Vol.2017-HCI-171 No.25
2017/1/24

導電繊維編み込み手袋を用いた指の曲げ計測手法

高田 峻介[1,a)]　志築 文太郎[2]　高橋 伸[2]

概要：データグローブを構築するための，導電繊維が編み込まれた手袋を用いた指の曲げ計測手法を示す．提案手法は，指を曲げた際に指の関節部にて手袋表面の導電繊維同士が接触し，短絡することによって抵抗値が減少する性質を用いて指の曲げを計測する．提案手法は，スマートフォンなどの静電容量方式タッチパネル搭載端末を装着したまま操作可能な手袋に，抵抗値を計測するための回路のみを接続して用いるため，追加のセンサを必要とせず軽量なデータグローブを構築可能である．

1. はじめに

人間の手に装着して手形状を認識するウェアラブルデバイスとしてデータグローブがある．データグローブは VR 環境や遠隔医療，3D モデリングのための入力インタフェースなど，幅広い分野で利用されている．軽量なデータグローブを用いることにより，外出先においても，デバイスを装着することにより手形状を認識可能であるため，例えば手話および指文字を利用した聴覚障がい者向けの入力インタフェースや，ハンドジェスチャを用いた携帯端末操作に利用できる．

現在，いくつかのデータグローブが市販されているが，手袋に複数のセンサを搭載しているため，通信用のユニットやバッテリを除き，手袋およびセンサのみの重量で 60g〜85 g と重くなってしまっている [1,6,19]．ウェアラブルデバイスは一般的に長時間装着することを考えると軽い方が良い [5]．

そこで，我々は軽量なデータグローブを開発するための，導電繊維をセンサとして用いた指の曲げ計測手法を示す．本手法では，手袋を装着したまま静電容量方式タッチパネルを操作可能な，タッチパネル対応手袋に編み込まれた導電繊維を用いて指の曲げ計測を行う．指の曲げ計測には，指を曲げた際に導電繊維同士が手袋表面にて接触し，短絡することによって抵抗値が減少する現象を用いる．この抵抗値変化の特性を評価するためにタッチパネル対応手袋および曲げセンサを用いた比較を行ったところ，本手法を用いて指の曲げを計測可能であることが分かった．また，本手法を用いて従来の市販品に比べて軽量なデータグローブを開発した．

[1] 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
[2] 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba
[a)] rtakada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

2. 関連研究

手形状認識手法として，主にカメラを用いた手法およびデータグローブを用いた手法が用いられる．本節にて手形状の認識手法を述べる．

2.1 カメラを用いた手形状認識

カメラを用いて手形状認識を行う手法が提案されている．Leap Motion は 2 基の赤外線カメラおよび赤外線照射 LED を用いて手形状の認識を行っている [17]．Tang らは Kinect を用いて手形状認識を行っている [26]．Wang らは部位によって色の異なる手袋をカメラで撮影し，手形状の認識を行っている [29]．Digits は手首に装着したカメラを用いて，手形状を認識する手法である [14]．Anywhere Surface Touch は光学カメラの上に手首を置いた際の，カメラに映る指形状を認識する手法である [21]．

カメラを用いた手形状認識を用いることにより，手のひらに装置を装着する必要が無く，高い精度にて手形状を認識可能である．しかし，手が障害物に隠れた場合にうまく手形状を認識できないオクルージョンの問題があり，さらにカメラに手が映るように設置する必要があるため，外出先において利用する場合，肩や耳にカメラを設置する必要がある [11,25]．一方，データグローブを用いた手形状認識の場合，オクルージョンの問題が起こらず，例えばポケットに手を入れた状態でも手形状認識が可能であり，カメラの撮影範囲を気にする必要がないため，外出先にて利用することができる．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan



