

BCI (Brain Computer Interface)

芝野 功一郎, 澁谷 翔吾

Koichiro SHIBANO, Shogo SHIBUTANI

1 はじめに

近年、脳の活動に伴い発せられる信号を用い、考えるだけで機器などを操作する BCI (Brain Computer Interface) が注目されている。BCI は、頭の中で右手を動かそうと考えると、ロボットに命令が送られて、ロボットの右手を動かすことができるという技術である。この技術が注目され始めたのは 1990 年代以降、MRI などの生きたまま脳の活動を観測する脳機能イメージング技術ができた頃である。しかし、脳活動に伴う信号から人間の意図を正確に読み取ることは複雑であり、不可能と考えられてきた。だが、計測技術、および計測機器の発達やパターン認識、信号処理などの工学的手法が進歩し、BCI が実現可能な技術であることがわかってきた。本稿では、BCI の仕組みや使用されている技術、またそれを用いた今後の展望について解説する

2 BCI

BCI (Brain Computer Interface) とは脳を端末とし、考えるだけでロボットなどに命令を与えることができるインタフェースのことである。BCI において、行動をイメージし、その命令を実際にロボットが受け取って行動するまでには様々な処理を行う。以下に BCI の処理手順を示し、Fig.1 にその様子を示す。

1. 人間が左手を動かすなどの行動をイメージする
2. EEG (ElectroEncephaloGram) 信号計測装置や NIRS (Near Infrared Spectroscopy) 脳計測装置を利用して脳波や脳の活性部分を計測する
3. 計測された脳波を処理する
4. 処理された情報を学習・識別する
5. ロボットの左手が動くという出力がされる

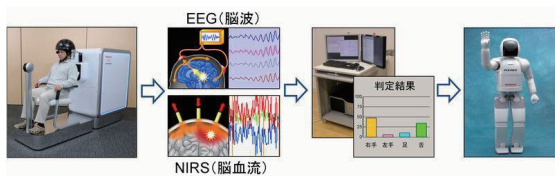


Fig.1 Brain-machine Interface Technology(参考文献¹⁾より引用)

以下では、BCI において重要な役割を担う、脳機能計測、信号処理、および学習・識別について解説する。

2.1 脳機能計測技術

脳機能計測とは、脳内各部の活性や脳から発せられる信号を測定し、それを画像化する技術のことである。脳機

能を計測することによって、例えば体を動かす時は前頭葉が活性化していることが視覚的にわかる。脳機能を計測する手法として以下の二種類がある。

侵襲的手法 侵襲的手法とは、大脳に直接電極を埋め込むことで、大脳からの信号を読み取る手法である。そのため神経信号の混信や頭蓋の影響を受けにくく高精度なデータを得ることができる。しかし、侵襲的手法では被験者の負担が大きく明確な治療目的などがない限り、この手法を用いるのは難しいと考えられている。

非侵襲的手法 非侵襲的手法とは、頭蓋の外から脳の信号を取り出すため、被験者にかかる負担が小さく、医療目的以外の応用へも期待される手法である。BCI には主にこの手法が用いられている。

非侵襲的手法の例として、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging : 機能的核磁気共鳴画像法) が BCI の研究に主に使われていたが、大型で強力な磁場が発生するため使用環境が限られていた。しかし近年、小型の EEG 信号計測装置や NIRS 脳計測装置を両方使用することにより、出力の精度が向上するといった研究結果が出ている。本節では非侵襲的手法の EEG 信号計測装置、NIRS 脳計測装置について解説する。

2.1.1 EEG 信号計測装置

EEG (ElectroEncephaloGram : 脳波図) とは、脳の表面の電気的な変化をグラフ化したものである。計測対象として知覚、随意運動、思考、推理、記憶など脳の高次機能を司っている大脳新皮質の活発さを測定することができる。主に小さな金属の円盤の電極を、電気を通ずゲル状の薬剤で頭部に固定して計測する。電極の数は、1~2 個程度の場合もあれば、100 個程度使用する場合もある。Fig. 2 に電極を装着した様子を示す。



Fig.2 電極を装着した様子 (参考文献²⁾より引用)

