

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500151

研究課題名(和文) ライフログを記録する空中筆記インタフェースの開発

研究課題名(英文) Development of Aerial Handwriting Interface for Life-log Recording

研究代表者

中井 満 (Nakai, Mitsuru)

富山県立大学・工学部・講師

研究者番号：60283149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：日常的な動作の中から指や手を振って空中に文字を書く動作を検出し、その空間に書かれた見えない文字をコンピュータで認識する研究を行った。具体的には、モーションセンサ(加速度・角速度センサ)を携帯し、センサの時系列信号から筆記動作と非筆記動作の識別を行い、筆記動作の場合には文字種の識別を行った。また、同信号から文字を書いている人が誰であるかを識別する技術、さらには登録した本人であるか否かを認証する技術も研究した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed an aerial handwriting interface. Users can write text in the air by using pen device with built-in accelerometers and gyroscopes. First, the system can detect and distinguish writing motions from other motions occurred in life activities. Then, handwritten characters are recognized and writers are identified from those handwriting motions. In order to utilize the system in real environments, recognition tests were carried out in various situations, such as writer independent model, writing surface-free and pen holding style-free.

研究分野：パターン認識

キーワード：手書き文字 空中筆記 文字認識 筆記者識別 ユーザインタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

三つの状況から本研究を構想するに至った。一つは情報端末の小型化に伴う文字入力手段の問題である。携帯電話のようにキー数が少なくなると新たな入力方式を習熟する必要があり、ユーザにとっては負担である。二つ目は離れた位置からジェスチャー操作可能な、10 feet ユーザインタフェースの普及である。モーションで操作するゲームやパソコンが普及しているが、文字の入力は未だに五十音の表をカーソルで指すという単純な方式である。三つ目は携帯型センサによるライフログの自動記録である。日記やブログに比べるとユーザの負担は減るが、居場所や歩行状態などの情報にとどまり、主観的な記録は難しい。これらの解決として、どのような場所でも唾嗟に書ける「三次元空間筆記(空中筆記)」と、誰でも訓練なしに書ける「手書き文字認識」に着目した。

空中筆記は先進的な入力インタフェースであるが、これまでに様々な手法が試みられている。例えば、(a)位置・加速度センサ、(b)赤外線カメラなどの利用である。当時の研究の主な目的は空間上の筆跡を可視化して情報共有することであり、ヘッドマウントディスプレイで、空間上の筆跡を目で見るシステムである。これに対し、本課題の目的は、文字を書こうとするユーザの意思を手・指の動きから読み取って、文字を認識することが主であり、丁寧に書く必要はない。また、身に付けたセンサ以外の外部センサやカメラを用いないので、屋外でも文字を書ける可搬性の高い入力インタフェースである。

## 2. 研究の目的

本課題は、日常的な行動の自動記録(ライフログ)の中から指や手を振る「空中に文字を書く動作」を検出し、その「三次元的に書かれた見えない文字」が、「何の文字であるか」「誰が書いた文字か」をコンピュータで認識する研究である。ライフログへの文字情報の付加をはじめ、ウェアラブル PC や家電製品の文字入力・操作インタフェースとしての利用も想定する。具体的には以下のことを目的とした。

- センサを内蔵した筆記具やカメラを使い、空中で手を振って文字を書く信号を様々な姿勢や環境で収集する。
- 不特定多数のユーザが使用することを想定した文字認識精度、筆記者識別精度の向上を図る。
- 連続して記録したセンサのログの中から文字を筆記した区間を事後的に検出する手法を検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 空中手書き文字データの収集・整備

加速度センサと角速度センサを内蔵した筆記具を手または腕に装着し、空中で文字を

書く動作の信号を 10 ミリ秒間隔でサンプリングする。文字は一文字ずつ収集することとし、筆記する文字はランダムに提示する。なお、自然な書き方となるように、ボタン操作を挟まない。また、筆記具を持ち上げたり、置いたり、持って歩いたり、筆記動作以外の信号も同時に収集する。

