

PossessedHand: 電気刺激を用いた人体手形状の直接制御システム

玉城 絵美[†] 味八木 崇^{††} 曆本 純一^{†††}

ハンドジェスチャの情報をコンピュータに入力する研究は盛んに行われているが、逆にコンピュータの情報から手形状を制御するシステムは少ない。手形状の制御は、様々なフィードバックシステムとして応用できる。そこで、本研究では手形状によるフィードバックシステムを目指し、電気的筋肉刺激により手形状を制御する PossessedHand を提案した。前腕周囲に配置した 14 個の非侵蝕性のパッド型電極を用いて、手指を駆動する筋肉に電気刺激を与える。PossessedHand を用いて各々の手指関節についての動作実験を行ったところ、合計 16 関節屈曲動作を確認した。また、指伸展動作も確認した。この実験結果をふまえ、ナビゲーションシステム、3次元フィードバックシステムと楽器演奏の学習補助のインタラクションシステムを提案した。

PossessedHand: A Hand Gesture Manipulation System using Electrical Stimuli

EMI TAMAKI,[†] TAKASHI MIYAKI^{††} and JUN REKIMOTO^{††}

In this paper, we propose PossessedHand, a system for outputting hand gesture and generate somatosensory feedback. PossessedHand manipulates hand by an electrical stimulus applied to muscles around user's forearm. The electrical stimuli are generated by an electronic pulse generator and given from 14 electrode pads. In our experiments, 16 joint angles' motions are confirmed. We also suggest applications such as navigation system, 3D feedback system, and assistance system to play the musical instruments.

1. はじめに

ハンドジェスチャの情報をコンピュータに入力する研究は盛んに行われているが、逆にコンピュータの情報から手形状を制御するシステムは少ない。もし、手形状を自在に制御することができれば、様々なインタラクションシステムのフィードバックとして利用できる。例えば、手が目的地を指し示してくれるナビゲーションシステム (図 1-b)、3次元空間上にある仮想物体を認識するためのフィードバックシステムなどへの利用が考えられる (図 1-a)。さらには、箏や踊りといった伝統芸能の学習の補助としての利用、盲人や聾者の視覚や聴覚の代用感覚として期待される。そこで、本論文では、電気刺激により手形状を制御する



図 1 PossessedHand の装着の様子と PossessedHand を用いたインタラクション例。

PossessedHand (図 1) を提案する。

1.1 手形状制御の段階

本研究では、手形状の制御の段階を大きく 4 段階に分けた。

【段階 1】視覚的な変化は少ないが、手形状の変化を使用者本人が体勢感覚として感じる。

【段階 2】視覚的にみて手形状が変化している。

【段階 3】把持 (grasp) と開く (opening) の手形状、

[†] 東京大学大学院 学際情報学府
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo

^{††} 東京大学大学院 情報学環
Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo

^{†††} 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所
Sony Computer Science Laboratories, Inc.

またはそれに類似した形状が各指で独立して制御できる。

【段階 4】 挟む、つまむ (pinch) などの母指と示指を使った細かな手形状が制御できる。

段階 1 では、ハンドジェスチャ入力を主体としたインタラクションのフィードバックシステムや他感覚の代用感覚として利用できる。段階 2 では、手話や手指の踊り学習の補助といった物体とは関わりのないシステムへの利用が考えられる。段階 3 では箏やピアノなどの楽器演奏、段階 4 では微細な陶芸品作成の学習補助として用いることができる。手形状を制御する際には、図 2 の A の領域に示される部位、つまり手指には何も装着しない方がよい。なぜならば、手形状の制御後、手指は実物体に触れたり、把持することが想定されるからである。手形状の制御手法として、制御可能なグローブ状のものを装着し、グローブが動作することによって、内部の手指を動作させる手法も考えられる。この手法は、段階 1~4 までの手形状を確実に制御することができる。しかし、前述の通り、グローブを装着していると、実物体との接触の妨げになってしまう。実物体把持や演奏学習支援などのインタラクションシステムを想定すると最適とは言えない。そこで、電氣的筋肉刺激、EMS(Electrical Muscle Stimulation)³⁾ を手形状の制御に用いる。皮膚に装着した電極から神経筋肉をパルス信号により電氣的に刺激し、特定の筋肉を動作させることが知られている。これを EMS と呼ぶ。EMS は人体制御にあたって、出力するエネルギーが小さく、装置の小型軽量化は比較的容易と言われている²⁾。

