

氏名（本籍）	ボウタニ ヒデノリ 棒谷 英法（大阪府）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博甲第66号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成27年3月13日
学位論文題目	生体信号を用いた入力インタフェースの開発と評価に関する研究
論文審査委員	（主査）教授 大須賀 美恵子 教授 筒井 博司 教授 佐野 睦夫

論文の内容の要旨

本研究では、障がい者だけでなく健常者にも、また生体計測に関する専門の知識がなくても日常生活で使用できる生体信号を用いた入力インタフェースを開発することを目標にする。実用的なインタフェースが実現すれば低コストで普及することが期待される。目標として、生体計測に関する知識がなくても、センサの取り付けが短時間に行えること、人ごと、使用時ごとの識別器の学習が不要でセンサ装着後のキャリブレーションが不要、あるいは、短時間に行えるものとする。脳波、眼球運動、筋電のいずれを用いるのがよいかは、利用目的や利用者の属性に依存する。本論文では、脳波と筋電を用いた入力インタフェースを扱う。

本研究は、大きく分けて脳波と筋電を用いた入力インタフェースの2つで構成されている。前半の脳波に関する章では、事象関連電位 P3 成分と定常視覚誘発電位を用いた2つのインタフェースについて述べている。

第1章では、生体信号を用いたインタフェースが必要とされる背景、および研究・開発の現状についてと、本研究の目標設定について述べている。

第2章では、事象関連電位 P3 を用いた文字入力インタフェースについて述べている。まず、健常者を対象とする際に問題となる眼球運動アーティファクト除去手法として、少数部位の脳波に独立成分分析 (Independent Component Analysis: ICA) を適用し、アーティファクト成分を抽出・除去できることを示した。また、ICA をリアルタイムで適用できるように、予め求めておいた復元作用素を適用する手法を提案し、ICA の収束時間の節減を実現した。次に、文字入力時間を短縮するために、サポートベクターマシン (Support Vector Machine: SVM) を用いて、事象関連電位の P3 成分を学習させ、1 試行ごとに P3 成分の有無を判別する手法を試み評価した。さらに、脳波計測の専門的な知識がなくても短時間で装着できる市販のヘッドセット型の 14ch 脳波計測装置 Emotiv を導入した。Emotiv には P3 成分が大きく出現する頭頂正中部に電極が配置されていないが、空間的な加算平均を施すことにより P3 成分が検出できることと、提案したアーティファクト除去手法が適用できることを確認した。

第3章では、P3 成分を用いるよりも短い時間で判定できる可能性の高い定常視覚誘発電位 (Steady State Visual Evoked Potential: SSVEP) を用いた入力インタフェースの開発について述べている。SSVEP の研究でよく用いられる α 波付近の周波数は、SSVEP が大きく出現するが、光過敏性発作のリスクがある。そこで 20 Hz 以上の刺激を用いてリスクを低減する。脳波計測装置に Emotiv を用いて、6 つの異なる周波数で輝度変調した刺激を同時に提示し、注目している刺激を識別できることを確認し、少ない試行で学習の必要な識別器を用いずに判別できるアルゴリズムを考案した。さらに、このアルゴリズムを組み込んだメニュー選択インタフェースを PC 上に実装した。これには、アーティファクトとして除

去していた眼球運動成分を利用して眼球停留時点を検出し、刺激を開始する機能を導入した。

第4章では、筋電信号を用いたインタフェースについて述べている。6自由度のロボットアーム操作を想定し、掌の閉・開、手首と肘の屈曲・伸展の6動作のリアルタイム識別をめざした。2章では、眼球運動に関連した成分の独立性を仮定してICAを用いたが、ここでは、各動作を独立した動作と仮定して、各動作に伴って発生する筋電パターンを独立成分として抽出した。次に、ICAに加え動作識別にSVMを用いて識別率の向上を試みた。さらに、人ごとの学習を不要にするために、他人のデータで学習させたSVMで、動作識別が可能であることを示した。

第5章では、以上の各章で述べた研究成果と問題点をまとめ、結論と将来の展望を述べている。本研究により、脳波を用いた入力インタフェースでは、さらなる改良が必要であるが、簡便な脳波計測装置と簡単なアルゴリズムでメニュー選択を実現でき、筋電を用いた入力インタフェースでは、個人ごとにデータを収集して識別器を学習させなくても、利用できるインタフェースが提供できる可能性を示した。日常的に利用できるインタフェースに一步近づいたと言える。

