

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

加藤正樹[†] 関陽海^{††} 岡村将志[†]
五百蔵重典^{††} 田中博^{††}

我々は、四肢の動きが困難な状態でもまばたきができることに着目し、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を目指している。その中で、市販品の比較的 low 価格で提供されている脳波センサを利用してまばたきによる筋電位変化を取得できることに着目した。本研究ではこの脳波センサを用いてまばたきを入力信号として利用するための検討を行った。具体的には、意識的な眼瞼の開閉動作による信号パターンの生成のための開始判断と、意識的なまばたきによる信号パターンの生成について検討した。さらに、生成し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について検討した結果を述べる。

Feasibility Study on Input Interface using Myoelectric Activity by Wink

MASAKI KATO[†] AKIMI SEKI^{††}
MASASHI OKAMURA[†] SHIGENORI IOROI^{††}
HIROSHI TANAKA^{††}

We have investigated input interface that is created by using the changes of myoelectric by wink. The commodity goods sold as a brain wave sensor is used in order to detect the change of myoelectric. The new scheme that is composed of three phases is proposed to realize input interface by wink. The three phases consists of the mode of trigger signal, mode of creation of input signal, and mode of confirmation of signal. The conscious closing and opening of eyelid is used as trigger signal. The combinations of conscious winks are proposed to create input signals and confirmation of signal. The examinations were carried out to clarify the parameters of judgment in each phase by taking the characteristics of myoelectric into account. The success ratios in each phase

were evaluated by experiments carried out by multi users.

1. はじめに

近年、身体障がい者や高齢者は特別視されることなく社会活動に参加しているが、健常者と比べると不利になる点が多々見られる。特に手足の不自由な身体障がい者は、介護者や支援機器による補助が必要となる。これらの問題を解決するために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[1]や、表面筋電位を用いて、顔の動作 5 種類から識別を行い、電動車椅子の制御実験を行った研究[2]などがある。

そこで我々は、四肢の動きが困難な状態でもまばたきが行えることに着目し、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を目指している[3][4]。

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によるまばたきの特徴を調査した研究[5]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[6]などがある。このように、まばたきを用いる研究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。また、周辺環境の明暗によって、認識精度が変化してしまうことも問題があると思われる。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。また、筋電センサの装着による抵抗感に問題があると考えられるが、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術の進歩により、センサの小型が進んでいるため、軽減できると考えている。

我々は、市販品の比較的 low 価格で提供されている脳波センサを利用してまばたきによる筋電位変化を取得できることに着目した。本研究ではこの脳波センサを用いてまばたきを入力信号として利用するための検討を行った。具体的には、意識的な眼瞼の開閉動作による信号生成のための開始判断と、意識的なまばたきによる信号パターンの生成について検討した。さらに、生成し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について検討した結果を述べる。

[†] 神奈川工科大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

Kanagawa Institute of Technology Graduate School of Information & Computer Sciences

^{††} 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科

Kanagawa Institute of Technology Department of Information & Computer Sciences

2. まばたきによる信号生成とその応用

まばたきによる信号生成の応用例の一つとして、周辺機器操作の場合のシステム構成[7]を図1に示す。まず、リモコンの操作によって送信される赤外線信号パターンを事前に取得し格納しておく。さらに、まばたきによって発生する筋電位変化の信号パターンに対応する操作命令の赤外線信号パターンを紐づけておく。次に、周辺機器の操作命令を与えるために、Bluetoothによるワイヤレス通信でPC上に筋電位情報を送信する。ユーザは指定された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、赤外線送信機を用いて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送信する仕組みである。

今回は一例として周辺機器操作を取り上げたが、様々な機器に応用することが可能であり、信号パターンに紐づける操作情報を変更することによって、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あらゆる状況において活用されることが期待される。例えば、リクライニングベッドや電動車椅子などの福祉機器の操作情報をPC上に格納することにより、福祉機器を操作することが可能である。

まばたきによる信号生成シーケンスを図2に示す。【「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。各モードについて説明する。

