

# 通路に設置した回転する磁石による歩行者の通過検出手法

武島 知勲<sup>1</sup> 梶 克彦<sup>2</sup> 廣井 慧<sup>3</sup> 河口 信夫<sup>3</sup> 神山 剛<sup>4</sup> 太田 賢<sup>4</sup> 稲村 浩<sup>4</sup>

概要：屋内での位置推定に有用な情報の1つに特定地点の通過イベントが挙げられる。本稿での通過イベントとはある地点において歩行者がある方向から来て地点を任意の方向へ通過する行動で、移動経路識別、位置推定誤差の修正等に利用可能である。本研究では屋内の歩行者を想定し、特別な動作を必要とせず通過と移動方向を判別可能な通過検出手法を提案する。提案手法では、端末をポケットや鞆に入れたままでも通過を検出できるようにするために、布や革等に遮られにくい磁場を用いる。しかし、自然界に存在し得る磁場を利用すると過検出の原因となるため、磁石により自然界に存在しない特徴的な磁場を発生させる。そして端末の磁気センサがその特徴的な磁場を検知したとき、歩行者が通過したと検出する。本研究では、特徴的な磁場を生成するためにモータで磁石を回転させて周期的に変動する磁場を生成する。また通過方向を検出できるようにするために2つの磁石を異なる周波数で回転させる。周期的に変動する磁場を磁気センサで計測し、磁場マーカであるかを判別しやすくするために主成分分析とバンドパスフィルタを行う。そして周波数解析を行い、特定の周波数成分の極大値から通過と通過方向を検出する。通過検出と通過方向検出が可能であるかを評価する実験を行い、磁石と端末の距離が75cm以下であれば100%の精度で通過を検出でき、94%の精度で通過方向を検出可能であった。

## A Pedestrian Passage Detection Method by Using Spinning Magnets on Corridors

CHIIHIRO TAKESHIMA<sup>1</sup> KATSUHIKO KAJI<sup>2</sup> KEI HIROI<sup>3</sup> NOBUO KAWAGUCHI<sup>3</sup>  
TAKESHI KAMIYAMA<sup>4</sup> KEN OHTA<sup>4</sup> HIROSHI INAMURA<sup>4</sup>

### 1. はじめに

様々なセンサを搭載したスマートフォンの普及に伴い、Moves や Foursquare, Ingress のような位置情報を用いるサービスが増加している。このような位置情報を用いるサービスにとって位置情報の取得方法は重要である。屋外ではGPSが利用できるため高精度でユーザの位置を取得できるが、屋内ではGPSの利用は困難である。そのため屋内でも利用可能な位置推定手法が必要である。

屋内での歩行者の位置推定手法には歩行者デッドレコニングのような相対位置を推定する手法 [1] や Wi-Fi 基地局

や iBeacon を用いた位置推定のように絶対位置を推定する手法 [2] 等がある。これらの手法にはそれぞれ利点と欠点があり組み合わせて用いられる場合が多い。

本研究では、上記の位置推定手法の誤差を修正できる情報として、ある特定地点の通過イベントに注目した。本稿での通過イベントとはある地点において、歩行者がある方向から来て地点を通過しある方向へ移動する行動とする。歩行者が通過した地点と通過方向を複数の位置で取得できれば、歩行者がどのように移動したかを推定できる。また通過時には上記で挙げた位置推定手法の誤差を修正できる。このように通過イベントは移動経路識別、位置推定誤差の修正等に利用可能である。

歩行者の通過検出にはカメラやレーザセンサ、接触型タグリッドを用いた手法がある [3][4][5]。しかし、カメラやレーザセンサを用いた手法では自身の通過イベントの取得が困難であり、接触型タグリッドを用いた手法では通過イベントの取得に特別な動作が必要であり煩雑であった。

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Nagoya University

<sup>2</sup> 愛知工業大学情報科学部  
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

<sup>3</sup> 名古屋大学未来社会創造機構  
Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

<sup>4</sup> NTT ドコモ 先進技術研究所  
Research Laboratories, NTT DOCOMO, Inc

そこで我々は端末がポケットに入っているにもかかわらず通過を検出できるように磁場を使った通過検出を考えた。屋内の磁場は鉄骨などに含まれる残留磁気などの影響によって様ではない。これを利用した位置推定手法も存在する [6]。既存の磁場には差異が存在するが、その差異が小さい場所等も存在する。我々はどのような環境においても通過を検出できるようにするために磁石を設置して意図的な磁場の生成を考えた。

本研究では屋内の歩行者を想定し、特別な動作を必要とせず移動方向も判別可能な通過検出手法を実現するため、磁場マーカを用いた通過検出手法を提案する。磁石を用いて環境内に磁場マーカを作成し、端末で磁場マーカを検出してマーカのパターンから通過位置と通過方向を検出する。磁場マーカとは自然界には存在しない人工的に作られた磁場と定義する。

本稿では、2章で通過検出に関する研究について紹介し、3章で磁場マーカの生成手法について述べ、4章で端末で読み取った磁場マーカから情報を取得し通過を検出するアルゴリズムについて述べる。5章で理想環境において通過検出が可能であるかの検証について述べ、6章で提案手法の通過検出率と通過方向検出率の評価結果について、7章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 カメラを用いた通過検出

