

博士論文の概要

(2014年 12月 1日 提出)

論文題目

生体信号を用いた入力インターフェース
の開発と評価に関する研究

指導教員

大須賀美恵子



大学院 工学研究科
博士後期課程

生体医工学専攻

申請者氏名

棒谷 英法



大阪工業大学大学院

近年、生体信号を用いた入力インタフェースが注目を集めており、脳波や筋電などの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研究は長年に渡り進められて来ている。これらは、障がいのある人の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意義のあるもので、実用化されているものもある。しかしながら、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、高価なシステムになりかねない。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には、生体信号を用いたインタフェースが利用される可能性がある。ユーザや用途が拡大すれば、普及しやすい価格帯のシステムが実現することが期待できる。そこで本研究では、日常生活で誰にでも簡単に使ってもらえるような生体信号を用いた入力インタフェースの開発を目的とする。

生体信号としては、非侵襲計測可能な生体信号の中で、頭皮上脳波と筋電図を取り上げる。脳波では、事象関連電位の P3 を用いた文字入力と、定常視覚誘発電位(Steady State Visual Evoked Potential: SSVEP) を用いたメニュー入力、筋電では 6 自由度のロボットアーム制御を試みた。いずれの場合も、ユーザがセンサを装着してインタフェースを使い始められるまでの手順をできるだけ短縮すること、使用時にユーザに与える制約を低減することを目標とした。

頭皮上脳波を用いたインタフェースでは、目の動きと瞬きを制限しないで使えるようにするには、眼球運動や瞬目によるアーティファクトへの対策が必要である。本研究の1つ目の課題は、これらのアーティファクト除去をリアルタイムで行う手法の開発である。前頭部と中心部を含む少数(4~6)部位の脳波に独立成分分析(Independent Component Analysis: ICA)を適用して、独立成分の中のアーティファクト成分を自動的に判定して除去できることを示した。次に、対象とするデータにその都度 ICA をかけるのではなく、事前に求めておいた復元作用素を適用することで、ICA の収束時間を節減する手法を考案した。

次に、事象関連電位 P3 を用いた P3 スペラーと呼ばれる文字入力インタフェースの開発に取り組んだ。P3 スペラーでは、マトリックス状に並んだ文字の行か列の1つが順に光る視覚刺激を提示し、入力したい文字に注目させる。注目している文字が光った時に P3 成分が大きく出現することを利用して、入力文字を判定するものである。サポートベクターマシン(Support Vector Machine: SVM)を用いて、1 試行ごとに P3 成分の有無を判別し、繰り返し試行中に最多の P3 が出現した文字を入力文字と判定するアルゴリズムで、Fz, Cz, Pz の 3 部位の脳波を平均したデータを用い、ターゲットと非ターゲットの比率 1:2 で学習させたのときに 5 試行で入力できるという結果を得た。

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こと、サンプル周波数が 128Hz と低いこと、ジッターがあること、同期信号の入力ができないなど、不利な特性があるが、頭頂付近の複数部位の脳

波の平均をとることで、従来の脳波計測装置で計測した脳波から求めた P3 成分と同等の P3 成分が得られることと、ICA を用いた提案手法で眼球運動成分が分離・除去できること、個人の復元作用素は、電極の付け直し後や異なる日にも適用可能なことを示し、実用に耐えることを検証した。

頭皮上脳波を用いたインタフェースは、以前は P3 スペラーに関する研究が多かったが、この 2~3 年は、SSVEP を用いたものが激増している。SSVEP は点滅あるいは周期的に明るさが増える視覚刺激を提示したときに得られる刺激と同じ周波数の脳波成分である。刺激に注意を向けることでその振幅が増大する。本研究では光過敏性発作のリスクを低減するために 20Hz 以上の刺激を用いる。脳波計測には前述の Emotiv を用いた。内蔵されているジャイロセンサを活用して頭の動きで外部装置との同期をとりリサンプルすることで、Emotiv の問題を解決し、複数の異なる周波数の点滅 LED 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示し、識別に必要な時間や SSVEP の安定性について検討した。結果には個人差が大きく、刺激に対する注意の持続ができるかどうかは鍵になることがわかった。ここで得られた知見をもとに、階層的なメニューを提示する入力インタフェースの開発に取り組んだ。注意を持続させるために、選択肢に文字や記号、図形、イラストなどを用い、選択肢そのものを点滅させることを考え、これを実現しやすい液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display : LCD) を採用し、6 周波数の正弦波状に輝度が増減する刺激を同時提示した。各刺激周波数に対する後頭部 2 部位の SSVEP の Z-Score を用いて学習なしで、注視している刺激を判定するアルゴリズムを考案した。参加者 8 名で評価実験を行い、5 名に良好な結果が得られ、平均正答率 83.3%、情報伝達率 (Information Transfer Rate : ITR) 21.5 bit/min、平均試行回数 2 試行という成績を得た。この結果は Emotiv を用いて少数部位で学習なしという条件を考慮すると、先行研究に勝るとも劣らないものである。

