

スマートフォンの周囲を入力面とする磁気に基づく数字入力手法

阿部 哲也[†]志築 文太郎[‡]田中 二郎[‡][†] 筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類[‡] 筑波大学 システム情報系

1 はじめに

スマートフォンへの文字入力手法には様々なものがある．たとえば，スマートフォンの画面に触れて入力を行う手法として QWERTY キーボード，フリック入力などが存在する．また，追加のデバイスを用いる手法として，Bluetooth QWERTY キーボード，レーザープロジェクションキーボードなどが存在する．しかし，前者には Fat Finger Problem[1] という問題が，後者には追加のデバイスが大きい場合持ち運びに不便であるという問題がある．

そこで，本研究においては，これらの問題を解決することを目的として，磁石を取り付けたペン型デバイスを用いた文字入力手法を提案する．これによりユーザは，スマートフォンの小画面に制約されることなく，スマートフォンの周囲という広い範囲において文字入力を行うことができる．また，磁石を取り付けたペン型デバイスは，小さく作ることが出来るため，持ち運びやすい．さらに本手法は，スマートフォンに内蔵されたセンサのみを使用するため，スマートフォンに対して追加のセンサを取り付ける必要がないという特長がある．

今回我々は研究の第一段階として，数字を入力の対象としたシステムを構築した．本稿では，その結果を報告する．

2 関連研究

ペン型デバイスを用いた文字入力手法に，Nabeshima らの MEMO-PEN[2] がある．MEMO-PEN は，先端に CCD カメラを取り付けたボールペンであり，ボールペンの筆跡を計算機に取り込むことにより，紙上に書かれた任意の筆跡を計算機上において再現する．本手法は，数字の認識を行う点およびスマートフォンと磁石のみを用いる点において MEMO-PEN とは異なる．

Han ら [3] は，磁石および 2 個の 2 軸磁気センサを用いる文字入力手法を示した．我々は，磁石および 1 個のみの 3 軸磁気センサを用いる数字入力手法を示す．

3 入力方法

本手法の入力方法を述べる．ユーザはまずペン型デバイスを作成する．ペン型デバイスは，N 極が机と接触するように磁石を取り付けられた棒である．本実装においては，直径 10 mm，長さ 100 mm の木製の棒の一端に，直径 10 mm，長さ 15 mm の円筒形のネオジウム磁石を 2 個直列に取り付けた．次にユーザは，スマートフォンを机の上に置き，スマートフォンの周囲の机を入力面として，ペン型デバイスを用いて数字を入力する．この時，ユーザは一筆書きにて入力すること，およびペン型デバイスを机に対して垂直に把持することに留意する．システムの操作イメージを図 1a に示す．システムは推定された磁石の位置および認識された数字をスマートフォンの画面に表示する（図 1b）．



図 1: システム図．a: 操作イメージ，b: 操作画面（b 上：認識された数字，b 下：推定位置）

4 実装

我々は，Android 端末上にて動作するシステムを実装した．今回端末として ASUS Zenfone 5（Android 4.4.2，端末サイズ 72.8 × 148.2 × 10.34 mm）を用いた．

システムの実装を述べる．システムは，磁気センサの値を定期的（本実装においては 20 ms ごと）に取得し，この値を元にペン型デバイスの位置を推定する．次に，推定した座標を元に，機械学習を用いて数字を認識する．以下に磁石の位置を推定する方法および機械学習による数字認識の方法を述べる．

4.1 磁石の位置推定

磁石の位置を推定する方法を述べる．図 2 のように，スマートフォンの磁気センサを原点とした直交座標系 x, y, z を考える． xy 平面は入力面（机の表面）に相当する． xy 平面上の点 $A(x, y, 0)$ に，長さ ℓ の磁石の N 極を z 軸負方向に向けて置く．原点において測定された x, y, z 軸方向の磁場ベクトルをそれぞれ b_x, b_y, b_z とする． $\vec{A}$ 方向に r 軸を設け， $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ とする．

A Method using a Magnet to Input Digits on the Surface around a Smartphone.

[†]Tetsuya ABE [‡]Buntarou SHIZUKI [‡]Jiro TANAKA

[†]Collage of Media, Arts, Science and Technology, School of Informatics, University of Tsukuba

[‡]Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

図2の rz 平面において，原点が磁石から受ける磁場ベクトルは，

$$\begin{pmatrix} b_r \\ b_z \end{pmatrix} = \frac{m}{4\pi\mu_0} \begin{pmatrix} r(1/R^3 - 1/r^3) \\ \ell/R^3 \end{pmatrix}$$

となる．ただし， $b_r = -\sqrt{b_x^2 + b_y^2}$ ， $R = \sqrt{x^2 + y^2 + \ell^2}$ ， m を磁石の磁気量， μ_0 を真空の透磁率とする．よって，

$$\begin{aligned} \frac{b_r}{b_z} &= \frac{r}{\ell} \left(1 - \left(1 + \left(\frac{\ell}{r} \right)^2 \right)^{3/2} \right) \\ \Rightarrow \left(\frac{\ell}{r} \right)^5 + 3 \left(\frac{\ell}{r} \right)^3 + \left(3 - \left(\frac{b_r}{b_z} \right)^2 \right) \frac{\ell}{r} + 2 \frac{b_r}{b_z} &= 0 \quad (1) \end{aligned}$$

