

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23800012

研究課題名（和文） 手首の凹凸形状のみから手指形態の推定を可能とする次世代インタフェースの研究

研究課題名（英文） Next Generation User Interface Based on Hand Shape Classification with a Wrist Contour Sensor

研究代表者

福井 類 (FUKUI RUI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：80607416

研究成果の概要（和文）：

手指形状（ハンドジェスチャー）は非常に潤沢な情報を表現することができる。しかし、既存のデバイスでは装着感、使用可能場所などいくつかの問題がある。本研究ではホームオートメーションのためにハンドジェスチャーを活用することを目標とした。この実現のために手首の凹凸形状に注目し、この手首の凹凸形状を計測し手指の形状を推定するデバイスの開発を行った。開発したデバイスは光学距離計測素子であるフォトリフレクタを用いて、手首全周に渡って手首凹凸形状を計測することが可能なものである。このデバイスの開発に加えて、機械学習を用いた手首認識性能の向上に取り組んだ。

研究成果の概要（英文）：

Hand gesture can express rich information. However, existing hand shape recognition methods have several problems. In order to utilize hand gesture in a home automation, we have focused on "wrist contour", and have developed a wristwatch-type device that measures wrist contour using photo reflector arrays. In addition to the development of the device, I have tried to improve the hand shape recognition performance.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ウェアラブルセンサ, ユーザインタフェース, ヒューマンコンピュータインタラクション, 手首凹凸計測

## 1. 研究開始当初の背景

人の動きを直感的な入力として使うインタフェースの開発が盛んである。顕著な動きとして TV ゲームでは、任天堂の Wii や Microsoft の XBox の Kinect など家庭内でも簡単に扱えるジェスチャ認識が普及している。ジェスチャ認識として最も一般的である

のは腕の動きであるが、認識させるには腕を大きく動かす必要があり表現できることもあまり多くない。そこで本研究では、手形状というものに注目する。手話やハンドシグナルなどからわかるように、手の形というものは小さな動きで多くのことを表現できるジェスチャである。しかし、手形状をインタフ

ケースとして家庭内で利用する例はほとんどない。それは、簡易的な認識手法が確立されていないためと考えられる。手形状の認識には既存の様々な手法が存在するが、以下においてその代表的手法について、特徴及び問題点を述べる。

- データグローブ：手袋型の装置で、曲げセンサを配置することにより各指の曲がりを直接読み取る。手全体を覆う形となるため、手の感覚が使いにくく動作に影響を与える等の問題がある。
- 筋電位計測：湿式/乾式の電極を前腕部に張り付け、筋電位の変化によって指の動きを読み取るというもの。手先に何も付けなため動作への影響は少ないが、指の動きまで取得するためには前腕部全体を覆うように電極を配置する必要があり、また、電極を密着させるために圧迫が必要となるため、装着者に負担がかかるという問題がある。
- カメラ：カメラから得られた画像をもとに、手の領域を認識しその形状を認識するというもの。動作への影響、装着者への負担はないが、カメラの有る環境でしか使えず、カメラに手全体が映っていなければ認識できないといった問題がある。

## 2. 研究の目的

上記のように既存の手法には家庭内へ導入するためには、動作への影響、装着者への負担、環境の限定といった問題点がある。本研究では、これらの問題を克服できる手法として、「手首凹凸」を利用した手の形状識別を提案する。曆本は静電容量式距離計測センサを用いて手首凹凸を計測し、握り状態と指さし状態の2つの手形状を認識した。本研究では赤外光による距離センサを用いて、手首形状をより精確に計測できるデバイスを開発し、そのデバイスに適した認識アルゴリズム

について明らかにすることを目的とする。

本手法に基づくデバイスを、ゲームのインタフェースとして用いたイメージを図1に示す。ボールの握りという、従来のジェスチャーインタフェースでは取得できない情報を取得し、より直感的な操作が可能となる。