### (2) 空中手書き動作(筆記動作)の検出

指または手の動きの信号を用いて文字の認識を行うが、腕の上げ下げや身体の揺れの加速によって、ユーザの意図しないタイミングで文字の誤入力が生じる。筆記時と非筆記時の 2 クラスの識別問題と捉え、筆記動作の検出を行う。また、筆記動作の信号に重畳する非筆記動作の信号を、複数のセンサを併用して除去する手法を検討する。

### (3) 空中手書き文字認識の評価

筆跡の時系列パターンの認識に適した HMM (hidden Markov model) 方式を用いる。モデルは文字毎に学習する。なお、空中で書かれた文字はペンの上げ下げの情報がないので、文字の区間は明確でない。そこで、文字を書き始める前と書き終えた後の動作のモデルも学習し、全ての文字で共有する。バイズ識別によって文字を認識する。

### (4) 筆記者識別の評価

文字の認識と同様に隠れマルコフモデルを用いる。文字の種類に依存しない筆記者の特徴を学習するため、エルゴディック型の HMM を用いる。学習用の文字列と識別用の文字列を変えて、評価する。

### (5) システムの試作と評価

モバイル PC と空中筆記具を無線接続し、室外などの移動環境で認識性能の評価を行う。筆記のデバイスを変えて、書き易さと認識性能を評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 空中筆記データベース

3 軸の加速度センサを内蔵した筆記具を持ち、空中に文字を書く動作の信号を得る。筆記具には加速度センサ (ANALOG DEVICES Inc. ADXL330) を内蔵する Nintendo Wii のリモコンを用いる。図 1 は筆記のイメージであり、筆記具をペンのように持って、あるいはリモコンのように握って文字を書く。自然な筆記となるようにボタン操作を入れずに書くと、図 1 の「あ」の筆跡のような一筆書きとなる。図 2 は「あ」を筆記した 3 軸の加速度信号を 10 ミリ秒間隔でサンプリングした波形であり、X 軸 (赤色) は筆記面の左右方向、Y 軸 (緑色) はペン先方向、Z 軸 (青色) は筆記面の上下方向である。Z 軸の波形には重力加速度が加わっている。同時にそれぞれの軸回りの角速度信号もサンプリングする。

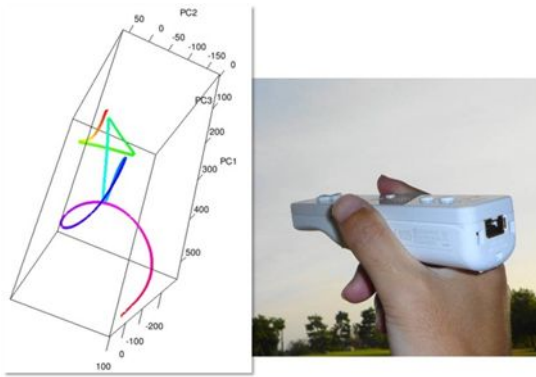


図 1：空中手書き

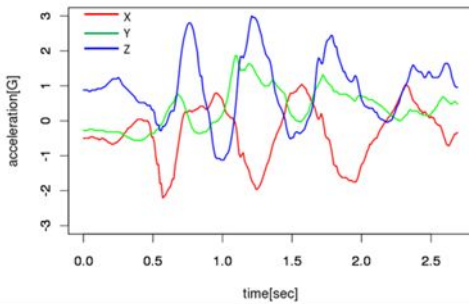


図 2：文字「あ」の 3 軸加速度信号

空中手書き文字認識、および筆記者識別の実験のため、大学生 34 名から文字データを収集した。濁点・半濁点を含むひらがな 71 字種をランダムな順で 1 文字ずつ書くことを 1 セットとした。筆記日の違いによるパターンの変形が考えられるので、各人が 10 セットを 2 ~ 3 日間に分けて筆記した。ただし、3 セットを 1 日目に収集することは共通である。なお、筆記にあたっては、次のことを指示した。