開発した手法とアルゴリズムを実装して、楽曲選択のための 3 階層メニューの入力インタフェースを開発した。1 層目で音楽のジャンルを選択し、2 層目でアーティストを選択、3 層目は曲名を選択させる。各層の選択肢は 6 つとし、2 層目、3 層目は、選択肢の 1 つを「戻る」とした。メニューを探索している間は、眼が動いており、選択が完了すると眼が留まると考え、眼球停留時点を検出して選択完了を判定することにした。眼球停留時点の検出には、これまで脳波からアーティファクトとして除去していた眼球運動に関連した独立成分を用い、SSVEP の解析には、このアーティファクトを除去したデータを使用する。評価実験を実施して、参加者が入力したい曲を選択できることを確認した。正答率と入力時間はまだ満足できるものではなく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たことは、日常的に利用できるインタフェースに一歩近づいたと言える。

筋電を用いた入力インタフェースでは、操作者が手・腕を動かしてロボットアームを操作することで、誰にでもわかりやすいインタフェースを提供することを目標とした。筋電

信号を用いる利点は、動作が生じないか十分でない場合でも動作の意図を検出することができること、また動作が生じる前に検出したり、力の大きさを制御したりできる可能性があることである。これらの利点を生かしたインタフェースの開発を将来目標とし、本研究では、表面筋電位を用いた 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。操作前に各動作を行わせたときの 6 部位の積分筋電図に ICA を適用し、各動作に対応した独立成分を求め、このとき得られた復元作用素を操作時の筋電に適用して独立成分を求め、これを特徴量とした。識別器には 2 動作ずつのすべて組み合わせに対し SVM を作成する one-against-one を採用した。本人のデータで学習した SVM を用いると平均 97% の識別率が得られ、他人のデータで作成した SVM を用いた場合にも、85% 以上の高い識別率が得られた。これより、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、利用前に数回の動作を行わせて復元作用素を得ることで、すぐに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。

本研究では、脳波から ICA を用いて眼球運動に関連するアーティファクト抽出・除去する手法を提案し実証した。事前に求めた復元作用素を用いることにより、ICA の計算時間の節減を行いリアルタイムでも使用できる方法になった。この手法は、前頭部と中心部を含む 4~6ch でも使用可能であり、また、市販の脳波計測装置 Emotiv を用いても、適用可能であることがわかった。さらに、電極を装着しなくても、事前に求めておいた復元作用素を用いてアーティファクト除去できることを確認した。そのため、より簡単に脳波計測ができるようになった。SSVEP を用いた入力インタフェースでは、市販の脳波計測装置 Emotiv を用いても SSVEP が確認でき、LCD ディスプレイを用いても注視している点滅を判別可能であった。また、脳波を ICA にかけて得られた眼球運動成分を使用し、眼球停留点を求めることができ、眼の留まった時点をメニュー選択の完了とみなして、刺激を開始するインタフェースを開発できた。まだ、入力時間と正答率があまりよくないため、今後は、刺激提示方法や、解析手法の改良などを行い入力時間と正答率を改善していく必要がある。

筋電を用いた入力インタフェースでは、脳波で用いた提案手法を腕の動作識別をするための特徴抽出に適用する事ができた。この手法により、他人で学習したデータでも動作機器別可能となり、個々で毎回学習する手間が省け、より使いやすいインタフェースとなったといえる。今後は、複数動作の識別が課題である。