図 1　実験用手袋（右手用）

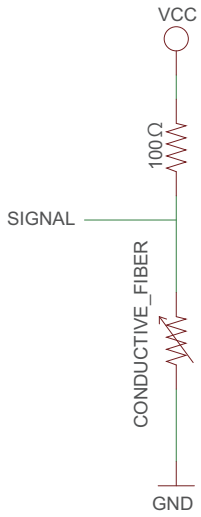


図 2　実験用手袋の回路

2.2　データグローブを用いた手形状認識

データグローブを用いて手形状を認識する手法を述べる．データグローブを用いた指の曲げ計測を行う手法として，ひずみゲージ方式 [18, 24]，圧電素子方式 [4]，光ファイバ方式 [1, 10]，導電インク方式 [13, 28]，静電容量センサ方式 [9]，慣性センサ方式 [12, 16]，磁気センサ方式がある [8]．本研究の手法はこれらの方式の中で，導電繊維の抵抗値変化を用いて指の曲げを認識する点においてひずみゲージ方式に似ているが，引張力による導体形状の変化を用いた抵抗値変化ではなく，手袋表面の繊維同士が触れ合うことによる，電流が流れる経路の長さ変化に基づく抵抗値変化を用いて曲げ認識を行っている点で異なる．

2.3　その他の手形状認識

ThumbSlide は腕に巻き付けた赤外線フォトリフレクタを用いて認識した筋肉の隆起からハンドジェスチャを認識する手法である [3]．同様の手法は圧力センサを用いて行うことができる [7]．Yang らは腕に巻いた電極を用いて，腕内部構造を計測することにより手形状認識を行っている [30]．筋電位を用いて手形状認識を行うこともできる [15, 27]．これらの手法は手ではなく腕にセンサを取り付けることにより手形状認識を行うため，手を用いた作業時に装置が邪魔になりにくい利点を有するが，細かい指の曲げ具合の認識を行うことができない．Peshock ら，および Miller らは手袋上に縫い付けた複数の電気的接点に対する親指の接触を認識する手袋を提案している [20, 22]．本手法は指の曲げ具合の認識を行っている点で異なる．

3.　導電繊維を用いた指の曲げ計測

タッチパネル対応手袋を用いて指の曲げ計測ができるかどうかを調査するために，手袋に編み込まれた導電繊維およびひずみゲージ方式の曲げセンサの抵抗値を計測し，比較した．計測用システムの構成および計測結果を考察する．

3.1　システムの構成

図 1 に抵抗値比較用に製作した実験用手袋の写真を，図 2 に実験用の回路を示す．タッチパネル対応手袋として，手袋全体に銀素材融合のナイロン繊維を編み込んだ，Agloves 社製の Agloves Touchscreen Gloves [2] を用いた．実験用手袋は，タッチパネル対応手袋に曲げセンサ（SpectraSymbol 社製，SEN-08606）を非導電性の糸を用いて縫うことにより固定し，さらにワニ口クリップを用いて人差し指の先端および指の根本部分に結線し，製作した．この実験用手袋を手に装着し，図 2 に示す分圧回路，およびオシロスコープとして Digilent Inc. 製の ANALOG DISCOVERY を用いて指を曲げた際の抵抗変化の計測を行った．

3.2　計測結果

導電繊維および曲げセンサの抵抗変化の計測結果を図 3 に示す．図 3 上部の写真 a–e はグラフの各点における指の姿勢を示す写真である．抵抗変化の結果より，指を曲げると抵抗値が増加する曲げセンサとは異なり，導電繊維の抵抗値が減少している．抵抗値が減少した理由として，図 4 に示す様に，指を曲げた際に関節部にて手袋表面の導電繊維同士が接触し，電流が流れる経路が短くなったためと考えられる．また図 3c の様に指を曲げた際に前後の波形より一段と抵抗値が減少している．これは指の先端が手の平側と接触し，最も電流が流れる経路が短くなったためである．

また，指を伸ばした状態から曲げた場合（図 3a → 図 3b）および曲げた状態から伸ばした場合（図 3d → 図 3e）という過渡状態において，一時的に抵抗値が高くなる現象を観測した．デジタル信号処理にて回路が有するインダクタンス等により一時的に電圧が目標の値よりも高くなるオーバーシュートに似ているものの，300 msec 程度と長時間抵抗値が高くなっている．この現象は指の曲がり始め，および伸ばしきった際に発生し，ゆっくり指の曲げ伸ばしを行った場合においても発生した．この現象を用いて指の曲げ動作の開始および終了地点の検出に利用できる可能性があるものの，指の曲がり具合の計測には不要であるため，今後抵抗値の増加の原因および対策を調査を行う．

