

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

# 磁気に基づくスマートフォン向け入力手法

阿部 哲也

指導教員 志築 文太郎 三末 和男 田中 二郎

2015年1月

## 概要

磁気に基づくスマートフォン向け入力手法を示す。本手法では、ユーザはスマートフォンが置かれた平面上において、磁石が取り付けられたペン型デバイスを用いて入力を行う。これにより、ユーザはスマートフォンの画面上のみを用いる既存の入力手法と比較して、より広い範囲を用いて入力を行うことができる。この手法には、追加のセンサを必要とせず、スマートフォンに内蔵されたセンサのみを使用して実装が可能であるという特長がある。本稿では、リアルタイムなペン型デバイスの位置推定システムおよびシステムを応用した数字識別アプリケーションを示す。また本稿では、実装したシステムの評価実験を行う。その結果、本システムを用いた位置推定の可能な範囲および精度が明らかになった。最後に、数字認識以外の応用例および本手法に関する考察を述べる。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的とアプローチ	2
1.3	本研究の貢献	3
1.4	本論文の構成	3
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	<b>4</b>
2.1	スマートフォンの周囲においてインタラクションを行う研究	4
2.2	物体の表面を用いて入力を行う研究	4
2.3	磁石を活用する研究	4
2.4	ペン型デバイスを用いて文字入力を行う研究	5
<b>第3章</b>	<b>設計</b>	<b>6</b>
3.1	入力方法	6
3.2	システム構成	7
3.3	本手法の特徴	7
<b>第4章</b>	<b>実装</b>	<b>8</b>
4.1	開発環境	8
4.2	システムのアルゴリズム	8
4.3	ソフトウェアの実装	11
4.4	ハードウェアの実装	13
4.4.1	用いる磁石の検討	13
4.4.2	ペン型デバイスの作成	14
<b>第5章</b>	<b>実験1：システムの評価</b>	<b>16</b>
5.1	実験 1-A：位置推定可能な範囲の測定	16
5.2	実験 1-B：推定座標の精度	17
5.3	結果と考察	17
<b>第6章</b>	<b>応用：数字認識アプリケーション</b>	<b>20</b>
6.1	設計	20
6.2	実装	20

6.2.1	ストロークの切り分け . . . . .	22
6.2.2	機械学習による数字認識 . . . . .	22
6.3	画面表示 . . . . .	23
<b>第7章</b>	<b>実験2：アプリケーションの精度向上</b>	<b>25</b>
<b>第8章</b>	<b>応用：その他</b>	<b>27</b>
<b>第9章</b>	<b>議論</b>	<b>29</b>
9.1	机の材質 . . . . .	29
9.2	ペンの把持姿勢 . . . . .	29
9.3	位置推定可能範囲 . . . . .	29
9.4	本稿における実装 . . . . .	31
<b>第10章</b>	<b>まとめと今後の課題</b>	<b>32</b>
	謝辞	33
	参考文献	34

# 目次

1.1	QWERTY キーボード <sup>1</sup> . . . . .	2
1.2	フリック入力キーボード <sup>1</sup> . . . . .	2
1.3	GODAN キーボード <sup>1</sup> . . . . .	2
1.4	Bluetooth QWERTY キーボード <sup>3</sup> . . . . .	2
1.5	レーザープロジェクションキーボード <sup>2</sup> . . . . .	2
1.6	システム操作イメージ . . . . .	3
3.1	システム操作イメージ . . . . .	6
3.2	システム構成 . . . . .	7
4.1	設定した座標系 . . . . .	9
4.2	$xy$ 平面の抜粋 . . . . .	9
4.3	$rz$ 平面の抜粋 . . . . .	10
4.4	システムの画面表示 . . . . .	12
4.5	比較検討した磁石 . . . . .	13
4.6	ペン型デバイスの材料 . . . . .	15
4.7	作成したペン型デバイス . . . . .	15
5.1	実験 1-A の様子 . . . . .	16
5.2	実験 1-B にて用意した紙 . . . . .	17
5.3	実験 1-A の結果 . . . . .	18
5.4	実験 1-B の結果 . . . . .	18
6.1	スマートフォン画面 . . . . .	21
6.2	特徴量の抽出方法 . . . . .	22
6.3	作成した手本 . . . . .	23
6.4	教師データの収集に用いた紙 . . . . .	24
6.5	アプリケーション画面 . . . . .	24
8.1	英字入力 イメージ図 . . . . .	27
8.2	個人認証 イメージ図 . . . . .	28
8.3	ペイントツール イメージ図 . . . . .	28
8.4	ポインティング イメージ図 . . . . .	28

9.1 ペンの把持姿勢 . . . . .	30
-----------------------	----

# 表目次

5.1	ペン型デバイスを置いた座標の範囲および平均誤差 . . . . .	19
7.1	実験2の結果 . . . . .	26

# 第1章 はじめに

本論文では、磁気に基づくスマートフォン向け入力手法を示す。本章では、本研究の背景、目的、貢献および構成について述べる。

## 1.1 背景

スマートフォンへの入力手法には様々なものが存在する。それらの手法は広く一般に用いられているが、時には解決すべき課題がある。本節ではスマートフォン向けの入力、また特に文字入力について考える。

スマートフォンの画面に触れて入力を行う手法として、指を用いる手法およびスタイラスペンを用いる手法がある。すなわち、Webブラウザの操作、ファイラの操作またはホーム画面における操作をする際のポインティングである。このうち指を用いる手法には、Fat Finger Problem[BLC<sup>+</sup>12]という問題がしばしば発生する。Fat Finger Problemとは、画面上においてポイントしようとしている目標のサイズよりも指のサイズのほうが大きいため、目標をポイントしにくいという問題である。また、指を用いる手法およびスタイラスペンを用いる手法の両方においても、入力面がスマートフォンの画面上に限定されるため、入力面が狭い領域に限定される。

画面領域にとらわれず入力を行うことができる手法として、ぺんてる社のAirpen[ぺん]などが存在する。しかし、Airpenはペン以外に筆跡を読み取るための特殊なハードウェアを必要とする。また、ペンおよび筆跡読み取り装置には充電電池が搭載されているため、充電の必要がある。

スマートフォンの画面に触れて文字入力を行う手法としてQWERTYキーボード(図1.1)、フリック入力キーボード(図1.2)、GODANキーボード<sup>1</sup>(図1.3)などが存在する。しかし、これらの手法を用いる場合にも、Fat Finger Problemがしばしば発生する。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(図1.4)、レーザープロジェクションキーボード(図1.5)などが存在する。しかし、これらの手法には、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。例えば、図1.4のキーボード<sup>3</sup>は縦60mm×横115mm、図1.5のレーザープロジェクションキーボード<sup>2</sup>は幅38mm×奥行き29mm×高さ75mmと、スマートフォンとともに持ち歩くには大きい。

<sup>1</sup>Google 日本語入力

<sup>2</sup>TK-PBL042, ELECOM. 図は <http://www2.elecom.co.jp/peripheral/full-keyboard/tk-pb1042/> より引用。

<sup>3</sup>mini bluetooth keyboard, CYBER PARK Limited.



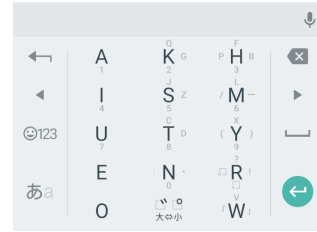
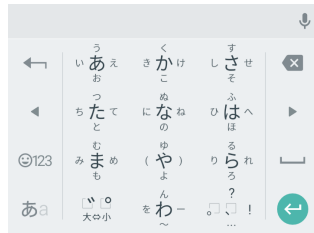
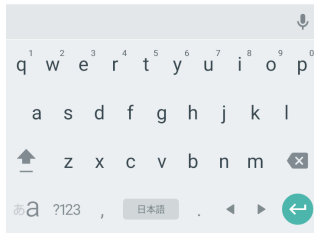


図 1.1: QWERTY キーボード<sup>1</sup> 図 1.2: フリック入力キーボード<sup>1</sup> 図 1.3: GODAN キーボード<sup>1</sup>



図 1.4: Bluetooth QWERTY キーボード<sup>3</sup>

図 1.5: レーザープロジェクションキーボード<sup>2</sup>

## 1.2 本研究の目的とアプローチ

本研究では，1.1 節にて述べた問題を解決することを目的とする．すなわち，狭い画面上にとらわれずに，持ち運びに便利かつ充電の必要がないスマートフォン向けの入力手法を示すことを目的とする．そのため本研究では，スマートフォンの周囲における広い領域において，磁石を取り付けたペン型デバイスを用いることによりスマートフォンに対して入力を行う．スマートフォンの周囲の領域を入力面とすることにより，画面上の狭い領域にとらわれずに入力を行うことができる．また，一般的なペンと同程度の大きさのペン型デバイスを用いることにより，持ち運びに便利かつ充電の必要がないデバイスを実現する．さらに，現在発売されているスマートフォンには磁気センサが内蔵されているため，追加のセンサを必要としない．本研究で実装するシステムの操作イメージを図 1.6 に示す．