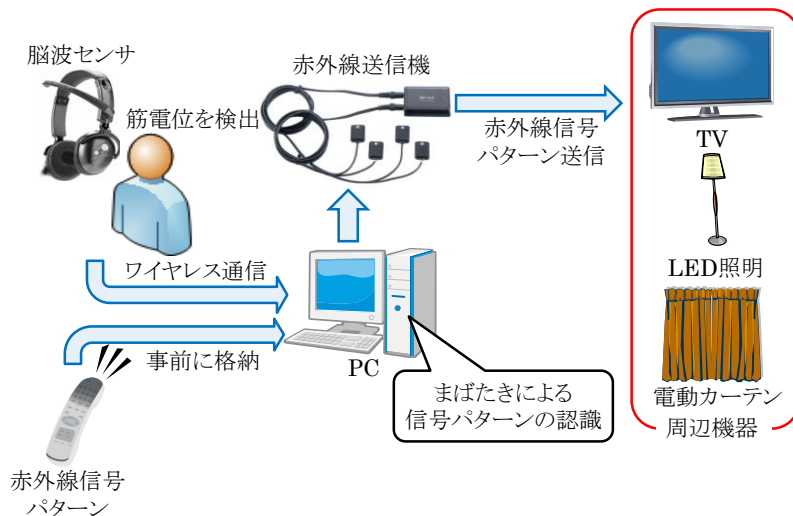


図1 まばたきによる信号生成の応用例 -周辺機器操作の場合-

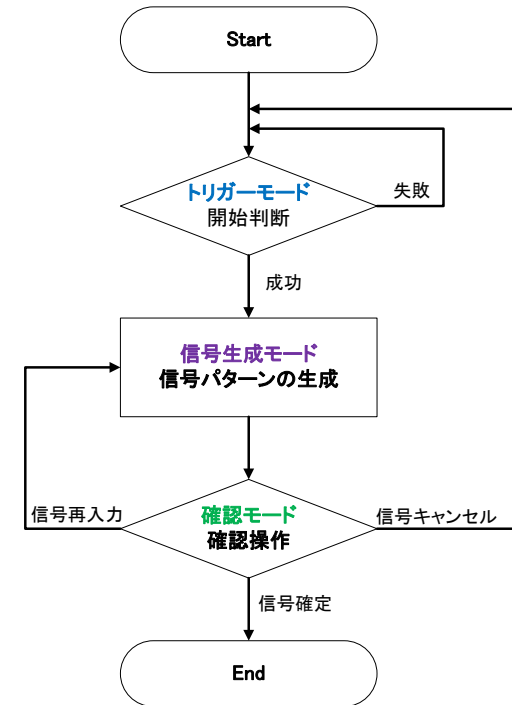


図2 まばたきによる信号生成シーケンス

トリガーモードでは、信号パターンの生成のための開始判断を行う。開始判断を行う理由としては、信号パターンの生成を始める意思表示を行うためである。普段、人は身体反応として無意識にまばたきを行う。このまばたきによって開始判断が判定されてしまうと、利用上に問題があるといえる。そこで、無意識なまばたきと最も区別が可能であるまばたきを用いて、信号パターンの生成のための開始判断を判定する方法を提案する。これについては、4章で述べる。

信号生成モードでは、信号パターンの生成を行う。様々な信号パターンを生成することを考慮し、 n 個の時間スロットに分割し、そのスロット内でのまばたきの有無によって信号パターンを生成する。そこで、パターン生成におけるまばたきの検出と組み合わせによる認識方式として、「まばたきの有無を時間スロットの組み合わせで認識する方式」と、「DP マッチングを用いて波形を認識する方式」の2種類を提案する。これについては、5章で述べる。

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種類の方法を提案する。これについては、6章で述べる。

3. まばたきによる筋電位変化の特徴

本研究では、市販品の比較的low価格である脳波センサ(NeuroSky社, MS003)を用いて、まばたきによる筋電位変化を取得する[3][4]。この脳波センサの電極は固定されていて、基準電極は電極配置図「10-20法」[8]で定められている電極配置箇所A1(左耳)付近に、探査電極はFp1(左前頭極部)付近の位置に配置される。電極配置箇所A1, Fp1とまばたきの有無による波形の一例として図3に示す。まばたきを行うと、電位の振幅が大きく変化し、正電位から負電位の順番で筋電位のピークが連続することが確認できる。

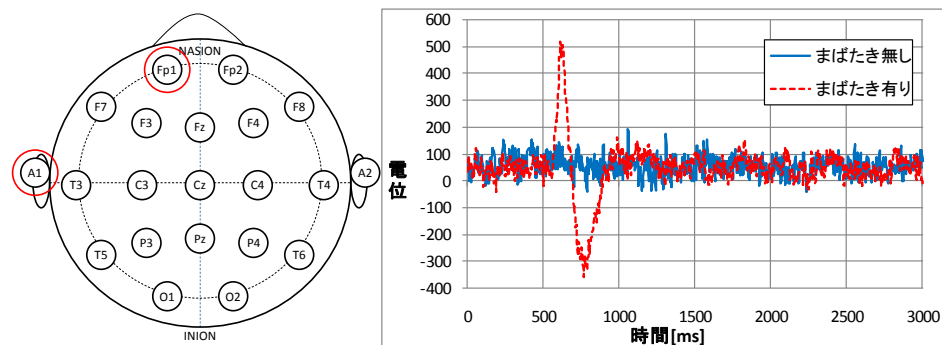


図3 電極配置箇所A1, Fp1とまばたきの有無による波形の一例

この脳波センサを用いてまばたきを利用するために、無意識なまばたきと意識的なまばたきを区別できるか調査する必要がある。過去の研究により、各まばたきの筋電位変化の波形は、振幅が多少異なるが、ほとんど同じ波形を得たため、本脳波センサを用いて区別することは困難であると判断している[3]。