カメラを用いた通過検出はカメラで撮影した画像を用いて、通過する歩行者を検出、同定し、追跡する手法である。この手法ではまず入力画像の画素ごとに物体が存在するかどうかを判定し、物体が存在すると判定された画素の画面上での形状から検出対象であるかを判定する。物体が検出対象であると判定された場合は物体を時系列上で追跡して物体がどのように動いたかを取得している。太田らの手法 [4] では2台のカメラを使って通過検出を行っている。2台のカメラを使用する手法では、歩行者の同定の際に近接した歩行者の分離が難しい欠点があったが、太田らは歩行者同定にウィナフィルタに似た処理を行い近接した歩行者に対して分離を可能にした。

カメラは環境に存在する監視カメラを用いて行うため設置コストは低いが、設置位置や角度によっては問題が生じる。例えば複数人の集団が通過する場合、カメラの設置位置や角度によっては人が重なって映ってしまい、安定した検出や追跡が困難になる場合がある。またカメラの画像を用いるため照明がない暗い場所では検出対象の判定が困難になり、歩行者の通過を検出できない場合がある。またこの手法では通過した人物の特定は困難であるため、歩行者が自身の通過イベントを利用しようとしても誰が通過したかの情報がないため自身の通過イベントを利用できない。

### 2.2 レーザセンサを用いた通過検出

レーザを用いた通過検出は環境に設置したレーザセンサを用いて、その計測断面を通過した人数および通過方向を計測する。帷子らの手法 [5] ではレーザスキャナを用いて距離を計測し、計測中の面において距離が変わった位置に歩行者がいると判断する。距離がセンサから床までの距離と同じ値に戻ったら通過したと判定する。通過方向を検出するためにはレーザセンサの角度を変える必要がある。

カメラを用いた通過検出とは異なり、環境の明るさに依存せず、またセンサを高所に設置すれば人の重なりによる検出誤りを減らせる。しかし、誰が通過したかの検出は行えないため個人の移動経路識別や位置推定誤差の修正には利用できない。

### 2.3 接触型タグリーダを用いた通過検出

接触型タグリーダを用いた通過検出では、屋内に設置されたタグリーダに歩行者がスマートフォンのような端末をかざすことでその地点の通過を検出する。この手法では歩行者がタグリーダに端末をかざすため高精度で通過を検出でき、歩行者が自身の通過イベントを利用可能である。しかし、通過を検出するために歩行者は端末を取り出しタグリーダにかざす動作が必要であるため煩雑である。また通過方向を取得するためには移動経路からの推定になるため誤る可能性がある。

### 2.4 無線 LAN 環境特異点に基づくゲート通過検出

梶らの手法 [8] では、ドアやエレベータなどのゲートによって無線 LAN の電波が減衰または遮断される現象を利用している。ゲートの前後において電波環境が大きく異なるため、このような地点を無線 LAN 環境特異点と定義し、この手法ではこの特異点を検出した場合にゲートを通過したと検出している。この手法は既存のインフラを利用しているためコストが低いという利点があるが欠点もある。この手法では無線 LAN 基地局の設置分布やドアの材質等の環境的要因によって通過検出率が変化してしまう。こうした環境的要因に左右されるため、実際に通過を検出しようとしても場所によっては低い検出率になる場所が存在してしまう問題点がある。

## 3. 磁場マーカの生成手法

我々の手法では、端末をポケットから取り出してかざすような特別な動作をしなくても通過を検出できるようにするために磁場を利用する。自然に存在する磁場を利用すると場所によっては通過や通過方向を検出できない可能性があるため、意図的に磁場を生成する必要がある。しかし磁場マーカを生成し、それを目印に通過検出を行うためには自然に存在しない磁場にしなければ過検出の原因となる。この章ではまず自然に存在する磁場について述べ、その後

に磁場マーカの生成について述べていく。

### 3.1 自然に存在する磁場

屋内において自然に存在する磁場とは、主に地磁気と残留磁気により生じる磁場である。残留磁気とは鉄骨等の金属が帯びている磁気である [7]。本稿では残留磁気により生じる磁場を残留磁場と定義する。

図 1 に建物内で歩行した時に観測される磁場の変化の例を挙げる。図 1 は端末の姿勢を固定して収集した磁気である。図 1 に示すように端末の姿勢を固定して測定しているのに端末の移動によって磁場が変化する。これは、建物の構造等に用いられる鉄骨が場所ごとに異なり残留磁場が場所ごとに異なるためである。

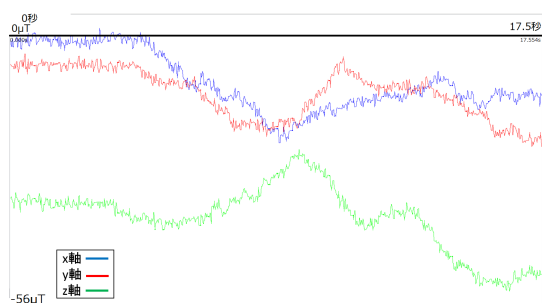


図 1 端末姿勢を固定して歩行した時の磁気の時系列変化

新納は屋内内部で発生しうる磁場について調べている [7]。新納は環境磁場を直流磁場、交流磁場、変動磁場の 3 つに分類した。直流磁場は磁石と直流電流によって発生する時間的に変動しない磁場である。交流磁場は交流電流によって発生する強さと方向が周期的に変化する磁場で、交流磁場の周波数は主に商用周波数である 50/60Hz と等しくなる。変動磁場はその他の原因で生じる 1Hz 以下の周波数の変動を示す磁場である。

