

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700499

研究課題名(和文) 脳波及び脳磁図からの意図時刻推定による意図関連脳活動の抽出とBCIへの応用

研究課題名(英文) Improve accuracy of BCI by detecting intention-related brain activity from EEG and MEG data

研究代表者

武田 祐輔 (Takeda, Yusuke)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・専任研究員

研究者番号：60505981

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳波や脳磁図から運動意図に関連する脳活動を抽出し、ブレイン-コンピュータ・インタフェース(BCI)の精度向上に役立てることを目的とした。運動意図に関連する脳活動を抽出するために、運動想像中の脳波から、様々な未知のタイミングで現れる波形(非同期波形)を推定し、その性質を明らかにした。そして、非同期波形の機能的役割を推測するための方法を確立した。さらに、レスト中の脳活動データから繰り返し現れる時空間パターンを推定する手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to improve the accuracy of brain-computer interface (BCI) by detecting intention-related brain activities from EEG and MEG data. To this end, from EEG during motor imagery, we revealed waveforms that occur with unknown delays after stimulus onset (unlocked waveform). We proposed a procedure to examine the roles of unlocked waveforms. Furthermore, we proposed a method to estimate repetitive spatiotemporal patterns from resting-state brain activity data.

研究分野：脳活動データからの特徴量抽出

キーワード：ブレイン-コンピュータ・インタフェース(BCI) 脳波 脳磁図 運動想像 運動意図 自発脳活動
レスティングステート

1. 研究開始当初の背景

これまで、運動などの事象に関連した脳波や脳磁図の波形を得るには、その事象の発生時刻が必要であった。例えば、ボタン押しに関連した脳波波形を得るためには、ボタンが押された時刻の前後数百ミリ秒の脳波を切り出し、試行間で加算平均する必要がある。しかしこの方法では、意図や認知や判断など、外部へは表出されない主観的な事象に関連した波形を得ることはできない。事象の発生時刻が不明なため、どの時間範囲の脳波を切り出せば良いのかわからないからである。

申請者らは最近、このような主観的な事象に関連した波形の推定を可能にする手法を提案した(Common Waveform Estimation, CWE)(Takeda et al., 2010)。CWEは、試行間で共通した波形が脳波や脳磁図に含まれる場合に、全ての波形の各試行の出現時刻を推定し、全ての波形の時間パターンを推定する。つまり、例えば波形の出現時刻が不明でも、波形推定が可能な手法である。申請者らはCWEをGo/NoGo課題中のヒトの脳波に適用し、キュー刺激にもボタン押し反応にも時間同期していない波形を初めて抽出した(Takeda et al., 2010)。CWEにより、意図や判断など発生時刻が不明なためにこれまで捉えることが困難であった脳活動の精確な調査が、今後可能になると考えられる。

近年、ヒトの頭皮上より計測される脳波を用いて“意図するだけ”でロボットやコンピュータのカーソルをコントロールするブレイン-コンピュータ・インタフェース(BCI)の研究が盛んに行われている。通常のBCIでは、意図が生じる時間範囲をあらかじめ指定し、その範囲の脳波の値やパワーから意図を識別している。この方法では、あらかじめ設定した時間範囲内に意図が生じた場合には正しく意図を識別するが、その時間範囲外に意図が生じた場合には誤った識別をする。従って、意図が生じる時刻が毎試行変化する場合には、この手法はあまり効果的とは言えない。

CWEにより、何を意図したときどのような脳活動パターンが生じるのかが明らかになれば、脳活動から効果的に意図を識別することが可能になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、ヒトの脳波や脳磁図から、意図時刻を推定することにより、意図に関連した脳活動の時空間パターンを抽出し、ブレイン-コンピュータ・インタフェース(BCI)の意図識別に役立てることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 運動想像中の非同期波形推定

意図に関連した脳活動の時空間パターンを抽出するために、運動想像中の脳波を計測し、出現時刻が不明な波形を推定した。

運動想像実験

人差し指伸展運動想像時の脳波及び脳磁図を計測した。健常な被験者12名が実験に参加した。被験者は、画面に“>”が呈示されたら右手、“<”が呈示されたら左手人差し指伸展運動を想像した。各条件につき105試行を行った。