そこで、意識的なまばたきを「通常まばたき」と呼び、新たに無意識なまばたきとの区別が可能であるまばたきを調査した。その結果、眼瞼の閉動作と開動作の間にT秒間の時間を確保する「時間まばたき」の筋電位変化の波形は、他のまばたきの波形とは異なる波形を得たことを確認した。通常まばたきと時間まばたきの波形を図4に示す。眼瞼の閉動作を行うことで正電位のピークが現れる。しかし、通常まばたきの

ように正電位のピークに連続して負電位のピークは現れず、眼瞼の開動作を行うことで、負電位のピークが現れることが確認できる。この特徴を用いることで、無意識なまばたきと意識的なまばたきを区別することが可能であると判断した。

これらの結果から、無意識なまばたきと区別が可能である「時間まばたき」をトリガーモードの信号として利用し、「通常まばたき」による筋電位変化を信号生成モードと確認モードの入力信号として利用する。

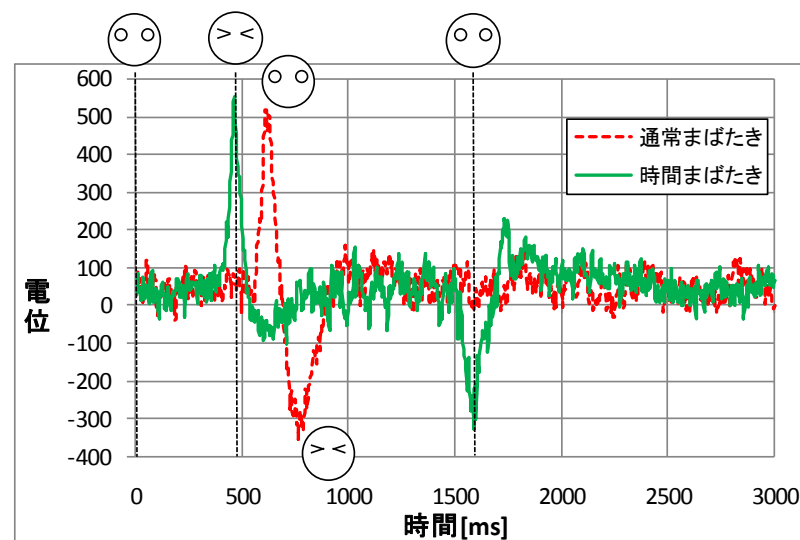


図4 通常まばたき・時間まばたきの波形の一例

4. トリガーモード

4.1 判定方法と閾値設定

トリガーモードでは、信号パターンの生成のための開始判断を行う。信号パターンの生成を始める意思表示を行うため、無意識なまばたきと最も区別が可能である「時間まばたき」を用いることが有効であると判断した。

「時間まばたき」とは、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動作である。そこで、時間まばたき(目標時間T秒)と判定するための方法として閾値を利用し判定する。時間まばたきの判定方法と閾値設定について図5に示す。

まず、眼瞼の閉動作によって発生する筋電位変化を判定するための眼瞼閉じ判定の筋電位閾値 A を設定した。これは、(1)式を満たしたときに、眼瞼の閉動作を判定し、眼瞼の閉動作の判定検出時間 T(+)を取得する。なお、筋電位を e とする。

$$e > \text{閾値 A} \quad \dots\dots(1)$$

また、眼瞼の開動作によって発生する筋電位変化を判定するための眼瞼開き判定の筋電位閾値 B を設定した。これは、(2)式を満たしたときに、眼瞼の開動作を判定し、眼瞼の開動作の判定検出時間 T(-)を取得する。

$$e < \text{閾値 B} \quad \dots\dots(2)$$

眼瞼の閉動作と開動作の判定をしたとき、眼瞼の閉動作から開動作までの時間間隔 T₀は T(-)-T(+)で求められる。そして、求めた時間間隔 T₀が時間判定範囲(3)を満たしたとき、時間まばたき T 秒と判定する。