が得られる．磁石を xy 平面に対して垂直に置くため， $b_r < b_z$ は自明である．よって， $3 - (b_r/b_z)^2 > 0$ である． $0 < \ell < r$ と仮定すると， $0 < \ell/r < 1$ の範囲において(1)式を二分法を用いて解くことにより， r を求めることができる．本実装においては，センサ値を取得する間隔が20 msであるため，この計算を20 ms未満で終了するように実装した．さらに，

$$x = r \cos \left(\arctan \left(\frac{b_y}{b_x} \right) \right), y = r \sin \left(\arctan \left(\frac{b_y}{b_x} \right) \right)$$

により， x および y を求める．

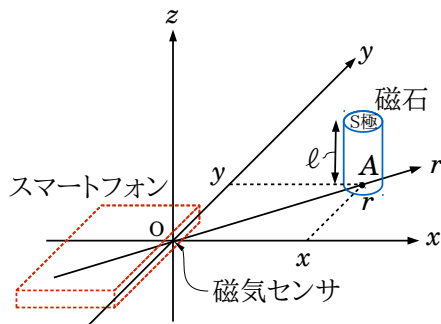


図2: 磁石の位置推定に用いる座標系．

4.2 機械学習による数字認識

数字認識に用いる特徴量を次のように得る．まずペン型デバイスが動きはじめてから停止するまでの一連の座標を，12組に等分する．次に，各組の重心座標 $C_n = (x_n, y_n)$ ($n = 0 - 11$) を求める．さらに， $\overrightarrow{C_{i-1}C_i}$ と $\overrightarrow{C_iC_{i+1}}$ ($i = 1 - 10$) のなす角の余弦 $\cos \theta_i$ の値を求める．この10個の $\cos \theta$ の値を特徴量とする．

教師データの作成手順を述べる．まず，0から9までの数字を紙に印刷し手本を作成した．次に，手本を第一著者がペン型デバイスを用いて1数字あたり3回なぞり，推定された座標を教師データとした．

今回，機械学習のアルゴリズムとしてSVMを用いた．また，実装にはLIBSVM[4]を用いた．その際，SVMの種類をC-SVC，カーネルタイプをガウスカーネル，gamma値を0.1，cost値を1とした．

5 考察

5.1 使用感

実装したシステムを第一著者が使用したところ，磁石の位置推定に関しては概ね正確であった．しかし数字認識に関しては，形状の似た数字同士(0と6, 2と5)が誤って認識される場合がみられた．

5.2 留意点

本手法を用いるにあたり，特に留意すべき点を述べる．

強力な磁石が磁気センサの近傍にある場合，センサが飽和するため，センサから正確な値を取得できない場合がみられた．このことは，本手法が磁気センサの近傍においては使用できないことを意味する(本実装においてはセンサから半径約40 mm以内)．また，磁石がセンサから遠くにある場合，地磁気による影響が相対的に大きくなる．これにより，座標の推定結果がずれる問題[3]および，座標が推定できない問題が生じる．本実装においても，センサから半径約150 mmの円外においては，座標が推定できなかった．ただし，正確な位置推定が可能な領域は数字を入力する上で十分であるため，これらは実用上問題にならないと考えられる．

机に鉄などの磁性体を使用されている場合も，センサ値から正確な座標を推定できない．なぜなら，磁性体中においては，磁力線のふるまいが空気中と異なるからである．この問題は，非磁性体の机を用いることにより，解決可能である．

ユーザはペンを入力面に対して斜めに把持することが多いが，本手法においては，ペン型デバイスを机に対して垂直に把持する必要がある．この問題は，ペン型デバイスにジンバル機構を搭載することにより解決可能である．

6 まとめと今後の課題

本稿では，スマートフォンの周囲を入力面とする磁気に基づく数字入力手法を示した．今後は，数字の認識率の向上を目指すとともに，評価実験を行う．また，入力対象を英字および日本語に拡張する．

参考文献

- [1] S. Boring, D. Ledo, X. A. Chen, N. Marquardt, A. Tang, and S. Greenberg. The Fat Thumb: Using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction. *MobileHCI '12*, pp. 39–48, 2012.
- [2] S. Nabeshima, S. Yamamoto, K. Agusa, and T. Taguchi. MEMO-PEN: A new input device. *CHI '95*, pp. 256–257, 1995.
- [3] X. Han, H. Seki, Y. Kamiya, and M. Hikizu. Wearable handwriting input device using magnetic field. *SICE '07*, pp. 365–368, 2007.
- [4] C. Chang and C. Lin. LIBSVM: A library for support vector machines. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, Vol. 2, No. 3, pp. 27:1–27:27, 2011.