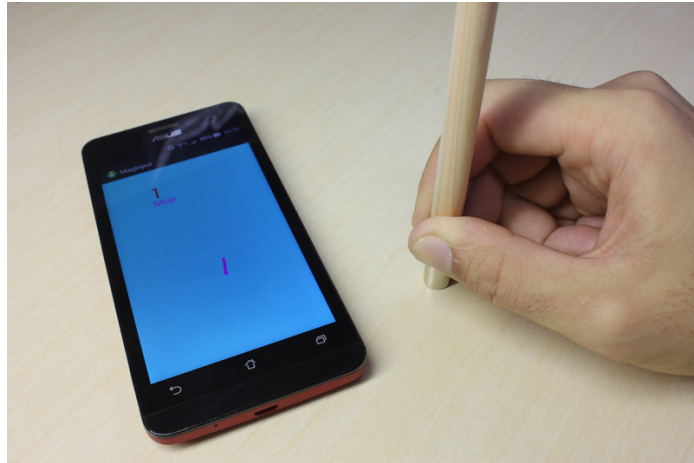


図 1.6: システム操作イメージ

### 1.3 本研究の貢献

本研究の貢献を以下に示す．

- スマートフォンの入力領域を画面外に拡張した．
- スマートフォンに内蔵された磁気センサのみを用いて磁石の位置をリアルタイムに推定するアルゴリズムを考案，実装し，その精度を明らかにした．
- 広い入力面を持ち，持ち運びやすく電源が不要なスマートフォン向け入力手法を示した．
- ペンストロークから数字を認識するアプリケーションを実装した．

### 1.4 本論文の構成

1 章では，本研究の背景，目的および貢献を示した．2 章では，本研究の関連研究を示す．3 章では，本システムの設計を示す．4 章では，本システムの実装方法を示す．5 章では，4 章にて実装したシステムを用いて，位置推定の精度を評価した．6 章では，本システムの応用例として実装した数字認識アプリケーションを示す．7 章では，6 章にて実装したアプリケーションの認識精度に関する実験を示す．8 章では，本手法を用いる数字入力以外の応用例を示す．9 章では，本手法の考察を述べる．10 章では，まとめおよび今後の課題を述べる．

## 第2章 関連研究

本研究では，ユーザはスマートフォンの周囲における机の表面にて磁石を用いて入力を行うシステムを提案する．また，本システムの応用として数字入力アプリケーションを述べる．そのため本章では本研究の関連研究として，スマートフォンの周囲においてインタラクションを行う研究，物体の表面にて入力を行う研究，磁石を活用する研究およびペン型デバイスを用いて文字入力を行う研究を述べる．また，本研究の立ち位置を述べる．

### 2.1 スマートフォンの周囲においてインタラクションを行う研究

スマートフォンの周囲を用いる研究のうち，磁石を用いないものを述べる．Hinckleyらは，モバイルインタラクションのためのセンシング技術 [HPSH00] ならびにタブレットおよびスタイラスを用いたインタラクションのためのセンシング技術 [HPB<sup>+</sup>14] の研究を行った．Songら [SSP<sup>+</sup>14] は，モバイルデバイスに内蔵されたカメラを用いて手によるジェスチャを撮影することにより，デバイスの周囲においてデバイスを操作する研究を行った．本研究では，ユーザはスマートフォンの周囲において磁石を用いた入力を行う．

### 2.2 物体の表面を用いて入力を行う研究

ユーザが通常入力には使用しない物体の表面を用いて入力を行う研究には，次のものが挙げられる．Scratch Input [HH08] は，壁などの平面にマイクを取り付け，マイク入力から平面に対する操作を識別する研究である．Anywhere Surface Touch [NWI14] は，カメラおよびマイクを用いて任意の面上におけるユーザの指のジェスチャを認識する研究である．本研究では，ユーザは磁石およびスマートフォンに内蔵された磁気センサを用いてスマートフォン向けの入力を行う．

### 2.3 磁石を活用する研究

磁石を用いた入力，ジェスチャ認識またはタンジブルインタフェースは数多く研究されてきた．Han [HSYH07] らは，2個の2軸磁気センサおよび磁石を用いて計算機に対する文字入力を行った．MagiTact [KYR10] は，スマートフォンの周囲において磁石を用いることにより3次元のインタラクションを行う研究である．Abracadabra [HH09] は，小型デバイスの周囲において，磁石を取り付けた指を用いてインタラクションを行う研究である．MagGets [HAW13] は，ス

スマートフォンの周囲に磁石を内蔵したタンジブルなコントローラを配置し、デバイスの周囲においてインタラクションを行う研究である。MagPen[HBAW13]は、磁石を内蔵したペンを用いてスマートフォンを操作する研究である。Liangらは、磁石およびスマートフォンを用いてタンジブルなコントローラを提案した [LSW<sup>+</sup>12, LCS<sup>+</sup>12, LCT<sup>+</sup>14, LKC<sup>+</sup>14]。uTrack[CLWP13]は、手に1個の磁石および2個の磁気センサを取り付け、ウェアラブルデバイスを作成した研究である。MagNail[KS14, 門村 14]は、爪に装着した磁石を用いてスマートフォンに対して入力を行う研究である。Sonら [Pham13]は、磁気センサアレイと磁石を用いて計算機に対する3次元入力を行った。FingerPad[CLT<sup>+</sup>13]は、人差し指爪に磁気センサグリッドを、親指に磁石を取り付け、人差し指と親指を用いたジェスチャ入力を行う研究である。本研究では、ユーザはスマートフォンに内蔵された3軸磁気センサ1個と磁石1個を用いてスマートフォンに対する入力を行う。

## 2.4 ペン型デバイスを用いて文字入力を行う研究

ペン型デバイスを用いて計算機上にて筆跡を再現する研究および商品は多く存在する。MEMO-PEN[NYAT95]は、ボールペンの先端にCCDカメラを取り付け、カメラの映像を計算機に入力し、ペンのストロークを計算機上にて再現する研究である。Airpen Pocket[ペン], MVPen[株式] および DigiMemo A402[Cor]は、ペンから信号を送出しレシーバーで信号を取得しレシーバーを接続した計算機上にてペンの筆跡を再現する商品である。アノトペン [Gro, 今井 07]は、特殊な紙およびペンを用いて筆跡をペンに保存する商品である。本研究では、ペン型デバイスに対して電源を供給する必要はなく、またスマートフォンに内蔵されたセンサの他に追加のセンサを必要としない。

## 第3章 設計

本章では、本システムの設計を述べる。本システムは、ペン型デバイスおよびスマートフォン上のソフトウェアにより構成される。システムは、ペン型デバイスの位置を推定する。

### 3.1 入力方法

本システムの入力方法を述べる。ユーザはまずペン型デバイスを用意する。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。次にユーザは、図3.1に示すように、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入力を行う。この時、ユーザは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。システムは推定されたペン型デバイスの位置をスマートフォンの画面に表示する。

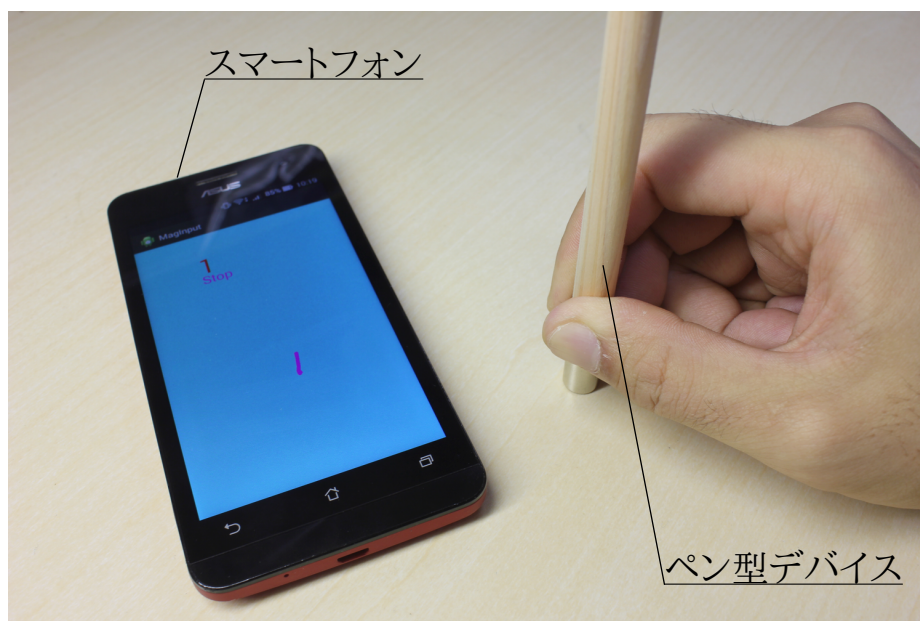


図 3.1: システム操作イメージ

## 3.2 システム構成

本システムの構成を述べる。本システムは図 3.2 のように、ペン型デバイスおよびスマートフォンにより構成される。スマートフォンには、1 個の磁気センサが内蔵されている。システムは磁気センサの値に基づいてペン型デバイスの位置を推定する。

