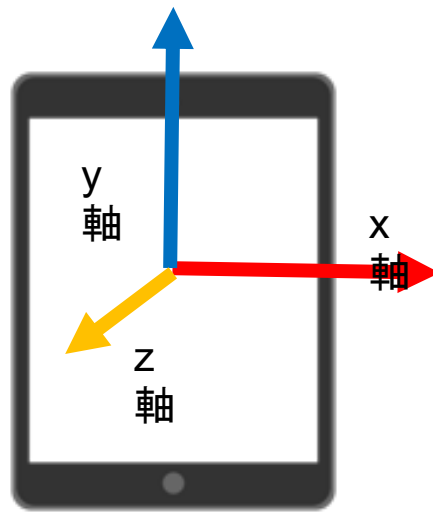


図 5.1 地磁気センサーの軸対応

値を用いる。

5.2 閾値による地磁気の変化検知

人間は一般的に 1 秒に 1.5m 程度歩くとされている [10]。またユーザーが見ている店を推定するには誤差 5m 以内、不快なくナビゲーションを受けるためには誤差 2m 以内が必要であると Kenici[9] らの研究で述べられている。そのため地磁気のデータ取得から変化検知をしてナビゲーションに反映されるまでが $2 \div 1.5 = 1.333\dots$ より 1.3 秒以内に行われるのが理想であると考えられる。よって今回は地磁気の値に対して閾値を決定し、一定値を超えた時に電車が発車したと検知し、そこから電車の発車の影響が治るまでの 40 秒間を発車期間と推定する。そのため、センサデータマップ作成時に閾値も決定しセンサデータとセットでセンサデータマップとする。

閾値決定には、各発車データの傾きを用いる。閾値計算には以下の式を用いる。まず地磁気の定点観測データを電車の発車時を含む 1 分程度のデータに区切る。この時系列データの傾きに対して max 値と min 値を求め、それらすべての平均値を

使用する.

$$f(x) = \left(\sum_{i=0}^n \max_i + \min_i \right) \div n \quad (5.2.1)$$

実測値の 2 値間の差をデータの傾きとし, その値が閾値を超えたタイミングを電車の発車タイミングと推定する. そして以降 40 秒間を電車が発車しており, その影響を地磁気が受けている区間と推定する. またこの 40 秒間中に再度閾値を超える傾きがみられた場合はさらにその地点から 40 秒間が影響を地磁気が受けている区間と推定する. 閾値はデータとの相性によってその性能が左右されるため, ここでは簡易で計算量が軽いこの手法を選択した.

5.3 SVM による電車の発車状態の分類

support vector machine(SVM) により電車が発車状態にあるか, 発車状態ではないかの二値分類を行う. データ数は 36549, その内発車状態が 4000, 非発車状態が 32549 個である. 本研究では SVM に与えるデータとして, 時系列を考慮することで精度向上できると考えたため, 時系列順のデータを幅 1 で区切り, 水平方向の地磁気のデータと鉛直方向の地磁気のデータを 1 個ずつ組み合わせたものをデータとして扱う. その定義を以下に示す.

$$[h_t, h_{t+1}, \dots, h_{t+l-1}, v_t, v_{t+1}, \dots, v_{t+l-1}] \quad (5.3.1)$$

幅 1 を変動させ, それぞれで比較を行いその精度を示す. また比較として角度補正前の地磁気の 3 軸の値, 角度補正前の地磁気の 3 軸の値と 3 軸の加速度の値, 角度補正後の地磁気の 3 軸の値を用いて SVM でそれぞれ分類を行う.

