

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730119

研究課題名(和文) 回内状態変化に対応可能な手首の凹凸形状のみから手指形態を推定するデバイスの研究

研究課題名(英文) Hand gesture user interface in various pronation angles using a wearable wrist contour sensor

研究代表者

福井 類 (Fukui, Rui)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：80607416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：人の動作を用いて直感的に操作可能なジェスチャインタフェースの開発が盛んである。本研究では、手指ジェスチャが多彩な情報を表現できるという点に着目し、Webブラウジングなどの画面操作においてユーザビリティの高いインタフェースの実現を目標とした。先行研究の装着型手首凹凸計測デバイスを参考に、ユーザの腕の姿勢の制約を減らし使いやすさを考慮してデバイスを改良した。具体的には腕の回内動作を可能とし、さらにその回内角度を認識可能なデバイスを実現した。これを用いて手指ジェスチャを認識・活用する画面操作インタフェースを開発した。これらを用い、ユーザビリティの高い画面操作インタフェースの要件を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Recently, there are an increasing number of applications that use gesture recognition as interface. Most of them are specialized in recognition of large body motions. As can be seen in sign languages and hand signals, hand gestures can express rich information with small motions. Although there are many studies on recognition of hand gestures, existing hand shape recognition methods have several problems to be used for home automation. Therefore, the wearable wrist contour sensor device has been proposed in the previous studies. However in the previous studies, the posture of a user is severely restricted and discussions about how to design the hand gesture interface are insufficient. In this study, we propose real time hand gesture interface for web browsing that can allow a user to pronate his/her hand and recognize the pronation angle. Usability testing reveals that pronation is to be assigned as a variable configurator and hand shape is to be assigned as an operation switcher.

研究分野：人間協調機械・知能ロボット

キーワード：ウェアラブルセンサ 手首凹凸計測 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
センサアレイ

1. 研究開始当初の背景

ハンドシグナルや手話などのように、手指ジェスチャは手先部のみで行われる小さな動きで多彩な情報を表現できる動作である。手指ジェスチャを活用するシステムに関する研究は数多く存在し、既存の手法として設置型カメラを用いた手法[1]、装着型のデバイスとしてはデータグローブ[2]、筋電位計測による手法[3]、カメラ画像を用いた手法[4]などが挙げられる。

しかし手指ジェスチャが実際にインタフェースとして活用されている場面はあまり多くない。その原因として、既存手法において設置型カメラでは環境の限定、装着型デバイスでは手指動作の阻害や装着負荷といった問題が挙げられる。

これらを解決するため先行研究[5]において、手指ジェスチャに応じて前腕部の筋腱が変形・移動し手首表層の凹凸形状が変化する(図1)という原理に基づき、手首凹凸形状計測による手形状認識という手法が提案された。しかし、先行研究では前腕の姿勢について制約が多い条件でしか手形状を認識することができず、また、実際の機械操作においてどのように手指ジェスチャを活用するかに関する議論は十分でなかった。

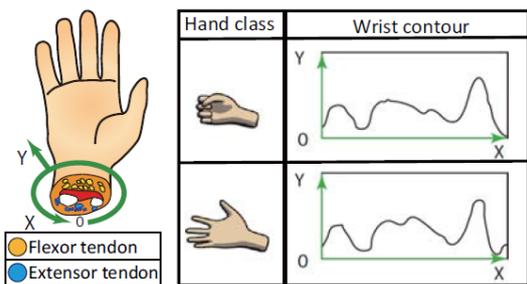


図1 手形状による手首凹凸の違い

2. 研究の目的

上記の背景のもと本研究では、人の手首に巻きつけるだけで手形状・ジェスチャ(グー、チョキ、パーなどの手先形状パターン)を認識・識別可能とする手首装着型デバイスに関する研究を行う。特に腕のねじり(回内運動)を許容する状態で手形状を認識可能なデバイスを開発し、さらに開発したデバイスを用いて手指ジェスチャを用いた画面操作、特にwebブラウジングに関する操作について、ユーザビリティの高いインタフェースに求められる仕様や実装方法を明らかにする。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、次の3つのフェーズで研究を進めた。