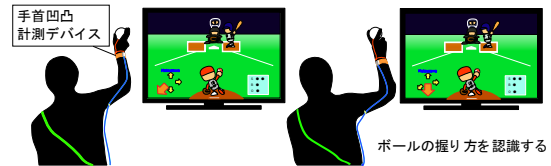


図1 ゲームインタフェースとしての利用例

## 3. 研究の方法

まず、本研究で構築したシステムの全体構成とデータ処理の流れを図2に示す。また開発した腕時計型計測デバイスを図3に示す。



図2 データの取得・処理の流れ

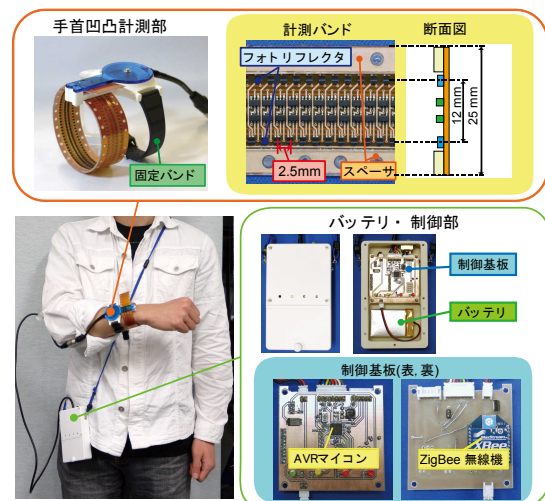


図3 開発した手首凹凸計測デバイス

### (1) 手首凹凸計測デバイスの開発

①要求仕様：今回設定した人の身体に基づく拘束条件と目標仕様を以下に示す。

・人の身体に基づく拘束条件

- 指の動きに関わる筋腱の径は5[mm]程である。
- 手首凹凸の変化量は最大5[mm]程である。

- 2a. 手首外周は平均で 150~170[mm]である.
- 2b. デバイスが腕の動きを制限するべきでない.
  - ・目標仕様
  - 1a. 周方向の測定密度は 2.5[mm].
  - 1b. 凹凸変化量の計測精度は 0.1[mm].
  - 2a. 計測可能長は 170[mm]以上.
  - 2b. 計測バンドの幅は 30[mm]以下.

これらの仕様を満たすため、距離計測センサとしてフォトリフレクタを採用し、シフトレジスタを用いた出力切替を実装した。

### ②フォトリフレクタによる距離計測

フォトリフレクタとは、赤外光 LED とフォトトランジスタを組み合わせたセンサである。このセンサは LED から発信され物体表面で反射された赤外光の強度を、フォトトランジスタによって計測する。本研究では小型のフォトリフレクタである新日本無線社製の NJL5901AR-1 を使用し、2.5[mm]の測定密度を実現した。フォトリフレクタの出力は距離に対して非線形であり、センサによって個体差もあるため、センサ出力をそのまま認識に利用することはできない。そこで、距離に対して各センサで一様な値を得るため、事前の計測によってセンサ出力を距離データに変換した。計測には 1 軸自動ステージを用い、計測精度 0.1 [mm]を目標とし、0~10[mm]の範囲を 0.05 [mm]ピッチで計測した。結果、0~3.5 [mm]の範囲では計測誤差 0.1 [mm]以下を達成している。斜めにした平坦な板を計測した出力変換結果を図 4 に示す。

### ③シフトレジスタによる出力切替

手首全周の凹凸を計測するため、フォトリフレクタを列状に配置し、フレキシブル基板のバンド(計測バンド)上に実装した。バンドの

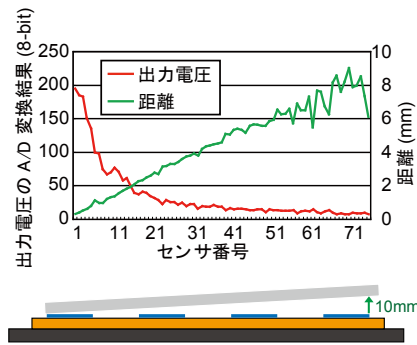


図 4 距離データへの変換例

両側に 1 列ずつ、それぞれに 75 個のセンサを 2.5[mm]ピッチで配置した。センサの数は全体で 150 個、計測可能長は 185[mm]である。ここで、全てのセンサを 1 つのコントロールユニットに接続した場合、配線の数が増大になりバンド幅が太くなってしまふ。そこで、図 5 に示すシフトレジスタによる出力切替を採用した。