新納は様々な環境磁場について計測している。地磁気により生じる磁場は直流磁場で磁場の強さは屋外では  $46\mu\text{T}$  であるが屋内では鉄骨や鉄筋などの影響を受けて 10~30% 減少している。残留磁場は直流磁場であり磁場の強さは床から 1m 離れた位置では最大で  $130\mu\text{T}$  と述べられている。またエレベータや屋内電気機器の発生する磁場は交流磁場であり、磁場の強さは約  $1\mu\text{T}$  以下と述べられている。

これらから自然に存在し得る磁場について考える。屋内では移動によって生じる磁場の変化の原因は残留磁気为主である。地磁気は鉄骨や鉄筋などの影響を受けて一様ではなくなっているが、その影響は残留磁気として考え無視すると、磁場の変化の原因となるのは残留磁気である。残留磁場の強さ分の変化はし得ると考えると、移動により生じる磁場の変化の大きさとして  $130\mu\text{T}$  まではあり得る。磁場の変化の周波数を考えると主に交流磁場と変動磁場の影響を受けるので磁場の変化の周波数は 1Hz 以下と 50/60Hz となる。

### 3.2 自然に存在しない磁場の生成手法

3.1 節により自然に存在する磁場と区別ができる磁場マーカを生成するためには、 $130\mu\text{T}$  以上の変化を起こすか 1Hz より大きく 50Hz 未満の周波数の変化を起こす必要がある。我々は自然に存在する磁場と区別ができる磁場マーカを生成するために以下の 2 つ手法を考えた。

A 複数の強力な磁石を静的に設置してノイズと区別できる大きさの変化を複数回起こす方法

B 磁石をモータで回転させ磁場を 3~25Hz 程度の周波数で周期的に変化させる方法

A は磁石を設置するだけなので維持コストはかからない。しかし  $130\mu\text{T}$  以上の磁場を床から 1m の地点に発生させるには、とても強力な磁石が必要である。例えば直径 10cm 長さ 10cm のネオジム磁石を設置する必要がある。このような磁石は高価であるため設置コストが高くなる。また誤って磁石に電子機器を近づけると故障の原因となる [7] ため A の手法は取らなかった。

#### 3.2.1 磁石の動的な設置による磁場マーカの生成

B の動的な磁石による磁場マーカの生成ではモータで磁石を回転させて特徴的な磁場を生成する。磁石の回転により磁場は周期的な変化をする。例えば磁石を周波数  $a[\text{Hz}]$  で回転させた場合、磁場を FFT(高速フーリエ変換) で周波数分析すると  $a[\text{Hz}]$  を多く含んでいる。このように磁石の回転周期と磁場の変動周期は等しくなる。

特定の周波数成分を含ませるのは磁石の回転により可能であるが、1 つの周波数成分の増減では通過方向の取得は難しい。そのため、本研究では 2 つの磁石を異なる周波数で回転させて、図 3 のように 2 つのエリアを生成する。ここでは 2 つの磁石を周波数 ( $a[\text{Hz}]$  と  $b[\text{Hz}]$ ) で回転させ、2 つのエリア (A と B) を生成する。A は磁場の周波数  $a[\text{Hz}]$  の成分が高くなるエリア、B は  $b[\text{Hz}]$  の成分が高くなるエリアと定義する。このエリアの検出順番により歩行者がどちらから来てどちらに移動したかを検出する。磁場マーカは  $a$  と  $b$  の値を識別子として、その組み合わせとする。通過方向を取得するため  $ab$  と  $ba$  は同じ通過位置を示す。

## 4. 通過検出

提案手法の通過検出のアルゴリズムの全体図を図 4 に示す。通過検出は以下の 3 つの手順で行う。

- (1) ノイズと通過検出率の端末姿勢依存の除去
- (2) 通過の検出
- (3) 通過位置と通過方向の検出

本章では 3 つの手順について詳しく説明していく。

#### 4.1 ノイズと通過検出率の端末姿勢依存の除去

磁石の磁場を計測する端末の磁気センサは図 3 のように x 軸、y 軸、z 軸の 3 つの値を計測しているが、通過検出には磁石の磁場の影響を最も受ける軸を使いたい。しかし、磁

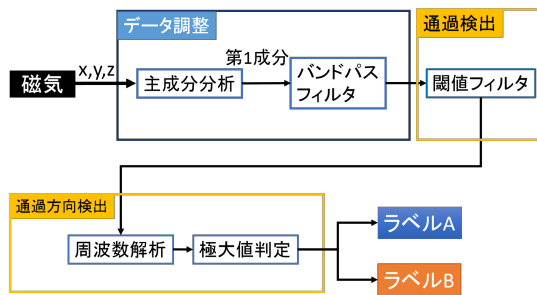


図 2 通過検出の全体図

石の磁場の影響を受ける軸は端末と磁石の位置関係や端末の姿勢によって変わる。そこで我々は3軸の中で最も影響を受けている軸を使うために、3軸に対して主成分分析を用いて軸変換を行い、軸変換によって得られた第1成分を用いる。