4.　データグローブの製作

前節にて述べた指の曲げ計測手法を用いたデータグローブの製作を行った．製作したデータグローブを図 5 に示す．データグローブの各指の先端および手首の部分に，導線として導電糸を縫い付け，それぞれの導電糸はタッチパネル対応手袋の導電繊維と短絡しないように熱収縮チューブを用いて覆った．データグローブの回路図を図 6 に示

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

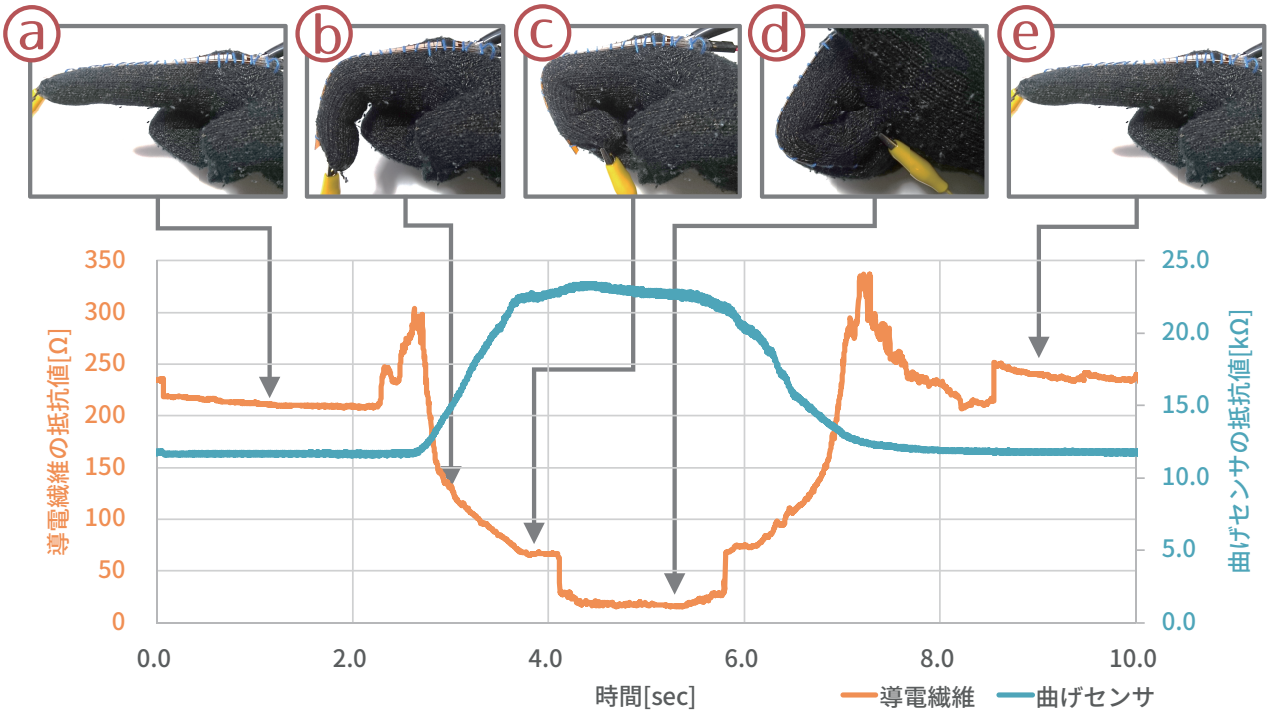


図 3　指を曲げた際の導電繊維および曲げセンサの抵抗値

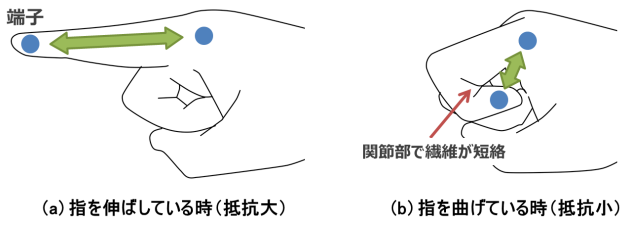


図 4　導電繊維を用いた指の曲げ計測の原理

す．データグローブの回路は，抵抗値計測のための分圧回路，手の姿勢計測用の慣性センサ（MPU6050），無線通信用の Bluetooth モジュール（Bluetooth Mate），通知用の LED，およびマイコンボード（Arduino Pro Mini）から構成される．さらに電源としてリチウムイオンポリマーバッテリ（1000 mAh）を用いた．