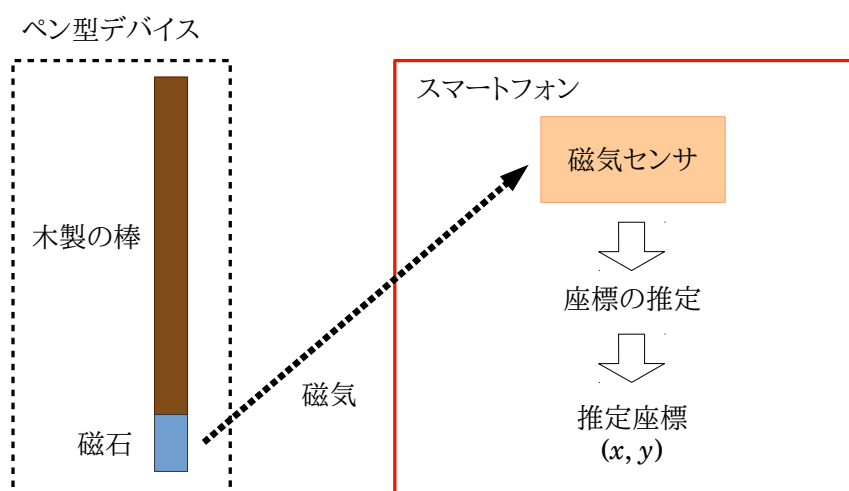


図 3.2: システム構成

## 3.3 本手法の特徴

本手法の特徴として、次のものが挙げられる。

- スマートフォンの画面領域にとらわれず、広い範囲において入力を行うことができる。
- ペン型デバイスは、持ち運びに便利かつ電源が不要である。
- 追加のセンサを必要とせず、スマートフォンに内蔵された磁気センサのみを用いる。
- ペン型デバイスの位置をリアルタイムに推定することができる。

## 第4章 実装

本システムの実装を述べる。本システムは、ペン型デバイスおよびスマートフォン上にて動作するソフトウェアより構成される。システムの実装方法を以下に述べる。

### 4.1 開発環境

実装に用いた Android 端末は、ASUS Zenfone 5 (OS: Android 4.4.2, 端末サイズ: 72.8 mm × 148.2 mm × 10.34 mm) である。内蔵されている磁気センサは、AK09911 3 軸磁気センサ (旭化成エレクトロニクス株式会社) 1 個である。磁気センサのデータ分解能は 14 ビット、感度は  $0.6 \mu\text{T}/\text{LSB}$ 、測定レンジは  $\pm 4900 \mu\text{T}$  である。開発に用いた端末は、Thinkpad X1 Carbon (OS: Ubuntu 14.04 LTS, CPU: Intel Core i7-3667U @ 2.00GHz × 4, メモリ: 8GB) である。開発は、Eclipse 上にて Java 言語を用いて行った。

### 4.2 システムのアルゴリズム

本節では、本システムのアルゴリズムを述べる。

システムは、磁気センサの値を定期的を取得する。本実装においては、取得間隔を 20 ms とした。磁気センサの値に基づいてペン型デバイスの座標を 20 ms ごとに推定する。

ペン型デバイスの座標推定方法を述べる。システム起動後、はじめて取得した磁気センサの値を地磁気成分として保存する。以降、磁気センサの値から地磁気成分を引いた値を磁場ベクトルとして計算する。図 4.1 のように、スマートフォンのセンサを原点とした直交座標系  $x, y, z$  を考える。 $xy$  平面は入力面すなわち機の表面に相当する。 $xy$  平面上の点  $A(x, y, 0)$  に、長さ  $\ell$  の磁石の N 極を  $z$  軸負方向に向けて置く。これは 4.4.2 節にて作成するペン型デバイスに相当する。本実装においては、 $\ell = 0.03 \text{ m}$  である。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  $r$  軸を設定し、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  とする。図 4.1 のうち、 $xy$  平面のみを抜き出したものを図 4.2 に、 $rz$  平面のみを抜き出したものを図 4.3 に示す。

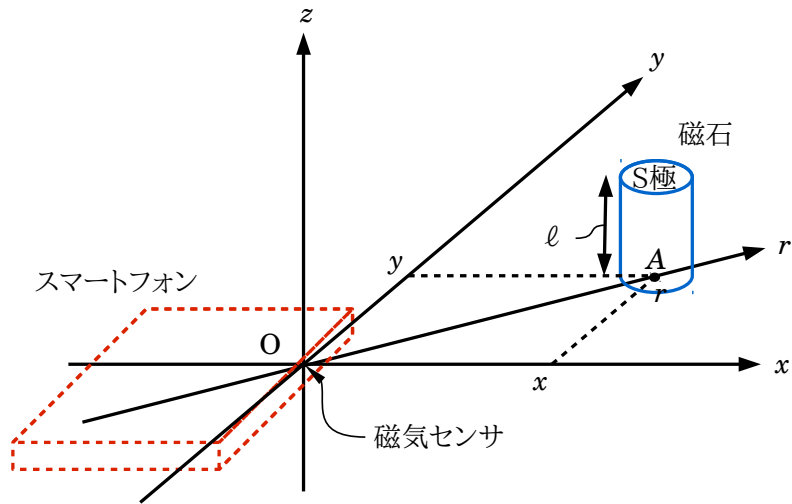


図 4.1: 設定した座標系

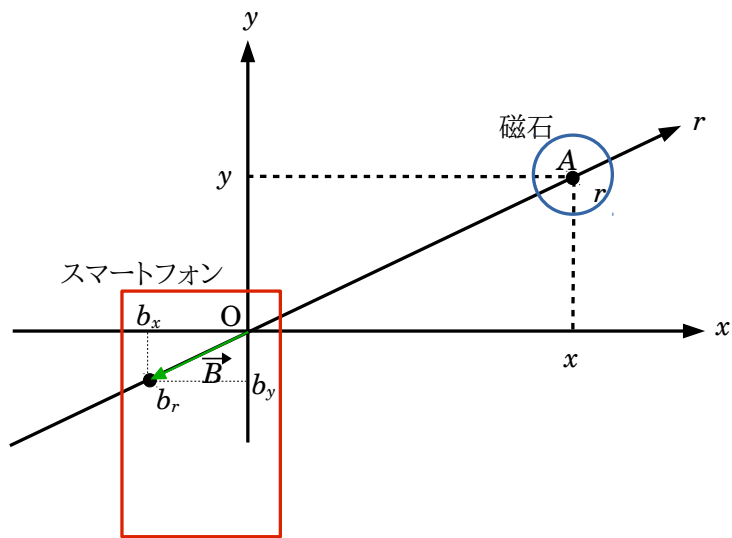


図 4.2:  $xy$  平面の抜粋



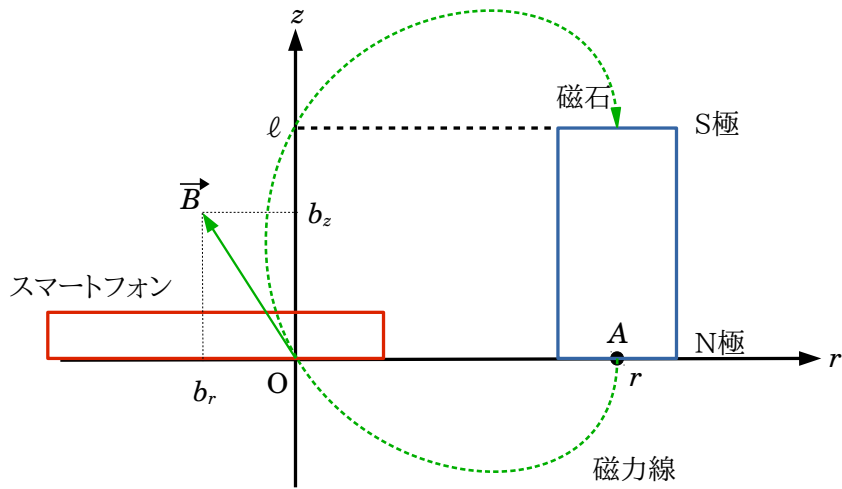


図 4.3:  $rz$  平面の抜粋

磁気量  $m$  の磁極から距離  $r_0$  だけ離れた位置における磁場の大きさは、真空の透磁率を  $\mu_0$  として、

$$\frac{m}{4\pi\mu_0 r_0^2}$$

と表される．したがって、原点が磁石の N 極および S 極から受ける磁場ベクトルはそれぞれ

$$\frac{-m}{4\pi\mu_0 r^2} \frac{1}{r} \begin{pmatrix} r \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \frac{m}{4\pi\mu_0 R^2} \frac{1}{R} \begin{pmatrix} r \\ \ell \end{pmatrix}$$

である．ただし、 $R = \sqrt{x^2 + y^2 + \ell^2} = \sqrt{r^2 + \ell^2}$  とする．図 4.3 において、原点が磁石から受ける磁場ベクトルは、

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} b_r \\ b_z \end{pmatrix} &= \frac{-m}{4\pi\mu_0 r^2} \frac{1}{r} \begin{pmatrix} r \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{m}{4\pi\mu_0 R^2} \frac{1}{R} \begin{pmatrix} r \\ \ell \end{pmatrix} \\ &= \frac{m}{4\pi\mu_0} \begin{pmatrix} r \left( \frac{1}{R^3} - \frac{1}{r^3} \right) \\ \frac{\ell}{R^3} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