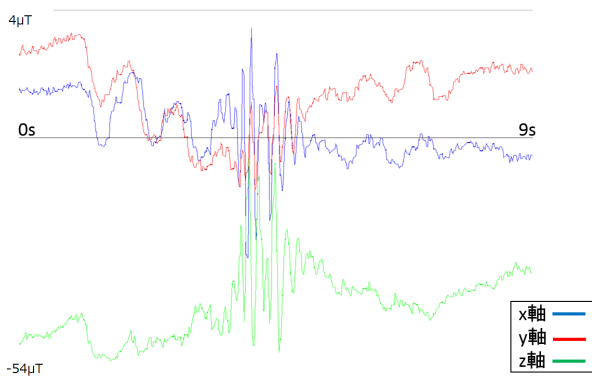


図 3 磁石の前を通過したときの磁気センサの値

軸変換によって得られた第1成分だが、磁石の磁場以外の影響も受けている。例えば、磁気センサのノイズや歩行によって生じる端末の揺れ、移動による磁場の変化等である。これらの磁石の磁場以外の影響は3章で述べた通り1Hz以下や50Hz以上の周波数であることが多い。また提案手法では磁石の回転周波数は2~25Hzを想定しているためそれ以外の周波数成分は必要ない。そのため、2~25Hz以外の周波数をカットする。提案手法ではFFTを用いたバンドパスフィルタによって2から25Hz以外の周波数成分を0にする。これによって磁石の磁場以外の影響を小さくできる。また磁気センサのサンプリング周波数は50Hzであるが、100Hzにアップサンプリングをしてからバンドパスフィルタを行って波形を滑らかする。図4は主成分分析によって得られた第1成分に対してバンドパスフィルタを掛けた後のグラフである。

#### 4.2 通過の検出

この節で説明する通過の検出は磁気センサの値から磁場マーカを検出するアルゴリズムであり、通過方向と通過位

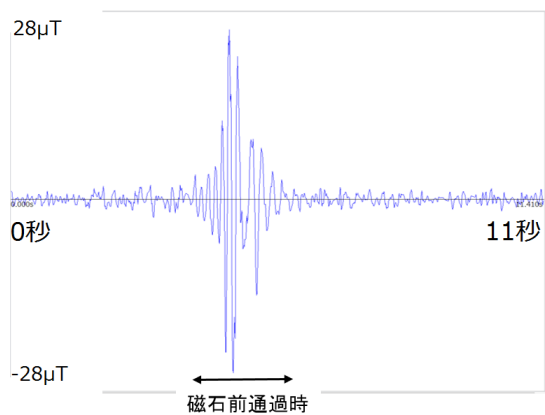


図 4 バンドパスフィルタ後の第1成分のグラフ

置はこのアルゴリズムでは検出しない。通過位置や通過方向はこのアルゴリズムで磁場マーカを検出してから取得する。先に磁場マーカを検出するのは、通過方向の検出アルゴリズムの過検出を防ぐためである。

通過検出アルゴリズムの手順について説明する。まず、4.1節の処理により得られた第1成分に対してFFTで周波数解析を行う。FFTに使う窓関数はハミング窓を使用しており、窓幅は64サンプルで窓のスライド幅は4サンプルである。この時のサンプリング周波数は100Hzである。

通過検出アルゴリズムでは窓関数のために切り出した64サンプルのデータの平均を取り、その平均値が閾値を超えなければ64サンプルのデータをすべて0にして窓関数に渡しFFTを行う。これは磁場マーカを通過する場合はこのサンプルの平均値は図64のように高くなるのを利用している。閾値は通過中と通過中でないときの値を比較して決定した。サンプルの平均値が高くない場合を0にして図4のように磁場マーカを通過していれば0以外の値を持つようにして通過時と通過していないときをはっきりさせた。この処理により磁場マーカを通過しているときだけ0以外の値を持ったデータに対して周波数解析が行われ、磁場マーカを通過しているときだけ各周波数成分のスペクトルが0以外の値を持ち、この時を通過中と検出する。

#### 4.3 通過方向の検出

通過中の区間では磁石の回転周波数(a[Hz]とb[Hz])と同じ周波数成分のスペクトルが高くなるが、まずこのaとbの周波数がどれなのかを判別する必要がある。図5は磁石AとBの回転周波数を4.5と6HzにしてBAの順番に検出できるように通過したときの磁場のスペクトルの時間変化のグラフである。各周波数成分のスペクトルを比較し、最も大きいスペクトルを持つ周波数を第1周波数、2番目に大きいスペクトルを持つ周波数を第2周波数とする。

通過方向検出はこの第1周波数と第2周波数のスペクトルが極大値を取り、減少を始めるタイミングを用いる。2つの周波数のスペクトルの極大値からの減少タイミングを



比較し、早いほうを第1識別子、遅いほうを第2識別子と定義し、この識別子の値や順番から通過位置と通過方向を検出する。

通過方向を検出するための手法として閾値を用いる方法もある。第1周波数と第2周波数のスペクトルが設定された閾値を超えるタイミングを検出して、タイミングの早い周波数を第1識別子、遅い周波数を第2識別子とする手法である。しかし、端末と磁石の距離が大きくなるほどスペクトルの最大値は小さくなる。そのため、スペクトルが閾値を超えられなくなり誤検出の原因となる。検出アルゴリズムを端末と磁石の距離にロバストにするために提案手法では極大値を用いる手法を使う。