本データグローブは，回路を手の甲側に面ファスナーを用いて固定しており，手の平側には何も搭載されていないため，装着したままタッチパネルを操作可能である．

4.1　データグローブの重量

製作したデータグローブの重量を重さはかり（新光電子株式会社製，AJ-II6200）を用いて計測したところ，導電糸を用いた配線を含む手袋の重量は 25.84 g，バッテリおよび回路を含めた総重量は 65.99 g であった．また，本手法にて用いたタッチパネル対応手袋の重量が 18.43 g であるため，導電糸を用いた配線の重量は 7.41 g である．製作したデータグローブを市販されているデータグローブと比較



図 5　製作したデータグローブ

するため，重量および PC との接続方法を調査した．結果を表 1 に示す．比較結果より，本手法のデータグローブは市販のデータグローブに比べて軽量であることが分かる．ウェアラブル装置は軽量な方が長期間装着する場合に好ましいとされているため，本手法のデータグローブは軽量に設計できる点で従来の市販されているデータグローブに比べ優れている．また市販のデータグローブは耐久性を持たせるために，曲げセンサを挟むように手袋が二重になっているものが多く，重量増加の一因となっている．一方，本手法は手袋に編み込まれた導電繊維自体をセンサとしているため，手袋を伸ばしたり逆方向に折り曲げたりしても壊れにくい．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