1.2 関連研究

EMS の応用例としては、スポーツトレーニング補助として電氣的筋肉刺激運動療法³⁾ が知られている。EMS は、低周波治療器としても広く普及している。また、パフォーマンスやアート⁴⁾ としても利用されている。

本研究の目指すところにある EMS による手形状の制御は、機能的電気刺激 FES(Functional Electrical Stimulation)^{1), 5)} の動作制御に近い。FES とは、電気パルスによって筋肉に刺激を与え、生体機能を制御することである。FES は、麻痺した手足を電気刺激により動作させ、再建させるシステムとして知られている。脊髄損傷や脳血管障害などの上位運動神経損傷で生じた麻痺で片方の手足を動かすことが出来なくなった際に用いられる。健全な手足の筋電データや使用者の音声命令から麻痺した手足に電気刺激を与え、動作

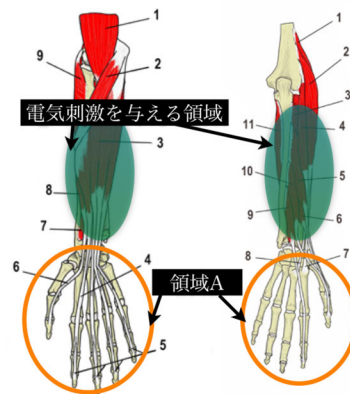


図 2 PossessedHand が電気刺激を与える筋肉の場所と、把持や接触に使われる領域 A。

機能を再現するシステムである。

渡邊らは、4つの筋を刺激し、手関節 2 自由度運動を制御する手法を提案した⁵⁾。この報告から電気刺激で、筋肉が伸縮し、手首関節に繋がっている腱を動作させることによって、手首形状の制御が確認できる。しかしながら、本研究で目指す手形状制御で重要となる指関節動作については触れていない。また、皮膚に埋め込む侵蝕型の電極を用いるので、気軽に使用することはできない。健康者や障がい者に限らず、使用者が日常生活で手軽に使用するためには、非侵蝕性の電極を用いる必要がある。また、電気刺激を行う場所は、物体把持や接触に使われる手指を避けなければならない。

本論文では、非侵蝕性のパッド型の電極を用いて、前腕周辺を電気刺激し、手形状を制御する Possessed-Hand を提案する。手指動作の際に用いる比較的大きな筋肉は、前腕周辺に密在している⁶⁾。前腕にベルト状に 14 個の電極を配置し、細かな筋肉へ電気刺激を与える。その各々の筋肉と繋がっている腱が手指関節を動作させ、手形状を制御する。前腕周辺への電気刺激のみで、手形状をどの程度制御できるかについては、未だ指標がない。PossessedHand で駆動可能な手指関節について、確認実験を行う。さらに、その実験結果と、前述の手形状制御の段階 1~4 をふまえ、PossessedHand で実現可能な PossessedHand で実現可能なインタラクションシステムを提案する。

2. システム構成

2.1 手形状の制御に用いる筋肉

PossessedHand は、前腕周辺の筋肉を刺激する。前腕周辺の上下 7 箇所、合計 14 個の電極を用いて筋肉に電気刺激を与える。上部に電圧を加え、下部を GND とした。上部から一つ、下部から一つ電極を選び、電気

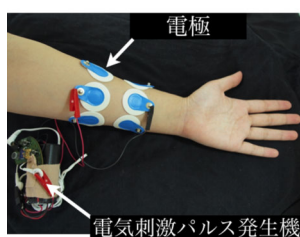


図 3 PossessedHand の装置内部の様子。

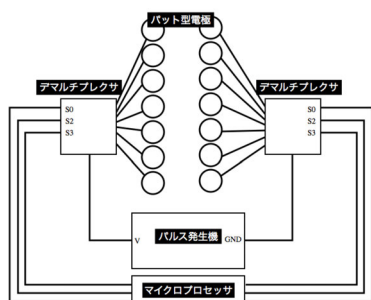


図 4 装置構成図。

刺激を与える経路を決定する。経路の組み合わせは、 7×7 種類ある。上下 7 箇所電極を配置したのは、5 本の指を屈曲させる筋肉を刺激するために前腕内側に電気刺激経路を 4 カ所確保し、指を伸ばしたり手首を屈曲伸展させる前腕外側と側面にある 3 カ所の電気刺激経路を確保するためである。手指関節を動作させるために使う筋肉は、前腕から指先周辺に存在している⁶⁾。特に把持と手首動作に大きく影響する浅指屈筋、深指屈筋、長母指屈筋と総指伸筋、橈側手根屈筋、長掌筋、尺側手根屈筋は、前腕周辺に存在し(図 2)、今回は主にこの 7 種類の筋肉に刺激を与える。

