

まばたきによる筋電位変化を用いた機器操作方法の提案と実証

Proposal and Demonstration on Equipment Operation Technique using Myoelectric Change by Wink

岡村 将志†
Masashi Okamura

加藤 正樹†
Masaki Kato

五百蔵 重典†
Shigenori Ioroi

田中 博†
Hiroshi Tanaka

1. はじめに

四肢障がい者の生活支援の他に、ハンズフリーの機器操作などで生体信号を用いた入力インタフェースの研究が多く行われている。

生体信号とは、身体活動を行う際に生じる生理的な信号であり、センサを用いて検知することができる。生体信号の一例として、脳波や筋電位、血圧などがある。生体信号を用いた関連研究として、脳波を用いることで個人認証を行う研究[1]や、脳内のモル濃度変化を用いて知的活動に集中している度合いを簡便な脳計測装置によって定量的に測定する手法を検討した研究[2]などがある。

我々は、市販の比較的低価格で提供されている脳波センサを用いてまばたきによる筋電位変化を取得し、明らかにしてきた信号生成方法を機器操作のための入力信号として利用する方法を提案してきた[3][4][5]。

まばたきを用いた関連研究として、カメラ画像を用いて睡眠状態に移行する前の眠気状態でのまばたきの特徴を調査した研究[6]や、Webカメラを用いてパソコン等のVDT(Visual Display Terminals)利用時のまばたき活動を計測する手法の研究[7]などがある。このように、まばたきを検出する手法はカメラ画像を用いる場合が多い。しかし、カメラ画像を用いる場合では、日常生活の中で利用する際にカメラの視野範囲内まで移動し、顔をカメラの方向に向ける必要があるため利便性に課題があるといえる。これに対して、まばたきを検出する代表的な方法の一つである筋電位情報の場合は、ワイヤレス通信が可能である筋電センサを用いることで、場所や向きによる制約を受けないという利点がある。

本報告では、提案してきた方法を用いて機器を操作するための操作シーケンスを検討し、一例としてLED電球を取り上げ、実際にLED電球のon/offや明度、色度調整が行えることを示し、操作シーケンスの有効性を確認した結果を述べる。

2. 機器操作方法について

2.1 提案システムのアーキテクチャ

提案するまばたきを用いた機器操作のアーキテクチャを図1に示す。事前にまばたきによって発生する筋電位変化の信号パターンをテンプレートデータとして取得し格納しておく。さらに、リモコンの操作によって送信され

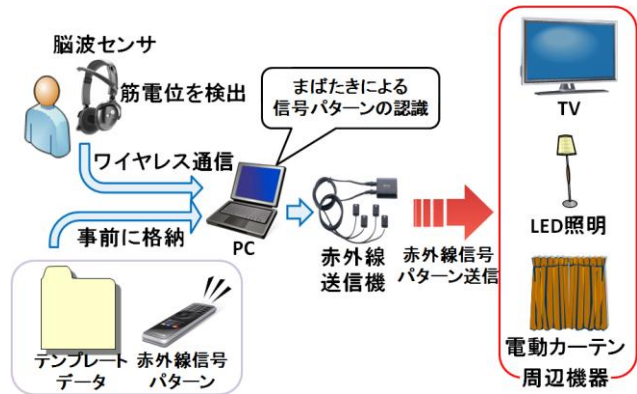


図1 提案するまばたきによる機器操作のためのアーキテクチャ

る赤外線信号パターンも事前に取得しておき、保存されたテンプレートデータと赤外線信号パターンを紐づけておく。ユーザは機器操作に対応するまばたき動作を行い、PC上でまばたきによる筋電位変化の信号パターンを認識し、認識された信号パターンに紐づけられている赤外線信号パターンを赤外線送信機を用いて送信する仕組みである。ここで筋電位情報は、BluetoothでPCに送信している。

