

推薦論文

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^{1,a)} 梶 克彦² 廣井 慧³ 河口 信夫³ 神山 剛⁵ 太田 賢⁴ 稲村 浩⁶

受付日 2016年3月30日, 採録日 2016年10月4日

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あげられる。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。自然界に存在しう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、磁石以外の影響を除く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。磁場マーカからどのくらい離れた距離までなら通過と通過方向を判定できるかを検証する実験を行った。その結果、磁場マーカから100 cm離れた位置までは100%の精度で通過を検出でき、90%以上の精度で通過方向を検出できた。

キーワード: 通過検出, 磁石, スマートフォン, 磁気

A Pedestrian Passage Detection Method by Using Spinning Magnets on Corridors

CHIHIRO TAKESHIMA^{1,a)} KATSUHIKO KAJI² KEI HIROI³ NOBUO KAWAGUCHI³
TAKESHI KAMIYAMA⁵ KEN OHTA⁴ HIROSHI INAMURA⁶

Received: March 30, 2016, Accepted: October 4, 2016

Abstract: The passage event on the specific spot is one of the useful information for position estimate. If we can detect the passage of the specific spot, we could contribute to the field of the position estimate because it is available for movement course identification, and the correction of the position estimate error. We suggest pedestrian passage detection methods by using magnets. We make the characteristic magnetic field as a marker. We detect the pedestrian passage by reading a marker by a smartphone device. We generate a magnetic field marker by spinning magnets. We can acquire a passage direction by rotating two magnets at different frequencies. We can detect a passage with an accuracy rate of 100% and a passage direction with an accuracy rate of 90% when the distance between magnets and a smartphone is 100 cm or less.

Keywords: passage detection, magnets, smartphone, magnetic field

¹ 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464-8603, Japan
² 愛知工業大学情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technol-
ogy, Toyota, Aichi 470-0392, Japan
³ 名古屋大学未来社会創造機構
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya Univer-
sity, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan
⁴ NTT ドコモ先進技術研究所
Research Laboratories, NTT DOCOMO, Inc., Yokosuka,
Kanagawa 239-8536, Japan

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ともな

⁵ NTT ドコモサービスイノベーション部
Department of Service Innovation, NTT DOCOMO, Inc.,
Yokosuka, Kanagawa 239-8536, Japan
⁶ 公立はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University
Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan
a) takeshima1092@gmail.com

い, Moves^{*1}や GoogleMaps^{*2}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 WiFi 基地局や Bluetooth を用いた位置推定のように絶対位置を推定する手法 [2], [3] 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られて用いられる場合が多い [4].

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がある. 本研究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あ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, 接触型タグリダを用いた手法がある [5], [6], [7]. 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, 接触型タグリダ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.

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. 屋内の磁場は鉄骨等に含まれる残留磁気等の影響によって一様ではない. これを利用した位置推定手法も存在する [8]. 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.

本研究では意図的に特徴的な磁場を生成する磁場マーカを作成し, 環境に設置して歩行者が所持しているスマートフォンのような端末での磁場の計測により通過位置と通過方向の検出を行う. 磁場マーカにより特徴的な磁場を狭い範囲に限定して生成し, 狭い範囲での高精度な位置検出を行う.

通過検出では2つの磁場マーカを設置し, それぞれの磁場マーカに識別子を付与する. 2つの磁場マーカの組合せが地図上のどの位置なのかを管理する. 磁場マーカの近くをスマートフォンを持って通過すると, 2つの磁場マーカ

を検出できる. そして検出した磁場マーカの順番から歩行者の通過方向を推定し, 検出した識別子の組合せから歩行者が地図上のどの位置にいるかを推定する.

本研究では磁場マーカを用いた通過検出手法を提案する. 通過検出を行うためにまず磁場マーカを設計, 実装する. そして通過検出手法を提案し, 実装した磁場マーカを用いて実験を行い, 提案した手法を評価する. 最後に追加課題を考察する.

本稿の構成を以下に示す. まず2章で既存の通過検出の研究について述べる. 3章で磁場マーカの設計に必要な知識について述べ, 本稿での磁場生成手法を決定し, 4章で磁場マーカの実装について述べる. 5章で磁場マーカを2つ使った通過検出について述べ, 6章で提案手法の評価について述べる. 最後に7章でまとめと今後の課題について述べる.

2. 関連研究

既存の通過検出の研究にはカメラやレーザ等を利用する手法がある. 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 [5] 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イ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. たと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写ってしまい, 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. 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 [6] 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

本論文の内容は2015年7月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウムにて報告され, コンシューマ・デバイス&システム研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

*1 <https://www.moves-app.com/>

*2 <https://www.google.co.jp/maps/>

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。

また、BLE (Bluetooth Low Energy) に対応した携帯端末の普及により、BLE を用いた位置推定もさかんに行われるようになった。WiFi 基地局を用いた位置推定と異なるのは、電波出力が弱く電波到達可能距離が短い、BLE ビーコン (以後、ビーコン) がボタン電池等で動作するため WiFi 基地局よりも電源供給が容易である、などの点があげられる。BLE を用いた位置推定ではビーコンから受信する電波の RSSI を利用して観測者の位置を推定する。位置推定手法としては、単にビーコンへの近接を検知する手法のほか、WiFi を用いた位置推定のように FingerPrint を作成する手法 [9]、観測できる複数のビーコンからの距離を RSSI で計算し位置を推定する手法 [3], [10] がある。BLE を用いた位置推定では環境にビーコンを設置するコストが低く、ビーコンは安いものでは数百円で購入できる。しかし、Bluetooth で用いられる 2.4 GHz 帯は壁からの電波の反射や他電波との干渉等まわりの環境に大きく影響を受けることが知られている。そのため、左右廊下やゲートのような狭い通路への設置には制約が多い。

実環境において位置情報を利用したサービスを行うために考慮しなければならない条件は位置推定精度、設置コストや維持コスト等がある。位置推定は利用するサービスによって求められる精度が異なる。たとえば、ショッピングモール内で現在地から店へのナビゲーションをするときと店舗内で現在地から商品へのナビゲーションをするときでは異なる。また位置推定に利用される WiFi 基地局やカメラ、レーザといった目印を設置するのはサービスを提供する側であり、設置コストや維持コストは低く抑える必要がある。さらに磁場を利用した手法では安全性も考慮しなければならない。磁気カード、ペースメーカ等の機器は強力な磁場が故障の原因になるため、安全性も考慮して設計しなければならない。

そこで我々はスマートフォンで利用可能な通過検出手法を提案する。まず、実用性を高くするために維持コストや安全性を考慮して磁場マーカを作成する。磁場マーカの磁場が磁気カードやペースメーカ等の機器に影響を与えないようにしつつ、スマートフォンの磁気センサで検出可能な特徴的な磁場を生成する。また維持コストを低くするために磁場を生成するのに電流が必要なコイルではなく磁石を利用して特徴的な磁場を生成する。