第 6 章 提案手法の評価実験

6.1 実験内容

閾値決定手法の精度検証を行う。実験は線路下 10m の地点より電車の変化を大きく観測できるよう線路横 3m の地点で行う。使用端末は Huawei Mate 9, OS は Android 7.0 を使用し, 比較のため 1 台は定点で観測, もう 1 台は駅構内を移動するユーザーを模倣し持ち歩きながら計測した。電車が発車する時に聞こえるインバーターの起動音のタイミングを手動で記録しラベル付けを行う。それぞれ 1 時間ずつ観測し, 閾値を算出, SVM それぞれで比較を行った。算出した閾値を超えた地点を電車が発車した地点と推定し, そこから電車の発車の影響が収まるまでの 40 秒間を発車状態であるとする。発車状態の適合率 (precision) と再現率 (recall) と f 値 (F-measure) を用いて比較を行った。それぞれの値は以下式によって算出される。

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (6.1.1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6.1.2)$$

$$F - measure = \frac{2Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (6.1.3)$$

6.2 閾値での検出結果

線路横 3m での歩行観測結果を図 6.1 に, 線路横 3m での歩行観測結果にローパスフィルターを適用したものを図 6.2 にそれぞれ示す。歩行観測結果では歩行者の移動や端末を傾ける動作などによって各軸の値が変化しているが, フィルターを適用した後は発車時以外の部分で目立った変化は少なく安定している。

これらに対して提案手法である閾値を計算して電車の発車タイミングを推定したものの定点観測のデータを図 6.3, 歩行データを図 6.4 にそれぞれ示す。正解値と

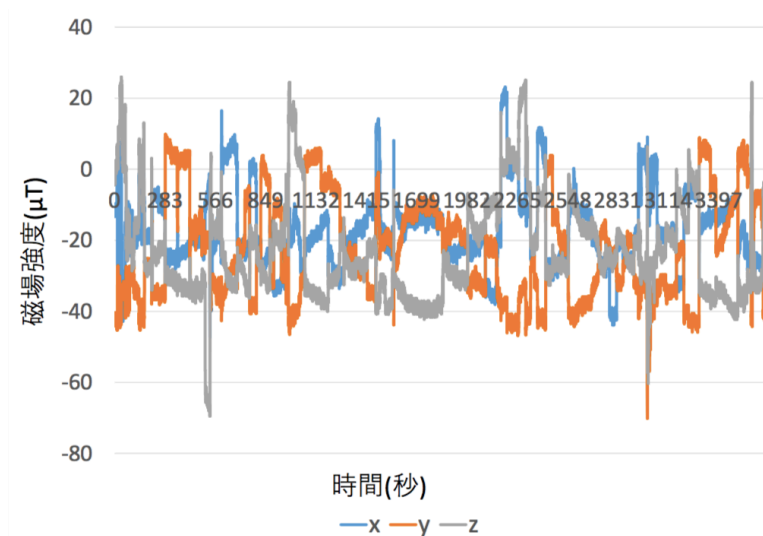


図 6.1 線路横 3m での歩行観測結果

推定値は発車のタイミングおよび発車のタイミングだと推定されるタイミングで 1 を，そうでないとき 0 を割り当てて表示している．また，それぞれの適合率，再現率，f 値を表に示す．定点観測結果のデータでは誤検出が多いが，発車のタイミングも正しく検出できている．適合率は 0.5212，再現率は 0.9882，f 値 0.6825 であった．発車のタイミングは全て正しく検知できているが，発車による影響を受けた変化が収まるタイミングでも変化が大きく現れており，同じように検知してしまっている．歩行データでは変化が大きい場合には検出できている部分もあるが，歩行時の変化が大きいところでは誤検知が多くなっている．適合率は 0.5712，再現率は 0.1947，f 値 0.2904 であった．

ここで歩行データではスカラー値ではなく水平方向と鉛直方向のそれぞれで閾値を計算して，推定を行う．推定結果を図 6.5 に示す．スカラー値で検知していた時は，2 軸のうち値が常に大きい鉛直方向の変化のみによって検知がなされてしまっていたことがわかる．しかし水平方向での検知ではスパイクが多く，誤検知率が高まってしまった．