本提案システムは、信号パターンに紐づける操作情報を変更することにより様々な機器に応用することが可能であり、身体障がい者や高齢者の生活支援、ハンズフリーの電子機器操作が要求される状況において活用できる。

2.2 使用センサと取得データ

本研究では、場所や身体の向きに制約を受けない筋電センサを用いることとした。我々は、市販の比較的低価格で提供されている脳波センサ(NeuroSky社、MS003)を利用して筋電位情報を取得している。脳波センサと電極配置箇所を示した電極配置図を図2に示す。

この脳波センサを用いて、まばたきによって発生する筋電位変化を信号生成に利用するためには、通常の身体

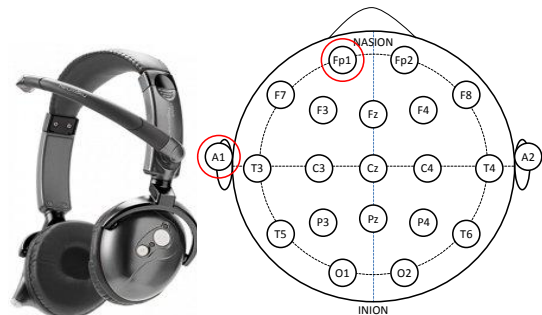


図2 脳波センサと電極配置箇所

†神奈川工科大学 大学院 情報工学専攻
Kanagawa Institute of Technology, Graduate School of Information & Computer Sciences

†神奈川工科大学 情報工学科
Kanagawa Institute of Technology, Department of Information & Computer Sciences

反応として人が無意識に行うまばたきと、信号生成のために意識的に行うまばたきを区別する必要がある。そこで無意識なまばたきと区別可能なまばたきを調査した結果、眼瞼の閉動作と開動作の間に T 秒間の時間を確保するまばたきの筋電位変化の波形が、無意識のまばたきと意識的なまばたきのどちらとも異なる波形であることを確認した[3]。まばたきによって発生する筋電位の波形の一例を図3に示す。

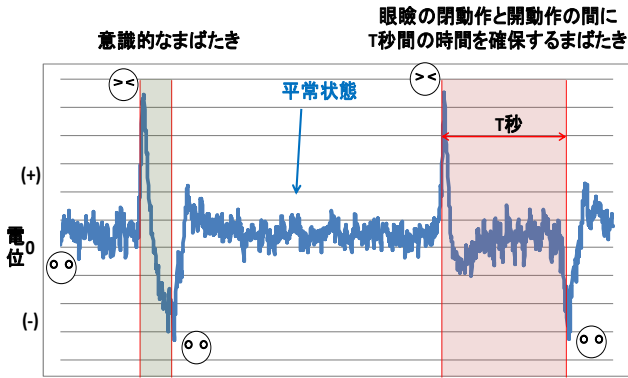


図3 まばたきの波形の一例

意識的なまばたきは正電位から負電位の順番で筋電位のピークが連続する波形が検出される。対して、眼瞼の閉動作と開動作の間に T 秒間の時間を確保するまばたきでは、最初に眼瞼の閉動作に同期して正電位のピークが現れ、眼瞼の開動作に同期して負電位のピークが現れるという違いがある。

この波形の特徴から、眼瞼の閉動作と開動作の間に T 秒間の時間を確保するまばたきを信号生成のためのトリガーとして利用し、意識的なまばたきを入力信号として利用する。

3. 操作シーケンス

本研究では提案する操作シーケンスの有効性を確認するため、操作シーケンスを実装した。実装した操作の処理シーケンスを図4に、操作の処理シーケンスを実行した時のまばたきによる筋電位の波形の一例を図5に示す。

操作シーケンスはトリガーモード、信号生成モード、確認モードの3つから構成する[8]。

まず始めに信号生成モードで行うDPマッチングで必要となるテンプレートデータを読み込む。

トリガーモードでは、信号パターンの生成を始める意思表示を行うための開始判断を行う。無意識なまばたきと最も区別が可能である眼瞼の閉動作と開動作の間にT秒間の時間を確保するまばたきをトリガー動作として用いて、信号パターンの生成のための開始判断とする。

