

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01852

研究課題名(和文) 運動想起型相互適応BCIにおけるフィードバック訓練のための信号取得法

研究課題名(英文) Method to extract feedback data for neurofeedback training of motor-imagery based BCI

研究代表者

加納 慎一郎 (Kanoh, Shin'ichiro)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：00282103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ユーザが身体動作を想起した際の脳波を検出する運動想起型BCIの正答率向上のため、脳活動信号をユーザにリアルタイムで提示しながら課題の遂行を求めるニューロフィードバック(NF)訓練を行う際、被験者に提示するフィードバック情報を統計的手法により取得する方法を検討した。本研究の結果、多チャンネル脳波に適用する空間フィルタによってNF訓練の効果が向上することがわかった。また、脳波から脳内信号源の電気活動を推定してNFに供することでNFの効果が向上する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：To improve detection accuracy of motor-imagery based BCI using EEG signal, the method to extract feedback data for neurofeedback training was investigated. It was shown that the application of spatial filter to multi-channel EEG improved the effect of neurofeedback training. It was also shown that the effect of neurofeedback training could be improved if the feedback data was obtained from the cortical current which was estimated from the surface multi-channel EEG.

研究分野：神経工学

キーワード：BCI 運動想起 ニューロフィードバック 信号源推定

1. 研究開始当初の背景

ヒトの運動のイメージ(想像)の有無やその種類を脳波から検出するBCI(運動想起型BCI)では、感覚運動野に由来する脳活動の信号に着目する。しかし得られる計測信号のS/N比や空間分解能は低く、またユーザの個体差が大きく、結果の再現性に乏しいことが多い。これらの理由により、運動のイメージを用いたBCIシステムは適性のあるユーザにしか適用できない場合が多い。

運動想起型BCIの研究では、脳活動からの情報検出(得られた脳波からの特徴抽出、および機械学習などのパターン認識技術による意図検出)について主に検討されている。このうち特徴抽出は、パターン分類の精度を決定づける重要な要素である。BCIの検出精度を向上させるため、空間フィルタを用いて多次元の計測データの次元削減を行い、同時に脳の各部位から生じる脳活動から運動想起に関連する応答を選択的に抽出する必要がある。

一方、運動想起型BCIにおいて、脳活動信号をユーザにリアルタイムで提示しながら課題の遂行を求めるニューロフィードバック(NF)訓練を行うことが精度向上のために有効であることを、研究代表者らはこれまでに明らかにしてきた。脳波およびNIRS(近赤外分光法)を用いた運動想起型BCIシステムでNF訓練を行うことにより、一次運動野や補足運動野の賦活、およびそれに伴う脳波の帯域強度の変化(ERD/ERS)が顕著になることが示された。これらの結果は、NFによって運動想起型BCIのための計測信号の品質や再現性が向上し、これにより、これまでBCIへの適性のないユーザへも適用が可能になる可能性を示している。

しかし、上述の研究代表者によるNFに関する検討では、NFの情報源である脳活動成分を適切に選択しないとNF学習自体が破綻し、その結果BCIの性能が著しく低下する場合があるという問題点があった。現状のNF訓練は、被験者に提示する脳活動に関する情報を、実験者が経験的手法により選択して行っていた。この方法では、運動想起に関連する脳活動が、NF訓練のために選択されたフィードバック情報に十分に反映されない場合がある。その場合、脳波の非正常性や時変性、特に訓練過程での脳活動の経時的変化にNF系が対応できず、その結果、NF訓練の効果が著しく低下すると考えられる。

そのため、運動想起に伴う感覚運動野由来の脳活動を計測信号から脳活動の信号源に関する事前知識に基づき検出することで、運動想起型BCIにおけるNF訓練の効果が向上する、さらには情報検出系とNF系の相互適応が容易になるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

ユーザが身体動作を想起(イメージ)した際の脳波を検出する運動想起型BCIにおい

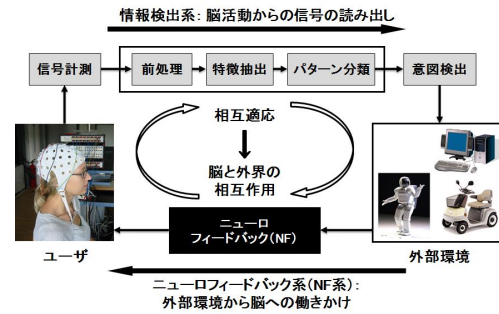


図1 本研究の全体像

て、正答率向上のために実施するニューロフィードバック(NF)訓練におけるフィードバック情報の取得法を検討する。本研究では、運動想起に伴う感覚運動野の脳活動を信号源推定およびICA(独立成分分析)を用い、脳活動の信号源に関する事前知識を利用して抽出してNFに用いることで、NFの効果を高めることを目指す。