これらの結果より，スカラー値で推定を行うと，各軸のうち数値が大きいものが優先され，今回の場合では水平方向の変化が無視されていることがわかった．その

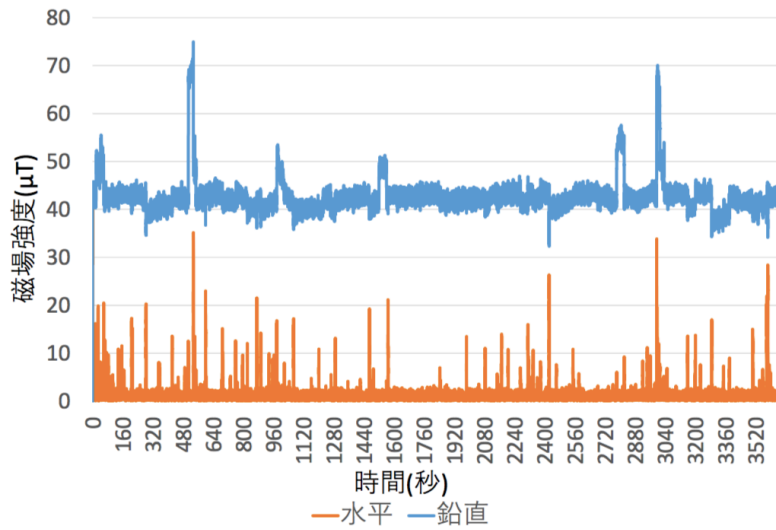


図 6.2 線路横 3m での歩行観測結果のフィルター適用後

ため各軸の変化量の和に対して同様の方式で閾値を計算し推定を行った．結果を図 6.6 に示す．適合率 0.2913，再現率 0.3719，f 値 0.3267 であり，2 軸の検知全てを採用した時よりも低くなったが，誤検知している箇所が削減できていることがわかった．

表 6.1 閾値での推定結果

データ	適合率	再現率	f 値
定点観測	0.5212	0.9882	0.6825
歩行データ	0.5712	0.1947	0.2904
水平方向	0.2275	0.4702	0.3067
鉛直方向	0.4494	0.2720	0.3389
水平方向 or 鉛直方向	0.2260	0.4707	0.3054
変化量の和	0.2913	0.3719	0.3267

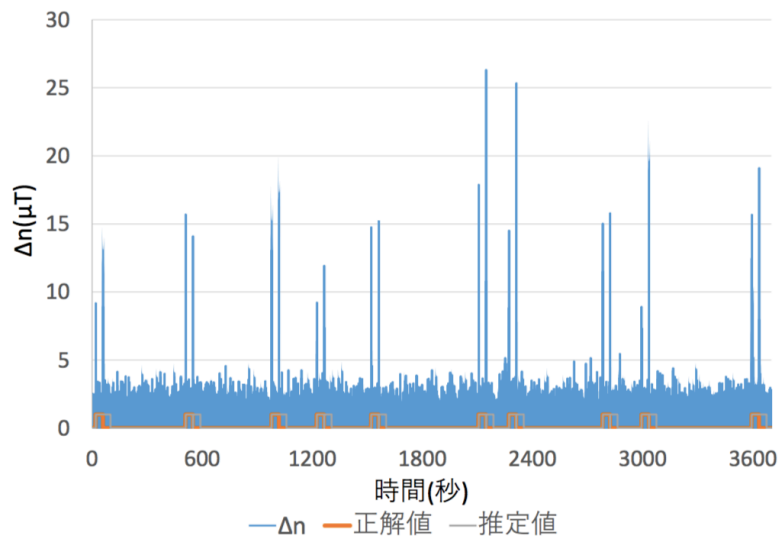


図 6.3 線路横 3m での定点観測による発車推定

6.3 SVM での二値分類結果

SVM を用いて幅 l を変動させた時の結果を図 6.7 に示す.

適合率は常に高く、幅 l が 9 の時 0.9908 であったが、再現率は 0.5371 であった. この結果より発車状態であるが、発車状態ではないと推定された場合が多く、地磁気が大きく変化した場合については正しく検知できていることがわかる.

また SVM を用いた測位結果の適合率, 再現率, f 値を表 6.2 に示す.