トリガー動作となるまばたきは、閾値と時間判定範囲を利用して判定する。まず、まばたきを眼瞼の閉動作を検知する閾値 $V_{th}(+)$ と眼瞼の開動作を検知する閾値 $V_{th}(-)$ を利用して検知し、眼瞼の閉開動作を検知した時刻 $t(+)$ と $t(-)$ の差分時間が時間判定範囲内ならトリガー動作として判定する。

本報告での検証例では、T秒を1秒、閾値 $V_{th}(+)$ を300、閾値 $V_{th}(-)$ を-175、時間判定範囲を $\pm 500\text{msec}$ の誤差を許容し $500\text{msec} \sim 1500\text{msec}$ と設定した。開始判断を判定後、信号入力の準備を整えるために1秒の待機時間を設け、そ

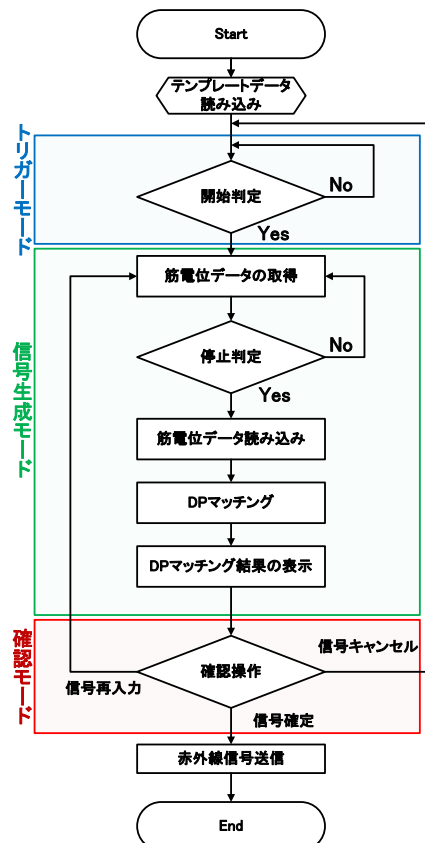


図4 操作の処理シーケンス

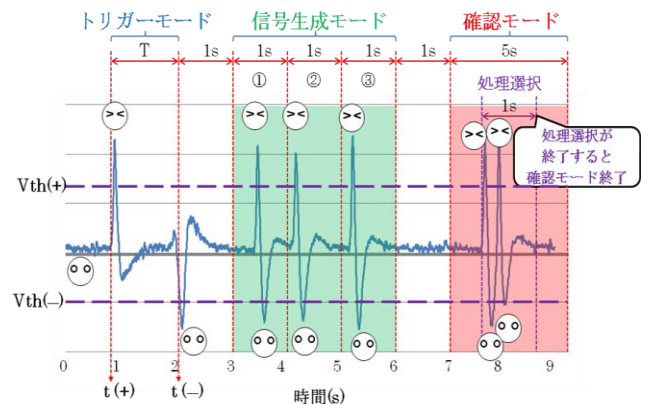


図5 一連動作の波形の一例

の後信号生成モードに移る。

信号生成モードでは、意識的なまばたきの有無による組合せにより、信号パターンの生成を行う。信号生成モードでは設定した信号生成時間の終了時刻まで筋電位データを取得し続ける。様々な信号パターンを生成することを考慮し、信号生成時間を n 個のタイムスロットに分割し信号パターンを生成する。これにより、 2^n の信号パターン生成が可能である。また、タイムスロットの移行するタイミングを画像や音声で提示することで精度の向上が可能である。

信号パターン生成におけるまばたきの検出と組み合わせの認識方式は DP マッチングを用いて行う。信号生成時間終了後は、取得した筋電位データを読み込み、テンプレートデータとの DP マッチングによって類似度の尺度と