$$T_{\min} < T_0 < T_{\max} \quad \dots\dots(3)$$

ここで T_{max} = T + Δt, T_{min} = T - Δt とする。

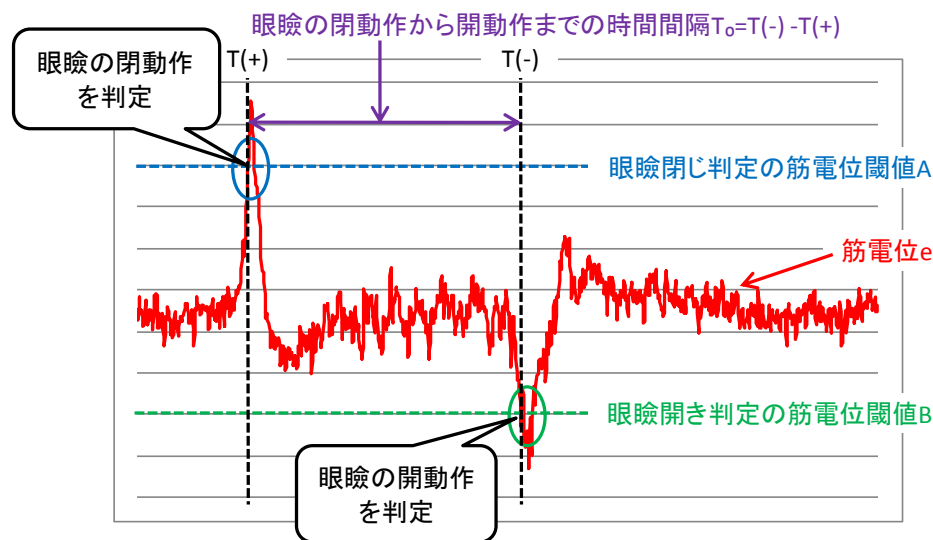


図 5 時間まばたきの判定方法と閾値設定

4.2 閾値の決定方法

設定した眼瞼閉じ判定の筋電位閾値 A 及び眼瞼開き判定の筋電位閾値 B, 時間判定範囲の数値を決定する方法を検討した結果、8 種類の組み合わせの方法から時間まばたき T 秒の判定率が最も高くなる組み合わせを選択することとした。なお、今回の目標時間 T は 1 秒で行う。

閾値 A 及び閾値 B の数値を決定する方法として、以下の 2 種類を提案した。

- (1) 時間まばたきの筋電位変化の実測データを用いる場合
 - (2) 平常状態(まばたきを行わない状態)の筋電位の実測データを用いる場合
- また、時間まばたき(T=1s)と判定するための時間判定範囲の数値を決定する方法として、以下の 2 種類を提案した。

- (1) 時間まばたきの筋電位変化の実測データを用いる場合
 - (2) Δt=500ms, すなわち、T±500ms として 500ms の誤差を許容する場合
- さらに、閾値 A 及び閾値 B, 時間判定範囲の数値を決定するために用いるデータとして、以下の 2 種類の方法がある。

- (1) 全被験者 3 人分の全データ
- (2) 被験者 1 人の個人データ

ここで、実測データを用いて閾値 A, 閾値 B 及び時間判定範囲の数値を決定する方法を説明する。事前に取得していた被験者 3 人分の実測データ 60 個を用いて決定する。

時間まばたきの実測データを用いる場合、実測データ 60(180)個から以下の要素をそれぞれ求める。

- ・眼瞼の閉動作によって発生する筋電位変化の最大値(Max)
- ・眼瞼の開動作によって発生する筋電位変化の最小値(Min)
- ・眼瞼の閉動作を判定してから眼瞼の開動作を判定するまでの時間間隔 T₀

平常状態の実測データを用いる場合は、実測データ 60(180)個から以下の要素をそれぞれ求める。

- ・平常状態(まばたきを行わない状態)の筋電位の最大値(Max)
- ・平常状態(まばたきを行わない状態)の筋電位の最小値(Min)

次に、それぞれ求めた 60(180)個の要素(Max, Min, T₀)から平均 μ, 標準偏差 σ を求め、各要素の μ ± 2σ の範囲外のを突発的なノイズが入った異常データと判断し、除外する。

除外後のデータから再度、平均 μ', 標準偏差 σ' を求め、μ' と σ' を利用し、閾値と時間判定範囲の数値を決定した。検討した閾値の決定方法と 8 種類の組み合わせを表 1 に示す。