- ・ペンの持ち方（ペン持ち，リモコン持ち）は自由
- ・壁に書くような向きで書くこと
- ・正しい書き順を覚えてから書くこと

### (2) 空中手書き文字認識 [発表文献 9 他]

図 3 は認識システムの概略である。まず、筆記した信号のパワーの変化から一文字を筆記した区間を検出する。次に筆記具の持ち方によって生じるセンサ座標系と実空間の座標系の傾きを回転補正する。その後、正規化処理によって得られた 3 軸の加速度信号と角速度信号を認識の特徴量とする。システムの学習では、文字別に隠れマルコフモデル (HMM) でモデル化する。ただし、書き始め前と書き終わり後の不規則な動きは文字に依存しないと考えられるので、全ての文字で状態を共有する。認識では、書かれた文字の信号を出力する確率を最大にする文字モデルを選択し、認識結果とする。

実験では収集した 34 人のサンプルのうち、20 人を用いた。評価には 5 人が筆記した 3,550 文字 (71 字種 × 5 人 × 10 セット) を、

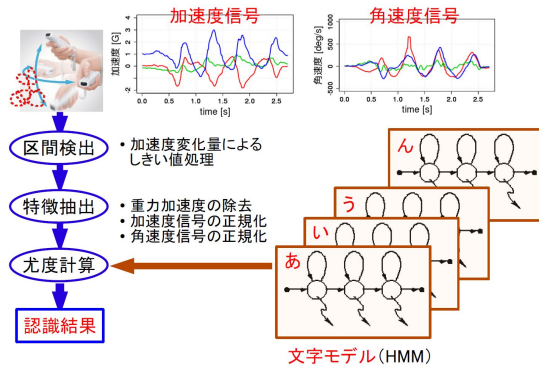


図 3：空中手書き文字認識システム

学習には残りの 15 人が筆記した 10,650 文字を使用した。その結果、77.7%の文字認識率を得た。加速度・角速度の 6 軸の特徴量のうち、筆記面 (XZ 面) の加速度と角速度は運筆情報を、ペン先方向 (Y 軸) の加速度は筆記具を傾けたときの重力加速度と筆記の遠心加速度を表している。これらは、いずれも文字の認識に寄与した。一方、ペン軸 (Y 軸) 回りの角速度は筆記者の個人性が大きいと考えられ、文字認識に寄与しないことが分かった。

### (3) 特徴量の検討 [発表文献 10 他]

観測した加速度信号には筆跡の加速度以外に重力加速度と遠心加速度が加わっている。手首を回して筆記した場合、筆記具の姿勢 (傾き) が変わるので、センサ座標系における重力加速度の向きが刻々と変わることになる。そこで、角速度信号より筆記具の姿勢を推定し、観測した加速度信号を重力加速度と遠心加速度と筆記加速度に分離した。図 4 は文字「あ」の空中筆記をカメラで追跡した筆跡である。これにペン先方向の加速度の大きさを色付けした。赤は正の加速度を、青は負の加速度を表している。右側の図は重力加速度と遠心加速度に分離したものである。壁向きに筆記した場合、筆記具が傾くので、文字の上半分で負の加速度、下半分で正の加速度が観測される。また、速く書いた部分では遠心加速度が大きく現れていることが分かる。

実験では、5 人が筆記したひらがな 71 字種

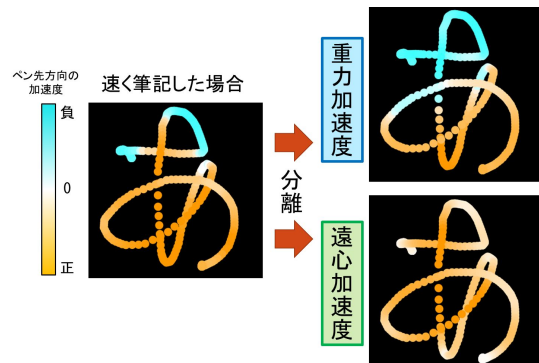


図 4：加速度特徴量の抽出



図 5 : 楽な姿勢での空中筆記

のデータ、各 10 セットを使用した。4 名 (40 セット) を学習に、残りの 1 名 (10 セット) を評価に使用し、組み合わせを変えて 5 回試行した。特徴量には 3 軸の加速度のみを使用した。筆記具の姿勢を推定しない場合の認識率 82.9% に対し、88.2%まで認識率を改善した。