3. 磁場マーカの設計

我々の手法では、狭いエリアに限定して高い精度で検出できるように磁場を利用する。磁石やコイル等の磁場は距離の 2 乗から 3 乗に比例して減衰するため、特定の範囲内

のみに影響を与えやすい。存在する磁場 (以下、環境磁場) を利用すると場所によっては磁場マーカ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。磁場マーカを生成し、それを磁気センサの値から検出するためには一般的な屋内環境に存在しない磁場にしなければ過検出の原因となる。

3.1 一般的な屋内の環境に存在しない磁場の生成手法

一般的な屋内の環境に存在しない磁場を定義するために一般的な屋内環境に存在する磁場について調べた。環境磁場とは、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 [11]。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。

新納は屋内で発生しうる磁場について調べており、様々な環境磁場について計測した結果もある [11]。残留磁場は直流磁場であり磁場の強さは床から 1 m 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強さと方向が変化する磁場 (交流磁場) で、磁場の強さは約 $1 \mu\text{T}$ 以下と述べられている。

これらから環境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場が主である。残留磁場の強さ分の変化はしうると考えると、移動により生じる磁場の変化の大きさとして $130 \mu\text{T}$ まではありうる。磁場の変化の周波数を考えると主に交流磁場の影響を受けるので磁場の変化の周波数は 1 Hz 以下と 50/60 Hz となる。環境磁場と区別ができる磁場マーカを生成するためには、移動によって生じる磁場変化を $130 \mu\text{T}$ 以上にするか 1 Hz より大きく 50 Hz 未満の周波数の変化を起こす必要がある。我々は環境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 つの手法を考えた。

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 磁場を 3~25 Hz 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というメリットがある。しかし $130 \mu\text{T}$ 以上の磁場を床から 1 m の地点に発生させるには、強力な磁石が必要である。たとえば直径 10 cm、長さ 10 cm 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 [11] ため A の手法はとらず、B の手法を利用して磁場を生成することにした。

3.2 動的な磁場の変化による磁場マーカの生成

B の磁場の変化による磁場マーカの生成では意図的に環境磁場を周期的に変化させて特徴的な磁場を生成する。磁場を周期的に変化させる方法の 1 つにコイルを用いた方法が存在する。コイルが発生する磁場の式を式 (1) に示

表 1 式 (1) より導出した各条件での電流量

Table 1 Each amount of current derived using Eq. (1).

直径	巻き数	必要な電流量
2 m	1000	45 mA
2 cm	1000	1.8 A

す [12].

$$B[T] = \frac{\mu_0 I n a^2}{2(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

式 (1) の B は磁束密度, μ_0 は真空の透磁率, I は電流, n はコイルの巻き数, a はコイルの半径, z はコイルと計測点との距離である. コイルから 1m 離れた位置に $10 \mu\text{T}$ 以上の変化を起こすためには表 1 のような場合が考えられる.

コイルの直径を大きくすると必要な電流量は小さくなるが, 設置場所が限定されてしまう. コイルの直径を小さくすると必要な電流量が大きくなり, 維持コストが高くなってしまふ. 磁場マーカは長時間の使用を想定しているため維持コストは低く抑える必要があり, コイルを使用した磁場の生成は行わなかった.

ほかに磁場を変化させる方法として, モータで磁石を回転させて特徴的な磁場を生成する手法がある. 磁石の回転により磁場は周期的な変化をする. たとえば磁石を周波数 a[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[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. モータで磁石を回転させる際には磁場を発生させるために電力を必要とせず, 磁石を回転させるコストだけで周期的な磁場を生成できる. 磁石にもよるが, 回転方法の工夫により必要な電力は抑えられると考えられる. これらの理由により磁石を用いて磁場マーカを作成した.

4. 磁場マーカの実装

4.1 理論式による磁石の形状の決定

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. また歩行者の通過や位置を検出するために磁場マーカの近くを歩行者が通過する. 磁場マーカの置かれる高さは床から 1m 程度, 回転方向は地面に水平になるような設置を想定している. そのため, 歩行者のズボンのポケットで保持され, 磁場マーカと同程度の高さを通過する磁気カードを基準とした. 磁気カードが許容できる磁場の強さは直流磁場ならば $40 \sim 65 \text{ mT}$ で交流磁場ならば $16 \sim 30 \text{ mT}$ である [11]. 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 $16 \sim 30 \text{ mT}$ を目安に考える. 磁気カードの許容できる磁場は 30 mT が最大となっているが, 実用性を考えて最小値の 16 mT 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うるかを考える. 静

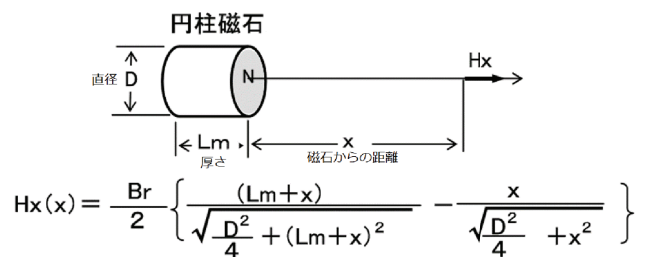


図 1 円柱磁石が作る中心軸上の磁界分布
Fig. 1 The magnetic field distribution that a column magnet forms.

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 [13]. 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かか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 45 cm である. これにより歩行者が磁石に対して 45 cm 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とおりとは限らないため磁石から 15 cm 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 15 cm 離れた位置において磁気カードに影響を与えず, 1 m 離れた位置においても十分な影響を与えられるように磁石の形状を決定する. 1 m 離れた位置で磁場の変化幅が約 $10 \mu\text{T}$ になるようにする. 安全性を考えて磁石から 10 cm の位置で磁場の強さは 16 mT 以下になるようにした. 円柱磁石が作る中心軸上の磁界分布は図 1 のように計算できる [14]. この式の B_r は標準的なネオジウム磁石の残留磁束密度 12000 G を利用する. 磁石から 1 m の位置で磁場の強さが $5 \mu\text{T}$ 以上で 10 cm の位置で磁場の強さが 16 mT 以下になる形状は直径 D が 2 cm で厚さ L_m が 10 cm の円柱磁石である.

しかし, 6 章でも述べるが, この磁石では 1 m 離れた位置に十分な影響を与えられていない. そこで磁石の材質を変え図 1 の B_r が 14300 G になる材質に変え, 形状も直径 2.5 cm , 長さ 6 cm にした. この磁石は 1 m 離れた位置で磁場の強さが $6 \mu\text{T}$ になり, 10 cm 離れた位置で磁場の強さが 16 mT を超えない. この磁石において実験した 5 章, 7 章の実験では 1 m 離れた位置でも十分な影響を与えられていると考えられる. 以上のことから, 使用する磁石は 14300 G の磁束密度がより適切であると考えられる.

