日大生産工	(院)	○澤井	英幸
日大生産工	(院)	浅賀	恭平

1. 緒論

現在, BCI (Brain Computer Interface) についての 研究が盛んに行われている⁽¹⁾. BCI とは,人間が脳で 考えることを脳神経情報として取り出し,機械に入力 することにより機器を制御するシステムである.手足 を動かすことなく脳神経情報から直接機器の操作を することができれば脳卒中の後遺症による片麻痺患 者など,体を動かせない患者に対する介護ロボットへ の応用が期待できる.

BCI には電極を脳内に直接埋め込むことで脳神経 情報を読み取る侵襲型と、近赤外分光法 NIRS (Near spectroscopy) や 脳 infrared 波 EEG (electroencephalogram) により頭の表面から脳神経活 動を読み取る非侵襲型がある.侵襲型 BCIは,信号精 度は高いが手術や手術後の感染症など使用者への負 担が大きいため,非侵襲型 BCI の方が汎用性は高いと いえる. 先行研究における非侵襲式 BCI として、松本 ら⁽²⁾の研究があげられる. 松村らは EEG を用いて脳 神経情報を取り出し、 ヒューマノイドロボットの制御 を行った. この例のように、EEG を用いた BCI は多 数研究されている.しかし, EEG は使用者の体動によ る影響が大きく、電気的ノイズに弱いという問題があ る.これに対して NIRS は EEG よりも体動制限が少な く電気的ノイズに強いため使用者への負担が小さく, 電子機器からの影響も無い.よって本研究では NIRS を用いた BCI に着目した.

NIRS を用いた BCI の先行研究としては, 永岡ら⁽³⁾ が開発した筋刺激リハビリテーションシステムがあ る.この研究では, NIRS から計測した信号に閾値を 設けることで, 脳神経情報に対応して使用者の上腕二 頭筋に電気刺激を与え, 肘関節の屈折運動を誘発する. NIRS で計測される信号には, 計測機械のノイズや心 拍・呼吸といった課題に関係のない信号成分が含まれ ており, 不安定である.また NIRS 信号に対する信号 処理法も確立されていない.以上のことから NIRS 信 号に単純な閾値を設けただけでは高い識別率を得る ことが難しい.

日大生産工	(院)	柳沢	一機
日大生産		綱島	均

そこで本研究では、腕が動かせない片麻痺患者のため の義手を想定し、非侵襲で脳神経情報を計測する NIRS を用いてロボットアームの操作が可能になる BCI シス テムを提案した.また、BCIの初期検討として精度の高 いon/off 操作を実現するために、新しい信号処理法とし て離散ウェーブレット変換による多重解像度解析及び、 NIRS 信号の微分値を用いた脳活動レベルの判別法を提 案する.体を動かさずに頭の中でイメージを行う想起課 題は信号強度が弱く脳活動の有無を判定することは難 しい.そのため、まず信号強度の高いグラッピング課題 でシステム及び判定法の有効性を検証し、次に体を動か せない人への応用を考慮しグラッピングの想起を行う 実験からシステムの識別精度の検証を行った.

2. 近赤外分光法(NIRS)の原理

NIRS は、近赤外光を用いて脳血流の変化を計測する ことによって、間接的に脳活動を捉える非侵襲的計測法 である.神経活動が生じる部位では、局所的に血流が増 加し、血中のヘモグロビンの濃度が変化する.近赤外分 光法は、生体への透過性が良好な700~900nmの波長の 近赤外光を照射し、その透過光・拡散光から酸化ヘモグ ロビン (oxy-Hb) と脱酸化ヘモグロビン (deoxy-Hb) の濃度変化を計測することが可能である.しかし、計測 された値は、絶対値ではなく相対値であることから、こ の扱いには注意しなければない.

脳が活動するとき、一般的には、oxy-Hbが上昇し、少 し遅れて deoxy-Hb が減少することが知られている.

3. NIRS を用いたロボット操作システム

図1にNIRSを用いたロボット操作システムの概要を 示す.システムは脳機能計測部,特徴抽出・認識部,機 器制御部から構成されている. 脳機能計測部では島津製 作所製,近赤外光イメージング装置 OMM-2000 を用いて 使用者の oxy-Hb を計測する.特徴抽出・認識部では計 測した oxy-Hb の原信号を解析して閾値を求める.特徴 抽出・認識部で求めた閾値を解析後の oxy-Hb が越え た時に,機器制御部に on 信号を送ることでエレキット製, ロボットアーム MR-999 の関節部の回転操作を行うこと ができる.

Development of Robot Control System Using NIRS

Hideyuki SAWAI, Kazuki YANAGISAWA, Kyouhei ASAKA and Hitoshi TSUNASHIMA

4. 実験概要

4.1. 実験方法

図1に示したロボット操作システムを用いて実験を行 った.