表 1 検討した閾値の決定方法

方法	眼瞼閉じ判定の筋電位閾値A	眼瞼開き判定の筋電位閾値B	時間判定範囲
Case1	時間まばたきの実測データから決定 Maxの($\mu - \sigma$)		時間まばたきの筋電位変化の実測データ $\mu - 2\sigma < T_0 < \mu + 2\sigma$
	Minの($\mu + \sigma$)		
Case2	個		$\Delta t = 500\text{ms}$ 500msの誤差を許容 $T_1 - 500 < T_0 < T_1 + 500$
	全		
Case3	平常状態の実測データから決定 Maxの($\mu + 2\sigma$)		時間まばたきの筋電位変化の実測データ $\mu - 2\sigma < T_0 < \mu + 2\sigma$
	Minの($\mu - 2\sigma$)		
Case4	個		$\Delta t = 500\text{ms}$ 500msの誤差を許容 $T_1 - 500 < T_0 < T_1 + 500$
	全		

4.3 トリガーモードの評価・考察

トリガーモードで用いる時間まばたき(T=1s)のデータを被験者3名で50回取得し、取得したデータをもとに各Caseの組み合わせの閾値を用いて、時間まばたき(T=1s)の判定率を求めた。求めた判定率から、最も有効な閾値の組み合わせを決定する。各Caseの組み合わせの閾値を用いた場合の時間まばたき(T=1s)の判定率を図6に示す。

最も判定率が高い閾値の組み合わせは、「平常状態の筋電位の実測データを用いた場合」、「 $\Delta t = 500\text{ms}$ 、すなわち、 $T \pm 500\text{ms}$ として500msの誤差を許容する場合」、「全被験者3人分の全データ」を用いることで時間まばたき(T=1s)の判定率93%を得ることができた。

Case1とCase2及び、Case3とCase4の判定率を比較すると、Case2及びCase4の判定率のほうが約20%高い結果となった。つまり、時間判定範囲の数値を決定するのに、「 $\Delta t = 500\text{ms}$ 、すなわち、 $T \pm 500\text{ms}$ として500msの誤差を許容する場合」を用いることで判定率が高く、有効であることを確認した。

また、「全被験者3人分の全データ」の場合を用いることで、「被験者1人の個人データ」の場合よりも判定率が約15%高い結果となった。

ここで、トリガーモードの誤判定が起こるか確認するために、開始判断を行う意思

がないデータを取得し調査した。今回は、PC作業中のデータを1時間分取得し、開始判断の誤判定数を求めた。なお、利用した閾値・時間判定範囲は最も判定率が高い方法で決定した数値を用いた。その結果、1時間分のデータで18回の誤判定が起こることを確認した。この誤判定の対策は6章で述べる。

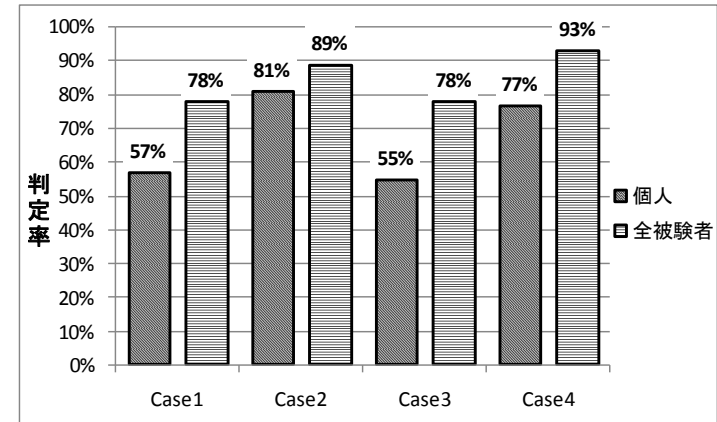


図 6 時間まばたき(T=1s)の判定率

5. 信号生成モード

5.1 認識方法

トリガーモードで開始判断を判定後、時間まばたきによる筋電位変化の安定を待つために、1秒経過した後に信号生成モードに移行する。信号生成モードでは、信号パターンの生成を行う。様々な信号パターンを生成することを考慮し、n個の時間スロットに分割し、そのスロット内での「通常まばたき」の有無によって信号パターンを生成する。これにより、 2^n の信号パターンの生成が可能である。信号パターンの生成方法と時間スロットについて図7に示す。

そこで、パターン生成における通常まばたきの検出とその組み合わせによる認識方式として、方式1:「通常まばたきを眼瞼閉じ判定の筋電位閾値Aで判定し、通常まばたきの有無の時間スロットの組み合わせで認識する方式」と、方式2:「DPマッチング[10]を用いて波形を認識する方式」の2種類を提案した。また、信号パターンの生成の開始・終了時や時間スロットごとの区切り時に音を用いた合図によるタイミング確保の有無によって認識率は変化するか調査した。これらの組み合わせ4(2×2)種類の組み合わせの方式から最も有効な認識方式を検討した。検討した信号パターンの認識方式4種類の組み合わせを表2に示す。