4.2 既存モータでの構築

まず磁石を回転させる機構を既存モータを用いて構築した. 図 2 に既存モータを用いて構築した磁場マーカを示す. モータには速度を変えられるようにするために TAMIYA

表 2 磁石の形状と 1 m 離れた位置での磁場の強さ

Table 2 Shape of magnet and intensity of magnetic field at 1 meter distance.

磁石の直径-高さ [cm]	残留磁束密度 [G]	磁場の強さ [μ]
2-10	12000	5
2.5-6	14300	6

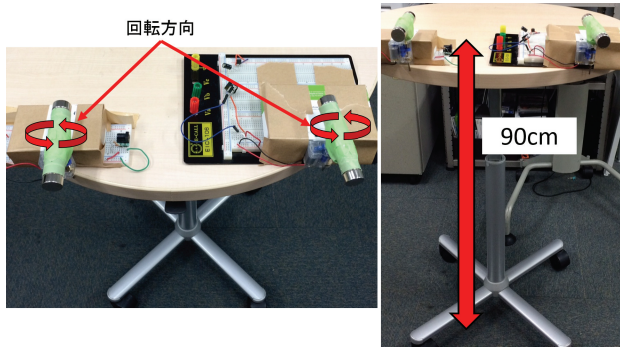


図 2 既存モータを用いて構築した磁場マーカ

Fig. 2 The magnetic field marker built using an existing motor.

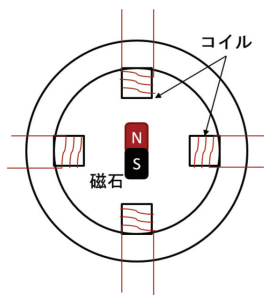


図 3 ステッピングモータの原理

Fig. 3 Principle of the stepping motor.

のミニモーター多段ギヤボックス (12 速) [15] を用いた。このモータはギアの変更により回転速度を変更できるため、磁石の回転速度を容易に変更できる。既存モータによる磁場マーカの構築は容易に作成できるという利点があるが、稼働時の騒音や長時間の稼働の困難さ、磁石が大きくなるほど安定した運用が難しい等欠点がある。我々は磁場マーカの長期的な運用を考えているため既存モータによる磁場マーカの構築ではなく、4.3 節で述べる手法にした。

4.3 3D プリンタを用いた実装

磁石回転の安定性向上と制御の簡易化を目的として、ステッピングモータの原理を利用した磁石の回転を考案した。ステッピングモータの原理は図 3 のように中心に磁石を設置し、周囲に配置したコイルに順番に電流を流して回転させる [16]。我々は回転させる磁石を中心に周囲にコイルを設置し、電流を流すタイミングの制御によって磁石を回転させられると考えた。

作成した磁場マーカを図 5 に示す。磁石の周りに 2 つのコイルと 2 つのセンサを設置した。センサは磁場の強さ

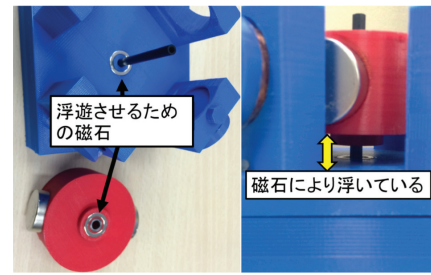


図 4 磁石の浮遊機構

Fig. 4 Mechanism to let a magnet float.

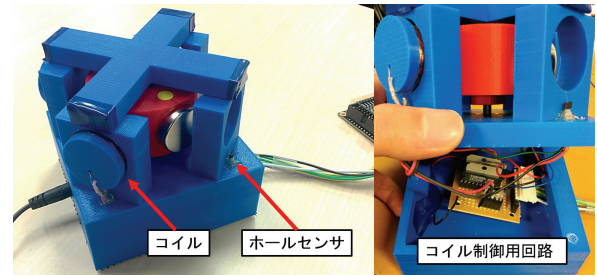


図 5 3D プリンタを用いた実装

Fig. 5 The magnetic field marker built using 3D printer.

を計測可能なホールセンサを用いた。センサの計測値を利用してコイルに電流を流すタイミングを計算してコイルに電流を流して磁石を回転させる。コイルの制御には超低消費電力の 32 ビット・マイクロコントローラである Zero Gecko [17] を用いた。この Zero Gecko でセンサの入力を受け取り、コイルを制御し磁石を回転させた。

磁石は回転を維持しやすくするために摩擦を減らす工夫を行った。まず回転軸にはボールベアリングを用いて軸棒との摩擦を減らした。次に軸棒以外との接触も回転を阻害する原因となるため軸棒以外と接触しない構造を考えた。図 4 に示すように回転させる磁石と土台に浮かす用の磁石を付けて浮遊させている。これにより、磁石の大きさや重量によらず回転を維持しやすくなっている。

5. 通過検出

磁場マーカを使って歩行者の通過位置や通過方向を検出する。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、通過検出では 2 つの磁石を異なる周波数で回転させて、図 6 のように 2 つのエリアを生成する。2 つの磁石を周波数 (a [Hz] と b [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 [Hz] の成分が高くなるエリア、B は b [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、その組合せとする。通過方向を取得するため ab と ba は同じ通過位置を示す。

通過検出のアルゴリズムの全体図を図 7 に示す。通過検出は以下の 3 つの手順で行う。

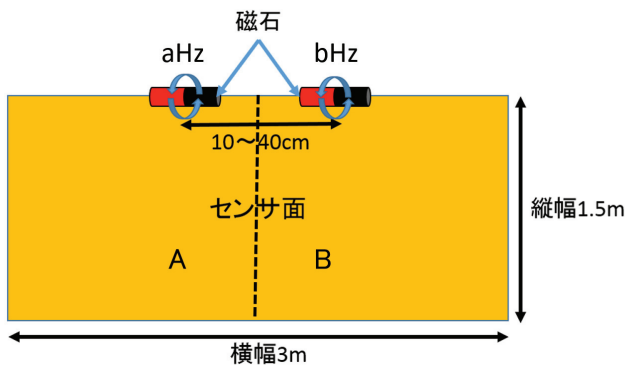


図 6 シミュレートする環境の概要 (俯瞰図)

Fig. 6 Environmental summary to simulate (Bird's-eye view).