表 6.2 SVM での推定結果

データ	適合率	再現率	f 値
3 軸の地磁気	0.9497	0.8918	0.9199
3 軸の地磁気と 3 軸の加速度	0.9573	0.9469	0.9521
補正後の 3 軸の地磁気	0.9867	0.5399	0.6979

3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時の精度が非常に高く、適合率 0.9572, 再現率 0.9469, f 値 0.9521 であった. 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時の混同行列を表 6.3 に示す. さらに、もっとも結果が良かった 3 軸の地磁気 + 加速度の時

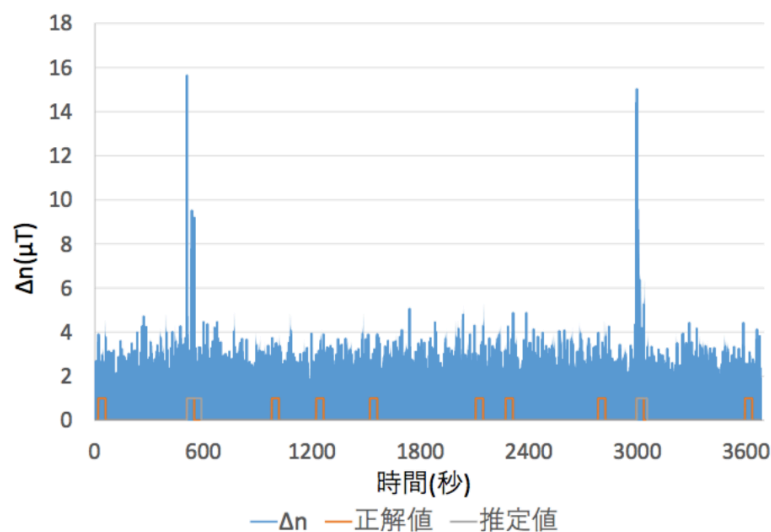


図 6.4 線路横 3m での歩行観測による発車推定

系列で 10 分割の交差検定を行った結果を表??に示す．正解率は 0.9935 であり良い性能であると言える．また，時系列での推定結果を図 6.8 に示す．

表 6.3 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時の混同行列

	発車状態と認識	発車状態でないと認識
実際に発車状態	3798	198
実際に発車状態でない	172	32381

表 6.4 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時交差検定の混同行列

	発車状態と認識	発車状態でないと認識
実際に発車状態	3804	192
実際に発車状態でない	169	32384

ほとんどの部分で正しく分類に成功しているが，発車区間の前後のズレや，誤検知により精度が下がっていることが考えられる．また，最後の発車区間部分のみの

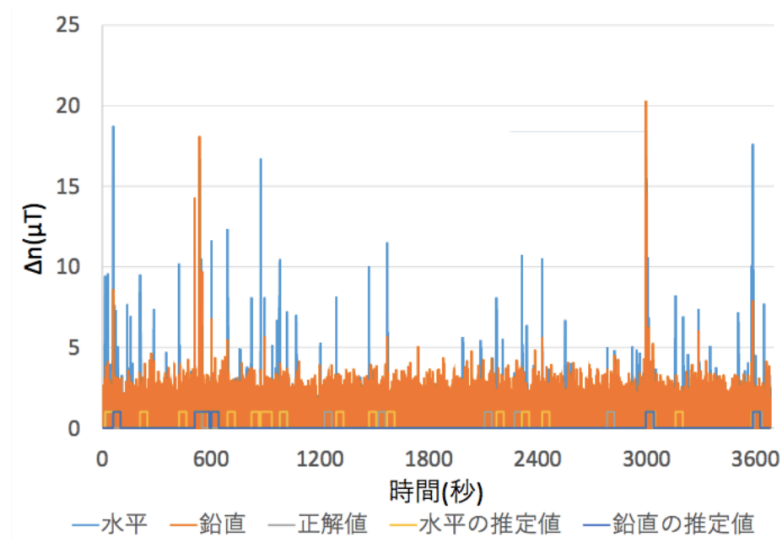


図 6.5 線路横 3m での歩行観測の 2 軸による発車推定

拡大を図 6.9 に示す．推定値が頻繁に発車状態と発車していない状態を往復しており，正しく推定されていないことがわかる．閾値では発車開始タイミングを検知した時から 40 秒間を発車状態としていたのに対し，全てのステップを 2 値分類しているためである．この状態では手法を頻繁に切り替えが発生してしまうため，時系列データとしてうまく扱う手法を考察する必要があると考えられる．