となる．ただし， $b_r = -\sqrt{b_x^2 + b_y^2}$  とする．よって

$$\begin{aligned}
\frac{b_r}{b_z} &= \frac{r \left( \frac{1}{R^3} - \frac{1}{r^3} \right)}{\frac{\ell}{R^3}} \\
&= \frac{r^3 - R^3}{\ell r^2} \\
&= \frac{r}{\ell} \left( 1 - \frac{\sqrt{r^2 + \ell^2}^3}{r^3} \right) \\
&= \frac{r}{\ell} \left( 1 - \left( 1 + \left( \frac{\ell}{r} \right)^2 \right)^{3/2} \right) \\
\Rightarrow \left( 1 + \left( \frac{\ell}{r} \right)^2 \right)^3 &= \left( 1 - \frac{b_r \ell}{b_z r} \right)^2 \\
\Rightarrow 1 + 3 \left( \frac{\ell}{r} \right)^2 + 3 \left( \frac{\ell}{r} \right)^4 + \left( \frac{\ell}{r} \right)^6 &= 1 - 2 \left( \frac{b_r \ell}{b_z r} \right) + \left( \frac{b_r}{b_z} \right)^2 \left( \frac{\ell}{r} \right)^2 \\
\Rightarrow \left( \frac{\ell}{r} \right)^5 + 3 \left( \frac{\ell}{r} \right)^3 + \left( 3 - \left( \frac{b_r}{b_z} \right)^2 \right) \frac{\ell}{r} + 2 \frac{b_r}{b_z} &= 0 \tag{4.1}
\end{aligned}$$

が得られる．

図 4.3 より，磁石を  $xy$  平面に対して垂直に設置するため， $|b_r| < |b_z|$  は自明である．よって， $3 - (b_r/b_z)^2 > 0$  である．したがって， $0 < \ell/r < 1$  の範囲で (4.1) 式を数値計算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，数値計算法として二分法を用いた．また，センサの取得間隔が 20 ms であるため，計算は 20 ms 未満で終了するように実装した．すなわち，

$$-0.0001 < (4.1 \text{ 式の左辺}) < 0.0001 \tag{4.2}$$

となるように実装した．ただし，(4.2) 式を  $-0.00001 < (4.1 \text{ 式の左辺}) < 0.00001$  とすると，再起関数がスタックオーバーフローするので，精度はほぼ限界値だと思われる．

### 4.3 ソフトウェアの実装

本節では，ソフトウェアの実装のうち，4.2 節にて述べていない部分を述べる．ソフトウェアは起動直後，白い画面を表示する（図 4.4a）．磁石が検出可能領域に入ると，画面が水色になるとともに，推定された座標を桃色にて画面にプロットする（図 4.4b）．

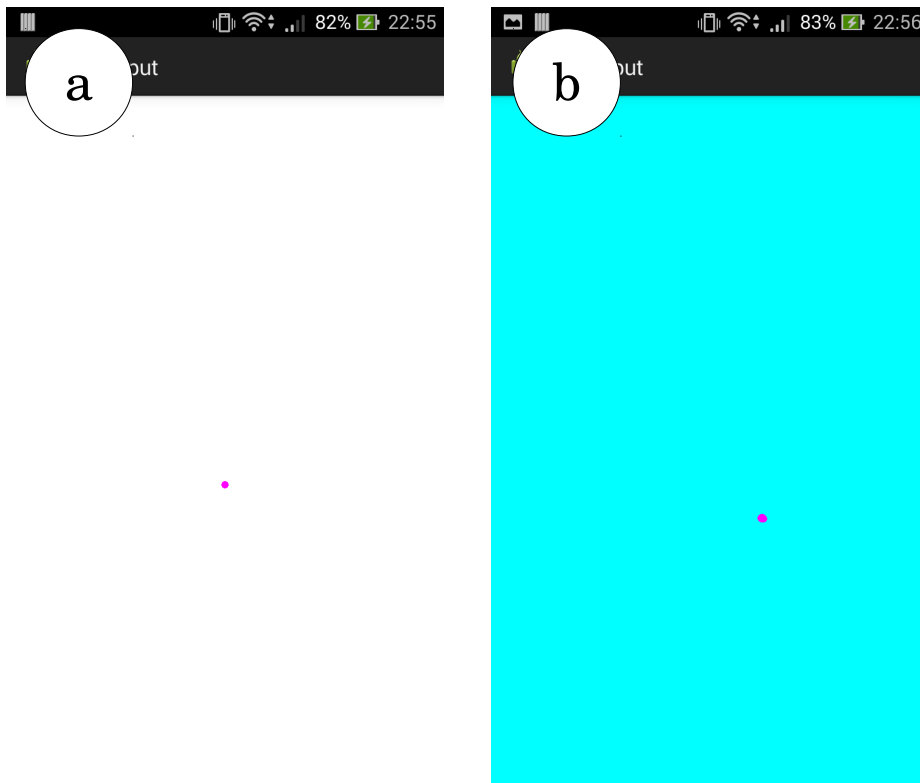


図 4.4: システムの画面表示

## 4.4 ハードウェアの実装

本システムにて用いるハードウェアの実装について述べる。

### 4.4.1 用いる磁石の検討

ネオジム磁石は磁力が強いので、用いる磁石の種類をネオジム磁石とした。ここで、磁石が大きくなると磁力が大きくなるため、位置を推定できる範囲は広くなる一方、磁気センサが飽和しやすくなる。そこで、4.3 節にて実装したソフトウェアに対して、次の4種類のネオジム磁石を用いて入力を行い、どの磁石を実装にて用いるか検討した。

- 直径 10 mm，高さ 3 mm のネオジム磁石を 3 個直列につないだもの（図 4.5a）
- 直径 5 mm，高さ 10 mm のネオジム磁石 1 個（図 4.5b）
- 直径 10 mm，高さ 15 mm のネオジム磁石 1 個（図 4.5c）
- 直径 10 mm，高さ 15 mm のネオジム磁石を 2 個直列につないだもの（図 4.5d）

結果、直径 10 mm，高さ 15 mm の磁石を 2 個直列につないだもの（図 4.5d）を用いることにした。ただし、磁石を直列につなぐことで 2 個の磁石を 1 個と考えることができる。

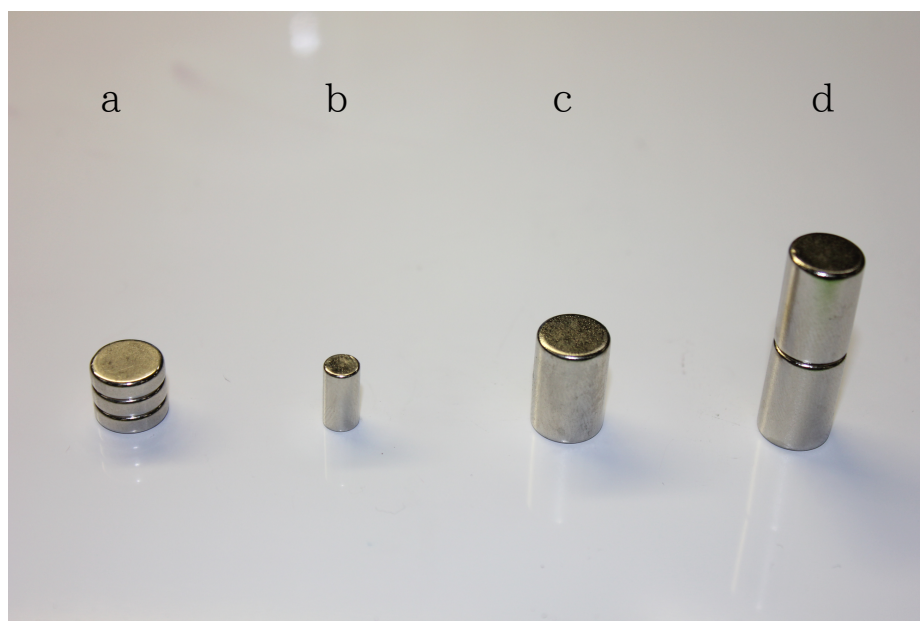


図 4.5: 比較検討した磁石

#### 4.4.2 ペン型デバイスの作成

ペン型デバイスの作成方法を述べる．用意した材料は次のものである．

- 直径 10 mm，長さ 15 mm の円筒形のネオジム磁石 2 個
- 直径 10 mm，長さ 100 mm の円筒形の木製の棒 1 個
- 接着剤（G17 速乾，コニシ株式会社）

ネオジム磁石を直列に接続し S 極を棒と接するように接着剤を用いて接着した．材料を図 4.6 に，作成したペン型デバイスを図 4.7 に示す．



図 4.6: ペン型デバイスの材料



図 4.7: 作成したペン型デバイス

## 第5章 実験1：システムの評価

4章において実装したシステムの有効性および制約事項の調査のため、著者による実験を行った。具体的には、机上にてペン型デバイスの位置を推定可能な範囲（実験 1-A）および推定されたペン型デバイスの位置の精度（実験 1-B）を調査した。実験に用いた機材は 4.1 節にて述べたものと同様である。実験には、プラスチック製の机を用いた。

### 5.1 実験 1-A：位置推定可能な範囲の測定

スマートフォンの周囲の領域のうち、磁石の位置を推定することができる範囲を調査した。実験の様子を図 5.1 に示す。著者はまず、机上に白色の A3 用紙をセロハンテープを用いて固定し、スマートフォンを紙面の中央付近に設置した。次に、ボールペンを用いてスマートフォンの周囲を 1 周なぞり、スマートフォンが置かれている位置を記録した。次に、ペン型デバイスを用紙の全領域において動かし、ペン型デバイスの座標が推定されうる領域を調査し、紙に記録した。すなわち、ペン型デバイスを紙面上にてくまなく動かし、スマートフォンの画面が白の場合座標が推定されうる領域外、水色の場合領域内と判定し、2 領域の境界をボールペンを用いて紙に記録した。