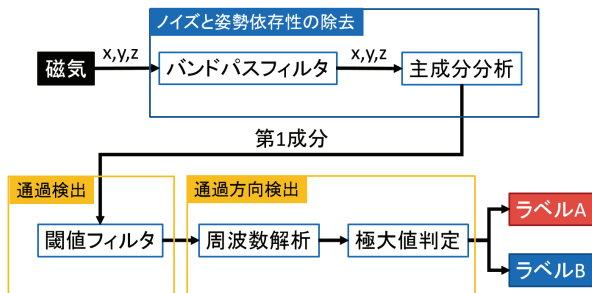


図 7 通過検出の全体図

Fig. 7 The algorithmic flow chart of the passage detection.

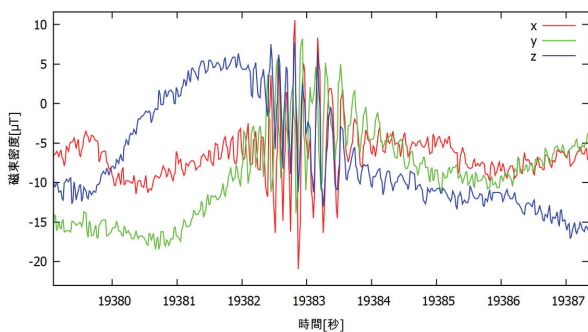


図 8 2つの異なる回転周波数の磁場マーカの前を通過したときの磁気センサの値

Fig. 8 Values of the magnetism sensor when passed the front of the rotating magnets.

- (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。

5.1 ノイズと通過検出率の端末依存性の除去

図 8 に2つの異なる回転周波数の磁場マーカの前を通過したときの磁気センサの値を示す。磁石の磁場を計測する端末の磁気センサは図 8 のように x 軸, y 軸, z 軸の3つの値を計測しているが、磁場マーカの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

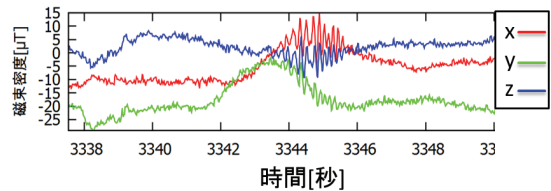


図 9 環境磁場の变化を含む経路での2つの異なる回転周波数の磁場マーカの前を通過したときの磁気センサの値
Fig. 9 Values of the magnetism sensor when passed the front of the rotating magnets When the problem happened.

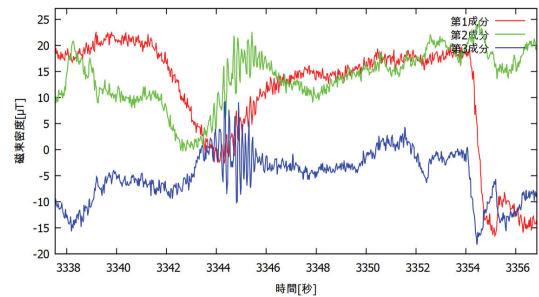


図 10 図 9 に対して主成分分析を行った結果
Fig. 10 The result of having performed the principal component analysis in Fig. 9.

よって変わる。そこで我々は最も影響を受けている値を使うために、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。単に3軸の合成値を使用しない理由は、注目したい軸以外の軸の値が影響するのを防ぐためである。

しかしこの手法には環境磁場の变化に依存するという問題がある。環境磁場の变化を含む経路での2つの異なる回転周波数の磁場マーカの前を通過したときに計測できる磁気値を図 9 に示す。この図 9 に対して主成分分析を行った結果が図 10 である。図 10 を見ると第1成分である赤線の値は磁場マーカの磁石の影響を最も受けているとは考えられない。この場合では第3成分である青線の値が磁場マーカの磁石の影響を最も受けていると考えられる。これは1Hz以下の低周波成分の変化が3Hzから25Hzの周波数成分よりも大きいため起こると考えられる。

そこで我々は3軸に対してバンドパスフィルタを行った後に、3軸に対して主成分分析を用いて軸変換を行った。これにより、低周波成分の影響を受けずに磁場マーカの磁石の影響を受けている軸を使用可能である。3軸に対してバンドパスフィルタを行った後に、主成分分析を行った結果を図 11 に示す。一方で、図 12 が図 9 の各軸に対してバンドパスフィルタを行った後に主成分分析を行った結果の第1成分である。x, y, z の各軸のバンドパスフィルタには双2次フィルタを利用した [18]。図 12 から第1成分が磁場マーカの磁石の影響を表せていると考えられる。

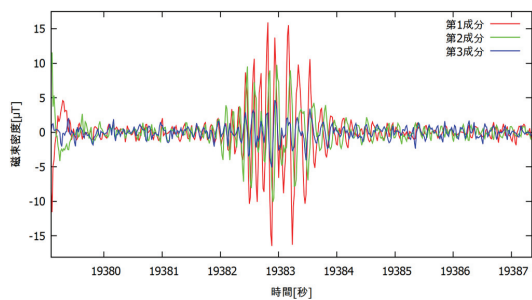


図 11 図 8 にバンドパスフィルタと主成分分析を行った後

Fig. 11 The result of having performed the bandpass filter and the principal component analysis in Fig. 8.

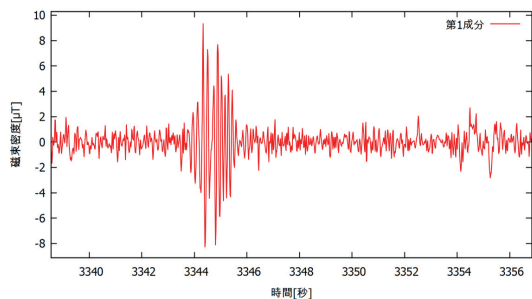


図 12 図 9 に対して各軸にバンドパスフィルタを行ってから主成分分析を行った結果

Fig. 12 The result of having performed the principal component analysis after we performed the bandpass filter in Fig. 9.

5.2 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、5.1 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 32 サンプルで窓のスライド幅は 4 サンプルである。このときのサンプリング周波数は約 60 Hz である。通過検出アルゴリズムでは値が特定の閾値を超えなければ 0 にして窓関数に渡し FFT を行う。これは磁場マーカの前を通過する場合はこのサンプルの値が図 13 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。サンプルの値が高くない場合を 0 にして、図 13 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、このときを通過中と検出する。

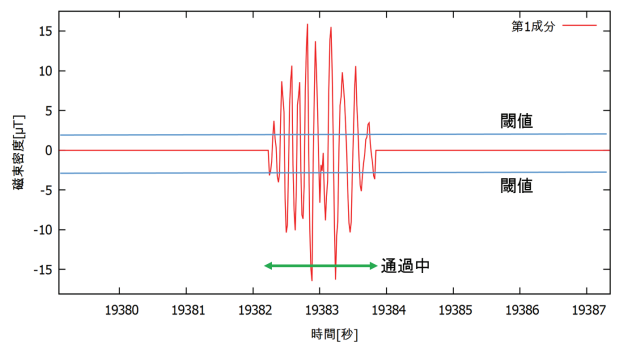


図 13 閾値フィルタ後の第 1 成分のグラフ

Fig. 13 Graph after the threshold filter.