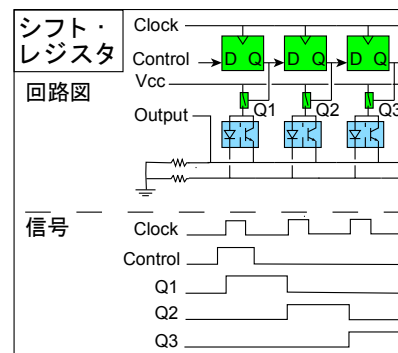


図 5 シフトレジスタによる出力切替

D-フリップフロップとアナログスイッチを組み合わせ、計測の始めにトリガ信号を送ることにより、時系列的に出力を切り替えることが出来る。個々のセンサは各列 1 つずつ動作し、同時に 2 つ以上が動作することはない。

### (2) 手首凹凸の観察

#### ①データ収集方法

開発したデバイスを用いて、被験者 10 人から手首凹凸データを取得した。実験の条件は以下の通りである。

- デバイスは右手に装着する。
- 装着方法は実験者が指示し、被験者自身の

手で装着する。

- 全手形状クラスの手首凹凸(1セット)を取得するたびに、デバイスを付け直す。

図に示す手形状クラス8種類を設定し、手形状クラスによる差、同じ手形状クラスでの個人間の差、手形状以外の姿勢による差などを観察した。

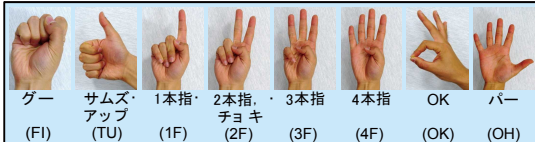


図6 手形状8クラス

### ②手首凹凸の再現性

図7にデバイスの付け外しをせずに、グー→チョキ→パーと5回変化させた場合の5回分のグーの手首凹凸を示す。グラフの縦軸がセンサと手首表面との距離、横軸がセンサ番号を表す。同一個人内においては、デバイスの付け外しをしない場合に同一手形状・同一姿勢での手首凹凸の再現性が確認された。

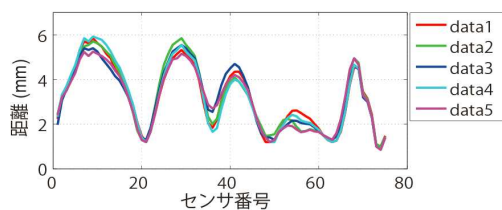


図7 同一個人の同一手形状の手首凹凸  
(デバイス脱着無)

### ③手首凹凸の個人差

図8は、2人の被験者について、3つの手形状クラスの手首凹凸を並べたものである。グラフを見ると、同一被験者でも手形状によって手首凹凸は変化しており、また、同じ手形状でも被験者によって手首凹凸が異なることが観察できる。

### ④特徴量の導入

手首凹凸の個人間の差異は手形状による差異と比較して大きく、生データの直接分析では個人差に大きく左右されてしまい、複数人

において同一の学習データで識別を行うことは困難であると考えられる。従って、生データから特徴量を抽出して入力として利用することで、個人差に対応することとした。

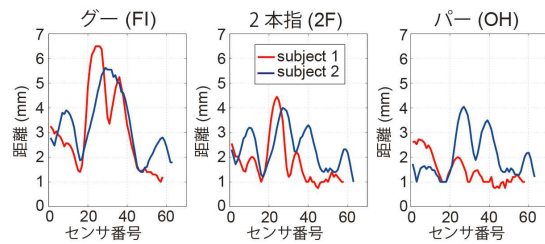


図8 2人の被験者の3手形状クラスの手首凹凸

### (3) 手形状の識別

手形状の認識手法として、指関節角度を出力とする回帰ではなく、有限の手形状を出力とする識別を採用した。その理由は、手指動作に関係する筋腱は手首部分においても重なっている部分があり、各指の曲がりやを独立に推定することは難しいからである。