図 5.1: 実験 1-A の様子

## 5.2 実験 1-B：推定座標の精度

実験 1-B においては，[HSYH07] を参考とし，実験 1-A の結果より得られた領域内において，実座標と推定された座標のずれを計測した．著者はまず，A3 用紙を 2 cm の方眼にて区切り実験 1-A にて得られた領域を重ねた．作成した紙を図 5.2 に示す．領域内にある方眼の各交点に順にペン型デバイスを設置し，推定された座標を記録した．

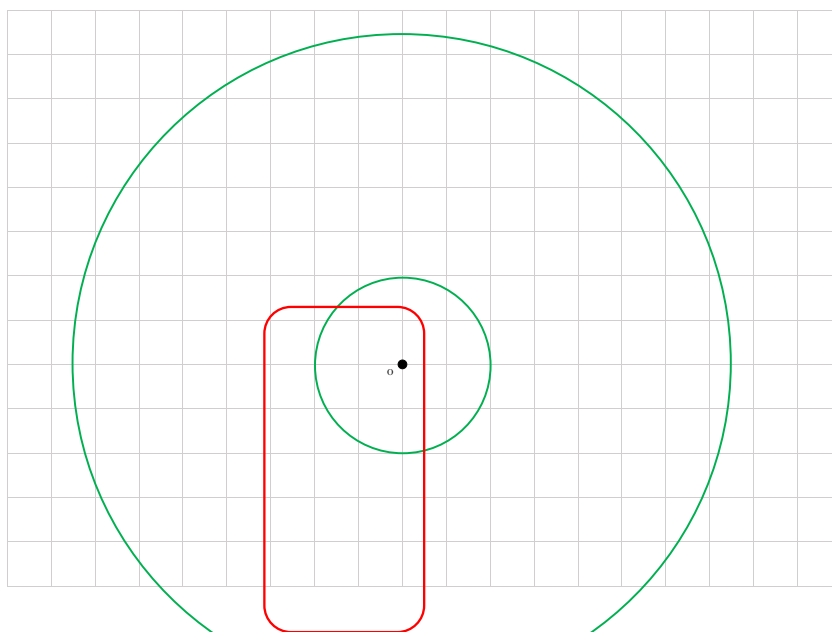


図 5.2: 実験 1-B にて用意した紙

## 5.3 結果と考察

実験 1 の結果および考察を述べる．

実験 1-A の結果を図 5.3 に示す．ただし，点 O はスマートフォンの磁気センサの位置を表し，斜線は入力可能な範囲を表す．実験 1-A の結果から，入力可能な範囲は磁気センサを中心とする半径約 15 cm の円の内部かつ半径 4 cm の円の外部の領域であることがわかった．その面積は約 580 cm<sup>2</sup> であった．したがって，本実装においてはペン型デバイスを用いて入力可能な領域は十分に広いということがわかった．

実験 1-B で得られた結果を図 5.4 に示す．ただし，格子の交点はペン型デバイスを設置した位置を，青い点は推定された座標を表す．ペン型デバイスをおいた座標の範囲とその範囲内における推定された座標の平均誤差を表 5.1 に示す．実験 1-B の結果から，実座標と推定された座標とのずれは，ペン型デバイスが点 O から離れるほど大きいことがわかった．これは，[HSYH07] の結果と合致する．



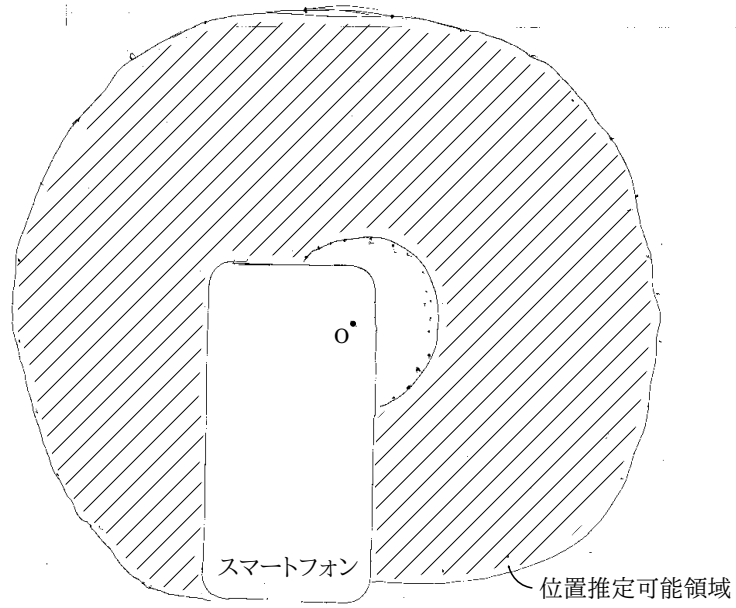


図 5.3: 実験 1-A の結果

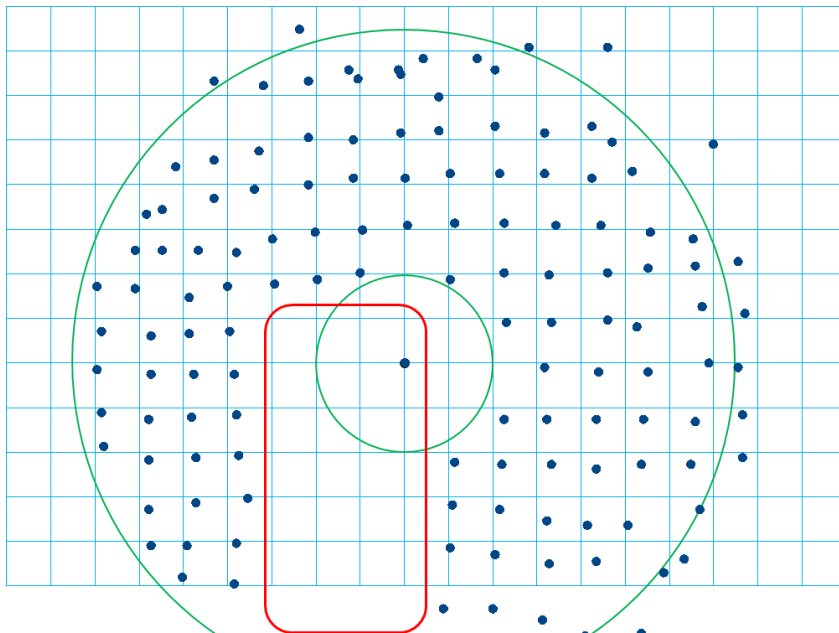


図 5.4: 実験 1-B の結果

半径 ( mm )	平均誤差 ( mm )
40-70	3.67
70-90	5.73
90-110	7.49
110-130	9.35
130-150	11.20

表 5.1: ペン型デバイスを置いた座標の範囲および平均誤差

## 第6章 応用：数字認識アプリケーション

本システムを用いると，ペン型デバイスの位置推定が可能である．そこで，ペン型デバイスを用いた数字認識アプリケーションを実装した．

### 6.1 設計

本アプリケーションの設計を述べる．ユーザは，本システムを用いて数字を入力する．アプリケーションは認識された数字および推定された磁石の位置をスマートフォンの画面に表示する（図 6.1）．入力時においては，ユーザは一筆書きにて入力する必要がある．なぜなら，本アプリケーションは磁石が入力面に接触しているかどうか知ることができないからである．さらに，ユーザはなるべく等速でペン型デバイスを動かす必要がある．これは，ペン型デバイスを動かす速さが変化すると，6.2.2 節にて述べる正しいストローク分割ができないからである．

### 6.2 実装

本システムにより推定された点群をもとに数字を認識するアプリケーションを次のアルゴリズムにて実装した．

1. 推定された座標データ群をストロークに切り分ける．
2. 切り分けられたストロークに基づき機械学習を用いて数字を認識する．
3. ストロークおよび認識結果をスマートフォンの画面に表示する．

以下に，各過程の実装を述べる．なお，本アプリケーションの実装においては 4.1 節と同じ開発環境を用いた．

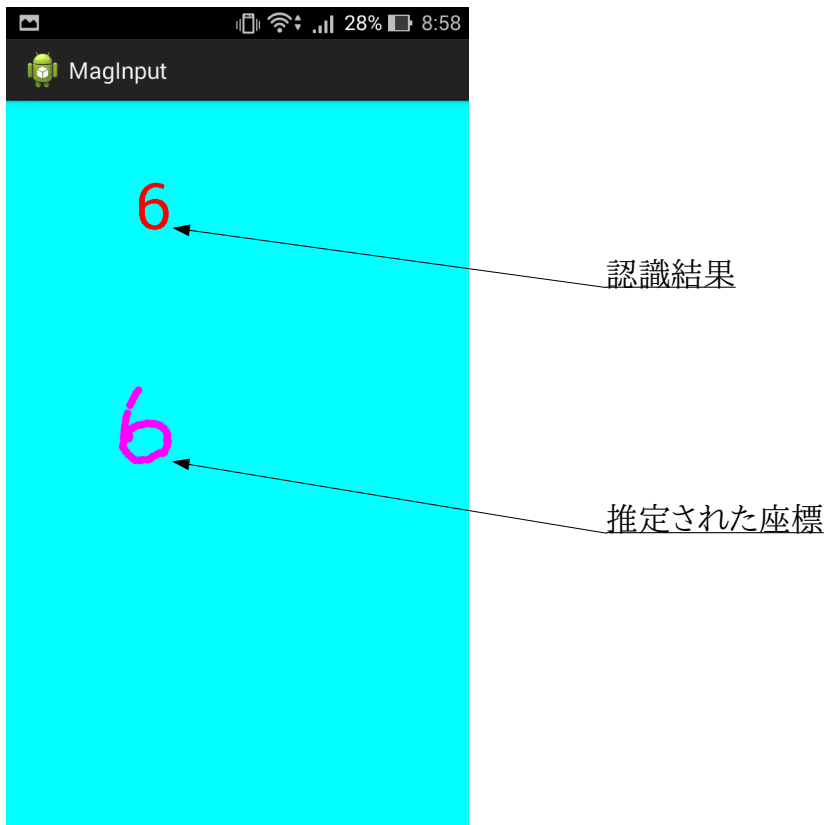


図 6.1: スマートフォン画面

### 6.2.1 ストロークの切り分け

本アプリケーションにおいては，保存された座標データをストロークに分割する必要がある．本システムにおいては，ストロークの切り分けは，磁石の推定位置が動いているかによって判断することとした．具体的には，最新の推定座標 20 個のうち，古い 10 個の重心座標と新しい 10 個の重心座標の距離が閾値を上回っていればペン型デバイスは動いているものと判断した．