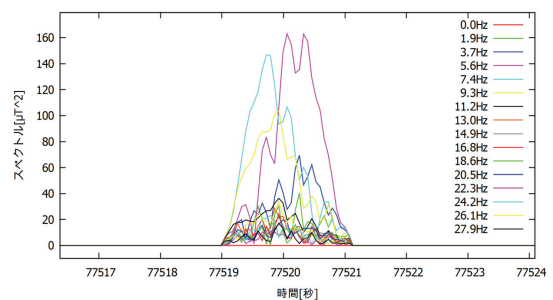


図 14 各周波数ごとのスペクトルの時間変化

Fig. 14 The graph of the time change of the spectrum of each frequency component.

5.3 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 14 は磁石 A と B の回転周波数を 5.5 Hz と 7.5 Hz 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と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の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。しかし、図 14 のように複数の極値をとる場合がある。これはサンプリング周波数の不足や磁石以外の影響等が要因と考えられる。このような場合のために移動平均による平滑化処理を行った。平滑化処理を行った結果を図 15 に示す。

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 識別子の周波数と第 2 識別子の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

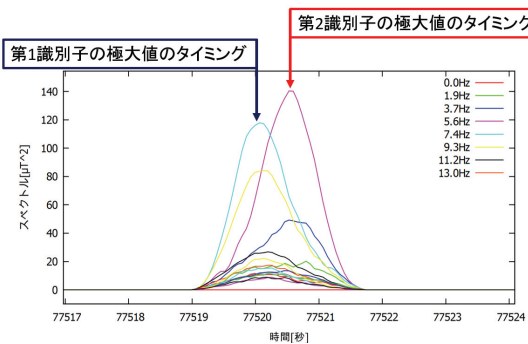


図 15 図 14 の移動平均による平滑化処理後

Fig. 15 The result of having performed smoothing processing by the moving average in Fig. 14.

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のタイミングを用いる手法を使う。

通過方向の検出では2つの磁場マーカの識別子を推定している。そのため、この通過方向の検出処理が磁場マーカの回転周波数の分解能に大きな影響を与える。今回2つの磁場マーカの回転周波数は5.5Hzと7.5Hzを利用した。この2つの回転周波数の値が近いと2つの磁場マーカを区別できないため、2つの磁場マーカの回転周波数にはどのくらいの周波数差が必要なかが重要である。周波数分析を行うFFTの分解能が周波数差の理論値になる。FFTの窓幅が32サンプルで磁気センサのサンプリング周波数が60Hzであるため、周波数差は約2Hz以上の差が必要である。

5.4 シミュレータによる磁石間距離の検証

磁石どうし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、実際に磁石どうし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かかりすぎてしまう。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 [19] 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。磁場解析ソルバ Qm では図 16 のように磁石と磁束密度のベクトルと磁束密度の等高線が表示される。各磁束密度のベクトルの配置は自由に設定でき、xyz の各軸ごとの磁束密度の大きさを取得できる。磁石に関しては形状、素材、動きを自由に設定できる。

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か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。

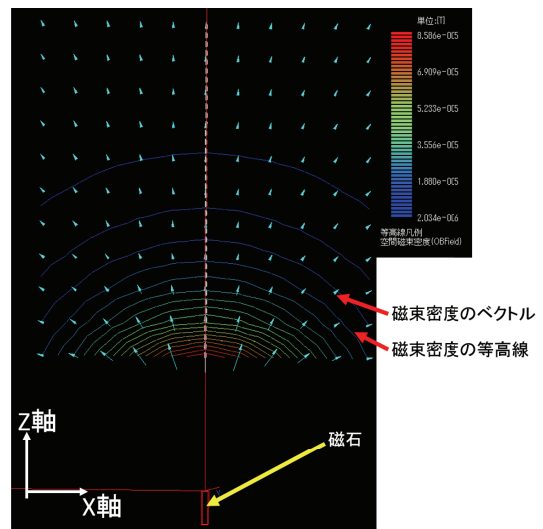


図 16 磁場解析ソルバ Qm のシミュレーション画面

Fig. 16 Simulation screen by magnetic field analysis Solver Qm.

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 6 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ごと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横方向に 10cm 間隔、高さ方向に 10cm 間隔の位置にするため、今回のセンサ面では 491 カ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 5 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。ラベル付け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。

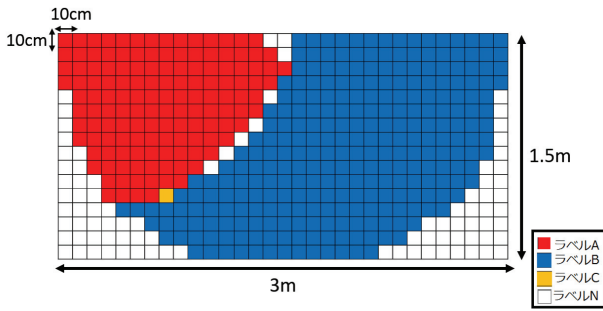


図 17 磁石間距離が 10 cm の時のエリア分け結果

Fig. 17 The result of area division when the distance between the magnet is 10 cm.

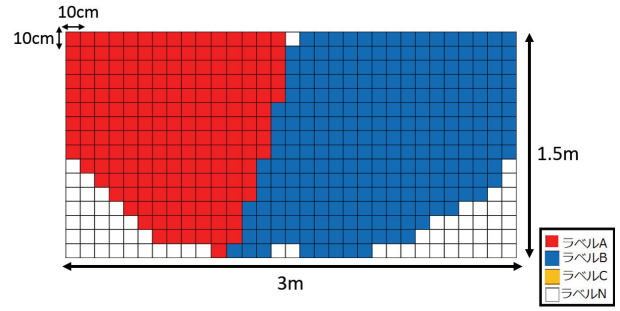


図 20 磁石間距離が 40 cm の時のエリア分け結果

Fig. 20 The result of area division when the distance between the magnet is 40 cm.

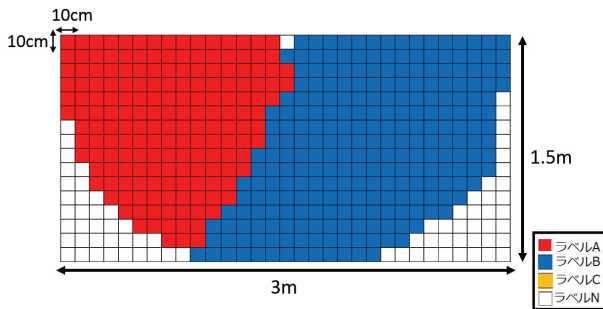


図 18 磁石間距離が 20 cm の時のエリア分け結果

Fig. 18 The result of area division when the distance between the magnet is 20 cm.