#### ①特徴抽出

手首凹凸データを観察し、特徴量候補(単特徴量13種類、ヒストグラム特徴量3種類)を挙げ、それぞれの有用性について考察した。識別前のキャリブレーションデータとして、グーとパーの2つのデータを取得することとした。特徴量の選定には、評価基準として分離度(クラス間分散/クラス内分散)を用い、識別実験には、分離度の高い6種類の単特徴量と1つのヒストグラム特徴量を、有用特徴量として用いることとした。表1に各特徴量の分離度の表を示す。有用特徴量は表の色つきのものであり、距離の和・距離ヒストグラムのグー差分和などが挙げられた。図9は有用特徴量の1つ、単調増加の最大増加量の説明と3クラスでのサンプルの分布である。

#### ②識別手法

手形状クラスについては、図6の8つの手形状クラスに定めた。

表 1 特徴量の分離度

単特徴量	分離度	・色つきは採用した特徴量	
距離の和	3.104	距離ヒストグラムのゲー差分和※	1.522
隣接差分の和	0.575	隣接差分ヒストグラムのゲー差分和※	0.795
極大点の数	0.042	単調増加の最大幅	0.052
極小点の数	0.024	単調増加の最大増加量	0.514
最大距離	0.581	単調減少の最大幅	0.039
最小距離	0.377	単調減少の最大減少量	0.320
距離の和の比(前半/後半)	0.020	※各ビンでのゲーとの差分の和	

ヒストグラム特徴量	ビンの数	分離度(各ビンの平均)
距離ヒストグラム	8	0.190
隣接差分ヒストグラム	8	0.110
パー差分ヒストグラム	16	0.497

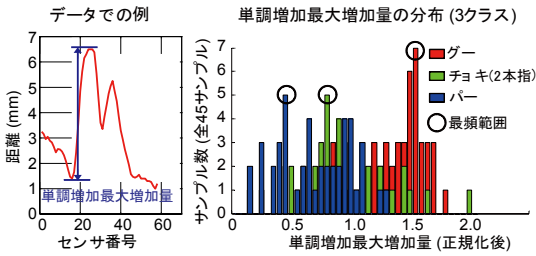


図 9 特徴量の例 (単調増加最大増加量)

アルゴリズムについては、様々な機械学習手法の中から、データの類似性を有効に利用できる k-NN 法、及び一つ一つは弱い特徴量から強力な識別が出来るブースティングを用いた。ブースティングについては、複数クラスを出力でき AdaBoost.MH を使い、各特徴量について学習を設計した。各特徴量は、ゲーとパーのキャリブレーションデータをもとに、最大値と最小値の幅が 2 となるように正規化を行った。

(4) 識別実験

単特徴量 6 種類とヒストグラム特徴量 1 種類を入力、手形状 8 クラスを出力として、識別実験を行った。識別によって最も可能性の高い 1 クラスを出力する。実験のカテゴリとして、(1)学習データに被験者のデータを含む場合と、(2)被験者のデータを含まない場合の 2 つのカテゴリを用意した。(1)においては、各被験者の手形状クラスについて、4 セットのデータのうち、3 セットを学習データとし、1 セットをテストデータとした。学習

データには他に 6 人の 3 セットずつのデータを含む。

(2)においては、被験者 10 名について、9 名のデータを学習データとし残りの 1 名のデータをテストデータとして全ての組み合わせを行う、交差検定法を用いて評価した。識別の結果は図 10、図 11 の通りである。

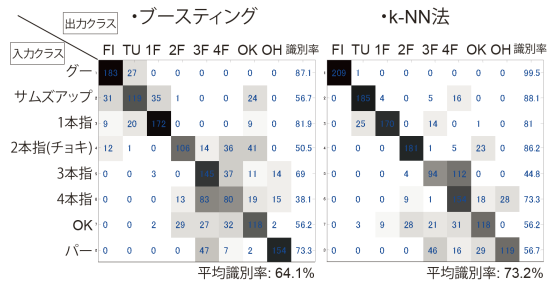


図 10 識別結果 1 (被験者のデータを含む場合)