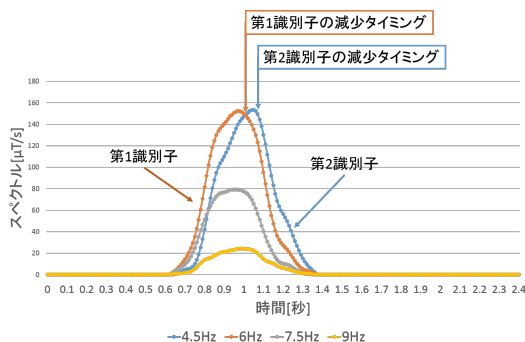


図5 各周波数毎のスペクトルの時間変化

## 5. シミュレータによる磁石形状と磁石間距離の検証

磁石同士の距離が近すぎるとAとBの検出タイミングの差が小さくなり、通過方向の検出が難しくなってしまう。しかし、実際に磁石同士の距離を変えて磁石周辺の磁場を計測するのはコストが掛かり過ぎてしまう。そのため、まず理想環境において通過方向を検出できる磁石間距離を調べるために磁場解析ソルバ Qm[9] を用いて磁石の形状や磁石間距離を変えてシミュレーションを行った。

まず磁石の形状を決める前に磁場の強度について考える。本手法は屋内での使用を考えているため強力な磁石を屋内に設置する必要がある。また歩行者の通過検出を行うため磁石の近くを歩行者が通過する。そのため、歩行者が持っている磁気カードへの影響を考えなければならない。磁気カードが許容できる磁場の強さは直流磁場ならば40~65mTで交流磁場なら16~30mTである[7]。本手法では磁石は回転し磁場は時間で変化するので交流磁場と考えられる。そのため、交流磁場の16~30mTを目安に考える。磁気カードの許容できる磁場は30mTが最大となっているが、実用性にとって最小値の16mTを基準に考えていく。

次に歩行者が磁石にどれほど接近し得るかを考える。静止している障害物に対する回避行動に関する研究が存在する[10]。松永の行った実験では、歩行者が静止している障害物に対して行う回避行動は携帯電話の使用に関わらず歩

行者の空間に基づいていると明らかにした。歩行者は自身の体を中心として接触領域、非接触領域、快適領域、通り抜け領域という領域を持つ。歩行者は障害物を避けて通過する場合、障害物が非接触領域に入らないように回避して通過する。体の側面だけを考えると人の体から非接触領域までの距離は45cmである。これにより歩行者が磁石に対して45cm以内には接近する可能性は低いと考えられる。しかし、複数の人が通過する場合もこの通りとは限らないため磁石から15cm以内に近づけないようにし安全性を確保する。

磁石の磁場が15cm離れた位置において磁場カードに影響を与えないように磁石の形状を決定する。安全性を考えて磁石から10cmの位置で磁場の強さが16mTになるようにする。円柱磁石が作る中心軸上の磁界分布は図6のように計算できる。この式のBrは標準的なネオジム磁石の残留磁束密度12000Gを利用する。磁石から10cmの位置で磁場の強さが16mT程度になる形状は直径Dが2cmで厚さLmが10cmの円柱磁石である。

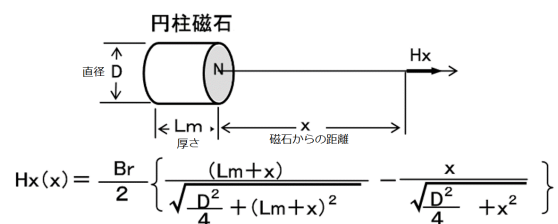


図6 円柱磁石が作る中心軸上の磁界分布

磁石の形状が決まったので次に磁石の配置や回転方向を考える。磁石の回転方向は回転機構であるモータに負荷を掛けないようにヘリコプタの回転翼のように磁石が床・地面に対して水平になるようにして回転させる。磁石の配置については磁石間の距離のみを考える。磁石間距離を変えながら生成されるエリアを確認する。

シミュレータによって理想環境において生成されるエリアの検証を行う。図7のように磁石を配置して磁場を観測するのは黄色い四角形の面で行い、実際に歩行者が通過する場所の磁場を確認する。本稿ではこのシミュレータ上で磁場の計測を行うエリアをセンサ面と定義する。センサ面は縦幅2m、横幅2mの面であるがこの面上すべての磁場を計測できるわけではなくある程度の間隔を置いた位置毎の磁場しか計測できない。今回センサ面上で磁場の値を取得するのは幅方向に10cm間隔で高さ方向で10cm間隔の位置にするため、今回のセンサ面では491箇所の磁場の値を得られる。磁石の回転速度は10Hzと20Hzである。

上記の条件下でシミュレートを行う。シミュレータで得られる結果は磁石が回転している状況での0.64秒間のセンサ面上における磁気センサの値である。センサ面上の各箇

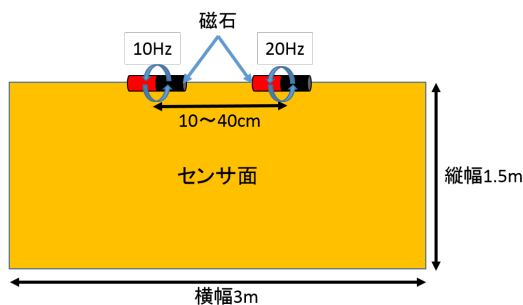


図 7 シミュレートする環境の概要 (俯瞰図)