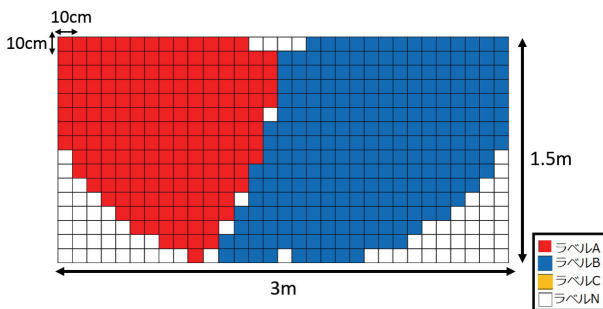


図 19 磁石間距離が 30 cm の時のエリア分け結果

Fig. 19 The result of area division when the distance between the magnet is 30 cm.

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 17, 図 18, 図 19, 図 20 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 6 と同様の環境である。

図 17~図 20 を見ると左から順に AB のエリアが生成されている。この結果から, 磁石間距離が遠くなるほど A と B の領域の偏りは小さくなり, 磁石と端末間の距離が遠くなるほど領域の偏りは大きくなるのが分かった。磁石間距離が 10 cm と 20 cm のとき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 30 cm 以上であれば, 磁石との距離が 1.5 m 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 30 cm 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。以上により本提案の磁場マーカでは, 磁石を半径 2 cm, 長さ 10 cm, 磁石間距離を 30 cm 以上とした環境での通過検出を対象とする。

6. 評価実験

6.1 実環境における磁場マーカ間の距離の検証

5.4 節で理想環境での磁石間距離ごとのエリア分けを検証し, 理想環境であれば磁石間距離が 30 cm 以上であればよいと分かった。しかし, 実環境では残留磁場や歩行者等の影響により 30 cm で十分であるかは分からない。そのため実環境での検証を行う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。

6.1.1 実験概要

実験の概要図を図 21 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 11 m 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 90 cm で腰の高さにした。図 2 が実際の磁石を回転させる装置である。通過方向は図 21 のように方向 1 と方向 2 の 2 つである。歩行速度は秒速 1.2 m 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 30 cm 以上で通過方向の検出が可能であるので 30, 45, 60 cm の 3 つの距離で行い, 各保持位置で磁石と端末間の距離が同等となるよう経路を設定した。2 つの

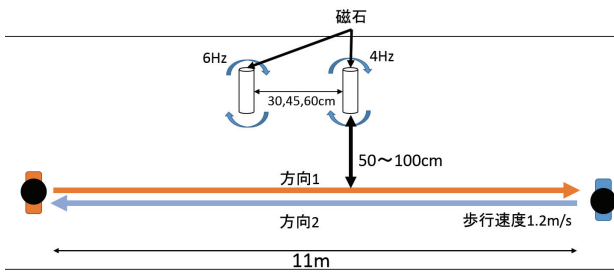


図 21 評価実験の概要図 (俯瞰図)

Fig. 21 Figure of summary of the evaluation experiment (bird's-eye view).



図 22 実験に使用した磁石

Fig. 22 The magnets used for this experiment.

磁石の回転速度は 4 Hz と 6 Hz で行った。磁石はネオジム磁石を用いている。4 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 12000 G のものを利用し、直径 2 cm 厚さ 1 cm の磁石を図 22 のように 10 個つなげて厚さ 10 cm になるようにしている。また、閾値を $0.1 \mu\text{T}$ ずつ変更させ最も検出精度が高くなった値を閾値として用いた。

6.1.2 実験結果

各磁石間距離 (30 cm, 45 cm, 60 cm) の実験の結果を表 3, 表 4, 表 5 に示す。実験データは端末-磁石間距離 1 つにつき 18 個である。通過検出の閾値は $3.0 \mu\text{T}$ を用いている。30 cm のときの通過方向検出率は磁石から 75 cm 離れた位置では 39% となっているが、45 cm, 60 cm と磁石間距離を大きくすると精度が上がっているのが分かる。磁石間距離が 60 cm のときの通過方向検出率は磁石から 75 cm 離れた位置では 94% となっている。これにより磁石間距離は 60 cm は必要であると分かった。また、閾値を大きくすると検出率が低下し、閾値を小さくすると誤検出が増加することを確認した。

6.2 通過検出の評価

理想環境での検証結果と実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。

表 3 磁石間距離 30 cm のときの全体の検出率

Table 3 Detection rate when the distance between the magnet is 30 cm.

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 4 磁石間距離 45 cm のときの全体の検出率

Table 4 Detection rate when the distance between the magnet is 45 cm.

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 磁石間距離の 60 cm とときの全体の検出率

Table 5 Detection rate when the distance between the magnet is 60 cm.

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

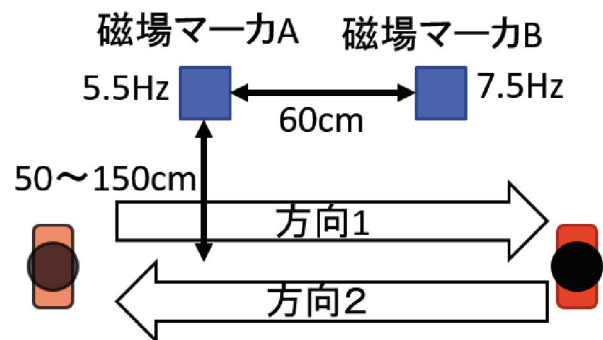
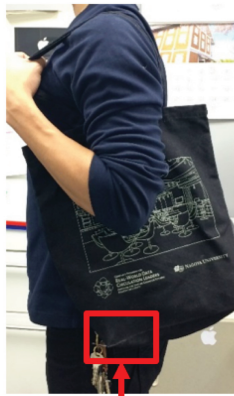


図 23 評価実験の概要図 (俯瞰図)

Fig. 23 Figure of summary of the evaluation experiment (bird's-eye view).

6.2.1 実験概要

実験の概要図を図 23 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 6 人で、経路全長は 11 m とした。14300 G の磁石を経路の中心に配置し、磁石の床からの高さは 90 cm で腰の高さにした。図 5 が実際の磁石を回転させる装置である。通過方向は図 23 のように方向 1 と方向 2 の 2 つである。2 つの方向で、磁石と端末間の距離が同等となるよう経路を設定した。歩行速度は秒速約 1.2 m で普通の速さで歩いた。磁場マーカの回転周波数は 5.5 Hz と 7.5 Hz である。端末の保持位置は以下の 4 つである。



鞆の中にスマートフォンを所持

図 24 端末の保持方法 (カバン)

Fig. 24 Method of holding the smartphone in the bag.