EEG は、数ミリ秒に 1 回という単位で計測可能なので、どれだけ時間を細かく計測できるかという能力である時

間分解能は高いが、どれだけ空間を細かく計測できるかという能力である空間分解能は、取り付けられた電極の数以上に細かく脳を分割することはできないので、低くなっている。EEG の計測に際して、電極の配置は国際的に標準化されており、10-20 電極配置法と呼ばれている。10-20 電極配置法は頭部を 10%、20%、20%、20%、10% と分けるように電極を配置することからその名前が付いている。しかし、10-20 電極配置法では、21ヶ所でしか信号が測定できず、また間隔も広いので、詳細な情報を得たいような状況では不十分な場合が多い。そこで、10-20 法の 20% の間隔の部分に 10% の間隔で電極を補充したような形の 10% 電極配置法が提案されている。これにより、多くのチャンネルで測定が可能になり、空間分解能は向上した。Fig. 3 にそれぞれの電極配置法の図を示す。

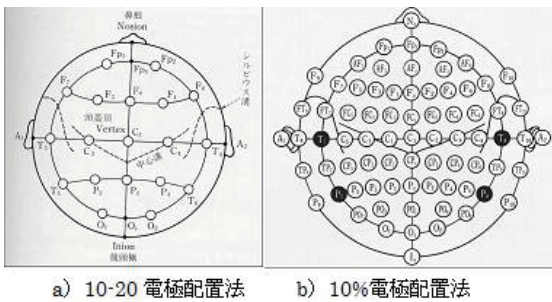


Fig.3 電極配置法 (参考文献³) より参照

2.1.2 NIRS 脳計測装置

NIRS (Near Infrared Spectroscopy: 近赤外分光法) 脳計測装置とは、近赤外光を用いて頭皮上から非侵襲的に脳機能をマッピングする装置である。NIRS 脳計測装置の例として、光トポグラフィーが挙げられる。光トポグラフィーとは、頭蓋骨のすぐ内側に位置する大脳皮質を計測対象とし、頭皮上からの多チャンネル反射光により、脳血流の増加を計測し、その活動を可視化する装置である。Fig. 4 に光トポグラフィーの測定原理の概略図を示す。

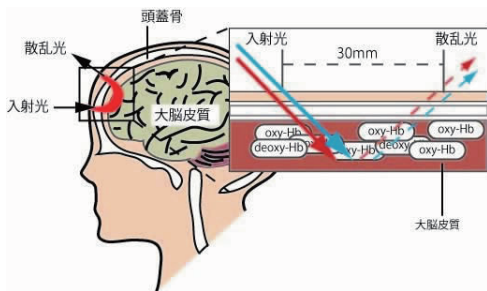


Fig.4 測定原理の概略図 (参考文献⁴) より引用

2.2 信号処理 (特徴抽出)

本節では、前節で解説した EEG の信号処理について解説する。EEG 信号は Fig. 5 のように非常に複雑なグラフになっているので、EEG を用いた BCI では、EEG 信号をフーリエ変換した周波数領域の特徴が用いられる。

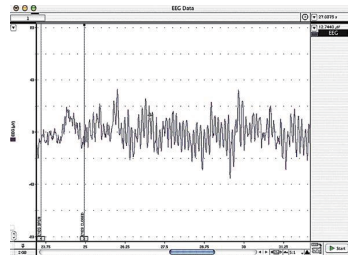


Fig.5 EEG 信号 (参考文献⁵) より引用

周波数領域とは、ある信号にどれだけの周波数成分が含まれているかということである。Fig. 6 に周波数領域のグラフを示す。

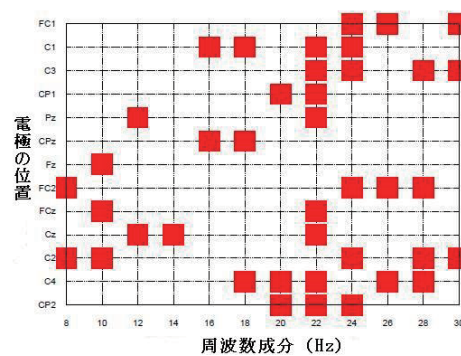


Fig.6 周波数領域のグラフ (参考文献³) より参照

Fig. 6 の横軸が周波数成分、縦軸が電極の位置を示している。グラフ中の印は、どの周波数成分がどの電極から出ているものを示している。主に脳の活動と関連のある周波数帯域は生理学的に検証されており、例えば、左手を動かそうとイメージした時の周波数領域には Fig. 6 のような特徴 (パターン) が存在する。また、EEG には脳機能とは関係のない雑音が入りやすいために、それらを除去することが必要になる。このときも周波数領域の特徴を用いることにより雑音の除去が容易になる。