6.4 考察

実験結果から，閾値を用いた手法ではスカラー値では閾値決定の際に，各軸のうち変化の大きい軸のみが目立ってしまい，うまくいかない場合があることがわかった．そのため 2 軸で評価を行う方が優れているが，誤った検知が多く，また発車時の変化が収まるタイミングも検知してしまっている．そのため 2 軸それぞれの変化量の和を利用することで精度向上を試みたが，誤検知は削減できたものの精度そのものは向上できなかった．

SVM を用いた手法では，角度補正を用いた時より，角度補正前の 3 軸の地磁気の値を用いた方が精度が高くなった．これは角度補正時，また水平方向にマージす

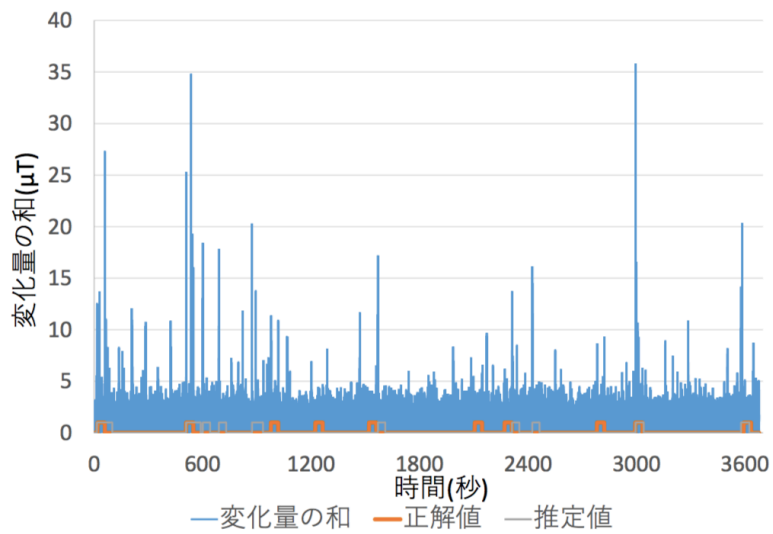


図 6.6 線路横 3m での歩行観測の 2 軸の変化量の和による発車推定

る時に情報が失われてしまっていることが考えられる。また、3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時が精度がもっとも高く f 値が 0.9599 であった。3 軸の地磁気と 3 軸の加速度の時系列データで推定値を確認すると、概ね正しく推定できているが、発車状態と発車でない状態を頻繁に往復してしまう場合があり、対処が必要であることがわかった。