2.2 装置

装置は、パルス発生機、14 個の電極で構成される。電気経路が固定のインタラクションシステムの場合は、パルス発生機と電極を直接つなげる(図 3)。電気経路を場面により変化させる場合は、デマルチプレクサを用いる(図 4)。電気刺激は、17V から 29V、幅 0.2ms、40Hz のパルスを用いる。このパルス間隔による刺激は、一般に普及している低周波治療器の揉みマッサージに近い。

2.3 手指と手首関節動作実験

手形状制御のための各々の手指関節が動作するか確認するための実験をおこなった。上部 7 箇所電極から一つを選び電流を流し、下部 7 箇所から一つを選び GND とした 7×7 パターンの電気刺激経路と、パルス高 17V、23V と 29V の 3 種類、総計 147 の刺激実

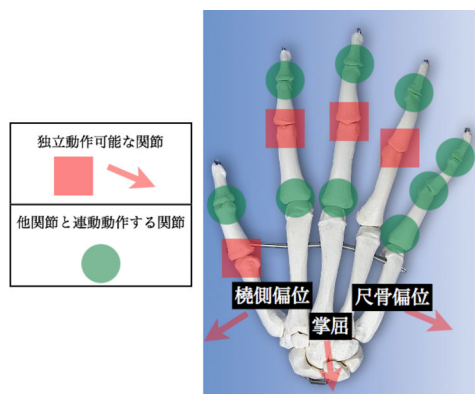


図 5 手指と手首関節動作実験の結果。四角形と赤矢印は、独立動作可能な関節を示している。丸は動作可能であるが、他関節と連動して動いてしまう関節を示している。

験を行った。被験者は、手指全体を脱力した状態で刺激を受ける。7 関節の独立した屈曲動作と、他の関節と連動してしまう 9 関節の屈曲動作、合計 16 関節の動作を確認した。また、総指伸筋への電気刺激により、曲げた指を広げる動作も確認した。さらに、目を閉じた状態で、使用者自身が体勢感覚で手指が動作しているのを認識できることも確認できた。図 5 に実験結果を示す。この実験結果より、PossessedHand では、前述した手形状制御の段階 1~3 までが実現できることがわかった。

3. インタラクションシステム

3.1 ナビゲーション

手形状制御の段階 1~3 を利用して、様々なフィードバックシステムを提案する。図 1(b) では、手形状制御を用いたナビゲーションシステムを提案している。関連研究として、前田らの GVS(Galvanic Vestibular Stimulation, 前庭感覚に電気刺激を与え加速感覚を生じさせる。)を用いたナビゲーションが挙げられる⁷⁾。GVS では、目的地までの歩行を提示することができる。本論文では、手首が屈曲伸展することによって目的地を指し示すナビゲーションを提案する。手首動作と指差しの手形状とを制御し、目的地に近いことや周辺情報などを知らせる。これにより、より詳細な情報提示が期待される。

3.2 3次元フィードバック

一次に、3次元仮想物体の存在を知らせるフィードバックシステムを提案する(図 1-a)。HMD や 3次元ディスプレイを用いて視覚的に 3次元仮想物体を提示する手法に加え、PossessedHand が仮想物体の世界座標位置に近づいた時、手形状を制御し、仮想物体からの反作用力を提示する。