なるベクトル間距離を求め最小となったテンプレートを
選択する。

本報告での検証例では、信号生成時間を3秒、1秒のタ
イムスロットに3分割し、 $2^3=8$ 通りの信号パターン生成
を行う。ユーザにDPマッチングの結果である信号生成結
果を示しその成否を判断させるために1秒の待機時間を設
け、その後確認モードに移行する。

確認モードでは、信号生成モードで生成された信号パ
ターンの認識結果を確認し、入力信号として確定するた
めの確認操作を行う。確認操作の処理として信号確定、
信号再入力、信号キャンセルの3つを設定した。信号確定
の処理は、信号生成モードで認識された信号パターンに
対応付けされた赤外線信号が送信される。信号再入力の
処理は、信号生成モードに移行し、再度信号パターンの
生成を行う。信号キャンセルの処理は、信号生成結果を
破棄しトリガーモードへと移行する。

確認操作の処理選択は、確認モードの時間内で行われ
る意識的なまばたきの回数によって選択する。確認モー
ドでの意識的なまばたきは閾値 $V_{th}(+)$ と閾値 $V_{th}(-)$ を用い
て検知する。また、まばたきの回数のカウントは、閾値
 $V_{th}(+)$ を超えた時を起点として始まる処理選択時間内の回
数をカウントする。なお、処理選択時間が終了した時点
で確認モードは終了し、選択された処理内容を実行する。

本報告の検証例では、確認モードの時間を最長5秒、処
理選択時間を1秒、信号確定をまばたき2回、信号再入力
をまばたき3回以上、入力キャンセルをまばたき1回もし
くはまばたきがなかった場合と設定した。

4. 検証システムの構築と検証実験

検証実験では、操作シーケンスの有効性を確認するた
め、トリガーモードから確認モードの処理選択まで行う
一連動作の成功率を調査した。

検証実験を行うために、操作シーケンスを実装した検
証システムを構築した。本検証システムはC#で開発した。
以下に検証システム実装にあたっての要求条件と検証シ
ステム実行画面を図6に示す。

要求条件の①は、操作者自身のテンプレートデータを使
いDPマッチングを行うため、操作者とそのテンプレ
ートデータを選択するものである。検証システムでは、操
作者に応じたテンプレートデータの選択が可能である。

- ① 操作者とテンプレートデータの選択
- ② モードと選択された処理の表示
- ③ 信号生成モードのタイムスロットの表示
- ④ (1)接触状態、(2)接続状態、(3)機器状態の表示

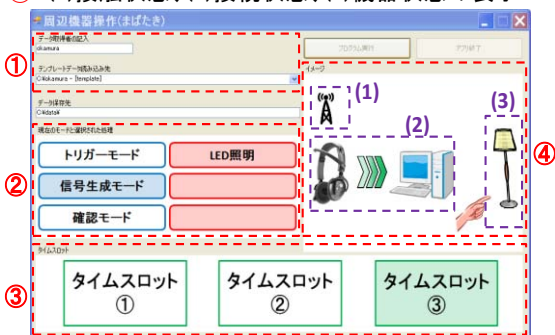


図6 要求条件と検証システム実行画面

要求条件の②は、現在の操作途中におけるモードと選
択された処理を操作者に示すものである。検証システム
では、現在のモードは青枠内の色に変化し、選択された
処理内容は赤枠内に表示し確認できるようにした。

要求条件の③では、信号生成モードのタイムスロット
をユーザに知らせるための表示を行うことである。検証
システムでは、タイムスロット①~③の移行は緑枠内の色
を変化させることで提示する。

要求条件の④では、脳波センサと額部の接触状態と、
脳波センサとPCの接続状態、機器の状態を確認するた
めの表示をすることである。検証システムでは、イラスト
を状態に合わせて変化させることで表示している。なお、
接触状態は脳波センサが出力する数値を利用して判定し
ている。機器の状態は、機器の初期状態は全て off である
と仮定してから判定する。