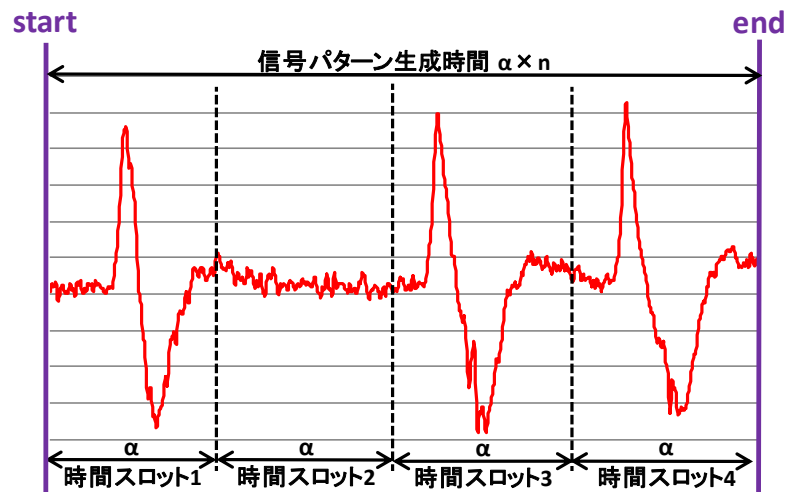


図 7 信号パターンの生成方法と時間スロット(n=4 個)

表 2 検討した信号パターンの認識方式

方式	まばたきの検出とその組み合わせによる判定方式	音を用いた合図によるタイミング確保 (Beep音)
Case1	<p>閾値方式+時間スロット区切り</p>	データ取得開始、終了時 時間スロットごとの区切り時
Case2		なし
Case3	<p>DPマッチング方式</p>	データ取得開始、終了時 時間スロットごとの区切り時
Case4		なし

5.2 信号生成モードの評価・考察

信号パターンの生成で用いる認識方式を決定するために、検討したまばたきの検出とその組み合わせによる認識方式の有効性を調査した。今回は、時間スロットを4個に分割し、時間スロットの時間 $\alpha=750\text{ms}$ で行った。被験者3名で各Caseの認識方式の組み合わせを利用し、実際に16個の信号パターンのまばたきを行い各Caseの認識率を調査した。なお、まばたきの回数は1パターンにつき10回取得した。DPマッチングのための前準備として、テンプレートデータを1パターンにつき3回取得した。閾値Aは4章で最も判定率の高い方法で決定した数値を用いた。各Caseの認識方式の組み合わせを用いた場合の16個の信号パターンの認識率を図8に示す。

最も認識率が高い認識方式の組み合わせは【「DPマッチング方式」、「音を用いた合図によるタイミング確保あり」】の組み合わせを用いた場合、88%の信号パターンの認識率を得ることができた。

音を用いた合図によるタイミング確保の有無によって認識率が向上することを確認した。理由としては、音を用いた合図によるタイミング確保がない場合は、時間スロットごとの区切りが不明なため、まばたきを行うタイミングにずれが生じ、誤認識したと考えられる。

また、「閾値方式+時間スロット区切り」の場合、時間スロット区切りの寸前でまばたきを行った場合、次の時間スロットで判定されてしまう可能性がある。このような判定が1度でもあった場合、必ず誤認識になってしまう欠点がある。一方、「DPマッチング方式」では、テンプレートマッチングを行うため、時間スロット区切りの概念はなく、タイミングのずれによる影響は受けないという利点があることを確認した。

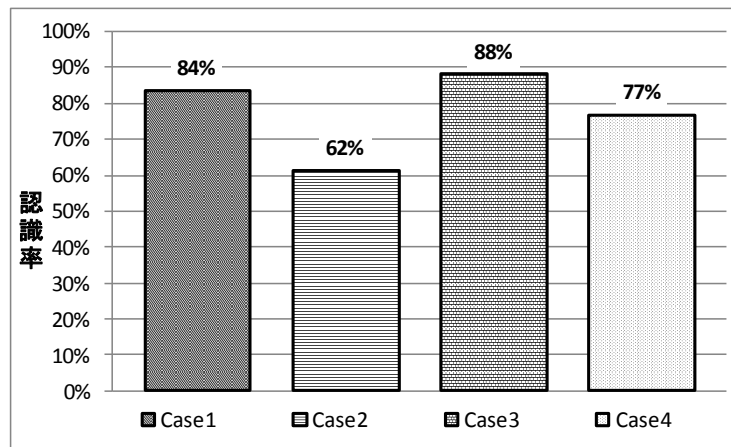


図 8 信号パターンの認識率(全16パターン)

