

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 北 佳保里

北 佳保里(きた かほり)提出の本論文は「筋電制御機器への習熟状態に応じた自己組織的動作識別法」と題して全 6 章で構成され、身体の運動制御に不自由を有する人の運動補助を外部動力によって実現するために必要となる、表面筋電位を用いた動作意図の識別法を開発することを目的として執筆した論文である。

特筆すべき成果としては、本論文で提案した習熟度を考慮した自己組織的動作識別法(統合システム)を用いて動作識別を行った結果、**筋電位の変動を吸収し、人の習熟状態に応じた動作識別トレーニングのプロセスを提供することで、従来法と比較して高精度で多くの動作を識別可能であり、これに対する詳しい解析結果が述べられている**ことである。

本論文は、序論と結論のほか四つの章から構成される。

序論においては、本論文の意義と目的、および研究背景について述べられている。特に、筋電制御機器において多種の動作を識別する際に生じる課題が、動作と筋電位との対応関係の複雑さに影響されない動作識別を構成する課題(課題 I)、人の筋電制御機器の操作運動に対する習熟の評価の課題(課題 II)に大別され、それぞれの課題に関する研究動向を詳述すると共に、問題点が整理されている。

第二章においては、序論で述べた 2 つの課題を定義し、これらに対する本論文のアプローチを示している。課題 I に対しては、表面筋電位を用いた自己組織的な動作識別法、課題 II に対しては表面筋電位を用いた運動習熟度の評価法が示されている。さらに、2 つの課題に対するアプローチを実現するために、従来の動作識別を行う識別フェーズに加えて、分離性の高い訓練データを生成する学習フェーズと、操作者の動作識別に対する習熟状態を評価することで識別可能な動作種・動作数を特定し、動作識別トレーニングを可能にするプロセスを提供する訓練フェーズで構成する動作識別法が提案されている。

第三章においては、課題 I に対して、ある意図した動作を行ったときの筋活動パターンから、筋電位の変動があっても、他の動作と重複しないような代表的なパターンを抽出し、その対応関係を学習することで、安定的な動作識別を実現する自己組織的動作識別法が提案されている。提案手法は、ベクトル量子化を用いた分離性の高い代表的な特徴パターンの抽出と、動作姿勢に基づく動作意図の割り当てによる訓練データの生成から成り立つ。提案手法の性能評価は前腕動作の識別率を用いて行われており、人が動作を明示的に機器に学習させる従来法と比較して、**8 動作中 6~7 動作で識別率が向上し、従来法に比べて多くの動作を高い識別率で識別可能**であることが示されている。

第四章においては、課題 II を運動学習の課題として捉え、表面筋電位から得られる運動パターンの再現度と精度から習熟を評価する方法論を提案している。上肢到達運動における運動習熟を評価した結果、**習熟度を用いることによって、習熟過程において運動パター**

ンの探索と収束を繰り返す様子を明らかにし、運動に対する習熟を評価可能であることを示している。

第五章においては、三章で提案した自己組織的動作識別法と四章で提案した習熟度評価を統合し、筋電制御機器の操作運動に対する習熟に応じた動作識別法(統合システム)を提案し、その有効性が示されている。統合システムは、習熟度から現状における識別可能動作数を特定し、その識別可能動作数において人がトレーニングを行い、その後習熟度を判定し、習熟していると判定された場合、動作の追加を行うような訓練フェーズが新たに提案されている。筋電制御機器の操作運動に対する習熟度は四章の習熟度評価を転用し、再現度のある動作を繰り返し行ったときの筋活動パターンのばらつき、精度を識別対象となる全動作の筋活動パターンの特徴空間上での重複度として再定義している。また、識別可能動作の特定方法として、習熟度がある一定以上になるまで精度が最も低い動作を削減する方法を提案している。統合システムを用いて動作識別トレーニングを行った結果、トレーニング前後で識別率が向上し、**日常生活動作の実現に不可欠な動作数(上肢 6 動作)を満たす 9 動作で、平均識別率 70%以上で識別可能**であることを示している。

第六章では、論文全体に亘る結論として以下のことを述べている。

- 表面筋電位からの自己組織的な動作識別法を確立し、人が明示的に機器に動作を教示する従来法と比較して、多くの動作で高い識別率で識別可能であることから、提案手法の動作と筋電位との対応関係の複雑さへ有効性を示した。
- 筋電制御機器の操作運動への習熟を運動学習の問題として捉え、表面筋電位から得られる運動パターンの再現度と精度で習熟を評価する習熟度評価法を確立し、筋電制御機器の操作運動に対する人の習熟状態を評価可能であることを示した。
- 人の習熟度評価に基づく表面筋電位を用いた動作識別法(統合システム)を構築した。
 - (1) 人がどのような習熟状態であっても、それに応じた動作識別トレーニングのプロセスを提供することで、筋電制御機器を最大パフォーマンスで操作することが可能であり、日常生活に必要な動作数を識別可能であることを示した。
 - (2) 習熟度を定量化したことにより、現状における識別可能な動作種・動作数、すなわち人の操作能力を客観的に算出可能であり、また習熟過程において生じる人の内部状態の変化をより詳細に捉えることが可能であることを示した。
 - (3) 統合システムを用いて動作識別トレーニングを行うことにより、他の識別方法においても識別率が向上し、統合システムを用いたトレーニングの有効性を示した。

本論文は、肢体不自由者の運動機能再建のために、習熟度を考慮した自己組織的動作識別法を構築し、その有効性を示した。このような方法論は世界的に見ても類はなく、医工学分野において価値ある成果を得たと評価でき、また工学全般の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。