所における磁場に対して主成分分析を行う。そして、主成分分析で得られた 1 成分に対して周波数解析を行い、10Hz の成分と 20Hz の成分が設定した閾値を超えるかでラベル分けを行う。ラベルは A, B, C, N の 4 つである。今回 4 章で述べたように主成分分析の後にバンドパスフィルタを行わないのは、シミュレータにおいては磁石以外の磁場の影響はないためノイズを削除するための処理であるバンドパスフィルタを行う必要がないためである。ラベル付の条件を以下に示す。

- A: 10Hz の周波数成分が閾値を超えて 20Hz の成分が閾値を超えない
- B: 20Hz の周波数成分が閾値を超えて 10Hz の成分が閾値を超えない
- C: 10Hz の周波数成分が閾値を超え、かつ 20Hz の成分が閾値を超える
- N: 10Hz の周波数成分が閾値を超えず、20Hz の成分が閾値を超えない

この条件を基にセンサ面のエリア分けを行った結果が図 8~11 である。エリアの色分けはラベルに対応していて赤ならば A, 青ならば B, 黄色ならば C, 白色ならば N となっている。磁石は図の上の方にあり、図 7 と同様の環境である。

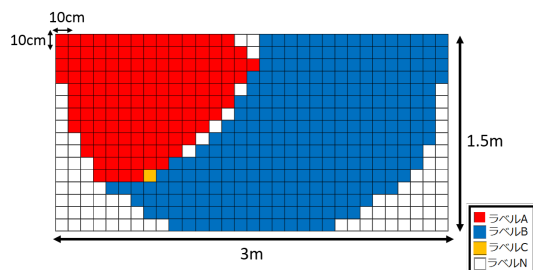


図 8 磁石間距離が 10cm のときのエリア分け結果

図 8~図 11 を見ると左から順に AB のエリアが生成されている。しかし磁石間距離が 10cm と 20cm の時は磁石から離れた位置を通過するとエリア B の場所しか通過できない場合がある。磁石間距離が 30cm 以上であれば、磁石

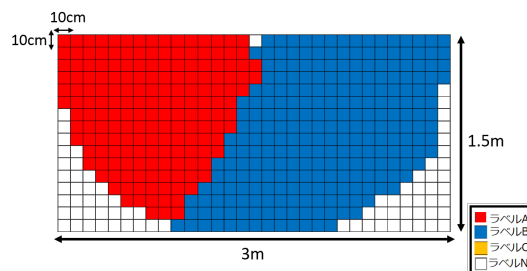


図 9 磁石間距離が 20cm のときのエリア分け結果

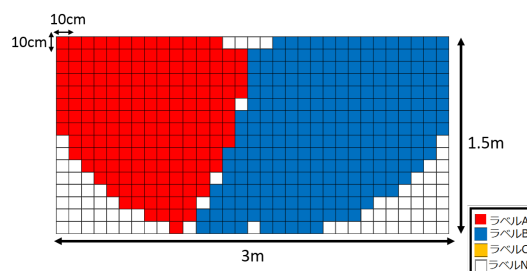


図 10 磁石間距離が 30cm のときのエリア分け結果

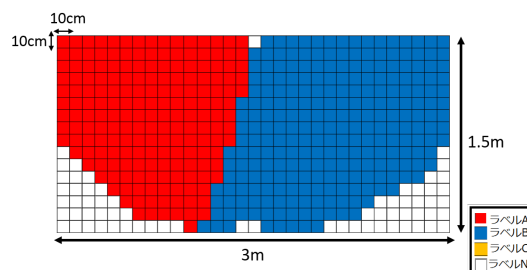


図 11 磁石間距離が 40cm のときのエリア分け結果

との距離が 1.5m 以内であればエリア A とエリア B の場所を通過できる。これにより磁石間距離が 30cm 以上であれば通過検出が可能なエリアが生成できると考えられる。以上により理想環境であれば磁石は半径 2cm, 長さ 10cm で磁石間距離は 30cm 以上で通過方向を検出可能であると分かった。

## 6. 評価実験

理想環境での検証結果を用いて実際の環境における提案手法の通過検出率と通過方向検出率を評価するために実験を行った。この実験では端末の保持位置は歩行者の腰の高さくらいで、端末の初期姿勢は自由だが歩行中はあまり変わらない状況を想定している。

### 6.1 実験概要

実験の概要図を図 12 に示す。実験の環境変数は経路全長, 通過方向, 歩行速度, 端末の保持位置, 2 つ磁石間の

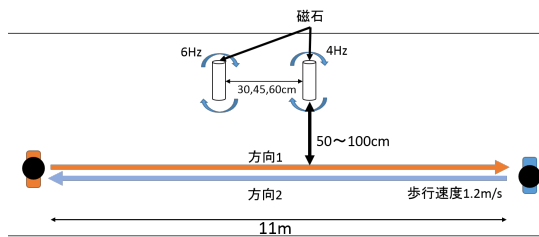


図 12 評価実験の概要図 (俯瞰図)

距離, 2つの磁石の回転周波数の6つである. この6つのうち変化させなかったのは, 経路全長と通過方向, 歩行速度, 2つの磁石の回転周波数の3つである. 歩行者は20代男性1人で, 経路全長は11mにし, 磁石は経路の中心に配置しており, 磁石の床からの高さは90cmで腰の高さにした. 図13が実際の磁石を回転させる装置である. 通過方向は図12のように方向1と方向2の2つである. 歩行速度は秒速1.2mで普通の速さで歩いた. 端末の保持位置は以下の3つである.