非同期波形推定

意図に関連した脳活動は様々な未知のタイミングで出現すると予想した。そこで、CWEを運動想像中の脳波に適用し、刺激に非同期な波形(非同期波形)を推定した。

(2) 非同期波形の機能推測

CWEによって推定された非同期波形がどのような脳の機能に関わっているかは不明である。そこで、非同期波形の機能的役割を調べる手順を確立した。

アイデア

加算平均波形の機能的役割を調べる場合、まず、機能A(例えば判断など)を必要とする条件と必要としない条件を用意する。そして、条件間で加算平均波形の振幅を比較する。機能Aを必要とする条件で振幅が大きければ、加算平均波形は機能Aを反映していると解釈する。このとき、両条件から得られた加算平均波形は同じ機能(例えば判断など)を反映していることを暗に前提としている。

しかし、非同期波形の場合には、この前提は必ずしも成り立たない。条件1から推定された非同期波形は判断を、条件2から推定された非同期波形は注意を反映しているかもしれない。このような場合に非同期波形の振幅を条件間で比較することは無意味である。

そこで、推定された非同期波形の機能的役割を明らかにするために以下の手続きを行う。まず、推定された非同期波形と同じ脳活動を抽出するための空間フィルタを作成する。そして、空間フィルタを様々な条件の脳波に適用し成分を抽出する。最後に、抽出された成分のパワーを計算することで、非同期波形と同じ脳活動が様々な条件でどのくらい強く生じているのか調べる。

概念実証

上述したアイデアの概念実証を行うため、Go/NoGo課題のGo試行中の脳磁図から推定された非同期波形の機能を調べた。研究開始当初、非同期波形はGoかNoGoかの判断に関わる脳活動を反映していると予想した。

健常な被験者9名が実験に参加した。Go/NoGo課題、単純反応時間課題、見るだけ課題を行った。Go試行中の脳磁図にCWEを適用し刺激同期波形、反応同期波形、非同期波形を推定した。非同期波形と同じ脳活動を抽出するための空間フィルタはDenoising Source Separation(DSS)アルゴリズム(Särelä & Valpola, 2005)を用いて作成した。

4. 研究成果

(1) 運動想像中の非同期波形

運動想像中の脳波にCWEを適用し、刺激同期波形と非同期波形を推定した。

刺激同期波形

刺激同期波形は刺激をトリガにした加算平均波形と類似していた。これは非同期波形の混入が加算平均波形に与える影響は小さいことを示している。右手と左手運動想像時の刺激同期波形は、刺激呈示後0.5秒あたりで差が大きかった。この結果より、条件特有の脳活動が刺激後0.5秒に毎試行生じることが明らかになった。

非同期波形

非同期波形を平均遅れ時間だけ正の方向に時間をずらしてプロットしたところ、波形は条件間でほぼ一致していた(図1)。これは、各条件の脳波から別々に推定したにも関わらず、非同期波形とその遅れ時間の推定値が条件間でほぼ一致していることを示している。この結果から、推定された非同期波形がノイズではないこと、そして、右手と左手運動想像に共通した脳活動が刺激後様々な遅れ時間で生じていることが明らかになった。

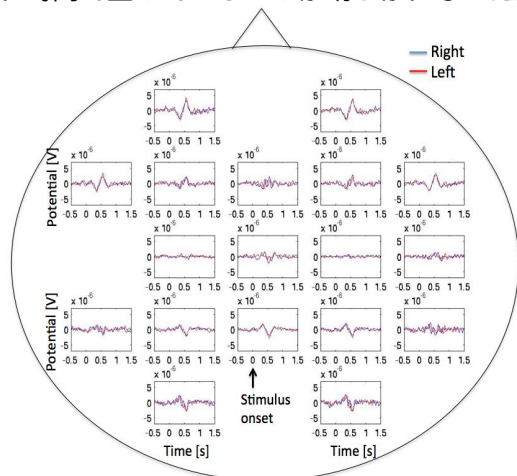


図1. 運動想像中の非同期波形

BCIへの応用

非同期波形を考慮することでBCIの正答率が向上するか調べた。結果、正答率向上は認められなかった。これは、上述のように非同期波形が条件間で類似していたことに起因する。以上の結果より、右手運動想像特有、もしくは左手運動想像特有の脳活動は刺激に同期しており、BCIの正答率を向上させるために非同期波形を推定する必要はないことが示唆された。