6. 確認モード

6.1 判定方法

信号生成モードで信号パターンを生成後、通常まばたきによる筋電位変化の安定を待たために、1秒経過した後に確認モードに移行する。確認モードでは、生成し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、生成された信号パターンの認識結果に対応させた操作コマンドを送信する。「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、初期状態に移行し、リセットする。

確認操作に用いるまばたきは信号生成モードと同様「通常まばたき」で行い、複数回連続のまばたきを行うことで、確認操作の処理を選択する。確認操作の処理選択と判定方法を図9に示す。

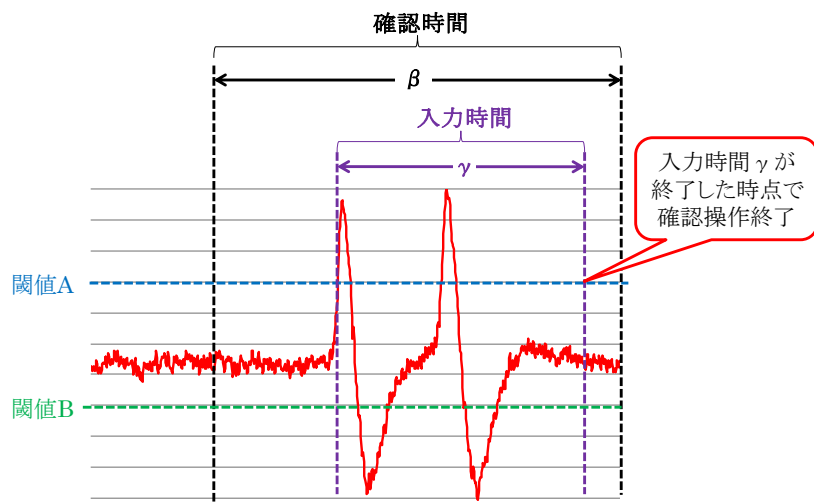


図9 確認操作の処理選択と判定方法

確認操作の確認時間を β と設定した。まばたきの判定方法は信号生成モードで用いたまばたきの判定方法とは異なり、以下の条件1, 2が連続して続いた時に、まばたきを行ったと判定する。

- 条件1：眼瞼閉じ判定の筋電位閾値Aを超える
- 条件2：眼瞼開き判定の筋電位閾値Bを下回る

ここで、まばたきの判定方法を変更した理由について説明する。まばたきを短時間内に複数回連続で行い、閾値Aのみでまばたきの回数を判定した結果、行ったまばたきの回数+1となる傾向が見られた。まばたきを2回連続で行った場合の波形の一例として図10に示す。

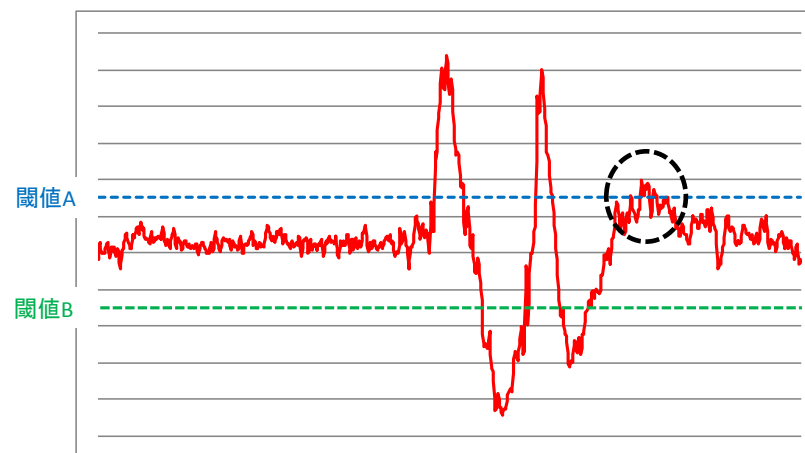


図10 まばたきを2回連続で行った場合の波形の一例

波形を確認すると、最後のまばたきの開動作時に生じる筋電位変化の反動によって、まばたきと判定されていた。これにより、閾値Aのみで判定を行うと誤判定が生じてしまうため、閾値Aと閾値Bを用いて判定を行うこととした。

確認時間 β において、まばたきを判定したとき、そのまばたきの閾値Aを超えたときを起点とし、入力時間 γ を設定する。確認操作の処理の選択方法として、入力時間 γ 内で行われたまばたきの回数によって処理を選択することとした。なお、入力時間 γ が終了した時点で確認操作を終了し、選択された処理内容を行う。確認操作の処理の選択方法の割り当てとして、以下のように設定した。