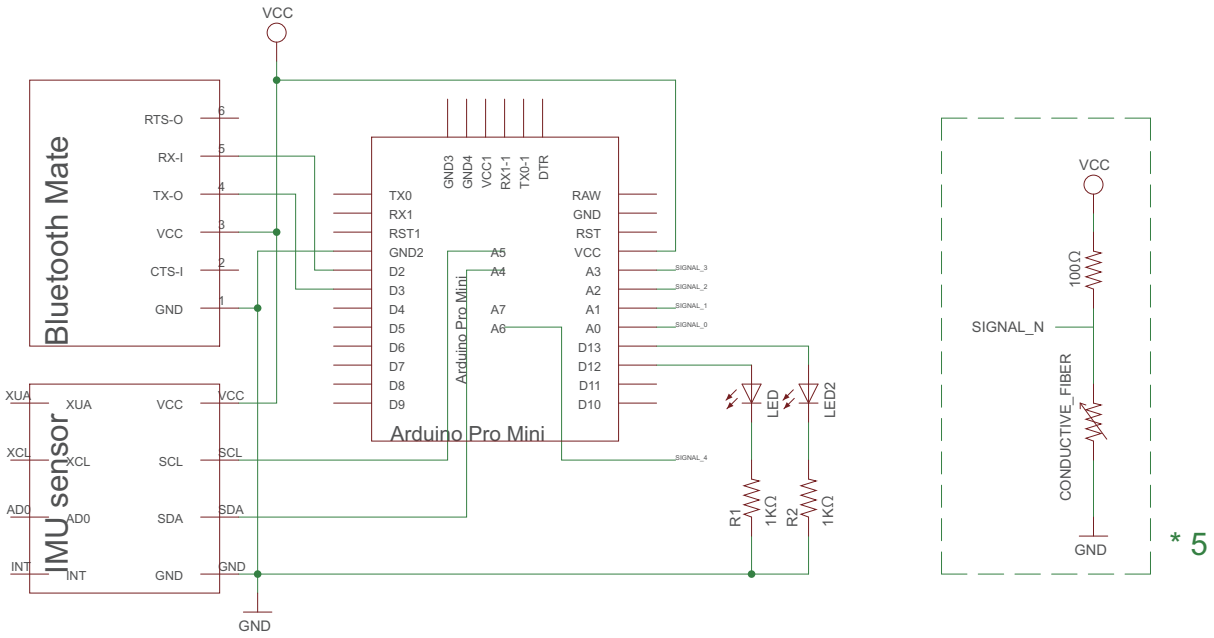


図 6　データグローブの回路図

表 1　本手法および市販されているデータグローブの比較

製品名	メーカ	重量	接続方法
CyberGlove [6]	CyberGlove Systems 社	85 g（手袋のみ）	有線
CyberGlove II [6]	同上	70 g（手袋のみ），215 g（通信，処理ユニット込み，バッテリ込）	無線
5DT Data Glove [1]	5DT 社	300 g（通信，処理ユニット，バッテリ込）	無線
ShapeHand [19]	Measurand 社	60 g（手袋のみ）	無線
本手法	-	25.84 g（手袋のみ），65.99 g（通信，処理ユニット，バッテリ込）	無線

4.2　手形状ごとの応答波形

右手に本データグローブを装着し，親指から小指まで順に指を曲げた際の分圧回路の出力電圧の波形を図 7 に示す．本分圧回路の出力電圧は，指を曲げると下がり，指を伸ばすと上がるようになっている．この時，データグローブは Bluetooth 通信（baud rate：38400）により PC にデータを送信し，PC 側にてデータの出力を行った．また，5 指とも電圧値の変化が一定時間ごとに更新されているのは，マイコンボード側にて AD 変換に時間がかかり，一定時間ごとに出力電圧をサンプリングしているためである．

図 7 の応答波形より，5 指の曲げ具合を計測できていることが分かる．また応答波形より，親指以外の指を曲げた際に，つられて周囲の指の出力電圧も降下していることがわかる．これは親指以外の指の付け根にこれらの指は靭帯が走っているため，一本の指を曲げようとするとつられて周りの指も曲がるためである [31]．さらに，本データグローブでは常に各指に電圧を印可しているため，一本の指を曲げた際に各指に接続された分圧回路同士が相互に作用した影響がでていると考えられる．この対策としてマルチプレクサを用いて，一本の指のみに対して電圧の印可および出力電圧の計測を行い，これを指ごとに繰り返して行う手法が考えられる．

5.　議論

本稿にてタッチパネル対応手袋の指の先端および根本という 2 点の接点に導線を接続し，接点間の抵抗値を測定することにより指の曲げ計測を行った．抵抗値を計測に用いる接点を変更することにより，指の曲げ以外の動作を計測できる可能性がある．例えば，2 本の指の先端同士の間の抵抗値を測定することにより，指の開き具合や接触の計測ができると考えられる．このように接点の位置および数を増やすことにより，より詳細な手形状認識を行う．

本手法は手袋に編み込まれた導電繊維同士が短絡し抵抗値が減少する性質を利用している．他に導電繊維同士が短絡が起こる状況として，アルミ棒などの導電性の物体を握った場合が考えらえる．この現象を応用することにより手が把持している物体の認識を行うことを考えている．Ivan らは，周波数を逐次的に変化させる掃引信号を用いることにより，単一電極を用いて手や指がどのように電極に接触しているかを認識している [23]．本手法においても，タッチパネル対応手袋を単一電極とみなすことにより，手袋を装着したまま導電性の物体を把持した場合に，把持した物体によって周波数特性が異なれば，物体認識を行うことができると考えられる．今後，把持している物体によって周波数特性が異なるかどうか検証を行う，