(2) 非同期波形の機能を推測

CWEによって推定された非同期波形の機能的役割を調べる手順の概念実証を行った。

Go試行中の非同期波形

Go/NoGo課題のGo試行中の脳磁図にCWEを適用し、非同期波形を推定した(図2)。推定された非同期波形は、側頭部に大きな帯域の振動成分を含んでいた。

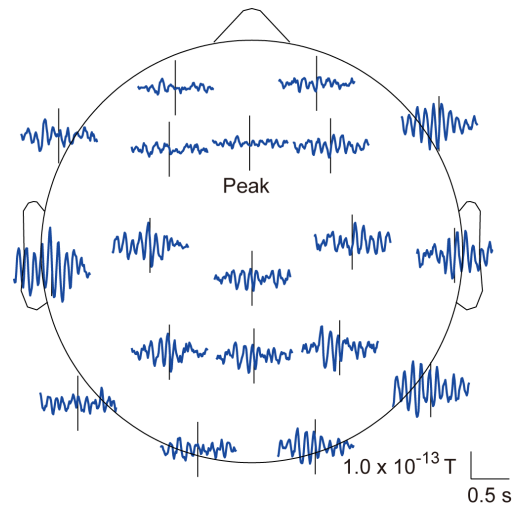


図2. Go試行中の非同期波形

非同期波形の役割

波に関する先行研究を基に、推定された非同期波形は「視覚注意中に生じる課題に無関係な脳部位の抑制を反映している」という仮説を立てた。

推定された非同期波形と同じ脳活動を抽出する空間フィルタをDSSアルゴリズムで作成した。空間フィルタを全条件(Go/NoGo課題、単純反応時間課題、見るだけ課題中)の脳磁図に適用し、抽出された成分のパワーを調べることで仮説を検証した。

結果、パワーは視覚注意を必要とする条件で大きくなっていった(図3)。これは推定された非同期波形と同じ脳活動が、視覚注意を必要とする条件で強く生じることを示している。さらに、パワーが大きい試行で反応時間のバラツキは小さくなっていった。これは、推定された非同期波形が課題に無関係な脳部位の抑制を反映していることを示唆している。これらの結果は全て仮説を支持していた。

以上より、非同期波形の機能的役割を調べる手続きの妥当性が確認できた。

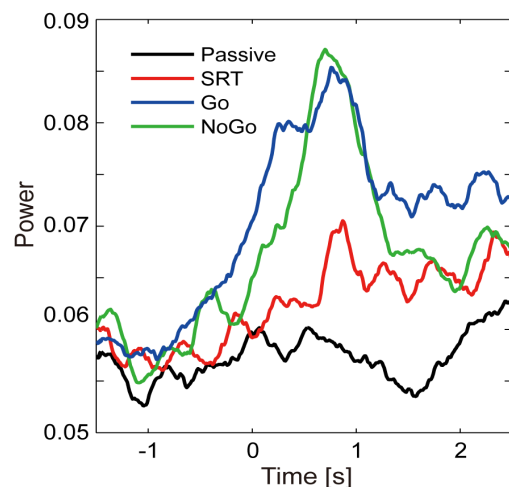


図3. 非同期波形の脳活動成分のパワー

(3) 自発脳活動データから時空間パターンを推定する手法の開発

近年、自発脳活動に関する研究が盛んに行われている。ヒト以外の動物研究では、自発脳活動に同じ時空間パターンが繰り返し現れることが報告されている。これらの時空間パターンは脳のネットワークに埋め込まれた過去の記憶を反映していると考えられている。一方ヒト研究では、レスト中に現れる時空間パターンはあまり調べられてきていない。これは、時空間パターンの出現時刻が不明なために、時空間パターンを推定することが困難なためである。