- (1) 先行研究で明らかになった手首凹凸への腕の回内動作の影響を分析するために、デバイスに慣性センサ群を搭載し手首の凹凸と回内状態を同時に計測可能な

デバイスを開発する。

- (2) 続いて回内状態を踏まえて手指形態を推定可能な認識アルゴリズムを構築する。
- (3) これらを統合し人の手先の動きを操作入力として用いる装着型インタフェースを構成し、この新たな操作系に対する人の適合性を、ユーザビリティテストを通じて明らかにする。

4. 研究成果

4.1 手首の凹凸と回内状態を同時に計測可能なデバイスの開発

手形状変化および回内動作を認識するため、本研究では図2に示すデバイスを作成した。このデバイスの手首凹凸計測バンドは柔軟性をもったバンドでできており、表面にフォトリフレクタが75個ずつ2列に実装されており(図4)、手首表面とバンドの隙間を測定することで手首凹凸を計測する。

デバイスは回内動作に追従できるように、手先部と制御部の2つのパーツがケーブルで接続された構成になっている。各部位にはそれぞれ慣性センサが搭載されており(図3、図4)、相対的な姿勢変化から回内角度を認識する。各種センサから取得したデータは、制御部に搭載されたBluetoothシリアルモジュールを通じてPCに送られ、手指ジェスチャ認識が行われる。本研究においてはユーザビリティ検証実験を行うために複数人の被験者にデバイスを装着してもらう必要があるため、腕の太さによらず装着できるように、伸縮性金属バンドを採用するなど、使いやすさに配慮した設計を行った。

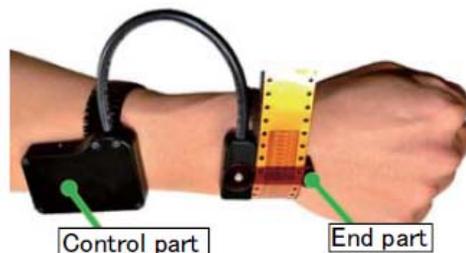


図2 開発したデバイスの外観

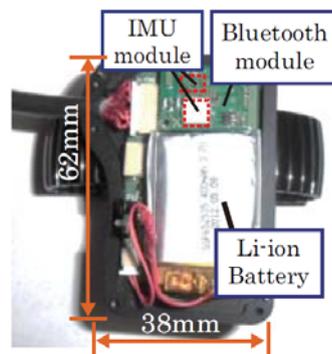


図3 制御部 (Control part)

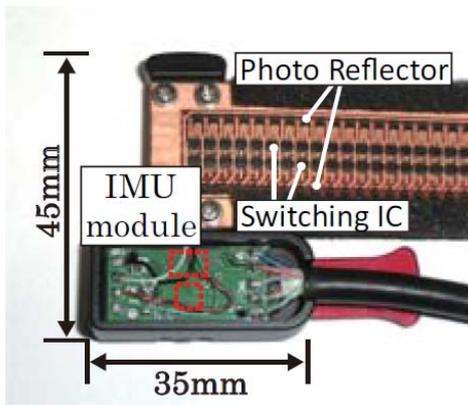


図4 手首装着部(End part)

4.2 回内状態を踏まえて手指形態を推定可能な認識アルゴリズムの構築

アルゴリズムの開発のために、まず手首凹凸データを収集し、その分析を行った。続いて、その分析結果を利用して特徴量・統計量を設計し、多クラス識別器と組み合わせることで、手指形態の認識に取り組んだ。

4.2.1 手首凹凸データの分析

手首凹凸データは、手形状によって変化する他、デバイスの装着状態、個人、手首回内角度といった要因によって変化する。開発したデバイスを用いてデータを収集し、各要因による変化傾向を観察した。