実験は1試行を前レスト10秒,タスク30秒,後レスト10秒とし、5試行くりかえす.はじめの2試行はロボットを動かさず,特徴・認識部に使用者の oxy-Hb の変動のパターンを学習させた.3試行以降は学習したパターンに従い,oxy-Hb に対応してロボットの回転操作を行った.タスクはグラッピング課題とグラッピングの想起課題を行った.レスト間は安静にしているよう教示した.

測定部位は運動野とした. プローブ配置は左右 4×4 とし,計48chで計測した.

4.2. 単純な閾値によるの判定方法

4.2.1. 単純な閾値による判定方法及び結果

従来の判定方法では, oxy-Hb の始めの 2 試行の平均 と標準偏差から標準得点化を行い,移動平均を求めた. 閾値は最初の 2 試行での oxy-Hb の最大値の 20%とし, 判定は 3 試行目以降を対象とし, oxy-Hb が閾値を越え た場合 on 判定とした.

グラッピング課題時の oxy-Hb の濃度変化と判定結果 を図2(a)に、グラッピング想起課題時の oxy-Hb の濃 度変化と判定結果を図2(b)に示す. 図2(a)では一 試行目、二試行目のタスクでは on 判定が見られたが、 三試行目では on 判定が見られなかった.

次に図2(b)では一試行目から三試行目の全てのタス クで on 判定がなされているが,短時間で on 判定と off 判定が短時間で切替わり,不安定な判定が行われている ことがわかる.また二試行目のレストで on 判定が出て おり,誤った判定が行われている.

4.3. oxy-Hb とその微分値を用いた判定方法

4.3.1. oxy-Hb と神経活動の関係

NIRS は oxy-Hb と deoxy-Hb の濃度変化の 2 つの信号

を計測できるが, oxy-Hb の濃度変化は局所脳血流 rCBF(regional Cerebral Blood Flow)の変化と相関が高いこ と⁽⁴⁾, rCBFの増加は神経活動の増加を反映していること ⁽⁵⁾から, oxyHb 信号に注目する.また, oxy-Hb の微分値 はタスクのワークロードとの相関があること⁽⁶⁾から, oxy-Hb とその微分値の2つの指標を用いて脳活動レベル の判定を行う.まず, NIRS 信号には計測装置のノイズ, 呼吸による影響,血圧変動などの脳活動に無関係な信号 成分が含まれているため, 脳活動の評価を行うために離 散ウェーブレット変換による多重解像度解析⁽⁷⁾を行い、 信号の分解・再構成した.

NIRSから得られた oxy-Hb の原信号を図3(a) に示す. また,図3(b) に離散ウェーブレット変換による多重解 像度解析後の oxy-Hb 信号を示す.図3(a)から,NIRS 信号に計測装置のノイズや呼吸,血圧変動による信号成 分が含まれていることがわかる.原信号または,原信号











(a) Original oxy-Hb signal

(b) Reconstructed oxy-Hb signal

Fig.3 Change of original oxy-Hb signal and reconstructed oxy-Hb signal

に移動平均を施した単純な処理ではタスクに関連した変 動を認識することは難しい. それに対して,図3(b)は 離散ウェーブレット変換による多重解像度解析により, 計測装置のノイズや呼吸,血圧変動による信号成分が除 去されており,タスクに関連した脳活動を特徴データと して抽出されていることがわかる.

今回提案する判定では、NIRSから得られる oxy-Hbの 信号にリアルタイムで離散ウェーブレット変換による多 重解像度解析を施し、タスクに関連した脳活動を特徴デ ータとして抽出した.

4.3.2. 重み付けによる判定の検討

脳が活動したときの oxy-Hb の変動の様子を図 4 に示 す. タスクをする時間を t_{task} , タスクが始まり oxy-Hb が最大値になるまでの時間を t_{oxy-Hb} とし、タスク時間の 中間(タスク開始から t_{task} /2後)の位置を基準に oxy-Hb が最大値を迎える位置を示す指標をeとして、

$$e = \frac{t_{oxy-Hb} - t_{task}/2}{t_{task}/2} \tag{1}$$

を定義する.次に oxy-Hb の閾値を y_1 , oxy-Hb の微分 値の閾値を y_2 とし, eを用いて下記のように表した.

$$y_{1} = K_{1}(e) X_{oxy}$$
 (2)

$$y_{2} = K_{2}(e) X_{oxy}$$
 (3)

ここで, X_{oxy} とは1試行における oxy-Hb の最大値で, \dot{X}_{oxy} は1試行における oxy-Hb の微分値の最大値であ る. oxy-Hb が y_1 を上回るか,または oxy-Hb の微分値 が y_2 を上回った場合に活動ありと判定した.oxy-Hb の ピークの位置により oxy-Hb とその微分値の閾値の重み を調整した.また,同じタスクを繰り返し行うことで慣 れやトレンドの影響から oxy-Hb の変動パターンが変化



Fig.4 Schematic oxy-Hb concentration change due to neural activity

するため, 閾値を1試行ごとに計算し更新した. 4.3.3. 判定結果

提案した判定方法を適用した時のグラッピング課題時の判定結果を図5(a)に、グラッピング想起課題時の 判定結果を図5(b)に示す.