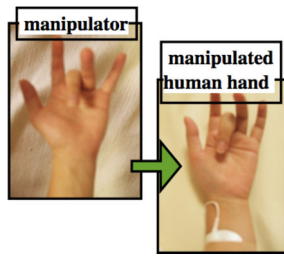


図 6 操作者が遠隔のユーザの手を操っている様子。

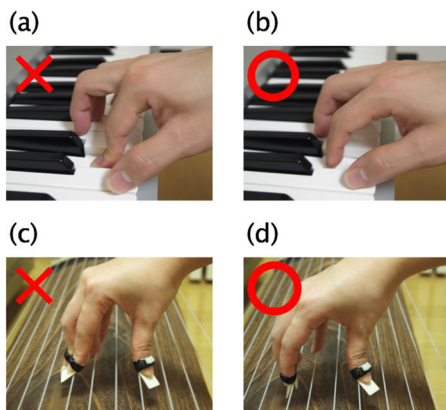


図 7 楽器演奏の際の手指姿勢。(a) ピアノ演奏の間違った姿勢。(b) ピアノ演奏の正しい姿勢。(c) 箏演奏の間違った姿勢。(d) 箏演奏の正しい姿勢。

3.3 楽器演奏の学習補助

本節では、楽器演奏時の姿勢学習補助と、演奏手法学習を補助するシステムを提案する。指先の動きによって演奏の機微を表現するピアノや箏などの楽器は、正しい手指姿勢が演奏の重要点となってくる(図6)。この正しい指先姿勢を固定する学習を PossessedHand を用いて補助する。非接触型のハンドジェスチャ認識システム⁸⁾を用いて間違った演奏を検出し、Possessed-Hand の手形状制御により正しい姿勢へと導くなどの利用が考えられる。また、楽譜に記載されていないプロ演奏者の卓越した演奏手法を、PossessedHand を用いて教授する(図7)。ハンドジェスチャ認識システムによりプロ演奏者の動きを認識し、遠隔地の生徒へ教授する。

4. ま と め

ハンドジェスチャによるフィードバックシステムを目指し、電氣的筋肉刺激により手形状を制御する PossessedHand を提案した。14 個の非侵蝕性のパッド型電極を用いて、前腕周辺の手指を駆動する筋肉に電気刺激を与える。PossessedHand を用いて各々の手指関節が動作するかの実験を行った所、7 関節の独立し

た屈曲動作と、他の関節と連動してしまう 9 関節の屈曲動作、合計 16 関節の動作を確認した。また、総指伸筋への電気刺激により、曲げた指を広げる動作も確認した。さらに、目を閉じた状態で、使用者自身が体勢感覚で手指が動作しているのを認識できることも確認できた。この実験結果をふまえ、ナビゲーションシステム、3次元フィードバックシステムと楽器演奏の学習補助のインタラクシオンシステムを提案した。今後、実用的に PossessedHand を用いるためには、様々なユーザの反応時間、制御精度と筋疲労⁹⁾に考慮しなければならない。実用性を考慮し、スポーツのタイミング提示や手話学習補助などへ利用とさらに可能性が広がる。

参 考 文 献

- 1) 八木 了, 杉本 良洋, 中土 幸男, 半田 康延, 島田 洋一, 小松 繁, 内藤 輝, 市江 雅芳, 星宮 望: 機能的電気刺激 (FES) による麻痺手の動作, リハビリテーション医学: 日本リハビリテーション医学会誌, 21(4), pp.235-242 (1984).
- 2) 舘 暲, 谷江 和雄, 阿部 稔: 経皮電気刺激の強度感覚に対するパルス高とパルス幅の効果, 日本 ME 学会, 医用電子と生体工学: 日本 ME 学会雑誌. Vol.15, No.5, pp.315-320 (1977).
- 3) 成田和穂, 大西祥平, 勝川史憲, 大林千代美, 常川尚美, 八木湯紫, 河崎文恵, 小熊祐子, 木下訓光, 山崎元: 電氣的筋肉刺激 (EMS) による筋力トレーニングの体組成に及ぼす効果の検討, 第 57 回日本体力医学会大会, 51(6), pp.694 (2002).
- 4) 長嶋 洋一, 赤松 正行, 照岡 正樹: 気刺激フィードバック装置の開発と音楽パフォーマンスへの応用情報処理学会研究報告, 音楽情報科学, IPSJ SIG Notes 2002(40), pp.27-32 (2004).
- 5) 渡辺 高志, 飯淵 寛, 黒沢 健至, 星宮 望: 機能的電気刺激による手関節 2 自由度運動の多チャンネル PID 制御法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II, No.2, pp.319-328 (2002).
- 6) 坂井 建雄: プロメテウス解剖学アトラス解剖学総論・運動器系. 医学書院, ISBN-10: 4260002392, ISBN-13: 978-4260002394 (2007).
- 7) 前田 太郎, 安藤 英由樹, 渡邊 淳司, 杉本 麻樹: 前庭感覚電気刺激を用いた感覚の提示, バイオメカニズム学会誌, Vol.31, No.2, pp.82-89 (2007).
- 8) 玉城 絵美, 味八木 崇, 暦本 純一: インタラクシオンシステムのための高精度な 3 次元ハンドジェスチャ認識手法, 情報処理学会論文誌 (2010 printing).
- 9) 塩山 高広, 近藤 敏之, 伊藤 宏司: 筋疲労を考慮した FES 制御法に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE, ME とバイオサイバネティクス, Vol.104, No. 104, pp.25-28 (2005).