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

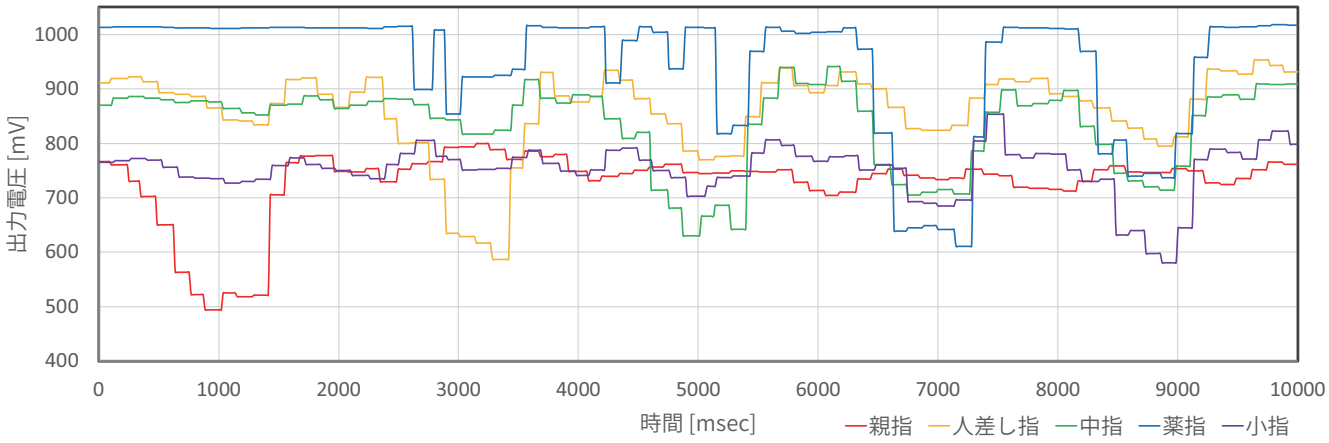


図 7 指を順番に曲げた際のデータグローブの出力電圧波形

6. まとめ

本稿にて，導電繊維が編み込まれたタッチパネル対応手袋自体をセンサとして用いることにより，指の曲げ計測を行う手法を示した．また手袋を装着した状態にて，タッチパネル対応手袋の抵抗値を計測したところ，手袋表面の導電繊維同士が短絡することにより，抵抗値が減少していることを確認した．さらに本手法を用いて，市販されているデータグローブに比べて軽量なデータグローブの製作を行い，5 指の指の曲げ計測ができていることを確認した．今後，指の各関節ごとの角度ならびに抵抗値の関係の調査および回路の小型軽量化を行う予定である．

参考文献

[1] 5DT: Virtual Reality Hardware. `http://www.5dt.com/vr-hardware/`（2016 年 12 月 21 日閲覧）．
[2] Agloves: Agloves. `http://www.agloves.com/`（2016 年 12 月 21 日閲覧）．
[3] Aoyama, S., Shizuki, B. and Tanaka, J.: ThumbSlide: An Interaction Technique for Smartwatches using a Thumb Slide Movement, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 2403–2409 (2016).
[4] Bhattacharya, S., Khan, S., Sil, T., Bepari, B. and Bhaumik, S.: IPMC Based Data Glove for Finger Motion Capturing, *Proceedings of the 2015 Conference on Advances In Robotics*, AIR '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 51:1–51:6 (2015).
[5] Cliff, R.: Wearable Computing: A Review (2005).
[6] Cyber Glove Systems: Cyber Glove Systems. `http://www.cyberglovesystems.com/`（2016 年 12 月 21 日閲覧）．
[7] Dementyev, A. and Paradiso, J. A.: WristFlex: Low-power Gesture Input with Wrist-worn Pressure Sensors, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 161–166 (2014).
[8] Dipietro, L., Sabatini, A. M. and Dario, P.: Evaluation of an Instrumented Glove for Hand-movement Acquisition, *Journal of rehabilitation research and development*, Vol. 40, No. 2, pp. 179–189 (2003).
[9] Dipietro, L., Sabatini, A. M. and Dario, P.: A Survey of Glove-Based Systems and Their Applications, *Trans. Sys. Man Cyber Part C*, Vol. 38, No. 4, pp. 461–482 (2008).
[10] Fujiwara, E., Miyatake, D. Y., Santos, M. F. M. and Suzuki, C. K.: Development of a Glove-based Optical Fiber Sensor for Applications in Human-robot Interaction, *Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction*, HRI '13, Piscataway, NJ, USA, IEEE Press, pp. 123–124 (2013).
[11] Harrison, C., Benko, H. and Andrew D, W.: OmniTouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere, *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 441–450 (2011).
[12] Hrabia, C.-E., Wolf, K. and Wilhelm, M.: Whole Hand Modeling using 8 Wearable Sensors: Biomechanics for Hand Pose Prediction, *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*, AH '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 21–28 (2013).
[13] Kawahara, Y., Hodges, S., Gong, N.-W., Olberding, S. and Steimle, J.: Building Functional Prototypes using Conductive Inkjet Printing, Vol. 13, No. 3, pp. 30–38 (2014).
[14] Kim, D., Hilliges, O., Izadi, S., Butler, A. D., Chen, J., Oikonomidis, I. and Olivier, P.: Digits: Freehand 3D Interactions Anywhere using a Wrist-worn Gloveless Sensor, *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 167–176 (2012).
[15] Kim, J., Mastnik, S. and André, E.: EMG-based Hand Gesture Recognition for Realtime Biosignal Interfacing, *Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent User Interfaces*, IUI '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 30–39 (2008).
[16] King, R. C., Atallah, L., Darzi, A. and Yang, G. Z.: An HMM Framework for Optimal Sensor Selection with Applications to BSN Sensor Glove Design, *Proceedings of the 4th Workshop on Embedded Networked Sensors*, EmNets '07, New York, NY, USA, ACM, pp. 58–62 (2007).
[17] Leap Motion: Leap Motion. `https://www.leapmotion.com/`（2016 年 12 月 21 日閲覧）．
[18] Luzhnica, G., Simon, J., Lex, E. and Pammer, V.: A Sliding Window Approach to Natural Hand Gesture