データは19人から手形状6種(図5)、回内角度8分割、各10サンプルで、装着状態を変えて6セット収集した。

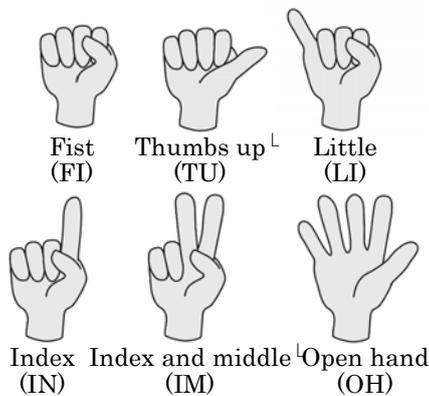


図5 認識対象の手形状6種

図6(左・中央)は、2人の被験者の6つの手形状での手首凹凸データの例である(回内角度は固定)。センサ番号1から、甲側→親指側→掌側→小指側→甲側の手首表層の、計測バンドからの距離データである。手首凹凸が手形状によって変化する他、個人の違いによってその形に差異があるが、手形状による共通性(Thumbs upでは親指付近の凹みが大きくなるなど)も確認できる。

また、図6(右)は、一人の被験者の一つの手形状(Index)について、回内角度が異なるデータを示したものである。手首凹凸が回内角度によって変化しており、その変化に連続性が有ることが確認できる。

4.2.2 手形状識別実験と考察

本研究では頑健な識別を行うために、距離の和・最大距離・ヒストグラムといった統計量を設計した。

手首凹凸データの2列から、校正データとの差分、周方向での分割といった前処理により60のデータ列を生成し、各々から39次元の統計量を算出する(2340次元)。

設計した統計量を入力とし、Crammerらの多クラスSVM(線形カーネル)[6]を用いて識別実験を行った。装着時の校正データは、回内角度90°時の手形状2クラス(Fist, Open hand)のデータのみを使用する(回内角度情報を用いる場合、回内0°、90°、180°時の相対角度データも使用する)。

対象の手形状クラスは、4クラス(FI, TU, IN, OH)と6クラス(4クラス+LI, IM)とし、それぞれ学習データとして評価被験者自身のデータを用いる場合、評価被験者以外のデータを用いる場合で実験を行った。実験は回内角度によりデータを8分割した場合と、回内角度情報を使わない場合で比較する。実験結果を表1に示す。それぞれの結果は、識別率(正しいクラスに識別されたサンプル数/入力されたサンプル数)によって評価する。

実験の結果、回内角度情報の有無に関わらず4クラスで約90%、6クラスで約80%の識別率を達成した。

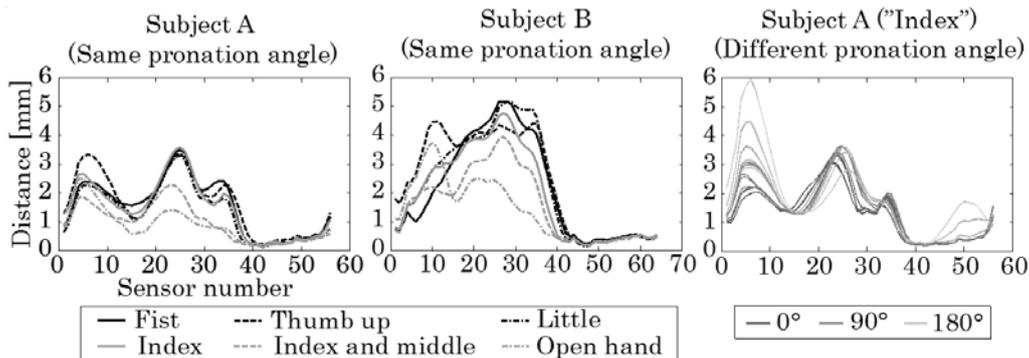


図6 手首凹凸データの例

表 1 認識結果

Target class		4 class		6 class	
Train data		Subject	Others	Subject	Others
Pronation	All	89.4 (4.4)	75.8 (6.8)	79.8 (6.1)	59.0 (8.2)
	Divided	89.3 (5.1)	76.3 (8.2)	79.6 (7.3)	58.6 (6.7)
Diff. (All - Divided)		0.1	-0.5	0.2	0.4