そこで、CWE を拡張することによって、レスト中のヒト脳活動データから繰り返し現れる時空間パターンを推定する手法を提案した。提案手法は、時空間パターンの出現時刻の情報を用いずに、複数の時空間パターンを分離して推定することが可能である。

提案手法によって、今後、過去の経験がどのように脳のネットワークに埋め込まれ将来の脳活動を形成するのか、ヒトで明らかになると期待される。

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 2 件)

1. Takeda Y, Yamanaka K, Yamagishi N, Sato M. Revealing time-unlocked brain activity from MEG measurements by common waveform estimation. PLoS One. 2014; 9 (5): e98014. (査読有) DOI: 10.1371/journal.pone.0098014
2. Aihara T, Takeda Y, Takeda K, Yasuda W, Sato T, Otaka Y, Hanakawa T, Honda M, Liu M, Kawato M, Sato M, Osu R. Cortical current source estimation from electroencephalography in combination with near-infrared spectroscopy as a hierarchical prior. Neuroimage. 2012; 59 (4): 4006-21. (査読有) DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.09.087

〔学会発表〕(計 11 件)

1. Takeda Y, Sato M. Extracting spatiotemporal patterns from spontaneous human brain activities. 第 37 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2014), 2014 年 9 月 13 日, パシフィコ横浜 (神奈川県).
2. Takeda Y, Sato M. Extracting spatiotemporal patterns from spontaneous MEG data. 19th International Conference on Biomagnetism (BIOMAG 2014), 2014 年 8 月 27 日, Halifax (Canada).
3. Takeda Y, Sato M. Extracting

spatiotemporal patterns from spontaneous MEG data. Society for Neuroscience 43th Annual Meeting (Neuroscience 2013), 2013 年 11 月 12 日, San Diego (USA).

4. Takeda Y, Yamanaka K, Yamagishi N, Sato M. Revealing covert brain activity from MEG data. 第 35 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2012), 2012 年 9 月 21 日, 名古屋国際会議場 (愛知県).
5. Takeda Y, Yamanaka K, Yamagishi N, Sato M. Revealing covert brain activity from MEG measurements. 18th International Conference on Biomagnetism (BIOMAG 2012), 2012 年 8 月 19 日, Paris (France).
6. Yoshioka T, Yamashita O, Takeda Y, Callan D, Sato M. Multivariate analysis of space-time-frequency data extracted from brain activity. 第 35 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2012), 2012 年 9 月 19 日, 名古屋国際会議場 (愛知県).
7. 武田祐輔, 山中健太郎, 山岸典子, 佐藤雅昭. MEG データからのセンサ間で同期した振動の抽出. 神経オシレーションカンファレンス, 2012 年 7 月 12 日, 自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター (愛知県).
8. Aihara T, Takeda Y, Takeda K, Yasuda W, Sato T, Otaka Y, Hanakawa T, Honda M, Liu M, Sato M, Osu R. EEG current source estimation with NIRS as a hierarchical prior. 第 34 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2011). 2011 年 9 月 16 日, パシフィコ横浜 (神奈川県).
9. Yoshioka T, Yamashita O, Takeda Y, Callan D, Sato M. Feature selection for brain activity data on cortex-time-frequency space. 第 34 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2011). 2011 年 9 月 16 日, パシフィコ横浜 (神奈川県).
10. Takeda Y, Yamanaka K, Yamagishi N, Sato M. Estimating waveforms common across trials from MEG data in various stimulus-response tasks. 第 34 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2011). 2011 年 9 月 15 日, パシフィコ横浜 (神奈川県).
11. 武田祐輔, 山中健太郎, 山岸典子, 佐藤雅昭. EEG/MEG からの試行間で共通した波形の推定. 医用診断のための応用統計数理の新展開 III, 2011 年 9 月 9 日, 統計数理研究所 (東京都).

〔図書〕(計 0 件)

【産業財産権】

出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

【その他】

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 祐輔（TAKEDA, Yusuke）
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・
脳情報通信総合研究所・専任研究員
研究者番号：60505981