#### (4) 楽な姿勢で筆記した文字の認識

[発表文献 6, 7]

(1) ~ (3) で使用した文字サンプルは腕を水平に伸ばして壁向きに筆記したものであり、長い文字列の入力では腕が疲れる。そこで、小さく、楽な姿勢で筆記したときの文字認識率を調べるため、8 人に対してサンプルを追加で収集した。筆記の姿勢は図 5 に示す以下の 3 通りとした。

- ・腕を水平に伸ばして壁向きに大きく書く (従来の書き方)
- ・椅子の肘掛けに腕を置いて壁向きに小さく書く
- ・床向きに腕をおろして、手首で小さく書く

実験は本人のサンプルで学習した特定筆記者実験と、他人のサンプルで学習した不特定筆記者実験で評価した。特定筆記者実験では同じ壁向きでも、大きく書いた場合 (88.9%) よりも、小さく書いた方が (94.2%) が認識率が高くなった。これは小さく書いた方が余計な動作が加わらず、字形の変形が小さいからだと考えられる。一方、不特定筆記者実験では小さく筆記すると認識率 (89.8%) が低くなり、特に床向きに筆記した時の認識率 (85.2%) が低くなった。原因は筆記者毎にペン先方向や握り方が異なるためである。特に真下を向けた場合では重力加速度の向きが筆記者毎に大きく異なり、筆記面の回転補正が難しいという問題があった。

#### (5) 筆記者識別 [発表文献 9 他]

空中に文字を書く動作の加速度信号を用いてユーザ (筆記者) を識別する。この研究では、登録文字種と異なる文字種でも識別できる (例えば文字「あ」を登録して、文字「い」で誰が書いたかを識別する) テキスト独立型の手法を検討した。まず、筆記した文字パターンに文字認識と同様の前処理を施したものを特徴量とする。テキスト独立型の手法では特徴量の軌跡よりも分布が重要となるので、筆記者毎に図 6 に示すエルゴディック型 HMM で学習する。予備実験より HMM の状態数は各々 30 状態、状態からの出力確率は 4 混合

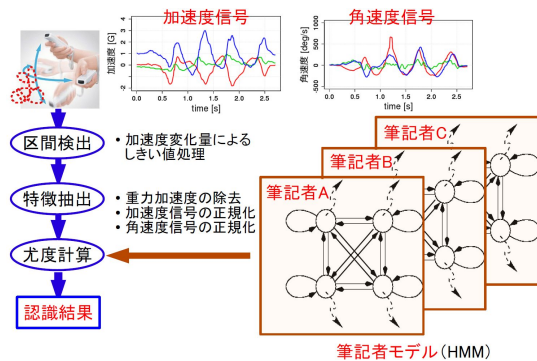


図 6 : 筆記者識別システム

正規分布型の出力確率密度関数とした。

実験では収集した 34 人のサンプルのうち、20 人を評価に用いた。各 10 セットのうち、1 日目の 3 セットを学習 (登録) に、2 日目に筆記した 7 セットを評価に用いた。結果、筆記者識別率は 90.1%であった。また、加速度・角速度特徴量のうち、ペン軸 (Y 軸) 回りの角速度特徴量を除くと識別率は低下した。この特徴量は文字認識の実験では寄与しなかったものであり、筆記者の特徴を表していることが大きいことが分かった。

#### (6) 筆記者識別における学習の効率化

[発表文献 5 他]