### 6.2.2 機械学習による数字認識

数字の認識方法を図 6.2 を用いて説明する．

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（青色点）を，12 組に等分（桃色丸囲み）する．次に，各組の重心座標  $C_n = (x_n, y_n)$  ( $n = 0-11$ )（赤色点）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．

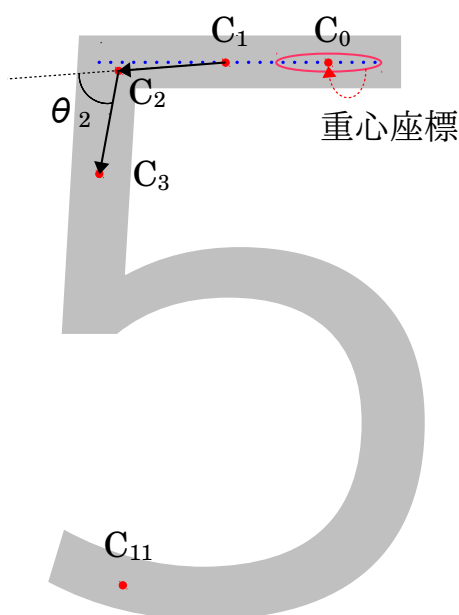


図 6.2: 特徴量の抽出方法

機械学習に用いる教師データは次のように作成した．まず，5.3 節（実験 1）にて得られた領域内に条件統制のため入力用の枠を書いた紙を用意し（図 6.4），机上にセロハンテープを用いて固定した．枠の大きさは縦 110 mm× 横 50 mm であった．ただし，入力用の枠は，実

験 1-B において実座標と推定された座標のずれが少なく，ペン型デバイスを用いて入力するにあたり無理のない位置に設けた．次に，0 から 9 までの数字を紙に印刷し手本を作成し（図 6.3）枠に合うよう切断し，枠内に固定した．さらに，手本をペン型デバイスを用いて 1 数字あたり 20 回なぞり，推定された座標から特徴量を抽出し教師データとした．学習に手本を用いた理由は，条件統制および正確な学習データを作成するためである．

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[CL11] を用いた．その際，SVM の種類を C-SVC，カーネルタイプを線形カーネル，gamma 値を 0.1，cost 値を 1 とした．

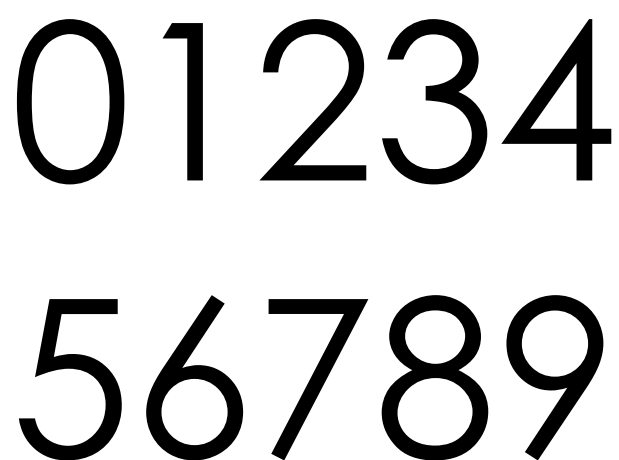


図 6.3: 作成した手本

### 6.3 画面表示

本手法のスマートフォンに表示されるインターフェイスの実装を述べる．アプリケーションを起動すると，図 6.5a の画面が表示される．ペン型デバイスを位置推定可能な領域に移動させると，スマートフォンの画面が青色に変化し，推定された位置が桃色にて表示される（図 6.5b）．ペン型デバイスの動きを停止させると，数字の認識結果が更新される（図 6.5c）．

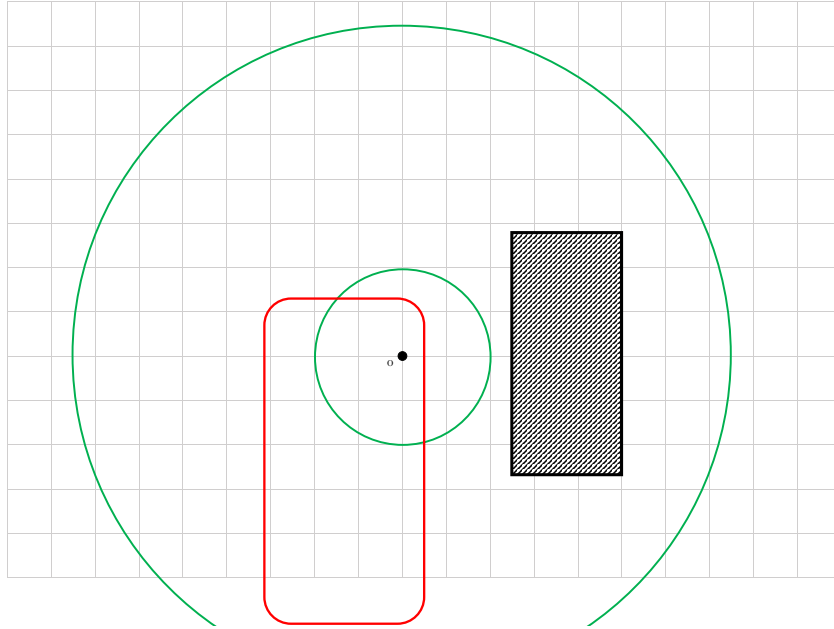


図 6.4: 教師データの収集に用いた紙

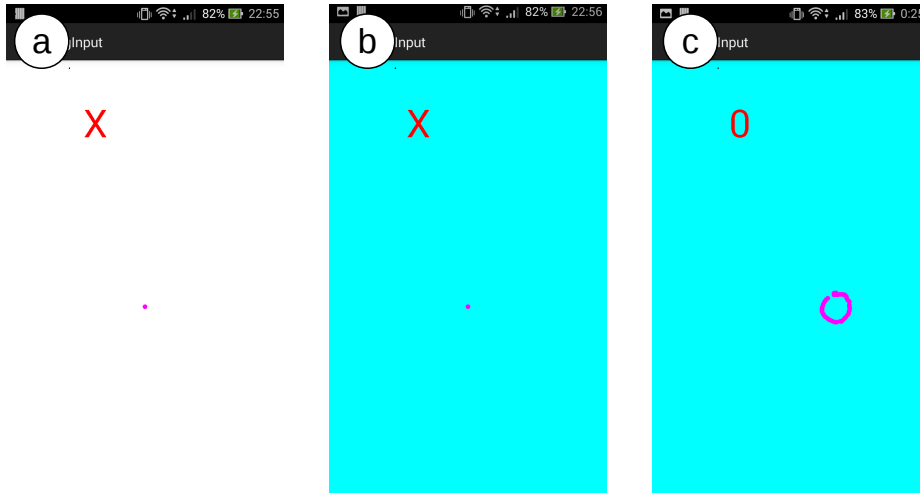


図 6.5: アプリケーション画面

## 第7章 実験2：アプリケーションの精度向上

実験2においては、6章において作成したアプリケーションの数字認識精度があまり良くなかったため、認識精度を向上させるための実験を行った。原因として、教師データの数が不適切であること、SVMの処理が間に合っていないことが挙げられた。そこで、実験2においてはSVMの交差検証を行った。実験に用いた機材は4.1節にて述べたものと同様である。実験には、プラスチック製の机を用いた。

本節では、交差検証の方法および結果を示す。SVMの種類をC-SVC、カーネルタイプを線形カーネル、 $\gamma$  値を0.1、 $\text{cost}$  値を1とした。交差検証は、次の順序にて行った。

1. 6.2.2節に示した方法を用いて0-9までの数字を20組入力し、順にA-Tとした。
2. 作成した入力データを表7.1のように組み分けし、各データ群において教師データを作成した。
3. あるデータ群に対して組となるデータ群の教師データを用いてSVMによる検定を行い、認識率を調査した。

交差検証の結果を表7.1に示す。ただし、割り切れない数字に関しては少数第3位を四捨五入した。この結果から、数字認識アプリケーションの教師データには10組の教師データを用いることとした。