本報告では、検証の一例としてLED電球を取り上げた。
テンプレートデータとLED電球へ送る赤外線信号の対応
表を表1に示す。

| テンプレートID | まばたきの有無の組合せ | | | 赤外線信号 |
|----------|-------------|---|---|-------|
| 1 | | | | 電源off |
| 2 | ○ | | | 全灯 |
| 3 | | ○ | | 半灯 |
| 4 | | | ○ | 微灯 |
| 5 | ○ | ○ | | 昼白色 |
| 6 | ○ | | ○ | 中間色 |
| 7 | | ○ | ○ | 電球色 |
| 8 | ○ | ○ | ○ | 電源on |

始 → 終

4.1 実験方法

本実験の被験者は20代前半の男性4名(A~D)であり、
着座状態で実験を行った。また、まばたき動作の慣れの
影響を確認するため、まばたきの筋電位情報のデータを
幾度となく取得してきた者A,Bと、今回初めて取得する
者C,Dの二通りの被験者で実験を行った。

設置されたディスプレイの図6の実行画面を見て各モ
ードの進行状況を確認しつつ、各モードに対応したまば
たき動作を行い、一連動作の成功率を調査した。実験の
様子を図7に示す。

本実験では一連動作の成功は、操作者の意思通りに信
号パターンが生成され、信号確定までの動作が認識され
た場合と定めた。対して、一連動作の失敗は、生成しよ
うとした信号パターンが生成されていない状態で信号確
定を意思に反して選択した場合と、生成された信号パ
ターンに関わらず信号キャンセルを意思に反して選択し
た場合と定めた。

検証実験は以下の通りである。

- ① 被験者に操作シーケンスと実行画面について説明する。
- ② 被験者は脳波センサを装着し、各モードのまばたき動
作を5分ずつ合計15分練習する。
- ③ テンプレートデータとして、信号生成パターン1通り
につき3個準備する。
- ④ 信号生成パターン全8通りを1通りにつき一連動作を
10回行い、成否の結果を集計する。

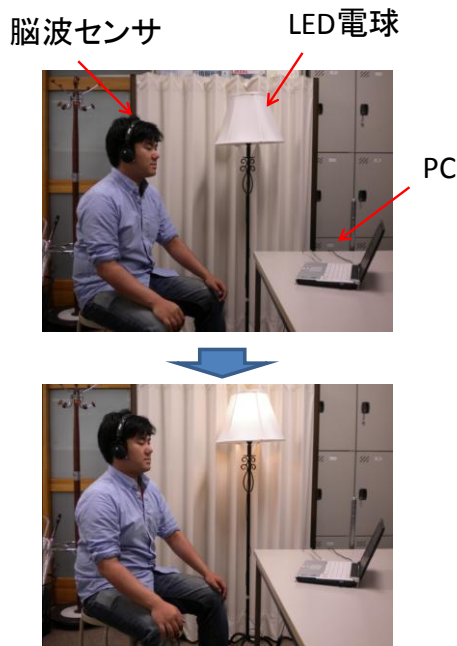


図7 実験状況

4.2 結果・考察

操作者の意思通りに一連動作の各モードの判定が一度で成功した場合の成功率と、トリガーモードと確認モードで再試行を行い成功した場合の成功率を表2に示す。

まばたき動作に慣れている被験者 A,B は、各モードの判定が一度で成功した場合は平均 85%、再試行を行い成功した場合は平均 95%以上という非常に高い成功率が得られ有効性を確認した。対して、慣れていない被験者 C,D は、各モードの判定が一度で成功した場合は平均 53%、再試行を行い成功した場合は平均 80%の成功率となり、慣れている被験者より低い結果となった。

まばたき動作の慣れの影響箇所を確認するため、一連動作を 80 回行った検証実験のデータから求めた、トリガーモードの再試行回数と確認モードの各処理の判定回数を表3に示す。