図5(a)と、図2(a)に示したグラッピング課題時の oxy-Hbに単純な閾値を設ける判定方法を比較すると1回 目のタスクだけでなく、すべてのタスクにおいて on 判 定が確認できた.しかし、oxy-Hb のピークの位置に応じ て閾値を調整したにもかかわらず各試行のタスク終了 後に5秒前後 on 判定が続き、誤った判定が行われてし まった.よって重み付けの計算法を再度検討する必要が ある.

図 5 (b) と,図 2 (b) に示したグラッピング想起課 題時の oxy-Hb に単純な閾値を設けた判定方法を比較す ると短時間に on 判定と off 判定が切替わることが改善さ れている.また,図2 (b) では二試行目のレストで誤っ た判定がなされていたが,提案した方法ではそれが改



Fig.5 Result of ON/OFF decision by using proposed method

善されている.以上のことから安定した判定が行われて いることが分かる.

5. 考察

本論文では、非侵襲で脳神経情報を計測する NIRS を 用いたロボットの on/off 操作を行うシステムを開発し、 NIRS を用いた BCI のための新しい信号処理法として離 散ウェーブレット変換による多重解像度解析及び、NIRS 信号の微分値を用いた脳活動レベルの判別法を提案した.

まず,従来の判定方法を適用した結果,グラッピング 課題では三試行目のタスクで no 判定がなされず,またグ ラッピング想起課題では,全体的に on 判定と off 判定が 短期間で切替わり,精度が悪く不安定であった.

これに対して、oxy-Hb と oxy-Hb の微分値の 2 つの指 標を脳活動の判定に用い、タスク期間中の oxy-Hb がピ ークを迎える位置によって oxy-Hb の閾値と oxy-Hb の微 分値の閾値の大きさを調節する判定方法を提案した. そ の結果、グラッピング課題による判定では全ての試行の タスクで on 判定が行われていた. また、グラッピング想 起課題では、離散ウェーブレット変換により多重解像度 解析を行い脳活動に関連のない信号成分を除外すること で、短時間で on 判定と off 判定が切替わる問題が改善さ れたこと、レスト中の誤った判定が改善されたことから、 従来の判定方法と比較し識別率の向上がみられた. よっ て提案した判別方法を、NIRS を用いた BCI システムに おける脳活動の判定方法として使用することができる可 能性を示すことができた.

今後の課題としては、グラッピング課題でタスク後に on 判定が続いてしまったことから重付けの計算アルゴ リズムの改善をする必要がある.また、複数のチャンネ ルを用いた判定アルゴリズムの検討を行う. 「参考文献」

- 川人光男、ブレインマシンインターフェースの計測 と制御、計測と制御、第12号,2007, pp.958-963
- 2) 松村浩昭,中川匡弘:ヒューマノイドロボットの 脳直結型制御に関する検討,社会法人電子情報通 信学会,(2006), pp.3-68.
- T. Nagaoka, K. Sakatani, T. Awano, N.Yokose, T. Hoshino, Y. Murata, Y. Katayama, A. Ishikawa, H Eda, Development of a new rehabilitation system based on brain-computer interface using near infrared spectroscopy. Advances in Experimental Medicine and Biology, Vol.662, 2010, pp.497-503
- Hosi,Y., kobayashi,N., Tamura,M., interpretation of near infrared spectroscopy signals, A stady wish a newly developed perfused rat brain model :journal of Applied Physiology, Vol.90,No.5 (2001),pp.1657-1662
- Jueptner, M., Willer, C., Dose measurement of regogional cerebral blood flow reflects synaptic activity?implications for PET and fMRI; neuroimage, Vol.2, 1995, pp.148-156
- 清水俊行,南部起可,機能的近赤外分光法による実 車運転時の脳活動の計測,自動車技術会技術講演会 前刷集,No.65-10,2010, pp.19-24
- 小島崇,柳沼健,綱島均,広瀬悟,清水俊行,塩崎 友規,泰羅雄登,土師知己,機能的近赤外分光装置 (fNIRS)を用いた作業付加時の高次脳機能計測,自 動車技術会学術講演会前刷集,No.60-07,(2007),