テキスト依存型の手法では、ユーザが決めた文字の筆記動作を登録するので学習に使うサンプルが少なくすむが、ユーザが登録文字を忘れてしまうと識別できない。一方、我々が研究しているテキスト独立型の手法では、登録時に書いた文字とは異なる文字でもユーザを識別できるので登録文字を覚える必要がないが、筆記者の癖を学習するために多くのサンプルが必要になる。(5)の実験では筆記者の癖を学習するために数百の文字サンプルを用いた。この方法では筆記者を登録するのに時間がかかるので、少量サンプルで筆記者モデルを学習することにする。

20 名による筆記者識別実験を行った。識別は空中で任意の 1 文字を筆記したときの動作を用いた。学習サンプルが少なくなることを考慮して、HMM の状態数は 5 状態とした。まず、ひらがな 46 文字を 3 セット用いて学習した場合、識別率は 90%であった。ひらがなの文字種を減らすにつれて識別率は下がるが、例えば 5 文字で学習する場合、文字種の選び方によって、60%から 80%の違いがあった。ひらがなの組合せを色々と変えて実験したところ、「あうとなに」のような画の種類が多い文字種の場合に学習効果が高いことが分かった。

#### (7) 筆記動作と非筆記動作の識別

[発表文献 13]

加速度信号のパワーの変化量を基準として人の動作を検出し、その動作が文字を書く動作か否かを識別する手法を検討した。非筆



記動作として、筆記具を「置く」、「持ち上げる」、「縦に振る」、「横に振る」、手に持って「歩く」などの動作を対象とした。これらは筆記の前後によく行われる動作であり、信号のパワーの変化量からしばしば文字として誤入力してしまう動作である。筆記面の2次元加速度信号の軌跡を線図形とみなし、フーリエ記述子の低次の特徴量を分析した。その結果、ペンを持ち上げたり振ったりする単調な非筆記動作と比べて、ひらがなを書く動作は複数の次元に大きな特徴が現れることが分かった。実験では20次のフーリエ記述子特徴量を用いてサポートベクターマシンで識別した。その結果、筆記動作の98.1%、非筆記動作の96.8%が正しく識別できた。

#### (8) 移動環境下の文字認識 [発表文献 21]

屋外の実環境下で利用するための空中手書き入力インタフェースおよび認識手法の検討を行った。実環境下では様々な振動など、筆記以外の加速度信号が混入する。これを除去するため、図7のように指先と前腕の2か所に加速度センサを装着し、指先のセンサ信号から前腕のセンサ信号を減算した。走行中の車内で筆記したひらがなのサンプル、およびノイズ(振動)を重ねたシミュレーション実験の結果、SN比の低い環境における空中手書き文字の認識率を改善した。

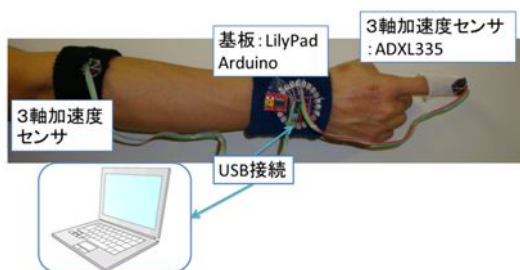


図7：装着型筆記デバイス

#### (9) システムの試作と評価

評価実験用のデータ収集は主に加速度センサと角速度センサを内蔵するNintendo Wii リモコンを使用した。このほかに、同じく加速度・角速度センサを内蔵するアームバンドジェスチャーコントローラ Myo、深度センサで3次元位置を測定するMicrosoft Kinect や Leap Motion を用い、空中筆記インタフェースを試作した。Wii リモコンの筆記信号で学習して、他のデバイスの筆記信号を文字認識するという実験から、特徴量レベルでは互換があり、いずれにおいても同程度の認識率が得られることを確認した。

### 5. 主な発表論文等

#### [雑誌論文](計1件)

大坪由香利, 中井満, ペン先方向の加速度特徴を活用した空中手書き文字認

識, 電子情報通信学会論文誌(D), 査読有, vol.J97-D, no.3, pp.574-583, 2014.