Average classification rate (std. error for subjects) [%]

識別精度は4クラスと6クラスで10%程度の差が有り、識別対象の数を要求精度に応じて適切に設計する必要があることがわかる。

また、回内角度情報の利用による識別性能への影響は0.5%以下の差異に留まった。すなわち、手首凹凸データには回内角度に依らず手形状依存の特徴が存在する、もしくは凹凸データに回内角度情報が潜在的に含有されているといえる。実験結果の一部の混同行列を図7に示す。

伸屈する指の差の少ない手形状(FI と TU 等)や共通性の有る手形状(LI と IN はFI から指を1本伸ばした形等)で多く混同が起きていることが確認できる。

Acculate class	Output class				Rate [%]
	FI	TU	IN	OH	
FI	8007	785	324	4	87.8
TU	1082	7726	272	40	84.7
IN	577	376	7915	252	86.8
OH	3	40	103	8974	98.4

Train data: All
Evaluation subject's own Pronation: All

Acculate class	Output class						Rate [%]
	FI	TU	LI	IN	IM	OH	
FI	7687	716	437	269	7	4	84.3
TU	1013	7295	457	296	40	19	80
LI	940	332	6408	897	477	66	70.3
IN	523	325	965	6641	602	64	72.8
IM	23	38	192	192	7658	1017	84
OH	1	30	43	110	933	8003	87.8

図7 認識結果 (混同行列)

4.3 人の手先の動きを操作入力として用いる装着型インタフェースのユーザビリティテスト

本研究では、画面操作のうちスクロール操作とリンク選択操作の2種類を検証したが、本報告書では本デバイスの特性が明確に現れたスクロール操作に的を絞って記述する。

4.3.1 スクロール操作UIの設計

スクロール操作は1自由度の操作であり、操作量としては、スクロールの変位・速度・加速度といったものが考えられる。また、回内動作を用いずに手形状のみで操作を行う方法も考えられる。以上の検討から、4つの操作方法を設計・実装した。なお、本論文中のスクロールに関する部分で述べる「1行」は、後述するスクロール操作実験の条件における規定操作ページに準拠しており、20ピクセル程である。また、各操作における速度・加速度・変位といったパラメータは、複数人に実際に操作してもらった際の様子を観察し、調整した。

① 操作方法1 (回内動作をスクロール速

度に割り当て):この操作方は、図8左上のようにパーの状態で行内することで、スクロール速度や方向を操作する。回内しないとき、あるいは手形状がパー以外のときは停止する。高速スクロール時は30line/s、低速スクロール時は15line/sでスクロールする。

- ② 操作方法2 (回内動作をスクロール加速度に割り当て):この操作方は、操作方法1と同様に回内動作のみでスクロールの方向まで切り替えることは困難であることが予備実験により確かめられたため、図8左下のように手首の回内でアクセル・ブレーキのようにスクロール加速度を操作し、スクロール方向は手形状(パーで下向き、チョキで上向き)により切り替える。スクロールの最高速度は45line/s、加減速時の加速度は50line/s²または100line/s²とした。

- ③ 操作方法3 (繰り返し動作による操作):この操作方は、手首の回内角度変化量と、スクロール変位量が比例する操作である。手形状をパーにした瞬間からの回内角度変化量 θ [deg]に応じた行数スクロールする。予備実験を参考に、スクロール量は $\theta/3$ 行と設定した。回内する方向が反時計回りのとき下向き、時計回りのときは上向きにスクロールする。

