

機関番号：82626
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700591
 研究課題名（和文） 生体信号制御型義肢エージェントの開発と強化学習による動作獲得
 研究課題名（英文） Development of Cybernetic Agent and its motor learning based on reinforcement learning.
 研究代表者
 福田 修 (FUKUDA OSAMU)
 独立行政法人産業技術総合研究所・生産計測技術研究センター・主任研究員
 研究者番号：20357891

研究成果の概要（和文）：

本研究は、上肢切断者などが使用する電動動力義肢とその制御システムに関して検討を行うものである。本提案の特徴は、電動動力義肢に自律的・知能的なエージェント機能を装備するとともに、生体信号を利用した人間とのインタフェース方法を確立し、両者の協調作業によるタスクの実現を目指す点である。この際、未知対象物への動作の柔軟性・多様性を実現するために、強化学習を利用した義肢エージェントの動作獲得についても検討を行う。

研究成果の概要（英文）：

This research proposes a novel approach of an artificial prosthetic hand and its control method. We try to develop the autonomous and intelligent prosthetic hand, which is called “Cybernetic Agent”, in order to help amputee in the daily activities as a wearable robot agent. Cybernetic Agent can understand the operator’s intended motion based on the EMG pattern discrimination, and cooperates with him/her to accomplish a target task. To adapt unknown objects, we also investigate the motor learning of Cybernetic Agent based on reinforcement learning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード： 福祉・介護用ロボット、義手、筋電信号、インタフェース

1. 研究開発当初の背景

電動義肢の研究は、国内外において 1980

年頃から数多く試みられているが、その制御は、切断者が動力義手を従属的に制御する片方向のインタフェーシングを前提としている。インタフェース信号には筋電信号を利用

する場合が多く、筋電パターンの識別には、ニューラルネットを駆使した研究が盛んに試みられているが、識別動作数は多くても10動作程度である。そのため、伝達できる情報量は十分ではなく、単純な動作しか実現できなかった。

近年は、ロボット技術の急速な発展により、人の手に匹敵する自由度を有し、対象物を巧みに操れるロボットハンドも開発されつつあるが、これらの研究では、切断者とのインタフェーシングにあまり重点がおかれておらず、タスクに応じた多自由度関節の制御には、未だに多くの課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究では、電動義肢の操作性を向上させることを目的とし、電動義肢に自律的・知能的なエージェント機能を装備することを検討する。このエージェント機能と、生体信号を利用した人間とのインタフェーシングにより、両者の協調作業によるタスクの実現を目指す。最終的には、未知対象物への動作の柔軟性・多様性を実現するために、強化学習を利用した義肢エージェントの動作獲得についても検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 自律制御能力を有する義肢エージェントの設計・開発

従来の筋電インタフェースの情報量では、関節自由度を最大限に有効・効率的に使い切ることが難しかったが、本研究では、電動義肢に自律的・知能的なエージェント機能を搭載することによって、たとえ自由度が少ない場合であっても、目的のタスクを柔軟に遂行可能とする。まず、本研究では、自由度が比

較的に少ないシンプルな機構の義肢をベースに試作を進める。

(2) 生体信号に基づくインタフェースの構築

使用者と義肢エージェントとのインタフェースには、筋電信号を利用したインタフェースを検討する。このインタフェースは、伝達できる情報が多くても10動作程度と十分ではないものの、切断後にも残存する中枢や運動神経を介した断端部の筋活動を利用するため、切断者においても比較的 naturally インタフェーシングが期待できると考えられる。不足する制御能力を、義肢エージェントの自律的・知能的な動作によって補うことを試みる。

(3) ソフトウェア上で電動義肢をエミュレーションする仮想義肢制御システムの構築

実験などを円滑に進めるために、エージェントプログラムや作業環境などは、別途ホストコンピュータ上にもエミュレーションできる環境を整えるものとする。この仮想義肢制御システムでは、筋電信号インタフェースを備えるとともに、義肢エージェントと対象物との位置関係を計測するための3次元位置センサを導入する。

本研究では、この仮想環境での義肢制御実験を繰り返し実施し、制御側の違いによる操作特性の変化について調査を行う。そして得られた実験結果を元に、義肢エージェントに実装する自律的・知能的な機能を検討し、実機への搭載を試みる。

(4) エージェント制御プログラムの構築、および強化学習による動作獲得の可能性検討

提案する義肢エージェントは、使用者によって各関節を従属的に制御されるだけでなく、自律的・知能的な動作も実現できることが特徴である。知的処理を実現するために、CPU、メモリなどを義肢エージェント内部に搭載する。使用者は、動作意図（例えば、「握る」という動作）をエージェントに伝えるのみで、個々の関節の詳細な制御は、義肢エージェントが主体となって実施する。動作制御に係る機能の分担や整理には、十分な検討と試行錯誤が必要と予想されるが、当初は動作を限定するなど段階的に研究を進めたいと考えている。ここでは、「把握動作」に限定してエージェントの制御プログラムを構築する。また、本研究では、コンセプトの有効性を検証することを最優先とし、第一段階では、埋め込み型の知識による関節制御を導入し、操作性に関する実験を行う。

ただし、対象物が既知の場合は、埋め込み型知識で対応できるとしても、未知の場合には何らかの制御方策が必要になることが予想される。そこで、強化学習（Q学習）による動作獲得についても検討を行う。この強化学習については最初の取り組みであることから、まずはオフラインでの取り組みを基本とする。