#### [学会発表](計22件)

青木康祐, 中井満, 加速度・角速度を用いた空中筆記による個人認証, 電子情報通信学会総合大会, 2016年3月, 九州大学.

田中緑, 中井満, ペンの持ち方による個人識別における特徴部位の検討, 電子情報通信学会総合大会, 情報・システムソサイエティ特別企画 学生ポスターセッション, 2016年3月, 九州大学.

青木康祐, 中井満, 空中筆記の加速度・角速度を用いた個人認証, 第5回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム, 2015年11月, 東京大学.

田中緑, 中井満, ペン把持時の指先・指関節情報を用いた個人識別, 第5回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム, 2015年11月, 東京大学.

青木康祐, 中井満, 空中筆記者識別のための学習用文字セットの検討, 第14回情報科学技術フォーラム 2015年9月, 愛媛大学.

川端凌平, 中井満, 楽な姿勢による空中手書き文字認識, 第14回情報科学技術フォーラム 2015年9月, 愛媛大学.

川端凌平, 中井満, 小さなモーションの空中手書き文字認識に関する研究, 第24回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2015年3月, 東京電機大学.

吉田大樹, 中井満, 短時間フーリエ記述子特徴量を用いた空中手書き文字認識, 第13回情報科学技術フォーラム, 2014年9月, 筑波大学.

中井満, 山崎夏未, 大坪由香利, 空中手書き文字の認識と筆記者の識別に関する検討 - 加速度・角速度時系列特徴量を用いた手法 -, 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月, 新潟大学.

大坪由香利, 中井満, 空中手書き文字認識における重力加速度成分の除去, 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月, 新潟大学.

吉田大樹, 中井満, フーリエ記述子を用いた空中手書き文字認識, 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月, 新潟大学.

大坪由香利, 松木一穂, 中井満, 空中手書き文字認識における字形の崩れの補正に関する検討, 第12回情報科学技術フォーラム, 2013年9月, 鳥取大学.

吉田大樹, 中井満, 空中手書き文字入力インタフェースのための非筆記動作の除去, 第12回情報科学技術フォーラム, 2013年9月, 鳥取大学.

大坪由香利, 吉田大樹, 中井満, 空中手書き文字の認識と筆記者の識別に関

する検討 ~ 加速度時系列特徴量を用いた手法~, 電子情報通信学会技術研究報告, BioX, 2013年5月, 富山県立大学.

吉田大樹, 大坪由香利, 中井満, 空中手書き文字の認識と筆記者の識別に関する検討 ~ フーリエ記述子特徴量を用いた手法~, 電子情報通信学会技術研究報告, BioX, 2013年5月, 富山県立大学.

大坪由香利, 中井満, 空中手書き文字認識における3軸加速度特徴の重み付け方法の検討, 電子情報通信学会総合大会, 情報・システムソサイエティ特別企画 学生ポスターセッション, 2013年3月, 岐阜大学.

大坪由香利, 中井満, 空中手書き文字認識におけるペン先方向の加速度特徴の重み推定, 電子情報通信学会総合大会, 2013年3月, 岐阜大学.

中井満, 草島広志, 長井貴大, 筆記の姿勢が自由な空中手書き文字認識, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, 2013年3月, 電気通信大学.

大坪由香利, 中井満, 加速度センサの傾き情報を併用した空中手書き文字認識, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, 2013年1月, 京都大学.

中井満, 草島広志, 筆記の向きや筆記具の持ち方が自由な空中手書き文字認識, 第11回情報科学技術フォーラム, 2012年9月, 法政大学.

21 福山慎太郎, 中井満, 加速度センサを用いた実環境下の空中手書き文字入力インタフェース, 第11回情報科学技術フォーラム, 2012年9月, 法政大学.

22 大坪由香利, 中井満, 空中手書き文字認識におけるペン先方向の加速度特徴の有効性, 第11回情報科学技術フォーラム, 2012年9月, 法政大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中井 満 (NAKAI, Mitsuru)

富山県立大学・工学部・講師

研究者番号: 60283149