- ④ 操作方法4 (非連続的な動作による操作):この操作方はグーならば下向き、チョキならば上向きに一定速度でスクロールし、パーのとき停止する。スクロール時に意図した場所ですぐにやめよう、スクロール速度は操作方法Aの低速スクロールと同様に15line/sとした。
- ⑤ 操作方法5 (設置型デバイスによる操作):Leap Motionを用いる操作である。図8右端に示すように空中でスワイプすることでスクロールを行うことができる。

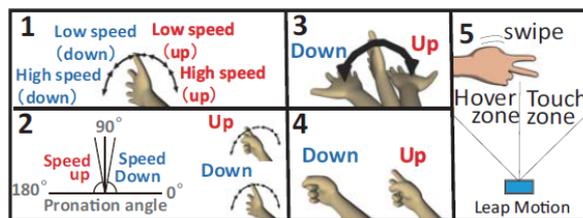


図8 設計した各種スクロールUI

4.3.2 スクロール操作UIのユーザビリティテスト

【規定操作】 実験用に図9に示すwebページを用意した。被験者には画面上で指示された行数を表示する操作を行ってもらった。下向きに250行・150行・50行、上向きに240行・120行・60行のスクロールを、施行回

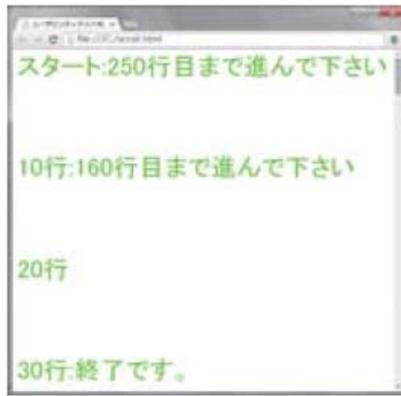


図9 ユーザビリティテスト用 Web ページ

ごとに順番を入れ替えて行ってもらった。

【結果と考察】 図10は規定操作所要時間の平均値を示し、エラーバーは標準偏差を示す。図11はNASA-TLXに基づくアンケートの結果である。0~10点の間で0.5刻みでアンケートを取った結果の平均値をあらわし、評点が低いほど各種負荷が小さく、ユーザビリティに優れているといえる。

図11の操作方法1~3を比較すると、操作方法1が有意水準5パーセントのt検定（以後本論文中ではすべて同じ条件で検定を行った）の結果有意に優れていることが分かった。これは、回内を加速度に割り当てた操作方法2は速度を調整するために頻繁に手首をひねる必要があったこと、また、回内角度変化量に応じてスクロールする操作方法3は長距離のスクロールのために何度も手首をひねる動作を行う必要があったことが原因であると考えられる。また、図12にもあるように、操作方法1は操作方法2および3に比べ、NASA-TLXに基づく評点がすべての項目において小さかった。以上のことから、回内動作を操作の速度に割り当てることで、加速度や変位に割り当てるよりも操作効率や精神的負荷の点から優れた操作となることが分かった。

操作方法1と4を比べると、NASA-TLXに基づく評点に関しては大きな差は見られなかった。一方で、規定操作所要時間に関しては操作方法1の方が有意に優れており、回内動作を用いて速度を調節することにより操作の効率をあげることができることがわかった。装着型デバイスによる操作方法1と、設置型デバイスによる操作方法5を比較すると、規定操作所要時間に関しては操作方法1が有意に優れており、NASA-TLXに基づく評点においてもすべての項目で操作方法1が優れた値となっていた。これはスクロールのような1次元の操作においては、デバイスの認識範囲を考慮しながら3次元的な動作を行う必要のある設置型デバイスよりも、装着型デバイスの方が操作が容易であることに起因すると考えられる。

