

氏名(本籍)	よし かわ まさ ひろ 吉 川 雅 博 (茨城県)
学位の種類	博 士 (情報学)
学位記番号	博 甲 第 5518 号
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	図書館情報メディア研究科
学位論文題目	筋電位を利用したヒューマンインタフェースに関する研究

主 査	筑波大学教授	田 中 和 世
副 査	筑波大学教授	松 本 紳
副 査	筑波大学教授	小 高 和 己
副 査	筑波大学教授	鎮 目 浩 輔
副 査	筑波大学教授	鬼 沢 武 久

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

人間が身体を動かすときに脳から筋への動作指令として微弱な電気信号が伝えられ、これを刺激として筋の収縮が起こる。この電気信号を皮膚表面で計測したものを表面筋電位と呼ぶ。本論文は、この表面筋電位を計測し、信号処理技術によりその指令の動作意図を推定し、これを人間と機械とのインタフェースとして利用する研究に関するものである。ここでは、とくにその応用先として福祉機器を想定している。具体的には、手の動きの代替となる筋電義手と音声発話の補助装置の2者を対象として、実用性の観点から従来の手法の問題点を洗い出し、有効な手法の開発と評価・検証を行っている。

著者は、本論文の序論において、次のようにこの研究の意義を述べている。人間が外界とインタラクションする際に、手と音声は重要な役割を果たす。手は環境に物理的に働きかけ、音声は人に意志を伝達する。これらの機能が失われた場合、生活や仕事の様々な場面で支障が生じ、不便を強いられる。筋電位は、脳が計画する動作意図に従って、筋を収縮させるトリガーとなる生体信号であり、皮膚表面から非侵襲に観察可能な信号である。筋電インタフェースは、筋電位から手や構音器官に対する動作意図を抽出し、これを制御信号に変換することにより電動義手や音声補助装置を操作可能とする。脳が身体を制御する生体情報である筋電位を用いることで、自身の身体の一部であるかのように自然で直感的な操作を実現できる可能性を持っている。

また、本研究の目的について、手と音声を代替する福祉機器のための筋電インタフェースの核となる動作識別法について、実用性の観点から信号計測、特徴抽出、学習データ生成、識別器に改良を加えた新しい手法を提案し、有効性を検証すること、と規定している。

本論文は、5章からなり、2章において手の動作識別法についての手法開発、3章において前腕切断者に対しての上記動作識別法の適用とその結果、4章において音声補助装置のための構音動作の識別法、最後の5章で結論を述べている。以下に、2章以降の要旨をまとめる。

2章では、電動義手のための動作識別法について実用性向上の視点から、筋電位計測、特徴抽出、識別手法を検討している。まず、従来の手法の問題点として、未知の筋電位パターンに対する識別能力の向上、ま

た、使用者の筋電位特徴に対して短時間で適応する能力を挙げ、これらを実現するため、特徴抽出では筋電位信号の周波数特性の導入、識別手法としてサポートベクターマシン (SVM) を用いた動作識別法を提案した。この手法に基づいて、筋電位特徴の学習・動作識別を行った。8名の健常者によるオフライン動作識別実験の結果、周波数特性導入の効果を確認し、またSVMはベイズ決定則、k-最近傍法、ニューラルネットよりも高い識別精度を示した。さらに、SVMは筋電位信号の経時変化にも頑健であること、被験者の筋電位特徴への適応についても短時間(現行のPCで30秒程度)で適応可能であるという結果を明らかにした。

この2章の後半では、提案手法のリアルタイム性について、ロボットハンドを操作する筋電インタフェースシステムに実装し、動作識別実験を行っている。この結果、提案手法による動作識別が精度よく行われ、動作開始タイミングに遅れがなく応答性がよいことが検証されている。

3章では、実際の前腕切断者における動作識別法の有効性について検証を行っている。これまでの研究では、健常者については動作識別法の有効性が確かめられているが、筋電義手の対象使用者である前腕切断者については十分に有効性が検証されてこなかった。そこで、筋電位に基づいて動作識別を行うための訓練を受けていない、幅広い属性を持つ7名の前腕切断者を対象に、SVMを含む複数の動作識別法を用いて識別精度を調べた。この結果、最も識別率の高いSVMを用いた動作識別法は、被験者平均で94%の識別率が得られ、最も高い被験者で98%、最も低い被験者でも91%であった。この一連の実験により、筋電位を利用した動作識別の訓練経験がない、幅広い属性を持つ前腕切断者群に対しても、提案する動作識別法が有効であることを明らかにした。また、幻肢の可動性が十分ではない被験者においても、動作識別が可能であることを示した。

4章では、音声補助装置のための動作識別法の実用性向上を検討している。これは発話に伴う構音動作の識別に基づき発話認識を行い、その結果を音声合成装置へと送り、発話補助装置として機能させることを狙ったものである。従来の研究では顔の筋電位に基づいて発話認識を行っているが、顔への電極装着は抵抗感や違和感があった。本研究では、電極を装着しても比較的目立たず負担の少ない頸部の筋電位を用いた動作識別法による発話認識を提案した。この発話認識では、システムの適用上の性格から入力に対して若干の遅れが許されることも考慮して、手法として新たに隠れマルコフモデルも導入している。頸部の筋電位を用いて日本語の母音認識実験及び単語認識実験を行った結果、母音認識では、隠れマルコフモデルを用いた動作識別法が最も認識率が高く、被験者平均で85%の認識率が得られた。また、単語認識においては、20単語セットを98%の認識率で認識可能であった。顔の筋電位を用いた場合よりは認識率は低いが、頸部の筋電位でも母音認識が可能であることを示した。