$\alpha$ 群 (データの個数)	$\beta$ 群 (データの個数)	$\beta$ 群の教師データを用いた $\alpha$ 群の認識率	$\alpha$ 群の教師データを用いた $\beta$ 群の認識率
A(1)	B-T(19)	90	57.37
AB(2)	C-T(18)	90	69.44
A-C(3)	D-T(17)	80	70.06
A-D(4)	E-T(16)	80	83.75
A-E(5)	F-T(15)	82	82
A-F(6)	G-T(14)	80	82.14
A-G(7)	H-T(13)	82.86	83.08
A-H(8)	I-T(12)	83.75	87.5
A-I(9)	J-T(11)	85.56	90.91
A-J(10)	K-T(10)	87	93

表 7.1: 実験 2 の結果

## 第8章 応用：その他

本章では，6章にて実装した数字入力以外に考えられる応用例を示す．本手法を用いると，ペン型デバイスの位置を推定できるので，数字入力以外にも様々なアプリケーションに対して有効である．例を以下に示す．

### 英字入力

数字入力アプリケーションにおいて，機械学習の入力対象文字を増やすことにより実現可能である．本アプリケーションは一筆書きにて文字を入力する必要があるため，Graffiti[FBC<sup>+</sup>02] もしくは Unistrokes[GR93] などの一筆書きにて英字入力を行う手法を用いて実現する．イメージ図を図 8.1 に示す．

### 個人認証

磁石を用いて個人認証を行う研究は多くある [山本 13, SSMKS12, KYJ<sup>+</sup>10, KMNR12] ．これらの研究と同様にすれば，本手法を用いた個人認証を行うことができる．イメージ図を図 8.2 に示す．

### ペイントツール

4章にて実装したアプリケーションは推定された位置に対応するスマートフォンの画面上に点を打つものであった．これを発展させ，点の色を変更したり線を描けるようにしたりすると，ペイントツールとして活用できる．イメージ図を図 8.3 に示す．

### ポインティング

本手法を用いると，磁石の推定座標が取得できるため，ペン型デバイスを用いたポインティングを行うことができる．イメージ図を図 8.4 に示す．

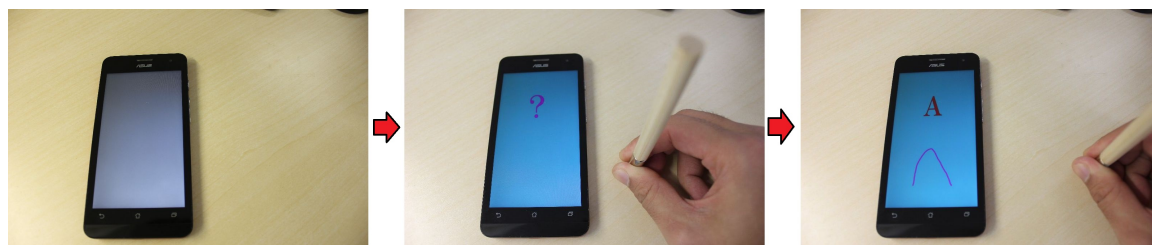


図 8.1: 英字入力 イメージ図



図 8.2: 個人認証 イメージ図

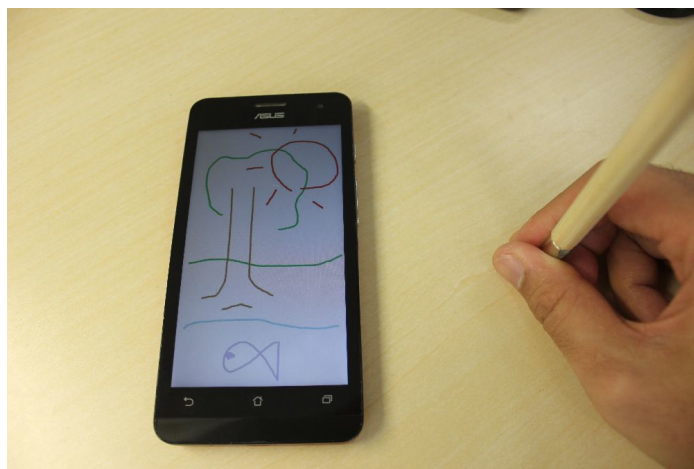


図 8.3: ペイントツール イメージ図



図 8.4: ポインティング イメージ図

## 第9章 議論

本章では、本手法に関する議論を述べる。

### 9.1 机の材質

本手法を用いる上で、机の材質に制限がある。机に鉄などの磁性体がいわれている場合、磁性体は磁力線を引き込むので、センサ値から正確な磁石の位置を推定できない。つまり、磁石および磁気センサの周囲に磁性体がある場合、磁性体がない場合に比べて磁性体中を通る磁力線の数が増えるので、磁気センサを通過する磁力線の数が増える。したがって、センサの値から正確な磁石の位置を推定できない。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。

### 9.2 ペンの把持姿勢

現在典型とされている筆記具の持ち方 [押木 03] は、入力面に対してペンを斜めに把持するものである (図 9.1a)。しかし、本手法を用いる場合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 (図 9.1b)。この問題は、ペン型デバイスの磁石と棒の間に関節機構を搭載することにより解決可能である (図 9.1c)。

### 9.3 位置推定可能範囲

5.3 節にて述べたとおり、本手法を用いてペン型デバイスの位置を推定することのできる範囲は限られている。この理由を述べる。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。したがって、センサから正確な値を取得できない。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。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および、座標が推定できない問題が生じる。ただし、正確な位置推定が可能な領域は入力を行う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。

さらに、地磁気の強度は地球上の場所により異なる [気象]。地磁気が強い地域においては、地磁気による影響が大きくなるため、位置推定可能な領域が小さくなり、地磁気が弱い地域においては、地磁気による影響が小さくなるため、位置推定可能な領域が大きくなると考えられる。

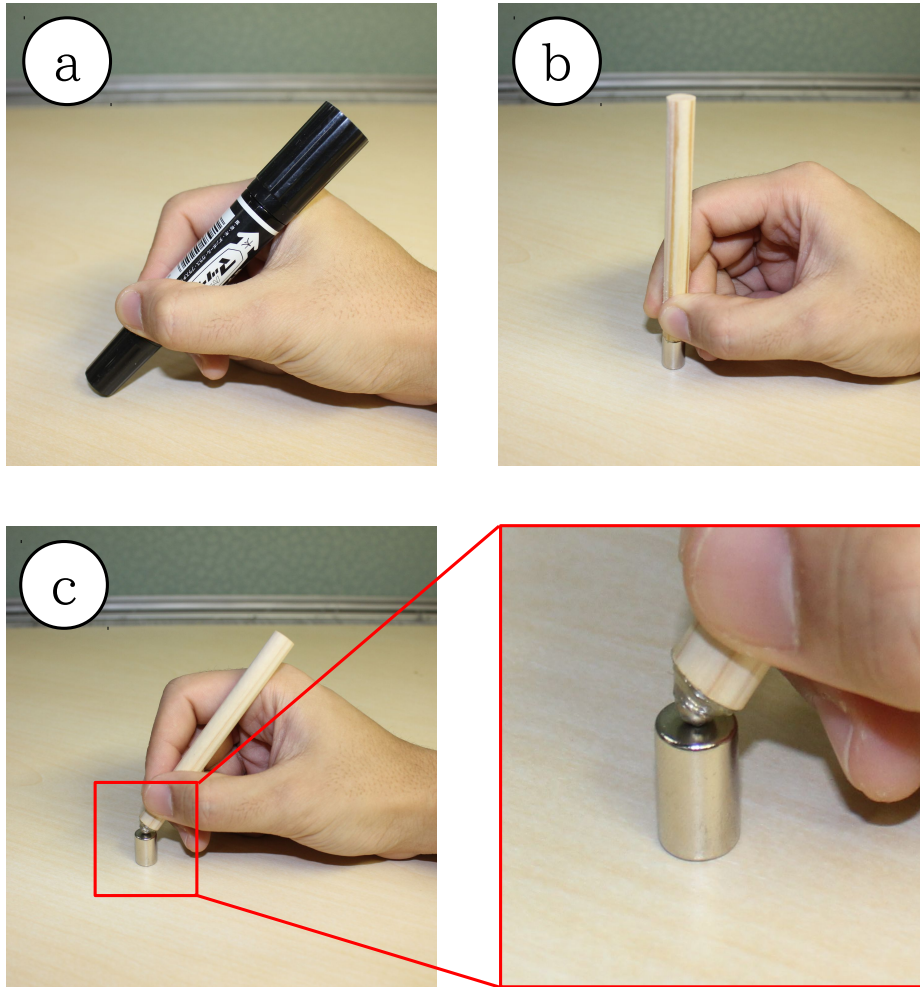


図 9.1: ペンの把持姿勢

## 9.4 本稿における実装

4.4.2 節においては、木製の棒を用いてペン型デバイスを作成した。これは、実装を容易にするためであった。しかし将来的には、磁石を市販のボールペンに組み込んだペン型デバイスを作成する予定である。

6.2 節においては、ペン型デバイスを用いて入力した数字を識別するアプリケーションを作成した。これは、研究の第 1 段階としての実装であった。将来的には、IME の実装を行う予定である。

## 第10章 まとめと今後の課題

本稿では、磁気に基づくスマートフォン向け入力手法を示した。すなわち、ペン型デバイスの座標推定システムおよび数字識別アプリケーションを実装した。また本稿では、実装したシステムの評価実験を行った。その結果、位置推定の及ぶ範囲および精度が明らかになった。