以上のように、スクロール操作のような1

次元の操作においては、装着型デバイスを用いて回内動作を速度のパラメータに割り当てることでユーザビリティの高い操作インタフェースとなることが示された。

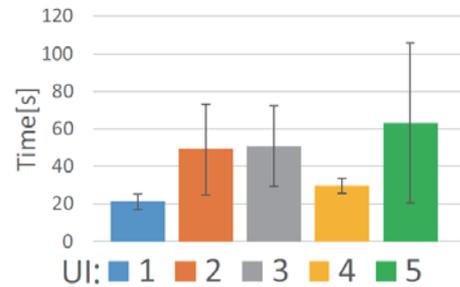


図10 実験結果(所要時間)

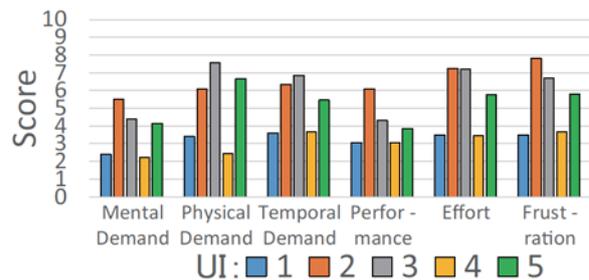


図11 実験結果 (NASA-TLX 準拠の負荷指標)

参考文献

- [1] Leap Motion.
<http://www.leapmotion.com/>
- [2] CyberGloveSystems.
<http://www.cyberglovesystems.com/products/cybergloveii/overview>
- [3] T. Scott Saponas et al. Enabling always-available input with muscle-computer interfaces. In Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 167—176, 2009.
- [4] David Kim et al. Digits: freehand 3D interactions anywhere using a wrist-worn gloveless sensor. In Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 167—176, 2012.
- [5] Rui Fukui et al.: Development of wrist contour measuring device for an interface using hand shape recognition. Advanced Robotics 27(7), pp. 481-492, 2013.
- [6] K. Crammer, et al. On the algorithmic implementation of multiclass kernel-based vector machines. J. Mach. Learn. Res., Vol. 2, pp. 265-292, 2002.

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 2 件)

- ① Rui Fukui, Masahiko Watanabe, Masamichi Shimosaka, and Tomomasa Sato. Hand shape classification with a wrist contour sensor. Analyses of feature types, resemblance between subjects, and data variation with pronation angle. The International Journal of Robotics Research, Vol. 33, No. 4, pp. 658-671, 2014. 査読有.
- ② Rui Fukui, Masahiko Watanabe, Masamichi Shimosaka, and Tomomasa Sato. Hand shape classification in various pronation angles using a wearable wrist contour sensor. Advanced Robotics, Vol. 29, No. 1, pp. 3-11, 2015. 査読有.

[学会発表] (計 3 件)

- ① Rui Fukui, Naoki Hayakawa, Masahiko Watanabe, Hitoshi Azumi, and Masayuki Nakao. Hand gesture interface for content browse using wearable wrist contour measuring device. In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 1222 - 1229, Hamburg, Germany, October 2015. 査読有.
- ② 福井類, 早川直樹, 安住仁史, 渡邊匡彦, 中尾政之, 濱口哲也, 長藤圭介. 装着型手首凹凸形状計測デバイスを用いた手指ジェスチャによる web ブラウジング操作に関する研究. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集 DVD, 3A1-N06, 富山市総合体育館(富山県, 富山市), May 2014. 査読無.
- ③ 福井類, 唐澤宏之, 早川直樹, 渡邊匡彦, 中尾政之. 装着型手首凹凸計測デバイスによる手形状と手首屈曲状態の同時認識. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集 DVD, 2P1-L08, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都府, 京都市), May 2015. 査読無.

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

[その他]

福井 類の研究紹介 Web ページ

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 類 (FUKUI, Rui)
東京大学・大学院工学系研究科
・機械工学専攻・特任講師
研究者番号：80607416