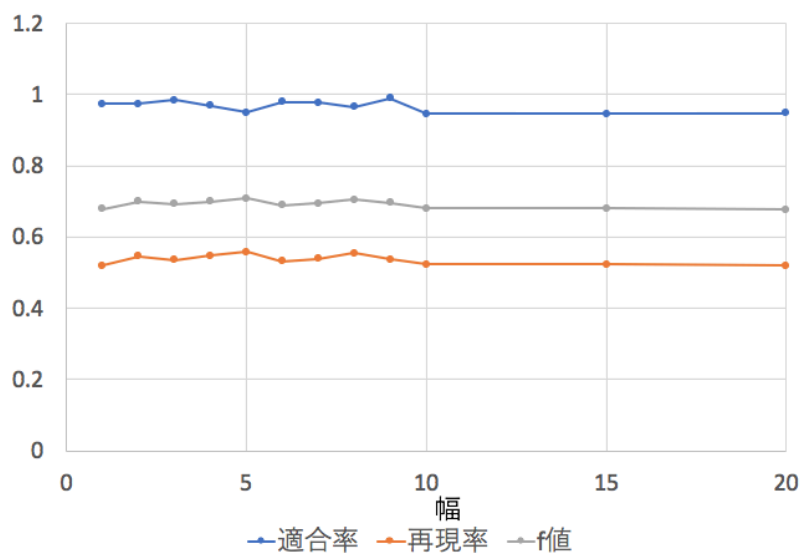


図 6.7 SVM を用いて幅 l を変動させた時の結果

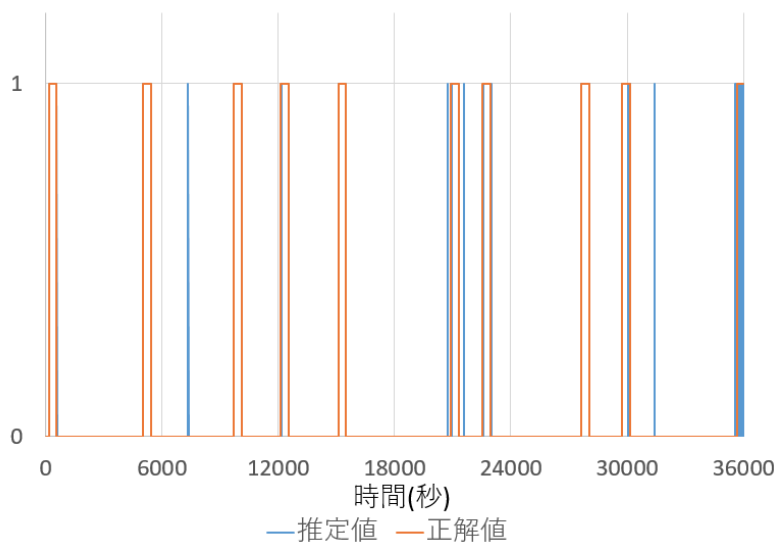


図 6.8 SVM で 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時系列データ

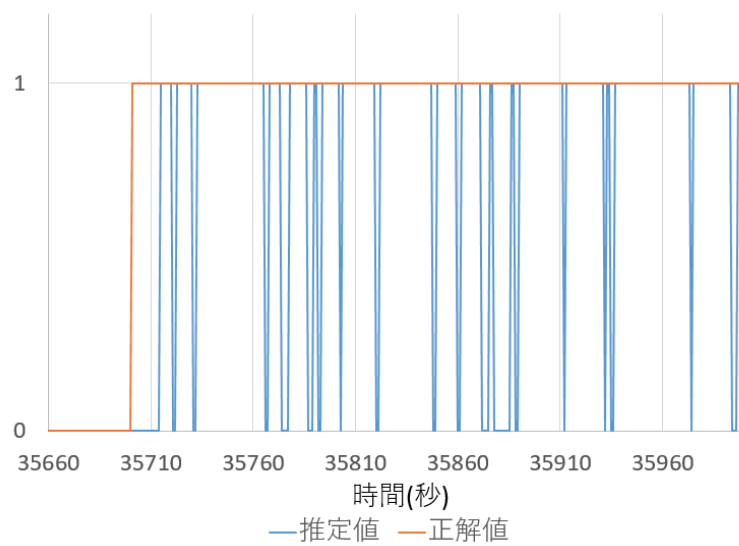


図 6.9 SVM で 3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時系列データの拡大

第 7 章 結論

本研究では地磁気フィンガープリンティングにおいて、地磁気が短期的に変化する可能性を考慮し、地磁気が短期的に変化しそうな地点で地磁気の定点観測を行った。結果として、電車が発車するタイミングで地磁気が大きくその影響を受け変化することがわかった。そのため電車が発車するタイミングでの変化の傾向を調査し、地磁気の変化パターンから発車タイミングを推定した。具体的には、地磁気の変化量から最大値と最小値を核発射区間の数抜き出しそれらの平均を閾値とし、閾値を超えた地点を発車開始タイミングとした。結果定点での発車タイミング検知は完全に検知に成功していたが、発車時の変化が収まるタイミングでも変化が大きく、誤検知の要因となってしまった。それに対し移動しながらの結果では変化が大きすぎる点に閾値が引きずられ、ほとんどの発車タイミングを検知できなかった。そのため軸ごとに検知を行ったり、各軸の和を用いて検知を行うことで精度を向上することができた。また SVM を用いてデータを複数種類用意し推定を行った。3 軸の地磁気と 3 軸の加速度を用いた時にもっとも精度が高く、f 値は 0.9599 であった。しかし SVM を用いた推定では発車状態と発車でない状態が短期間になんども入れ替わるように推定されてしまうことがあったため、時系列を考慮した判定を今後の課題とする。