5章結論では、本研究で実験的に検証したことをまとめ、その成果を踏まえた展望として福祉機器としての実用上の効果を重視した研究開発の必要性を述べている。

## 審査の結果の要旨

本研究は、福祉機器への応用を想定して、人間の表面筋電位信号を計測・利用し、これを人間と機械とのインタフェースとして利用することを目標とした研究であり、その研究動機と意義は十分に理解できる。著者が序論において述べているように、筋電位信号には、皮膚表面から非侵襲に観察可能な信号であること、脳が身体を制御する生体信号を用いることで自身の身体の一部であるかのように直感的な操作を実現できる可能性があること、などの利点がある。本研究に限らず、近年、筋電位を利用した注目される研究開発が行われてきている。本研究もこうした研究動向の中に位置づけられる。

本論文における具体的な研究対象は、手の動きの代替となる筋電義手と音声発話の補助装置の2者である。ここでは、実用性の観点から従来行われて来た手法の問題点を洗い出し、これらの問題点を解決すべく新し

い適切な手法を提案し、各課題について評価実験により丁寧な有効性検証を行っている。また、後述するように、多様な履歴を持つ実際の前腕切断者を被験者として手法の有効性を検証している点も、従来の研究にはない説得力を持った研究であると評価できる。

本論文は、5章からなり、2章において手の動作識別法についての手法開発、3章において前腕切断者に対しての上記動作識別法の適用結果、4章において音声補助装置のための構音動作の識別法、5章で結論を述べている。以下に、2章以降の講評をまとめる。

まず、2章では、電動義手のための動作識別法の実用性向上を検討している。この観点からすると、著者が述べているように単純な意味での精度の向上のみでなく、使用者の筋電位信号特徴に対して短時間で適応する能力や長時間使用に対する精度の安定性維持などが重要である。これらの点を踏まえて、従来の信号特徴分析に加えてその周波数特性を表すケプストラムの導入、また識別性能や適応能力に優れるサポートベクターマシン (SVM) の導入などを行っており、これらの新規提案について丁寧に評価実験を行なっている。導入効果はいずれも有効であることが検証されており、これらの提案は評価に値する。また、2章の後半で行っている実験、すなわちロボットハンドを操作する筋電インタフェースシステムに本手法を実装した実験は、動作の応答性の検証のみでなく、被験者への適用を考慮した場合の適応化訓練にも利用でき、その着眼点は優れているといえる。

3章では、前腕切断者における動作識別法の有効性の検証を行っている。このように実際の障害者を被験者として評価実験を行なうことの重要性は誰もが認めることであるが、同時に困難を伴う作業である。したがって、これまでの研究では、筋電義手の対象使用者である前腕切断者については特定の1名程度についての結果が示されているだけで、有効性が十分には検証されてこなかった。本研究では、幅広い属性を持つ7名の前腕切断者を対象に評価検証実験を行なっており、この点は実用性向上の視点からの研究という本論文の主旨に沿ったものであり、従来の研究との比較において高い評価を与えられる。また、著者の提案手法の有効性は検証されていると認められる。なお、各被験者の特性については記述されているが、被験者自身の評価・コメントなどを明示的に取らなかった点は若干、惜しまれる点である。

4章では、音声補助装置のための動作識別法の実用性向上を検討している。ここでも、実用性の観点から、顔の表情筋の筋電位を用いる従来法に対して、比較的目立たない頸部の筋電位を用いた動作識別法による発話認識を提案している。頸部の筋電位を用いても若干の性能低下はあるが、一定の識別性能を得ることが可能であることを明らかにした点は評価できる。なお、この場合の応用について、筋電義手への応用に比べ処理時間の若干の遅れが許容できることもあり、精度の高い識別手法として隠れマルコフモデルを挙げている。この意味で、適用用途により適切な手法が替わる可能性も示唆しているといえる。

5章結論では、本研究での成果をまとめ、その成果を踏まえた展望として福祉機器としての実用上の効果重視した研究開発の必要性を述べている。ここで述べられている主張は説得力を持っているといえる。

以上、本論文は、冒頭において目的、問題設定が適切に記述されており、それに対するいくつかの改善手法の提案、およびそれらの有効性に対する実験的検証が信頼できる形で実施され、明確に論述されている。また、提案された手法の新規性もあり、全体として高い評価が与えられる。著者は学類4年次の卒業研究から一貫してこの研究テーマに取り組んできており、これまでにこのテーマで、学術誌論文2編、国際会議採択論文4編などの研究発表、また国際会議での奨励賞受賞などの実績もある。これらを総合して、本論文は博士論文として十分な内容をもつものと判断される。

よって、著者は博士（情報学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。