

京都大学	博士 (工学)	氏名	笹山 瑛由
論文題目	ブレイン・マシン・インタフェースに向けた多チャンネル脳波計測による脳内情報抽出法および識別法に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>近年、脳波 (EEG)、機能的磁気共鳴画像 (fMRI)、脳磁図 (MEG)、近赤外分光法 (NIRS) などの非侵襲計測法の進展に伴い、ヒトの高次脳機能に関する研究が活発に行われるようになってきている。一方、工学分野においてブレイン・マシン・インタフェース (BMI) が近年注目を集めている。BMI とは、末梢神経系、感覚器、運動器などを介さずに、脳とコンピュータ間で直接情報を伝達する技術である。BMI を用いて、運動機能障害者の脳活動の中から目的とする情報を抽出し、その情報を用いて運動器の代わりとなる外部機器を制御する等、医療・福祉技術としての応用が期待されている。現在の BMI 研究において、抽出しようとしている信号が識別に適した信号であるか否かを検討していないものが多い。また、情報学的な識別問題の立場からの検討のみで、生理学的な知見からの検討が十分なされていない。そこで本論文では、まず2種類の EEG に基づく BMI に関する検討を、生理学的な見地より行った。一つは、左右手首屈伸運動時およびそのイメージ時における脳波律動、もう一つは定常体性感覚誘発電位に基づく左右示指への注意識別である。その後、左右手首屈伸運動における律動変動に基づく BMI について、特定の脳部位の信号を高精度に抽出するため、fMRI 賦活部位を線形制約条件とする EEG 空間フィルタに基づく手首屈伸運動の左右識別について検討を行った。本論文は7章からなっており、その構成は次のとおりである。</p> <p>第1章は序論であり、脳機能計測法およびそれに関わる BMI の概要について述べている。</p> <p>第2章では、従来の BMI 研究で用いられている BMI の原理についてまとめている。その後、本論文で用いた、主成分分析や独立成分分析、スプライン・ラプラシアン解析等の EEG の解析方法について述べている。また、信号源推定を行うための空間フィルタ法について述べている。そのほか、EEG の電極の電位と脳活動を表す等価電流双極子との関係を表すリードフィールド行列を計算するための数値電界計算法について述べている。</p> <p>第3章では、左右手首屈伸運動時およびそのイメージ時における脳波律動の識別方法について、累積分布関数より同定した閾値を用いて左右識別法を提案している。まず、信号を限局するためスプライン・ラプラシアン解析を用いた。その後、ウェーブレット解析による時間一周波数解析を行い、周波数帯域や時間、チャンネルを同定した。全被験者において、運動終了後に対側で <math>\beta</math> 律動の事象関連同期が全被験者について対側有意に観測された。次に、左右識別の閾値を累積分布関数より取得して識別した。提案手法は、機械学習と従来法、識別率は運動時、運動イメージ時よりも識別率は有意に高かった。</p> <p>第4章では、定常体性感覚誘発電位に基づく左右示指への注意識別法について、定常体性感覚誘発電位の抽出方法として、狭帯域フィルタ、主成分分析および独立成分分析を用い、得られた独立成分について、定常体性感覚誘発電位マップを評価ベクトルとした評価式による独立成分の同定法を提案し、さらに、同定した独立成分を用いて左右示</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	笹山 瑛由
<p>指への注意識別をする手法を提案した。識別率は現段階では十分高いとは言えないが、本手法による定常体性感覚誘発電位に基づく BMI の構築の可能性が示されたと言えることができる。</p> <p>第 5 章では、左右手首屈伸運動時における脳波律動の識別法について、fMRI 賦活部位を線形制約条件とする EEG 空間フィルタに基づく手首屈伸運動の左右識別法を提案している。まず、MRI データより実頭部ボクセルモデルを作成し、これを用いてリードフィールド行列を計算した。次に、左右手首屈伸運動時について fMRI 計測を行い、その結果得られた fMRI 賦活領域を線形制約条件とする、線形制約付きプリホワイトニング空間フィルタを設計した。作成した実頭部モデルを用いて、干渉信号源が存在する場合には、線形制約付きプリホワイトニング空間フィルタが従来の線形制約条件が付加されていないプリホワイトニング空間フィルタよりも脳波律動の信号源再構成において有効なことをシミュレーションによって示した。最後に、線形制約付きプリホワイトニング空間フィルタで推定された事象関連脱同期および事象関連同期の信号強度を fMRI 賦活クラスタ内で推定し、この推定信号強度を特徴量として左右識別した。この提案手法は、EEG のみより識別する従来の手法よりも識別率が有意に高いことから、EEG に加え MRI および fMRI のデータを複合的に用いることで、識別率が向上することが分かった。</p> <p>第 6 章は検討であり、第 3～5 章で述べた BMI に関する総括的な考察および今後の展開について述べている。</p> <p>第 7 章は本論文のまとめであり、各章で得られた成果を要約している。</p>			

氏名	笹山 瑛由
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

脳波 (EEG)、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) 等の非侵襲計測法の工学的応用として、脳とコンピュータあるいは機械との間で直接情報を伝達する技術であるブレイン・マシン・インタフェース (BMI) が注目を集めている。本論文では、(a) 手首屈伸運動時およびそのイメージ時における脳波律動、(b) 定常体性感覚誘発電位に基づく左右示指への注意識別について、生理学的な立場に立ち戻って検討を行った。その後、(c) fMRI 賦活部位を線形制約条件とする EEG 空間フィルタに基づく手首屈伸運動の左右識別について検討を行った。概要は以下のとおりである。

(a) 計測した EEG をスプライン・ラプラシアン法により前処理することによりノイズを低減し、その後ウェーブレット解析により事象関連同期、脱同期が観測されるチャンネル、時間窓、周波数帯域の情報を同定し、視覚刺激を呈示していない期間の EEG の累積分布関数を用いて閾値を計算して、同定した情報および閾値を用いて左右識別する手法を提案した。本手法は左右手首屈伸運動時およびそのイメージ時いずれでも従来法よりも高い平均正答率を得た。

(b) 定常体性感覚誘発電位の抽出方法として、狭帯域バンドパスフィルタ、主成分分析、独立成分分析などの手法を用い、定常体性感覚誘発電位分布を評価ベクトルとして独立成分を同定し、それより左右示指への注意識別を行う方法を提案した。その結果、本手法による定常体性感覚誘発電位を用いた BMI 構築の可能性が示されたといえる。

(c) 特定の脳部位の信号を高精度に抽出するため、fMRI 賦活部位を線形制約条件とする線形制約付きプリホワイトニング空間フィルタを用いた左右識別方法を提案した。その結果、提案手法は従来法より高い平均正答率を得た。

以上の結果は、脳内情報を抽出して作成した特徴ベクトルをいかに適切に識別するかという機械学習に加え、生理学的な知見に基づき、いかに適切に脳内情報を抽出するかが BMI の精度を向上させることに重要であることを示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

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。また、平成 24 年 1 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。