さらに 2.1.2 で紹介した光トポグラフィー装置を使用することにより、特徴抽出の精度は向上する。光トポグラフィー装置は大脳皮質における、脳血流の増加・減少の部分を知ることができる。以下の Fig. 7 に脳血流の増減の様子を示す。Fig. 7 中の赤い部分が脳血流が増加している部分で、青い部分が減少している部分である。

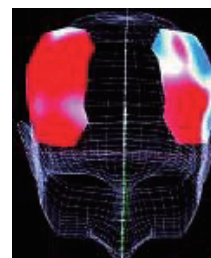


Fig.7 脳血流の増減の様子 (参考文献⁶) より引用

これによって、考えたイメージによる脳血流の増減のパターンを抽出し、EEG 信号の周波数領域の特徴とを統計処理することで、人間が何かをイメージしたときの特徴を正確に抽出することができる。

2.3 学習・識別

BCIにおける学習とは、ある動きをイメージした時の周波数領域の特徴をインプットすることである。識別は、ある動きをイメージした時、それはどの動きの周波数領域の特徴と一致するかを判別することである。つまり、右手を動かすイメージと左手を動かすイメージとで、周波数領域の特徴を見分けるということである。BCI研究において、学習・識別を行うために様々なアルゴリズムが用いられている。その中でもSVM (Support Vector Machine) はBCIの研究で用いられ、高い汎化能力を發揮している。SVMの特徴として、未学習データに対して高い識別性能を得ることが挙げられる。それを可能にしているのは教師付き学習である。教師付き学習とは、入力(質問)と出力(答え)の組からなる訓練データを用いて、その背後に潜んでいる入出力関係(関数)を学習する問題である。ひとたび関数をうまく学習することができれば、学習していない入力に対する出力を予測することができるようになる。つまり、左手を動かすイメージ(入力)と、その周波数領域の特徴(出力)の訓練データを用いることによって、まだ学習していない右手を動かすイメージとその周波数領域の特徴を予測することができるのである。

3 実用例

株式会社ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパンと株式会社国際電機通信基礎技術研究所(ATR)、株式会社島津製作所は、脳の活動を読み取ることでロボット(ASIMO)を動かすことに成功した。具体的にはユーザーが「右手」、「左手」、「足」、「舌」の4つの選択肢から1つを選んで、その身体各部の運動イメージを7~9秒ほど頭に思い浮かべる。すると、ASIMOが手や足を上げる動作を行なうといったものである。現在は身体の4部分のみがロボットと対応しているが、今後、技術的な進歩があるとさらに複雑な動き、例えば物をつかむ動作や物を投げる動作などを実現することが可能になると考えられる。また、介護・福祉の面においては、筋萎縮性側索硬化症患者や事故などで脊椎の損傷による部分・全身麻痺となった人がコンピュータ画面上でのマウスポインタの使用、文字入力、ロボット・義手・車椅子などを自由自在に操作することが実現されている。

4 今後の展望

BCI研究は、今後より広い分野に応用されていくと考えられる。現在は単純な動作しか考えたことをロボットに命令できないが、将来的には食事を作ったり、花に水をやりたりなどお手伝いロボットへの応用が考えられる。そのためには、より細かい動きをロボットと対応づけていくことが今後の課題となってくると考えられる。他に、車のカーナビゲーションシステムへの応用が考えられる。

例えば、ユーザが映画館に行きたいと考えたと、映画館への道筋をナビゲートしてくれるというものである。また、人的損害を減らす目的で、地雷処理など人間では危険な作業や高圧・真空といった過酷な環境への利用も考えられる。このように脳自体をインタフェース化することにより、人間の生活はより豊かになり、暮らしやすくなっていくと期待できる。

参考文献

- 1) NEWS-ON
<http://www.news-on.jp/info.php?type=press&id=P0001138&all=true>
- 2) WashingtonUniversityEEGResearch
<http://ese.wustl.edu/~nehorai/research/eegmeg/EMEG-Overview.template.html>
- 3) ブレインコンピュータインターフェースのためのモデル選択に関する研究
<http://www.cs.tsukuba.ac.jp/H18Syuron/200520978.pdf>
- 4) 【IT用語】光トポグラフィー 川原 理恵子, 廣安 知之, 三木 光範
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/report/2008/1115/001/report20081115001.html>
- 5) ADINSTRUMENTS
<http://www.adi-japan.co.jp/.../psychophysiology.html>
- 6) 大阪ガス 最新の生活情報
http://www.osakagas.co.jp/Press/pr_life/04-10.htm