- (1) 磁石に近いほうのポケットに入れる
- (2) 磁石から遠いほうのポケットに入れる
- (3) 腰の前に手で持つ

保持位置がポケットの場合を2つにしたのは磁石と端末の間に人がいても通過を検出できるかを調べるためである. 2つの磁石間の距離は5章での検証により得られた結果から理想環境では30cm以上で通過方向の検出が可能であるので30, 45, 60cmの3つの距離で行う. 2つの磁石の回転速度は4Hzと6Hzで行った.

磁石はネオジウム磁石を用いている. 5章での検証により得られた磁石と同じ形状の磁石を用いる. 磁石は残留磁束密度が約12000Gのものを利用し, 直径2cm厚さ1cmの磁石を図14のように10個繋げて厚さ10cmにするようにしている.

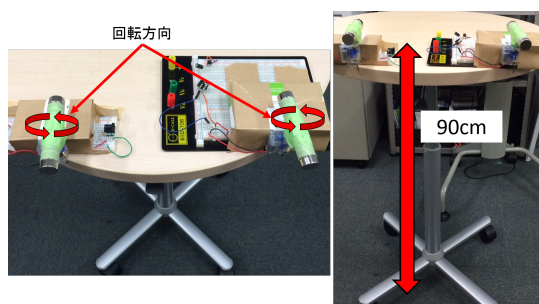


図 13 実験装置



図 14 実験に使用した磁石

## 6.2 実験結果

各磁石間距離 (30cm, 45cm, 60cm) の実験の結果を示す. 実験データは端末-磁石間距離1つにつき18個である.

まず磁石間距離が30cmのときの全体の通過検出率と通過方向検出率の結果を表1に示す. 表2と表3は端末の保持位置毎の通過検出率と通過方向検出率の結果である. 通過検出率は端末-磁石間距離が75cmまでのときは100%であるが, 通過方向の検出率は最大でも67%になっている. 端末の保持位置毎の通過検出率を見ると保持位置3の端末がポケットに入っていない保持位置が最も高い確率で検出していた. しかし, 通過方向検出率は保持位置1のポケットに入れた場合のほうが高かった.

表 1 磁石間距離 30cm のときの全体の検出率

端末-磁石間距離 [cm]	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
50	100	67
75	100	39
100	67	39

表 2 磁石間距離 30cm のときの端末保持位置毎の通過検出率

端末-磁石間距離 [cm]	端末保持位置毎の通過検出率 [%]		
	保持位置 1	保持位置 2	保持位置 3
50	100	100	100
75	100	100	100
100	50	66	83

表 3 磁石間距離 30cm のときの端末保持位置毎の通過方向検出率

端末-磁石間距離 [cm]	端末保持位置毎の通過方向検出率 [%]		
	保持位置 1	保持位置 2	保持位置 3
50	100	50	50
75	50	33	33
100	33	33	50

磁石間距離が45cmのときの全体の通過検出率と通過方向検出率の結果を表4に示す. 表5と表6は端末の保持位置毎の通過検出率と通過方向検出率である. 通過検出率は端末-磁石間距離が75cmまでのときは100%であるが, 通過方向の検出率は最大でも83%になっている. 端末の保持位置毎の通過検出率と通過方向検出率は保持位置3のポケットに入っていない保持位置が最も高い精度であった.

表 4 磁石間距離 45cm のときの全体の検出率

端末-磁石間距離 [cm]	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
50	100	83
75	100	78
100	56	44

表 5 磁石間距離 45cm のときの端末保持位置毎の通過検出率

端末-磁石間距離 [cm]	端末保持位置毎の通過検出率 [%]		
	保持位置 1	保持位置 2	保持位置 3
50	100	100	100
75	83	100	100
100	0	33	100

表 6 磁石間距離 45cm のときの端末保持位置毎の通過方向検出率

端末-磁石間距離 [cm]	端末保持位置毎の通過方向検出率 [%]		
	保持位置 1	保持位置 2	保持位置 3
50	100	100	100
75	100	100	100
100	16	50	100

磁石間距離が 60cm のときの全体の通過検出率と通過方向検出率の結果を表 7 に示す。表 8 と表 9 は端末の保持位置毎の通過検出率と通過方向検出率である。通過検出率は端末-磁石間距離が 75cm までのときは 100% である。通過方向の検出率は最大で 100% で 75cm までならば 94% で検出可能である。端末の保持位置毎の通過検出率と通過方向検出率は保持位置 3 のポケットに入っていない保持位置が最も高い精度であった。

表 7 磁石間距離の 60cm ときの全体の検出率

端末-磁石間距離 [cm]	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
50	100	100
75	100	94
100	56	44

表 8 磁石間距離 60cm のときの端末保持位置毎の通過検出率

端末-磁石間距離 [cm]	端末保持位置毎の通過検出率 [%]		
	保持位置 1	保持位置 2	保持位置 3
50	100	100	100
75	100	100	100
100	16	50	100