本手法は、スマートフォンの周囲の領域においてペン型デバイスを用いて入力を行うことにより、スマートフォンへの入力に関する諸問題を解決することを目的とした。本手法を用いることにより、ユーザはスマートフォンの小画面に制約されず、広い領域において入力を行うことができる。また、ペン型デバイスは小さく作成できるため、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。

今後は、8章にて述べたアプリケーションを実装するとともに、アプリケーションの評価を行う。また、5章にて述べた実験 1-A においては、磁石を格子点上に手を用いて置いていた。今後、プロッタを用いてさらに正確な実験を行う予定である。

## 謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である志築文太郎先生，三末和男先生，田中二郎先生には多大なご助力を賜り，ここに深く感謝いたします．特に，志築文太郎先生には論文の執筆方法だけでなく，研究生生活において重要なご支援およびご助力を賜りました．深く感謝いたします．

また，田中研究室の皆さまには，研究における様々なご支援をいただきました．特に WAVE チームの皆さまには，チームゼミをはじめ，多くのご支援をいただきましたこと，ここに深く感謝いたします．

最後に，私の人生を支えてくださった家族や友人，研究においてお世話になった方々に深く感謝いたします．



## 参考文献

- [BLC<sup>+</sup>12] Sebastian Boring, David Ledo, Xiang 'Anthony' Chen, Nicolai Marquardt, Anthony Tang, and Saul Greenberg. The Fat Thumb: Using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction. In *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '12*, pp. 39–48, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [CL11] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin. LIBSVM: A library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology.*, Vol. 2, No. 3, pp. 27:1–27:27, May 2011.
- [CLT<sup>+</sup>13] Liwei Chan, Rong-Hao Liang, Ming-Chang Tsai, Kai-Yin Cheng, Chao-Huai Su, Mike Y. Chen, Wen-Huang Cheng, and Bing-Yu Chen. FingerPad: Private and subtle interaction using fingertips. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13*, pp. 255–260, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [CLWP13] Ke-Yu Chen, Kent Lyons, Sean White, and Shwetak Patel. uTrack: 3D input using two magnetic sensors. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13*, pp. 237–244, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [Cor] Zebra Corporation. 普通紙を使用できる位置精度の高いデジタルペンデバイス! 『digimemo a402』 — ゼブラウイング. <http://www.zebrawing.jp/digimemo/> (accessed 2015.01.14).
- [FBC<sup>+</sup>02] Michael D Fleetwood, Michael D Byrne, Peter Centgraf, Karin Dudziak, Brian Lin, and Dmitryi Mogilev. An evaluation of text-entry in Palm OS–Graffiti and the virtual keyboard. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 46, pp. 617–621. SAGE Publications, 2002.
- [GR93] David Goldberg and Cate Richardson. Touch-typing with a stylus. In *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '93*, pp. 80–87, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [Gro] Anoto Group. アノトペン. <http://www.anoto.co.jp/> (accessed 2015.01.14).

- [HAW13] Sungjae Hwang, Myungwook Ahn, and Kwang-yun Wohn. MagGetz: Customizable passive tangible controllers on and around conventional mobile devices. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 411–416, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [HBAW13] Sungjae Hwang, Andrea Bianchi, Myungwook Ahn, and Kwangyun Wohn. MagPen: Magnetically driven pen interactions on and around conventional smartphones. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, pp. 412–415, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [HH08] Chris Harrison and Scott E. Hudson. Scratch Input: Creating large, inexpensive, unpowered and mobile finger input surfaces. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '08, pp. 205–208, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [HH09] Chris Harrison and Scott E. Hudson. Abracadabra: Wireless, high-precision, and unpowered finger input for very small mobile devices. In *Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, pp. 121–124, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [HPB<sup>+</sup>14] Ken Hinckley, Michel Pahud, Hrvoje Benko, Pourang Irani, François Guimbretière, Marcel Gavrilu, Xiang 'Anthony' Chen, Fabrice Matulic, William Buxton, and Andrew Wilson. Sensing techniques for tablet+stylus interaction. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pp. 605–614, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [HPSH00] Ken Hinckley, Jeff Pierce, Mike Sinclair, and Eric Horvitz. Sensing techniques for mobile interaction. In *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, pp. 91–100, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [HSYH07] Xinying Han, Hiroaki Seki, Kamiya Yochitsugu, and Masatoshi Hikizu. Wearable handwriting input device using magnetic field. In *SICE, the Society of Instrument and Control Engineers, 2007 Annual Conference*, pp. 365–368, Sept 2007.
- [KMNR12] Hamed Ketabdar, Peyman Moghadam, Babak Naderi, and Mehran Roshandel. Magnetic signatures in air for mobile devices. In *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services Companion*, MobileHCI '12, pp. 185–188, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [KS14] Azusa Kadomura and Itiro Siio. MagNail: Augmenting nails with a magnet to detect user actions using a smart device. In *Proceedings of the 2014 ACM International*

*Symposium on Wearable Computers, ISWC '14*, pp. 135–136, New York, NY, USA, 2014. ACM.

- [KYJ<sup>+</sup>10] Hamed Ketabdar, Kamer Ali Ykse, Amirhossein Jahnbekam, Mehran Roshandel, and Daria Skirpo. MagiSign: User identification/authentication based on 3D around device magnetic signatures. In *The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, UBICOMM 2010*, pp. 31–34. IAREA, 2010.
- [KYR10] Hamed Ketabdar, Kamer Ali Yüksel, and Mehran Roshandel. MagiTact: Interaction with mobile devices based on compass (magnetic) sensor. In *Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '10*, pp. 413–414, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [LCS<sup>+</sup>12] Rong-Hao Liang, Kai-Yin Cheng, Chao-Huai Su, Chien-Ting Weng, Bing-Yu Chen, and De-Nian Yang. GaussSense: Attachable stylus sensing using magnetic sensor grid. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '12*, pp. 319–326, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [LCT<sup>+</sup>14] Rong-Hao Liang, Liwei Chan, Hung-Yu Tseng, Han-Chih Kuo, Da-Yuan Huang, De-Nian Yang, and Bing-Yu Chen. GaussBricks: Magnetic building blocks for constructive tangible interactions on portable displays. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pp. 3153–3162, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [LKC<sup>+</sup>14] Rong-Hao Liang, Han-Chih Kuo, Liwei Chan, De-Nian Yang, and Bing-Yu Chen. GaussStones: Shielded magnetic tangibles for multi-token interactions on portable displays. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14*, pp. 365–372, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [LSW<sup>+</sup>12] Rong-Hao Liang, Chao-Huai Su, Chien-Ting Weng, Kai-Yin Cheng, Bing-Yu Chen, and De-Nian Yang. GaussBrush: Drawing with magnetic stylus. In *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies, SA '12*, pp. 11:1–11:2, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [NWI14] Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa. Anywhere Surface Touch: Utilizing any surface as an input area. In *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference, AH '14*, pp. 39:1–39:8, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [NYAT95] Shinji Nabeshima, Shinichirou Yamamoto, Kiyoshi Agusa, and Toshio Taguchi. MEMO-PEN: A new input device. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, CHI '95*, pp. 256–257, New York, NY, USA, 1995. ACM.

- [Pham13] Pham Thanh Son, 高橋伸, 田中二郎. G-Shark: 磁石を利用した携帯端末 3 次元入力インタフェース. *インタラクシオン* 2013, pp. 787–789, 2013. 情報処理学会.
- [SSMKS12] Alireza Sahami Shirazi, Peyman Moghadam, Hamed Ketabdar, and Albrecht Schmidt. Assessing the vulnerability of magnetic gestural authentication to video-based shoulder surfing attacks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2045–2048, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [SSP<sup>+</sup>14] Jie Song, Gábor Sörös, Fabrizio Pece, Sean Ryan Fanello, Shahram Izadi, Cem Keskin, and Otmar Hilliges. In-air gestures around unmodified mobile devices. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pp. 319–329, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [ペン] ペンてる株式会社. デジタルペン | airpenpocket エアペンポケット | ペンてる株式会社. <http://www.airpen.jp/> (accessed 2015.01.14).
- [押木 03] 押木秀樹, 近藤聖子, 橋本愛. 望ましい筆記具の持ち方とその合理性および検証方法について. *書写書道教育研究*, pp. 11–20, 2003. 全国大学書写書道教育学会.
- [株式] 株式会社ウルトラエックス. MVPen. <http://www.uxd.co.jp/product/peripheral/mvpen/mvpen.html> (accessed 2015.01.14).
- [気象] 気象庁地磁気観測所. 地磁気観測所 | 基礎知識 | 地磁気. [http://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/mg\\_bg.html](http://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/mg_bg.html) (accessed 2015.01.17).
- [今井 07] 今井政敬. 端末装置及びそのプログラム. 特願第 2007-295106 号, November 2007. 特開第 2009-122887 号.
- [山本 13] 山本涼太, 宮下芳明. イヤホンを用いたスマートフォンの操作と個人認証. *インタラクシオン* 2013, pp. 626–631, 2013. 情報処理学会.
- [門村 14] 門村亜珠沙, 椎尾一郎. MagNail: 爪装着型磁石を用いたモバイル端末インタラクシオン. 第 22 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2014). 情報処理学会, December 2–4 2014.