論文審査の結果の要旨

本論文は、非侵襲で計測できる生体信号を用いた入力インタフェースの開発と評価に関するものである。本研究で用いる生体信号は、頭皮上脳波と筋電である。これらを用いた入力インタフェースの既存研究は、主に障がいのある者を対象としているものが多い。残存機能を活かして環境制御やコンピュータ操作を可能にし、自律的な生活や就業を促進することを目的とするもので、実用化されているものもある。しかし、この種の機器は、ユーザ数が少なくユーザの状態に応じた多様なスペックが要求されることから、高価格なものになりがちである。一方、健常者でも手が塞がっているときや、衆人環境で音声が使えないときなど、生体信号を用いたインタフェースが役に立つ場面が想定される。本研究は、健常者にも適用でき、低コストで普及できるインタフェースの開発を目的とし、1) 生体計測に関する知識がなくても、センサの取り付けが短時間に行えること、2) 人ごと、使用時ごとの識別器の学習が不要でセンサ装着後のキャリブレーションが不要、あるいは、短時間に行えるものを目標とし、脳波を用いた文字入力インタフェースとメニュー選択インタフェース、筋電を用いたロボットアームのインタフェースに取り組んだ。

得られた主な研究成果は以下のとおりである。

1. 脳波（事象関連電位 P3 成分）を用いた文字入力インタフェース
 - (1) P3 スペラと呼ばれる既存の入力インタフェースを健常者に適用するにあたり問題となる眼球運動関連アーティファクトの除去手法を提案した。多チャンネルの脳波に用いられている独立成分分析（Independent Component Analysis: ICA）を利用した手法を、前頭部を含む 4~6 部位の脳波にも適用可能であることを示した。さらに、予め取得したデータに ICA を施して得られた復元作用素を、新たに取得した脳波に適用することで、ICA の収束時間を節減し、リアルタイム処理を可能にした。
 - (2) 入力文字の判定には、P3 の有無の判定が必要である。サポートベクターマシン（Support Vector Machine: SVM）を用いて加算平均なしで 1 試行ごとの判定を試みた、SVM の学習のさせ方を工夫すれば、5 試行程度での判定が可能であることを示した。判定までの試行数は最近の他研究と同等であるが、刺激間隔が長いいため所要時間が長く、実用レベルには達していない。
 - (3) 生体計測のに関する知識がなくても容易に利用できるインタフェースをめざし、市販のヘッドセット型の脳波計測装置を導入し、提案した手法を用いて眼球運動関連アーティファクト除去が可能なおと、空間的な加算平均を施すことで従来法で得られる P3 と同等の性質・空間分布をもつ P3 を得られることを示した。
2. 脳波（定常視覚誘発電位 SSVEP）を用いたメニュー選択インタフェース
 - (1) 液晶モニタ（LCD）に 6 つの選択肢を提示し、そのいずれかを注視するだけで選択できるインタフェースを提案した。選択肢を異なる周波数で輝度変調させ、SSVEP の振幅の

大きさを比較し、最も大きく出現している周波数の刺激（選択肢）を選択したと判定する。モバイルフォンを想定したサイズの刺激を用いて、光過敏性発作の危険性を低減するため 20 Hz 以上の周波数を用いた。

- (2) 予備検討で、市販のヘッドセット型の脳波計測装置を用いて、LCD 刺激で SSVEP を検出できること、複数の周波数の刺激を同時刺激した際に注視している刺激を弁別できることなどを確認した後、少ない試行数で、識別器の学習なしで、個人によらず適用できる判別アルゴリズムを開発した。6 周波数に対応した解析を行って求めた後頭部 2 か所の SSVEP の平均振幅の Z スコアを用い、これに閾値を設定して判別するアルゴリズムである。オフライン評価では、5 名に良好な結果が得られ、平均正答率 83.3%、情報伝達率 21.5 bit/min、平均試行回数 2 試行という成績であった。これは、刺激周波数が高いこと、刺激サイズが小さいことを考慮すると良好な結果であると評価できる。
- (3) アーティファクトとして除去していた眼球運動成分を用いた眼球停止検出手法を開発し、メニュー探索後に輝度変調を開始し、上記アルゴリズムを用いて選択したメニューを判定するインタフェースを PC 上に実現した。現状では垂直方向の目の動きが小さすぎて検出できないことがあり、正答率を算出するところまでは至っていない。

3. 筋電を用いたロボットアームの操作インタフェース

- (1) 6 部位の表面筋電図を用いて、6 動作の識別を行い、ロボットアームの 6 自由度に割り当てて操作するインタフェースを開発した。動作の独立性を利用し、全波整流した筋電に ICA をかけて動作を分離する。6 動作を同じ回数ずつ実施したキャリブレーションデータで求めておいた復元作用素を適用することで、リアルタイムでの分離を可能にした。
- (2) 独立成分の振幅のみを用いても動作識別が行えるが、これに SVM を導入して識別率を向上させた。さらに、本人のデータで学習させた SVM だけでなく、他人のデータで学習した SVM でも動作識別可能であることを示し、ICA による動作分離が有効であることを確認した。これにより、短時間のキャリブレーションによる利用が可能となった。

以上のように、本論文は、生体信号を用いたインタフェースを実現するための知見を得てアルゴリズムを開発し、その一部を実現した。実場面での利用が可能なものにするにはさらなる改良が必要であるが、掲げた目標に対し一定の成果が得られたと考える。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。