表 9 磁石間距離 60cm のときの端末保持位置毎の通過方向検出率

端末-磁石間距離 [cm]	端末保持位置毎の通過方向検出率 [%]		
	保持位置 1	保持位置 2	保持位置 3
50	100	100	100
75	83	100	100
100	0	33	100

### 6.3 考察

磁石間距離が短い場合には通過検出は可能であるが、通過方向の検出率は低い。これは磁石間距離が短いために、各周波数の通過検出タイミングが等しくなってしまったためであると考えられる。

また保持位置で通過検出率と通過方向検出率を見ると、保持位置 3 の腰前で保持する方法が最も高い精度であった。これは保持位置 1 と保持位置 2 は端末をポケットに入れるため端末が歩行に合わせて振動するのと端末姿勢が歩行中に変化してしまうためであると考えられる。

### 7. おわりに

本稿では、屋内の歩行者を想定した磁場マーカを用いた通過検出手法を提案した。本手法では通過検出のために特別な動作を必要とせず、移動方向も判別可能である。評価実験により端末をポケットに入れたままでも通過を検出可能であると確認できた。さらに磁石と端末間の距離が 75cm 以下の場合、通過の検出は 100% の精度で可能であると確認できた。また磁石間距離が 60cm のときは磁石と端末間の距離が 75cm 以下の場合 94% 以上の精度で通過方向も検出できた。

今後の課題としては、通過位置の検出率の評価や誰がやっても通過検出が可能であるのか等より詳細な評価と通過方向の検出可能距離である。実際に屋内の通路での利用を考えると、100% の精度で通過方向まで検出できる磁石-端末間の距離が 50cm は短い。そのため 100cm までは 100% の精度で検出できるように通過検出アルゴリズムの改良や磁石の変更などを行っていく。

作成できる磁場マーカの数はスマートフォンに搭載されている磁気センサの精度と分解能によって変わる。現在使用している端末の磁気センサのサンプリング周波数の最大値は 50Hz であるので、サンプリング定理により 25Hz までが検出できる周波数である。しかし、磁気センサの分解能が 5Hz ならば利用できる周波数は 5Hz おきの [5,10,15,20,25] の 5 つであり、作成できる磁場マーカの数は  ${}_5C_2=10$  個である。磁気センサの分解能が 3Hz ならば利用できる周波数も変わり、作成できる磁場マーカの数も変わる。端末の磁気センサの精度と分解能について調査するのも今後の課題である。

また処理時間や通過検出タイミングの問題もある。現在はスマートフォンで磁場の計測を行い、そのデータをパソコンに取り込みノイズ削減処理や通過検出等を行っている。実際に通過検出を利用する場合には検出タイミングや処理速度等の問題がある。磁気センサのサンプリング周波数が 50Hz であると考えると 0.02 秒毎に計測が行われる。窓幅を 64 サンプルで考えて窓のスライド幅を 4 サンプルで考えると 0.08 秒毎に検出を行う。主成分分析やバンドパスフィルタなどの処理を考えると 0.08 秒毎の検出は難



しいかもしれない。そのため検出の周期を長くする必要はあるが、その分通過検出のタイミングが実際の通過タイミングとずれる可能性がある。そのため今後の課題としては通過検出タイミングの精度と処理時間を考えて窓の幅やスライド幅を決定が挙げられる。

## 参考文献

- [1] 興梠 正克, 大隅 隆史, 蔵田 武志, "歩行者ナビのための自蔵センサモジュールを用いた屋内測位システムとその評価", シンポジウム「モバイル 08」予稿集, pp.151-156, 2008.
- [2] Krumm, John, and Ken Hinckley. "The nearme wireless proximity server." UbiComp 2004: Ubiquitous Computing. Springer Berlin Heidelberg, pp.283-300, 2004.
- [3] Masoud, Osama, and Nikolaos P. Papanikolopoulos. "A novel method for tracking and counting pedestrians in real-time using a single camera." Vehicular Technology, IEEE Transactions on 50.5, pp.1267-1278, 2001.
- [4] 太田直哉, 木山真伸, 吉川健一. "2 台のカメラを用いた歩行者の検出・同定 (画像情報)." 情報処理学会論文誌 Vol.44, No.10, pp.2459-2468, 2003.
- [5] 帷子京市郎, 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, "レーザセンサを用いた歩行者通過人数の自動計測手法." 日本写真測量学会平成 17 年度年次講演会発表論文集, pp.87-90, 2005.
- [6] Ryoji Ban, Katsuhiko Kaji, Kei Hiroi and Nobuo Kawaguchi, "Indoor Positioning Method Integrating Pedestrian Dead Reckoning with Magnetic Field and WiFi Fingerprints", The Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015), pp.167-172, 2015.
- [7] 新納 敏文, "環境磁場の計測と数値シミュレーションに関する研究", 岡山大学学位論文, 2000.
- [8] 梶克彦, 河口信夫, "無線 LAN 環境特異点に基づくゲート通過検出手法", 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.366-377, 2014.
- [9] 株式会社シフトロック, "3次元リアルタイム磁場解析ソルバー Qm Ver.3.0", 入手先 <<http://www.slock.co.jp/Qm3/index.html>>, (参照 2015-05-15).
- [10] 松永文彦, "携帯電話使用が歩行回避行動に及ぼす影響について", 東京大学修士論文. 2005.