トリガーモードの再試行回数では、慣れていない被験

表2 一連動作の成功率

| 被験者 | 一度で成功 | | 再試行を行い成功 | |
|-----|-------|---------|----------|---------|
| | 成功率 | 成功数/試行数 | 成功率 | 成功数/試行数 |
| A | 86% | 69/80 | 96% | 77/80 |
| B | 83% | 66/80 | 95% | 76/80 |
| C | 40% | 33/80 | 78% | 62/80 |
| D | 65% | 52/80 | 83% | 66/80 |

表3 再試行回数と判定回数

| 被験者 | 再試行回数 | 確認モードの判定回数 | | |
|-----|---------|------------|-------|---------|
| | トリガーモード | 信号確定 | 信号再入力 | 信号キャンセル |
| A | 4 | 78 | 14 | 2 |
| B | 36 | 76 | 5 | 4 |
| C | 81 | 64 | 13 | 16 |
| D | 82 | 67 | 0 | 13 |

者 C,D は被験者 A,B の平均の約 4 倍は再試行していることを確認した。確認モードの処理選択では、被験者 C,D の意思に反して入力キャンセルが選択された回数が、被験者 A,B の約 5 倍であることを確認した。確認モードの信号再入力はさほど差がなく、慣れによる影響は確認できなかった。

以上の結果により、まばたき動作の慣れが必要な箇所はトリガーモードのトリガー動作と確認モードの処理選択であることを確認した。この箇所のまばたき動作を練習することで操作シーケンスの一連動作の成功率は向上できると思われる。

5. まとめ

まばたきによる筋電位変化を取得し、機器操作のための入力信号として利用するために提案してきたトリガーモード、信号生成モード、確認モードを用いて機器を操作する操作シーケンスを検討し、それをシステムとして実装した。一例として LED 電球を取り上げ、実際に LED 電球の on/off や明度、色度調整などの 8 通りの操作を行い、一連動作の成功率を調査した。

その結果、慣れている被験者は再試行を行い成功した場合は平均 95%以上の成功率を得られ有効性を確認した。対して、慣れていない被験者は 80%前後の成功率となったが、まばたき動作を練習することにより向上できると思われる。

今後は、トリガーモードの判定範囲の複数設定による操作対象の拡大と、周辺機器だけではなくより有効な適用領域の模索を行う予定である。

参考文献

- [1] 中西 功, 馬場 貞尚, “脳波による個人認証の研究 ～瞬きに関する検討～”, 電子情報通信学会誌, Vol.109, No.436, pp.245-246(2010) .
- [2] 出口 雄也, 藤中 遼, 岸野 文郎, 中島 康祐, 伊藤 雄一, “学習時の集中度測定に関する一検討”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.221 (2011).
- [3] 加藤 正樹, 関 陽海, 岡村 将志, 五百蔵 重典, 田中 博, “生体信号インタフェースに向けたまばたきによる筋電位の評価”, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, pp.293-298 (2010).
- [4] 岡村 将志, 加藤 正樹, 関 陽海, 五百蔵 重典, 田中 博, “まばたきによる筋電位変化を用いた入力インタフェースの検討”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.227 (2011).
- [5] 加藤 正樹, 関 陽海, 岡村 将志, 五百蔵 重典, 田中 博, “まばたきによる筋電位変化を用いた入力インタフェースの実現性の検討”, DICOMO2011, 5G-3, pp.957-964.
- [6] 松本 卓也, 三宅 哲夫, 章 忠, 今村 孝, “瞬きを用いた眠気検出”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.218 (2011).
- [7] 大西 祐哉, 大矢 哲也, 川澄 正史, “Web カメラによる VDT 利用時の瞬目活動の計測”, バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集, BMFSA, No.23, pp.103-104 (2010).
- [8] 田中 博, 五百蔵 重典, 岡村 将志, 加藤 正樹, 深野 義昭, 特願 2011-118885, “信号生成装置, 電気機器制御装置及びプログラム” .