4. 研究の成果

(1) 自律制御能力を有する義肢エージェントの設計・開発

図1に試作した義肢エージェントの1号機を示す。試作した義肢エージェントは、3自由度（握り、開き、掌屈、背屈、回内、回外）を有し、通信機能を有する小型のステッピングモータを組み合わせてシンプルな構造を



図1 義肢エージェント第1試作機

実現した。なお、この義肢エージェントは、操作者からのコマンドにしたがって把持姿勢を変更することが可能である。ハンドの姿勢制御のパターンは、ホストコンピュータにプログラムされており、操作者のシンプルなコマンドから、詳細な動作を自律的に実施することができる。

(2) 生体信号に基づくインタフェースの構築

ここでは、筋電信号を利用したインタフェースを構築した。まず、特徴抽出として、操作者から計測した筋電信号を、全波整流後、4次のバターワースフィルタ（カットオフ2Hz）で平滑化し、筋電信号の振幅情報を抽出する。筋電信号は、複数チャンネルで測定しており、全チャンネルにおける振幅情報の総和が1となるように正規化したパターンを動作推定に利用する。

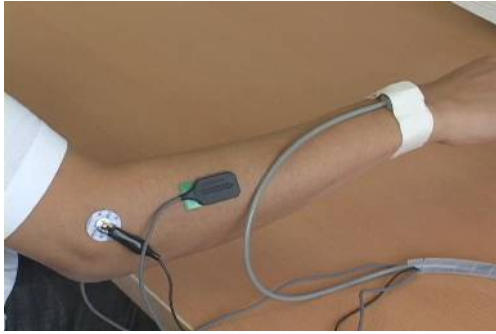


図2 筋電信号の計測の様子

筋電信号のパターン識別には、ニューラルネットワークを利用する。ニューラルネットワークは、筋電パターンと使用者の動作意図との写像関係を学習的に獲得し、適応的な操作意図推定を実現する。

図2は、操作者から筋電信号を計測している様子の一例である。肘付近に設置されている電極がグラウンドで、その隣の黒い電極が筋電信号を計測する電極である。手首位置に装着されているのは、義肢エージェントと対象物との位置関係を計測するための3次元位置センサである。

(3) ソフトウェア上で電動義肢をエミュレーションする仮想義肢制御システムの構築

実験などを円滑に進めるために、パーソナルコンピュータ上に仮想義肢制御システムを構築した。このシステムでは、操作者から計測した筋電信号をインタフェース手段として利用し、仮想義手の制御を実施することができる。また、操作者の上肢に3次元位置センサを装着し、上肢の姿勢情報と組み合わせることで、仮想空間中での把持作業が実施できる。仮想システムは、プログラムを変更することで様々な制御アルゴリズムを実現できる点が特徴である。このシミュレータをエージェントの評価ツールとして利用し、実



図3 エミュレーション環境

装すべき制御則の検討を実施した。

この検討では、仮想空間での把持動作を解析の対象とし、筋電指令のみで制御する場合、筋電指令と自律動作を組み合わせた場合、完全に自律動作のみの場合について操作性の解析を行った。筋電指令のみで制御を実施した場合は、人間の自然な動作と比べて、不自然なアプローチ軌道をとることなどが明らかとなった。

(4) エージェント制御プログラムの構築と強化学習による動作獲得の可能性検討

エージェントに埋め込み知能型の自動制御アルゴリズムを導入し、システムの動作検証と操作実験を行った。図4に示すのは、試作2号機で、このシステムでは、操作者の筋電操作のみならず、エージェント自体が対象物までの距離に基づいて対象物へのアプローチ姿勢を変更することが可能である。ここで姿勢制御のパターンは、義肢エージェントと一体化したコントロールユニット内にプログラムされており、操作者のシンプルなコマンドから、詳細な動作を自律的に実施することが可能である。



図4 義肢エージェント第2試作機

最後に、将来的に未知対象物への動作の柔軟性・多様性を実現するために、強化学習を利用した義肢エージェントの動作獲得について検討を行った。強化学習では、Q学習に基づく学習アルゴリズムをプログラミングするものとし、最も基本的な ϵ -greedy法に基づく行動選択に従ってエージェントは動作するものとした。計算機上でシミュレーションを実施した結果、学習アルゴリズムが正しく動作することを確認したが、平成23年5月末時点での本アルゴリズムのハードウェアへの実装は、残念ながら達成されていない。近い将来には実装し、実機での動作検証を行う予定である。

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3件)

①福田修, 卜楠, 上野直広, 仮想義手制御システムを利用した把持動作の評価, 計測自動制御学会論文集, 査読有, 46巻, 2010, 578-585.

②O. FUKUDA, N. BU, N. UENO, Training of grasping motion using a virtual prosthetic

control system, Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 査読有, 2010, 1793-1798.

③O. FUKUDA, N. BU, N. UENO, Analysis of grasping motion using a virtual prosthetic control system, Proceedings of the 7th IASTED International Conference on Biomedical Engineering, 査読有, 2009, 263-268.

[学会発表] (計3件)

①O. FUKUDA, Analysis of grasping motion using a virtual prosthetic control system, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2010.10.12, Istanbul, Turkey.

②O. FUKUDA, Training of grasping motion using a virtual prosthetic control system, The 7th IASTED International Conference on Biomedical Engineering, 2010.2.19, Innsbruck, Austria.

③福田修, 筋電義肢の制御則の違いが把握動作に与える影響の解析, 第30回バイオメカニズム学術講演会, 2009.11.15, 北海道.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 修 (FUKUDA OSAMU)

独立行政法人産業技術総合研究所・生産計測技術研究センター・主任研究員

研究者番号: 20357891