表 6 端末-磁石間距離ごとの全体の検出率

Table 6 Summary of passage detection rate between the smartphone and the magnet.

端末-磁石間距離 [cm]	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
50	100	91.0
75	100	97.2
100	100	90.3
125	100	39.2
150	100	3.4

- (1) 腰の前で画面を見るように手で持つ。
- (2) 上着のポケットに入れる。
- (3) ズボンのポケットに入れる。
- (4) カバンに入れる。

保持位置 (1) と (4) は全員に行ってもらい、保持位置 (2) と (3) はどちらかだけを行いそれぞれ 3 人ずつとなっている。保持位置 (4) の場合は図 24 のようにカバンは肩掛け用のものを使用し、スマートフォンを姿勢を考慮せずに入れてただけとなっている。すべての保持位置において方向 1 は磁石に遠い保持位置になり、方向 2 は磁石に近い保持位置となる。データ総数は 1 人あたり 120 個である。磁石との距離が 50 cm, 75 cm, 100 cm, 125 cm, 150 cm の 5 つで、保持方法が 3 つで通過方向が 2 つあり各設定ごとに 4 回データを計測している。また、通過検出の閾値には 6.1 節の実験で最も高精度でとなった $3.0 \mu\text{T}$ を用いた。

6.2.2 実験結果

各磁石からの距離 (50 cm, 75 cm, 100 cm, 125 cm, 150 cm) の実験の結果を表 6 に示す。実験データは端末-磁石間距離 1 つにつき 144 個である。表 7, 表 8, 表 9, 表 10, 表 11 に各保持位置ごとの通過検出率と通過方向検出率を示す。保持位置 (1) と (4) はデータが 48 個で、保持位置 (2) と (3) はデータが 24 個である。

表 6 を見ると端末と磁石の距離が 100 cm までは通過検出率は 100% で、通過方向検出率は 90% 以上で検出できて

表 7 端末-磁石間距離 50 cm のときの端末保持位置ごとの通過検出率

Table 7 Passage detection rate when the distance between the smartphone and the magnet is 50 cm.

保持位置	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
保持位置 1	100	100
保持位置 2	100	95.8
保持位置 3	100	83.3
保持位置 4	100	83.3

表 8 端末-磁石間距離 75 cm のときの端末保持位置ごとの通過検出率

Table 8 Passage detection rate when the distance between the smartphone and the magnet is 75 cm.

保持位置	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
保持位置 1	100	100
保持位置 2	100	100
保持位置 3	100	95.8
保持位置 4	100	93.8

表 9 端末-磁石間距離 100 cm のときの端末保持位置ごとの通過検出率

Table 9 Passage detection rate when the distance between the smartphone and the magnet is 100 cm.

保持位置	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
保持位置 1	100	100
保持位置 2	100	100
保持位置 3	100	54.2
保持位置 4	97.9	93.8

表 10 端末-磁石間距離 125 cm のときの端末保持位置ごとの通過検出率

Table 10 Passage detection rate when the distance between the smartphone and the magnet is 125 cm.

保持位置	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
保持位置 1	100	54.2
保持位置 2	100	39.3
保持位置 3	100	29.2
保持位置 4	100	29.2

表 11 端末-磁石間距離 150 cm のときの端末保持位置ごとの通過検出率

Table 11 Passage detection rate when the distance between the smartphone and the magnet is 150 cm.

保持位置	通過検出率 [%]	通過方向検出率 [%]
保持位置 1	100	0
保持位置 2	100	0
保持位置 3	100	0
保持位置 4	100	10.4

いる。これは、磁場の届く距離に影響を与える磁束密度を 14300 G を用いたため、6.1 節の実験と比較し、改善がみられたと考えられる。しかし、125 cm では通過方向検出率は

39%となり低くなっている。表7～表9を見ると保持位置(3)と保持位置(4)の通過方向検出率が低くなっており、特に保持位置(3)が低くなっている。保持位置(2)は上着のポケットであり上半身の運動にともなって端末姿勢が変化するが、保持位置(3)はズボンのポケットであり足の運動にともなって端末姿勢が変化するため、保持位置(2)に比べ運動が大きい。また、(4)はカバンの中で固定されておらず端末の姿勢が大きく変化する場合と、カバンの内ポケット等で端末が固定され、端末姿勢があまり変化しない場合が考えられる。そのため保持位置(3)、(4)は端末姿勢の変化の影響を受けやすく、検出率が低下した。また、今回の実験では、保持位置(3)の方が(4)に比べ、端末姿勢の変化が大きかったため、低い検出率となったと考えられる。方向の違いによる認識率に差は見られず、人体の影響による認識率の差はほとんどないと考えられる。

保持位置(1)に関しては端末-磁石間距離が100cm以下では通過検出率も通過方向検出率は100%であり、125cmでも通過方向検出率は54.2%と通過方向検出は最も良い結果となっている。これは保持位置(1)が最も端末姿勢が変化せず磁石の影響を受けやすいためである。

実験結果から端末-磁石間距離が100cmまでならば通過検出は100%で通過方向検出は90%以上で検出可能である。しかし、100%ではないためさらにアルゴリズムの改善や磁場マーカの改良等を行っていく必要がある。

7. おわりに

本稿では、磁場マーカを用いた通過検出手法について提案した。提案手法のねらいは高い位置推定精度を必要とする箇所や磁場的に特徴のない場所に磁場マーカを設置し通過位置や通過方向の取得を行い、他の位置推定結果の補正を行うことである。提案手法は他の位置推定手法との組合せを考えており、他の位置推定手法では難しいが高い位置推定精度が要求される場所での利用を考えている。本稿では狭い範囲に限定して高精度に通過位置や通過方向を検出する通過方向を目的とし、特徴的な磁場による範囲を限定した位置検出エリア(磁場マーカ)の作成を考えた。そのために磁場マーカの設計に必要な知見を導入し、磁場生成手法を決定した。そして磁場マーカを実装し、狭い範囲に限定して特徴的な磁場を生成できるようにした。また、スマートフォンで磁場マーカを検出して行える通過検出を提案した。

磁場マーカを使った通過検出ではスマートフォンを持った歩行者が2つの磁場マーカの近くを通過したときに2つの磁場マーカを順番に検出し、検出した磁場マーカの順番から歩行者の通過方向を取得し磁場マーカの組合せから通過位置を取得する手法を提案した。そして、磁場マーカからどのくらい離れた距離までなら通過と通過方向を判定できるかを検証する実験を行った。その結果、磁場マーカか

ら端末が100cm以内であれば通過検出は100%で通過方向検出は90%以上で検出可能であることが分かった。

提案手法にはいくつか課題がある。まず、磁場マーカの改良がある。現在の磁場マーカでは維持コストがまだかかってしまう。現状数百mAの電流を必要としており、まだ改良の余地がある。たとえば、ベアリングをより高効率なものへの変更や回転させる磁石を真空状態の容器に入れて空気抵抗を減らす等がある。

次に通過検出の課題は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、磁場マーカまでの距離が1mで100%の精度で検出できるのが保持位置(1)と保持位置(2)のみでは用途が限定されてしまう。そのため1mまではどの保持方法でも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を行うとともに、検出精度低下の原因である端末姿勢についてもあわせて調査を行っていく。また、本提案では磁石間距離が30cm以上の環境での通過検出を対象としたが、磁石間距離が30cm以下の環境での磁場領域の偏りが発生する原因を解明し、より狭い環境での通過検出の実現を目指す。

さらに、実環境での使用を考慮した提案手法の影響についても検証する必要がある。本提案では、磁気マーカの設置高さを1mとして、磁気カードへの影響を考慮した設計を行ったが、実環境では様々な設置形態が考えられるため、ペースメーカへの影響等、安全性を実証する必要がある。また、本提案では、磁場マーカと端末の距離を変化させ実験を行っており、端末との距離が1m以内であれば磁場マーカの設置高さを変えても同様の精度で検出が可能である。磁場マーカを様々な環境に設置する場合を考慮し、端末が磁場マーカより低い位置を通過し、端末と磁場マーカの間には人体以外の障害物(磁場マーカを固定する台等)がある場合についても検出精度の評価を行う。

参考文献

- [1] 興呂正克, 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, J. and Hinckley, H.: The nearest wireless proximity server, *The 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004)*, pp.283-300 (2004).
- [3] Irfan, O.: A bluetooth signal strength based indoor localization method, *2014 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, pp.251-254, IEEE (2014).
- [4] 遠藤 巖, 藤田 悟: 複数のセンサを組み合わせた屋内歩行者位置推定, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム2013論文集, Vol.2013, pp.188-195 (2013).
- [5] 吉川健一, 太田直哉: 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).
- [6] 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, Vol.44, pp.87-90 (2005).

- [7] Masoud, O. and Nikolaos, P.: Papanikolopoulos, a novel method for tracking and counting pedestrians in real-time using a single camera, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.50, pp.1267-1278, IEEE (2001).
- [8] Ban, R., Kaji, K., Hiroi, K. and Kawaguchi, N.: Indoor positioning method integrating pedestrian dead reckoning with magnetic field and wifi fingerprints, *The 8th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015)*, pp.167-172 (2015).
- [9] 木嶋 啓, 藤井雅弘, 渡辺 裕: Bluetoothの受信強度を用いた位置推定システムにおける補正による推定精度改善に関する一検討, 第73回全国大会講演論文集, Vol.2011, pp.271-272 (2011).
- [10] 佐藤智美, 小宮山哲, 下田雅彦, 劉 渤江, 横田一正: Bluetoothの電波強度を用いた位置推定方式の検討, *DEIM Forum* (2011).
- [11] 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).
- [12] 電磁気3, 入手先 (<http://202.253.248.12/gijutu/flow/www.kdcnet.ac.jp/buturi/kougi/buturiko/electcity/elemag3/elemag3.htm>) (参照 2015-11).
- [13] 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).
- [14] 永久磁石の設計 (チャージモデル), 入手先 (http://www.daido-electronics.co.jp/qa/magnet.qa/documents/magnet_qa08.pdf) (参照 2015-07).
- [15] ミニモーター多段ギヤボックス (12速), 入手先 (http://www.tamiya.com/japan/products/70190mini_multiratio/index.html) (参照 2015-02).
- [16] ステッピングモータの基本的な構造と動作原理, 入手先 (<http://www.orientalmotor.co.jp/tech/webseminar/stkiso.2.1.1/>) (参照 2016-01).
- [17] Efm32 zero gecko-silicon labs. 2016年1月参照.
- [18] Cookbook formulae for audio eq biquad filter coefficients, available from (<http://www.musicdsp.org/files/Audio-EQ-Cookbook.txt>) (accessed 2016-03).
- [19] 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).

推薦文

本論文は、回転する磁石が生成する周期的に変動する磁場に対して、磁気センサを用いて歩行者による変動を計測、解析することにより、通過を検知する手法を提案している。新規性がある、大変有用な論文と認められるため推薦する。(コンシューマ・デバイス&システム研究会主査 寺島美昭)



武島 知勲

2014年名古屋大学工学部電気電子・情報工学科卒業。同年同大学大学院修士課程入学。屋内歩行者の位置推定に関する研究に従事。



梶 克彦 (正会員)

2002年名古屋大学工学部電気電子工学科卒業。2007年同大学大学院情報科学研究科博士課程修了。博士(情報科学)。NTTコミュニケーション科学基礎研究所リサーチアソシエイト、名古屋大学大学院工学研究科助教を経て、2015年より愛知工業大学情報科学部准教授。日本ソフトウェア科学会会員。屋内位置推定、遠隔コミュニケーション支援の研究に従事。



廣井 慧 (正会員)

2004年東北大学工学部電子工学専攻卒業。同年東日本電信電話株式会社入社。2011年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程修了。2014年同大学院メディアデザイン研究科博士(メディアデザイン学)。同年名古屋大学未来社会創造機構特任助教。災害情報通信、センサネットワークの研究に従事。



河口 信夫 (正会員)

1990年名古屋大学工学部電気電子工学科卒業。1995年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程満了。同年同大学工学部助手。同大学講師、准教授を経て、2009年より同大学大学院工学研究科教授。NPO 位置情報サービス研究機構 Lisra 代表理事。モバイルコミュニケーション、ユビキタスコンピューティング、行動センシングの研究に従事。博士(工学)。ACM, IEEE, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 日本音響学会各会員。本会シニア会員。



神山 剛 (正会員)

NTTドコモサービスイノベーション部勤務。2003年株式会社イーグリス代表取締役, 2006年同社退社, 東京大学新領域創成科学研究科修士課程修了を経て, 同年NTTドコモ入社。モバイルコンピューティング, ソフトウェア省電力化, 分散システムに関する研究に従事。



太田 賢 (正会員)

1998年静岡大学大学院博士課程修了。博士(工学)。1999年NTT移動通信網(株)入社。現在、NTTドコモ先進技術研究所勤務。モバイルコンピューティング、端末セキュリティ、分散システムに関する研究に従事。共著『モバイルネットワーク』、訳書『コンピュータネットワーク第5版』等。電子情報通信学会会員。本会シニア会員。



稲村 浩 (正会員)

1990年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。1998年よりNTTドコモ。2016年より公立はこだて未来大学教授。博士(工学)。モバイルネットワーク、スマートデバイスのシステムソフトウェアに関する研究開発に従事。電子情報通信学会、ACM、IEEE各会員。本会シニア会員。