具体的な内容は以下の通りである。

- (1) ICAによる脳活動情報の検出手法の確立: ICA(独立成分分析)を用いて脳波を分離し、その中から運動想起に伴う感覚運動野由来の脳活動を、手動で試行錯誤的に行うことなく自動的に選択・検出する方法について検討。またICAにより、(2)で行うデータ解析の前段で、雑音・アーチファクトを除去する方法を確立する。
- (2) 信号源推定手法を用いた脳活動情報の選択的検出手法の確立: 被験者のMRI画像から得られる構成される脳組織モデルを用いて逆問題解析を行い、計測した脳波から運動想起に伴う感覚運動野由来の脳活動を再構成する方法を確立する。
- (3) ICA, 信号源推定手法から検出した信号を用いたBCIの情報検出成績の評価:(1),(2)によって得られた運動想起に関連する脳波成分を用いたBCIの情報検出実験を実施し、その効果を評価する。
- (4) ICA, 信号源推定手法から検出した信号を用いたNF訓練の効果の検証:(1)(2)によって得られた運動想起に関連する脳波成分を用いたBCIを用いたNF訓練を長期間実施し、訓練による脳活動の変化を定量的に示す。

3. 研究の方法

(1) 脳波計測実験

運動機能が正常な成人被験者に対して脳波計測実験を行い、運動想起に関連する感覚運動野由来の脳活動を計測した。

被験者の頭皮上に64チャンネルの銀-塩化銀電極を設置し脳波を計測した。また、眼電図と手足の筋電図を同時に計測した。

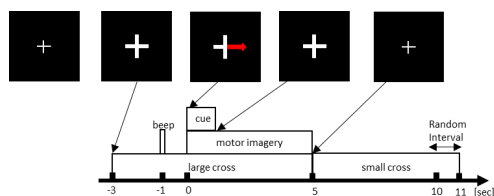


図2 実験のタイムチャート

被験者には、視覚的に提示される合図に合わせて右手、左手、足のいずれかの体部位の運動を想起することを求めた。その際に体部位の実動作は行わないように指示した。

(2) 大脳感覚運動野由来の脳波応答の定量化

本研究では、計測された脳波に含まれる周期律動脳波 (SMR: sensory-motor rhythm) を観測した。 μ 帯域の SMR を定量化するために、計測信号の時間-周波数解析し、ERS/ERD (事象関連同期・脱同期) の解析を行った。

(3) 脳波データへの空間フィルタの適用

計測した脳波に含まれる雑音やアーチファクトを除去し、かつ応答に含まれる SMR を選択的に抽出するために、空間フィルタを適用した。空間フィルタは、バイポーラモンタージュ, Laplacian 型空間フィルタを用いた。また、ICA によって計測した脳波を独立成分に分解し、その空間分布と課題遂行による応答変化から SMR の成分を抽出した。

これらの空間フィルタを用いて得られた脳波信号から、どの空間フィルタが SMR の抽出やその NF への利用に適しているかを検討した。

(4) 空間フィルタによって抽出した SMR 成分を用いた NF 実験

空間フィルタを計測信号に適用して得られた SMR 成分を被験者にリアルタイムに視覚的に提示しながら運動想起を行う NF 実験を実施することによって、その効果を検討した。

(5) 皮質電流推定に基づく SMR の選択的抽出

計測した信号を逆問題解析することによって、その信号源の分布や強度を推定する方法のひとつである VBMEG (variational Bayesian multimodal encephalography) を用い、大脳感覚運動野から生じる SMR を選択的に抽出する方法を検討し、これまでに検討した空間フィルタとの性能比較を行った。

この手法を適用するために、標準脳の MRI 画像、および当該被験者の MRI 画像と同一課題遂行時の fMRI データの計測実験を行った。

4. 研究成果

(1) 運動想起に関する NF 実験

5名の被験者に対して、Laplacian 型空間フィルタを用いた NF 実験を5日間実施した。

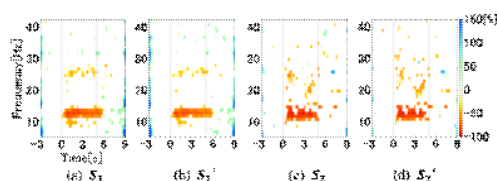


図3 VBMEGで推定した皮質電流の時間-周波数解析結果

本実験の結果、2名の被験者で、それぞれ μ 帯域の ERD、および β 帯域の ERS で NF の結果が得られたことがわかった。

この結果は、空間フィルタにバイポーラモンタージュを用いた研究代表者による実験結果 (Kanoh et al, 2008) に比べて、短期間で NF の効果が得られる可能性を示唆するものである。また、残りの3名の被験者のデータの実験後の解析の結果、効果が認められなかったのは、NF 実験の初期で SMR の成分が認められなかった、つまり NF の信号の取得が不十分だったことが原因であることが示唆された。