謝辞

主指導教員であり，適切な研究指導をしていただくなど様々な側面から研究のサポートをしてくださいました本学情報基盤システム学研究室の藤川和利教授に心から感謝致します．副指導教員であり，研究の方向性に関して的確な助言をいただきました本学ユビキタスコンピューティングシステム研究室の安本教授に心から感謝いたします．副指導教員であり，研究指導，論文執筆に多大なる助言をいただきました本学情報基盤システム学研究室の新井イスマイル准教授に心から感謝いたします．研究方針や論文執筆に関して数々のご助言をくださいました本学情報基盤システム学研究室の垣内正年助教に心から感謝致します．研究活動や論文執筆に関してご指導をいただきました本学情報基盤システム学研究室の油谷暁助教に心から感謝致します．

参考文献

- [1] Kawauchim, K., Rekimoto, J.: FineMesh High-Density Sampling Platform Using an Autonomous Robot, CPSCCom 2012, pp.477–486, (2012)
- [2] Wu, C., Xu, J., Yang, Z., Lane, N, D., Yin, Z.: Gain Without Pain: Accurate WiFi-based Localization using Fingerprint Spatial Gradient, Proceedings of ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, vol. 1, issue 2, Article no. 29, (2017)
- [3] Hongwei, X., Tao, G., Xianping, T., Haibo, Y., Jian, L.: MaLoc: a practical magnetic fingerprinting approach to indoor localization using smartphones, Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp.243–253, (2014)
- [4] Jaewoo, C., Matt, D., Chris, S., Ig-Jae, K., Pedram, R., Micaela, W.: Indoor location sensing using geo-magnetism, MobiSys '11 Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, pp.141–154, (2011)
- [5] Suksakulchai, S., Thongchai, D., Wilkes, M., Kawamura, K.: Mobile Robot Localization using an Electronic Compass for Corridor Environment, Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference, vol5, pp.3354–3359, (2000)
- [6] Li, B., Gallagher, T., Dempster, G., Rizos, C.: How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?, 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp.1–9, (2012)
- [7] Vandermeulen, D., Vercauteren, C., Weyn, M.: Indoor localization Using a Magnetic Flux Density Map of a Building, Proceedings of AMBIENT 2013, pp.44–49, (2013)
- [8] Ban, R., Kaji, K., Hiroi, K., Kawaguchi, N.: Indoor positioning method integrating pedestrian Dead Reckoning with magnetic field and WiFi fingerprints, 2015 Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, pp.167–172, (2015)
- [9] Tabata, K., Konno, H., Tsuno, K., Morioka, W., Nishino, A., Nakajima,

- M., kohtake, N.: The Design of Selective Hybrid Positioning by tilizing Accuracy Information for Indoor-Outdoor Seamless Positioning and Verification in Tokyo Station, 2015 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, (2015)
- [10] Shigeshima, K., Fujiwara, T., Ogoma, Y., Ohkura, M., Nakaya, H.: Symmetry of step length and temporal variability in gait of people without impairment, 日本保健科学学会誌 12(1), pp25–30, (2009)
- [11] Android Deveropers, https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion#sensors-motion-accel (2019 年 1 月 26 日参照)

発表リスト

- [1] 寺井元基, 新井イスマイル, 藤川和利, : 動的なフィンガープリンティングマップ構成に向けた地磁気の変化の定点観測, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, vol.2018, pp.1035–1039, (2018)
- [2] Terai, G., Arai, I., Fujikawa, K.: Fixed point observation of geomagnetism for dynamic fingerprinting map construction, 9th EAI MobiCASE Student Workshop 2018, (2018)