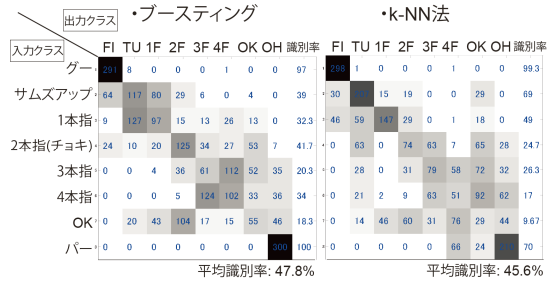


図 11 識別結果 2 (被験者のデータを含まない)

行の部分が入力クラス(正解クラス)、列の部分が出力クラスであり、対角線上にある数が多いほど性能が良いといえる。識別性能は識別率(正解サンプル数/全入力サンプル数)によって評価した。識別率(ブースティング, k-NN 法)はそれぞれ、カテゴリ(1)では 64.1 [%], 72.2 [%]であり、カテゴリ(2)では 47.8 [%], 45.6 [%]であった。但し、カテゴリ(2)の場合、識別率はテストデータの組み合わせによって 35.8 [%]~65.4 [%](ブースティング), 25.4 [%]~59.6 [%]に変化した。これは、手首凹凸形状が似た人が存在し、それが学習データとテストデータが分かれた場合に高い識別率が得られた可能性が予想で



きる。従って、学習データの充実によってより高い性能を得られる可能性が考えられる。

#### 4. 研究成果

本研究では、装着者に負荷の少ない装着型センサによる手形状識別を目標として、手首凹凸を利用した識別システムを構築した。まず、腕時計型手首凹凸計測デバイスを開発した。柔軟なバンドに小型の距離センサを実装することで、手首凹凸を2.5 [mm]ピッチで計測することができた。次に、手首凹凸の手形状や姿勢などによる変化の傾向を確認し、識別に有効な特徴量候補として、距離の和、距離ヒストグラムのグー差分和を挙げた。識別においては、学習データに被験者のデータが有れば70 [%]程度の識別率が得られ、被験者のデータが無い場合には20 [%]程度の識別率の低下がみられたが、手首凹凸の似た人の組み合わせが予想され、学習データの充実により性能の向上が見込まれた。

また本報告でデータを掲載した実験の他に、腕の回転（回内状態の変化）によっても、手首凹凸が大きく変化することが確認された。将来課題として、回内状態の変化にも対応した、手首凹凸計測デバイスの開発及び認識アルゴリズムの構築が挙げられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1.Rui Fukui, Masahiko Watanabe, Masamichi Shimosaka, and Tomomasa Sato. Development of wrist contour measuring device for an interface using hand shape recognition. *Advanced Robotics*, Vol. 27, No. 7, pp. 481–492, 2013. (査読有)  
DOI: 10.1080/01691864.2013.776939

[学会発表] (計4件)

1.福井類, 渡邊匡彦, 下坂正倫, 佐藤知正. 手首凹凸の計測による手形状識別—回内角度変化による手首凹凸への影響の把握—. 第18回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 337–342, 山形県上市市, 3 2013.

2. Rui Fukui, Masahiko Watanabe, Masamichi Shimosaka, and Tomomasa Sato. Hand shape classification with a wrist contour sensor (comparison of feature types and observation of resemblance among subjects). In *Proceedings of 13th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*, Quebec, Canada, June 2012.

3.Rui Fukui, Masahiko Watanabe, Tomoaki Gyota, Masamichi Shimosaka, and Tomomasa Sato. Hand shape classification with a wrist contour sensor: Development of a prototype device. In *Proceedings of ACM Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp)*, pp. 311–314, Beijing, China, September 2011.

4.福井類, 渡邊匡彦, 行田知晃, 下坂正倫, 佐藤知正. 手首凹凸の計測による手形状識別. 第29回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 101-8, 東京都江東区, September 2011.

[その他] ホームページ:

<http://www.ra-laboratory.com/r/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 類 (FUKUI RUI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  
研究者番号: 80607416

(2) 研究分担者: なし

(3) 連携研究者: なし