本実験の結果、NF のための良質の信号の取得が重要であることが示され、空間フィルタのデザイン方法の検討が NF 実験の鍵であることがわかった。

(2) SMR の皮質電流推定

VBMEG を用いて、運動想起時の脳波信号から、皮質電流を抽出する方法を検討した。

被験者個人の MRI データを用いる前段階として、MNI (Montreal Neurological Institute) が提供する標準脳イメージデータを用いて、各被験者から得られた脳波から被験者の皮質電流の推定を行った。5名の被験者に運動想起課題を課す脳波計測実験を2回行った。VBMEG を用いて、1回目のデータから皮質電流を抽出するための空間フィルタを算出し、(1)そのフィルタを2回目のデータに適用して得られた皮質電流、(2)2回目のデータに VBMEG を適用して得られた空間フィルタを用いて抽出した皮質電流、をそれぞれ時間-周波数解析した。

両者を比較した結果、両者の応答は非常に類似していることがわかった。このことから、SMR の信号源である皮質電流は、VBMEG によって適切に抽出できることが分かった。

また、VBMEG によって抽出された SMR 成分は、他の空間フィルタを用いて得られた応答に比べて S/N が良好であった。この結果より、VBMEG を用いることで、より効果的な NF 実験が可能となることが示唆された。

皮質電流を用いた NF 実験には、期間内に着手することができなかった。現在、被験者個人の MRI データと課題遂行時の fMRI データから SMR の皮質電流を推定する手法、およびそれを用いた NF 実験の準備を行っている。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件),

大村 知也, 加納 慎一郎, 運動想起に伴う脳波応答へのニューロフィードバックの試み, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE-17-032 (2017).

T. Omura, S. Kanoh, "A basic study on neuro-feedback training to enhance a change of sensory-motor rhythm during motor imagery tasks," Proceedings of the Biomedical Engineering International Conference 2017 (BMEiCON2017) (2017).

高瀬 雄哉, 緒方 洋輔, 吉村 奈津江, 小池 康晴, 加納 慎一郎, 標準脳モデルを用いた運動想起中の脳皮質電流推定の試み, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE-18-019 (2018).

Y. Takase, Y. Ogata, N. Yoshimura, Y. Koike, S. Kanoh, "Cortical Current Estimation Based on Standard Brain Model Using EEG Signals During Motor Imagery," The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018), to appear (2018).

〔学会発表〕(計7件)

S. Kanoh, "Bridging brain and daily life: brain-computer interface and beyond (Keynote Speech)," The Biomedical Engineering International Conference 2015 (BMEiCON2015), Pattaya, Thailand (2015.11.26).

大村 知也, 加納 慎一郎, 運動想起に伴う脳波応答へのニューロフィードバックの試み, 電気学会医用・生体工学研究会, 東京, 東京大学 (2017.3.20).

加納 慎一郎, 脳と暮らしをつなぐ: 神経工学へのご招待 (特別講演), 電気設備学会 第29回定時総会, 東京, 如水会館 (2017.6.2).

T. Omura, S. Kanoh, "A basic study on neuro-feedback training to enhance a change of sensory-motor rhythm during motor imagery tasks," The Biomedical Engineering International Conference 2017 (BMEiCON2017), Sapporo, Japan (2017.9.1).

高瀬 雄哉, 緒方 洋輔, 吉村 奈津江,

小池 康晴, 加納 慎一郎, 標準脳モデルを用いた運動想起中の脳皮質電流推定の試み, 電気学会医用・生体工学研究会, 東京, 東京大学 (2018.3.20).

加納 慎一郎, 脳と暮らしをつなぐ ~ ブレイン・コンピュータ インターフェースとその先 ~ (特別講演), 電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会, 東京, 機械振興会館 (2018.3.13).

Y. Takase, Y. Ogata, N. Yoshimura, Y. Koike, S. Kanoh, "Cortical Current Estimation Based on Standard Brain Model Using EEG Signals During Motor Imagery," The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018), accepted (2018).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加納 慎一郎 (KANOH Shin'ichiro)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号: 00282103