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Recognition using a Custom Data Glove, *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, IEEE, pp. 81–90 (2016).

[19] Measurand: What is ShapeHand? `http://www.shapehand.com/shapehand.html`（2016 年 12 月 21 日閲覧）.

[20] Miller, S., Smith, A., Bahram, S. and Amant, R. S.: A Glove for Tapping and Discrete 1D/2D Input, *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Intelligent User Interfaces*, IUI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 101–104 (2012).

[21] Niikura, T., Watanabe, Y. and Ishikawa, M.: Anywhere Surface Touch: Utilizing Any Surface as an Input Area, *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference*, AH '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 39:1–39:8 (2014).

[22] Peshock, A., Duvall, J. and Dunne, L. E.: Argot: A Wearable One-handed Keyboard Glove, *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers: Adjunct Program*, ISWC '14 Adjunct, New York, NY, USA, ACM, pp. 87–92 (2014).

[23] Poupyrev, I., Harrison, C. and Sato, M.: Touché: Touch and Gesture Sensing for the Real World, *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 536–536 (2012).

[24] Roy, K., Idiwal, D. P., Agrawal, A. and Hazra, B.: Flex Sensor Based Wearable Gloves for Robotic Gripper Control, *Proceedings of the 2015 Conference on Advances In Robotics*, AIR '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 70:1–70:5 (2015).

[25] Tamaki, E., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: Brainy Hand: An Ear-worn Hand Gesture Interaction Device, *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 4255–4260 (2009).

[26] Tang, A., Lu, K., Wang, Y., Huang, J. and Li, H.: A Real-Time Hand Posture Recognition System using Deep Neural Networks (2015).

[27] Thalmic Labs Inc: Myo Gesture Control Armband. `https://www.myo.com/`（2016 年 12 月 21 日閲覧）.

[28] Tongrod, N., Tuantranont, A. and Kerdcharoen, T.: Design and Development of Data-glove Based on Printed Polymeric Sensors and Zigbee Networks for Human Computer Interface, *Proceedings of the 4th International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, iCREATe '10, Kaki Bukit TechPark II, Singapore, Singapore Therapeutic, Assistive & Rehabilitative Technologies (START) Centre, pp. 47:1–47:4 (2010).

[29] Wang, R. Y. and Popović, J.: Real-time Hand-tracking with a Color Glove, *ACM SIGGRAPH 2009 Papers*, SIGGRAPH '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 63:1–63:8 (2009).

[30] Zhang, Y. and Harrison, C.: Tomo: Wearable, Low-Cost Electrical Impedance Tomography for Hand Gesture Recognition, *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology*, UIST '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 167–173 (2015).

[31] 池原和子，上久保恵美子，比企静雄：手の形の操作の困難さと手話で使われる可能性との関係，電子情報通信学会論文誌，D-II, Vol. J 79-D-II, No. 9, pp. 1562–1574 (1996).

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan