

## 回転磁石マーカを用いた3次元位置推定の基礎的検討

渡邊 康祐\* 廣井 慧† 神山 剛‡ 佐野 博之§ 塚本 昌克§ 片桐 雅二§  
池田 大造§ 梶 克彦¶ 河口 信夫†

\*名古屋大学大学院 工学研究科 †名古屋大学 未来社会創造機構

‡NTT ドコモ サービスイノベーション部 §NTT ドコモ 先進技術研究所 ¶愛知工業大学 情報科学部

### 1 はじめに

近年,スマートフォンによる位置情報を用いたサービスが普及し,それに伴い磁場を用いた詳細な位置推定手法が研究されている. 磁場による位置推定にはコイルを用いた手法 [1][2] があるが,スマートフォンの磁気センサが検知可能な磁場を発生させ続けるために大きなコストが必要となる. 我々はこれまで回転磁石を用いた歩行者の通過検出の研究 [3] を行ってきた. 本研究では磁石を一定周期で回転させる回転磁石マーカを用いて人工的に磁場を発生させ,スマートフォンの3次元位置を推定する手法を提案する. 詳細な位置推定の実現により,例えば店内の顧客位置や,展示場で参加者が観覧している位置が取得できる.

### 2 3次元位置推定手法の提案

スマートフォンと回転磁石マーカとの位置関係を図1のように定義する. 方位角  $\theta$  の推定は  $r = \text{一定}, \psi = 0$  とすると  $H_x$  と  $H_z$  は  $\theta$  のみに依存し,任意の位置  $(x,y,z)$  における磁場  $H_x, H_y, H_z$  は極座標と  $H_r, H_\tau$  を用いて次の式になる ( $\omega t$ : 磁石の回転角度).

$$H_x = H_r(\theta) \cos(\theta - \omega t) - H_\tau(\theta) \sin(\theta - \omega t) \quad (1)$$

$$H_y = H_r(\theta) \sin(\theta - \omega t) + H_\tau(\theta) \cos(\theta - \omega t) \quad (2)$$

$$H_z = 0 \quad (3)$$

ここで,磁石の対称性から  $H_r(\theta)$  は  $H_r \cos \theta$  に,  $H_\tau(\theta)$  は  $H_r \sin \theta$  にそれぞれ置き換えられる. これらを式1~2に代入し,磁場のノルムを求めると次の式になる.

$$H = \sqrt{H_r^2 - (H_r^2 - H_\tau^2) \sin^2(\theta - \omega t)} \quad (4)$$

この式から磁場のノルムは  $\omega t = \theta, \theta + \pi$  の時に極大値を取ることがわかる. このことを利用し,スマートフォンが検知した磁場のノルムが極大値を取った時刻にお

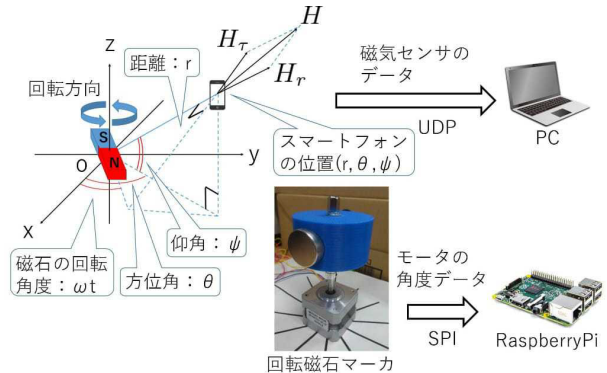


図1: スマートフォンと回転磁石マーカの位置関係と提案手法の概要図

けるモータの回転角を方位角として検出する.

仰角  $\psi$  の推定は  $r = \text{一定}, \theta = 0$  とすると  $H_x$  と  $H_z$  は  $\psi$  のみに依存し,任意の位置  $(x,y,z)$  における磁場は極座標と  $H_r, H_\tau$  を用いて次の式になる.

$$H_x = H_r(\psi) \cos \psi \cos \omega t - H_\tau(\psi) \frac{\sin^2 \psi \cos \omega t}{\sqrt{1 - \cos^2 \psi \cos^2 \omega t}} \quad (5)$$

$$H_y = -H_\tau(\psi) \frac{\sin \omega t}{\sqrt{1 - \cos^2 \psi \cos^2 \omega t}} \quad (6)$$

$$H_z = H_r(\psi) \sin \psi + H_\tau(\psi) \frac{\sin \psi \cos \psi \cos \omega t}{\sqrt{1 - \cos^2 \psi \cos^2 \omega t}} \quad (7)$$

ここで,方位角の時と同様に  $H_r(\psi)$  を  $H_r \cos \psi$  に,  $H_\tau(\psi)$  を  $H_r \sin \psi$  にそれぞれ置き換え,これらを式5~7に代入する. さらに  $H_x$  と  $H_z$  に  $\omega t = 0, H_y$  に  $\omega t = \frac{\pi}{2}$  を代入すると仰角と磁気センサの値の関係式は次の式になる.

$$\psi = \arccos \left( \frac{H_x + H_y}{\sqrt{(H_x + H_y)^2 + H_z^2}} \right) \quad (8)$$

磁場のノルムが極大値を取った時の磁場の  $x,z$  成分と極小値を取った時の磁場の  $y$  成分を式8に代入することで仰角を推定する.

### 3 方位角と仰角の推定

提案手法の精度を検討するために方位角  $\theta$  と仰角  $\psi$  を推定する実験を行った (図2). 磁石を回転させるために3Dプリンターで製作した台に磁石をはめ込み,ス

Basic Study of A Three-Dimensional Smartphone Positioning Method using Spinning Magnet Marker

\* Kosuke WATANABE †Kei HIROI ‡Takeshi KAMIYAMA § Hiroyuki SANO § Masakatsu TSUKAMOTO § Masaji KATAGIRI § Daizo IKEDA ¶ Katsuhiko KAJI †Nobuo KAWAGUCHI

\* Graduate School of Engineering, Nagoya University

†Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

‡Service Innovation Department, NTT DOCOMO, Inc.

§ Research Laboratories, NTT DOCOMO, Inc.

¶ Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

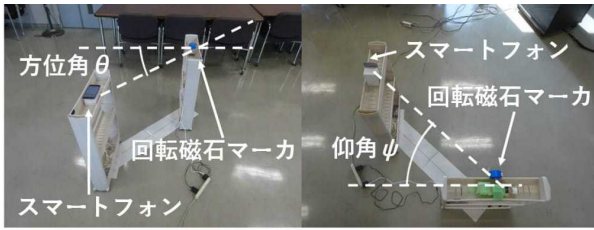


図 2: 実験の様子 (左) 方位角推定 (右) 仰角推定

テッピングモータの回転軸に固定した.RaspberryPi\* の時刻とスマートフォンの時刻を NTP によって同期し, RaspberryPi にモータの角度と時刻データを記録する. スマートフォンと回転磁石マーカを 1m 離して設置し, 方位角  $\theta$  を推定する実験ではスマートフォンの回転磁石マーカからの方位角  $\theta$  は  $0^\circ$  から  $180^\circ$  までを  $45^\circ$  ずつ変化させて実験を行った. 仰角  $\psi$  を推定する実験では 1m の高さの台を用意するかわりに回転磁石マーカとスマートフォンをそれぞれ横向きにし,  $-60^\circ$  から  $60^\circ$  までを  $30^\circ$  ずつ変化させて実験を行った. 磁石は 1Hz で 10 秒~15 秒回転させ, それぞれの方位角と仰角ごとに 10 回計測を行い, 推定した角度からそれぞれの平均, 誤差, 標準偏差を算出した. また, 仰角  $\psi$  を求める式 8 はスマートフォンと回転磁石マーカの座標系が一致している時のみ成立するため, 実際にはスマートフォンの姿勢をあらかじめ取得し, 磁気センサの値を回転磁石マーカの座標系での値に変換する必要がある. 今回は 2 つの座標系が一致している状態で実験を行った. 式 4 より磁場のノルムは  $\omega t = \theta, \theta + \pi$  で極大値を取るため, 角度の推定が 2 回行われる. 方位角  $\theta$  のそれぞれの推定値を  $\theta'_1, \theta'_2$  とした. 仰角  $\psi$  の推定も同様に 2 回行われ,  $\psi$  と  $\pi - \psi$  が求まる. それぞれの推定値を  $\psi'_1, \psi'_2$  とした.

図 3 にモータの回転角度とスマートフォンの磁気センサの値を示す. 方位角  $\theta = 0$  での計測ではモータの回転角度が  $0^\circ$  もしくは  $180^\circ$  付近でノルムの値が最大になった. 表 1 にそれぞれの角度の推定結果を示す. 方位角  $\theta$  を推定する実験では最大で  $11^\circ$  の誤差, 標準偏差は  $6^\circ$  以内, 仰角  $\psi$  を推定する実験では最大で  $10^\circ$  の誤差, 標準偏差は  $10^\circ$  以内となった. 仰角  $\psi$  の推定において  $-60^\circ$  での計測で標準偏差が大きくなっている. これは, モータの挙動が安定しておらず, 計測時間が経過するにつれてステッピングモータの回転速度が 1Hz からずれていったためだと考えられる.

#### 4 まとめと今後の課題

本稿では回転磁石により発生する磁場を用いて回転磁石マーカから見たスマートフォンの方位角  $\theta$  と仰角

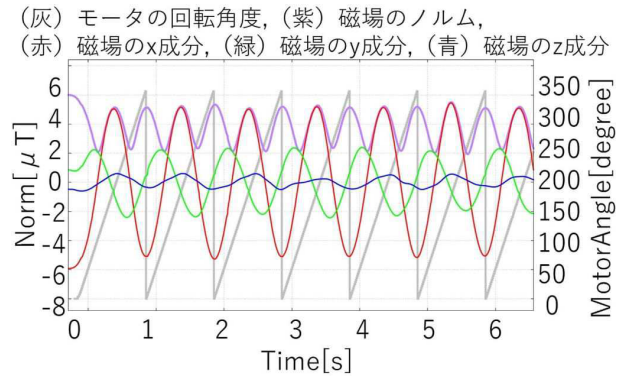


図 3: モータの回転角度と磁気センサの値の関係 (方位角  $\theta=0$ , 仰角  $\psi=0$  の時)

表 1: 方位角  $\theta$  と仰角  $\psi$  の推定結果

方位角	$0^\circ$		$45^\circ$		$90^\circ$		$135^\circ$		$180^\circ$	
	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$
平均	$10^\circ$	$189^\circ$	$56^\circ$	$235^\circ$	$89^\circ$	$266^\circ$	$129^\circ$	$312^\circ$	$176^\circ$	$-2^\circ$
誤差	$10^\circ$	$9^\circ$	$11^\circ$	$10^\circ$	$1^\circ$	$4^\circ$	$6^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$2^\circ$
標準偏差	$5^\circ$	$3^\circ$	$3^\circ$	$3^\circ$	$5^\circ$	$5^\circ$	$6^\circ$	$3^\circ$	$6^\circ$	$6^\circ$
仰角	$-60^\circ$		$-30^\circ$		$0^\circ$		$30^\circ$		$60^\circ$	
	$\psi'_1$	$\psi'_2$	$\psi'_1$	$\psi'_2$	$\psi'_1$	$\psi'_2$	$\psi'_1$	$\psi'_2$	$\psi'_1$	$\psi'_2$
平均	$-52^\circ$	$-130^\circ$	$-35^\circ$	$-148^\circ$	$-4^\circ$	$-177^\circ$	$27^\circ$	$154^\circ$	$60^\circ$	$124^\circ$
誤差	$8^\circ$	$10^\circ$	$5^\circ$	$2^\circ$	$4^\circ$	$3^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$0^\circ$	$4^\circ$
標準偏差	$10^\circ$	$2^\circ$	$2^\circ$	$2^\circ$	$1^\circ$	$1^\circ$	$1^\circ$	$1^\circ$	$2^\circ$	$2^\circ$

$\psi$  の推定手法を提案した. 実験の結果, 回転磁石マーカから 1m の距離であれば方位角は誤差が最大で  $11^\circ$ , 標準偏差が  $6^\circ$  以内, 仰角は誤差が最大で  $10^\circ$ , 標準偏差が  $10^\circ$  以内の精度で 3 次元位置推定が可能であった. 今後の課題として,  $\theta'_1$  と  $\theta'_2, \psi'_1$  と  $\psi'_2$  の区別, スマートフォンの回転磁石マーカに対する距離, 姿勢を推定する手法の検討が挙げられる.

#### 参考文献

- [1] P.Eugene, I.Sasada, L.Eduard, A New Method for Magnetic Position and Orientation Tracking, IEEE Transactions on Magnetics, Vol.37, Issue.41, pp.1938-1940, 2001.
- [2] H.Chao, S.Shuang, W.Xiaoqing, M.Max Q H, L.Baopu, A Novel Positioning and Orientation System based on Three-axis Magnetic Coils, IEEE Transactions on Magnetics, Vol.37, Issue.7, pp.2211-2219, 2012.
- [3] 武島知勲, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩. 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. 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, 2017. (To appear)

\*RaspberryPi: <https://www.raspberrypi.org/>