- ① 信号確定：まばたきを入力時間 γ の間に2回
- ② 信号再入力：まばたきを入力時間 γ の間に3回以上
- ③ 信号キャンセル：まばたきを入力時間 γ の間に1回 又は 未検出

ここで、トリガーモードによる誤判定の対策について説明する。4章でトリガーモードの誤判定が起こるか調査した結果、1時間分のデータで18回の誤判定が起こることを確認している。この誤判定が起こってしまった場合、信号生成モードで信号パターンが生成され、命令を送信してしまう問題が発生してしまう。

そこで我々は、意識的なまばたき 1 回の動作を「信号キャンセル」とする方法と、無意識なまばたきを検出し、「信号キャンセル」とする方法を提案した。人は 1 分間に 7~24 回の頻度でまばたきを行うことを実験により確認している。これにより、信号生成の意思がない場合で、トリガーモードの誤判定に気付いていない状態でも確認時間 β 内で無意識なまばたきを行い、結果として「信号キャンセル」を選択することができると考えている。

6.2 確認モードの評価・考察

提案した確認操作の処理選択に用いるまばたき動作の有効性の確認を行うために、被験者 5 名で各まばたき動作を 20 回取得し、判定率を求めた。なお、確認操作の確認時間 β は 10 秒、入力時間 γ は 1 秒で行った。閾値 A 及び閾値 B は 4 章で最も判定率の高い方法で決定した数値を用いた。確認操作の処理の選択に用いるまばたき動作の判定率を図 11 に示す。

3 種類のまばたき動作において、86%以上の判定率を得ることができた。

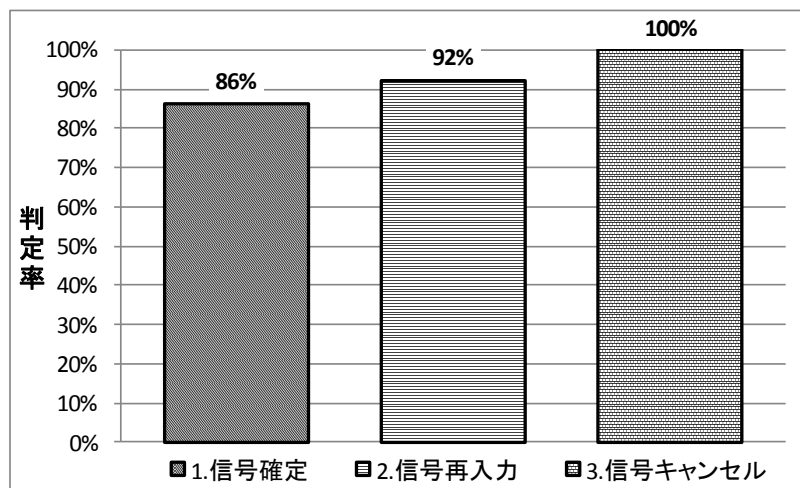


図 11 確認操作の処理選択に用いるまばたき動作の判定率

7. まとめ

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を検討するために、まばたきによる信号生成の応用例を示すとともに、信号生成シーケンスを提案し

た。また、眼瞼の閉動作と開動作の間に T 秒間の時間を確保する「時間まばたき」をトリガーモードの信号として利用し、意識的に行う「通常まばたき」の筋電位変化を信号生成モード、確認モードの入力信号として利用することが有効であると判断した。さらに、各モードの判定方法を設定し、その有効性を確かめるために実験を行った結果、トリガーモードの判定率は 93%、信号生成モードの認識率は 88%、確認モードの判定率は 86%以上を得ることを確認した。

今後は、信号生成シーケンスをもとに周辺機器操作システムを構築し、提案した入力インタフェースの有効性を実証する予定である。また、各モードに対する認識精度の向上を行う必要があると考えている。

<参考文献>

- [1]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).
- [2]真鍋考雄, 田村宏樹, 淡野公一: 顔表情筋電位を用いた電動車椅子の制御実験, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.8, No.3, pp.541-542 (2009).
- [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]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).
- [6]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).
- [7]篠原正幸, 平子久智, 岡村将志, 五百蔵重典, 田中 博: ウェアラブル加速度センサを用いた動作認識による周辺機器操作のアーキテクチャの提案と実証, 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク, Vol.110, No.130, pp.97-102 (2010).
- [8]福沢 等: ポケット臨床脳波, 日本医事新報社, pp.144-145 (2005).
- [9]星野 聖: 注意と瞬目, テレビジョン学会誌, Vol.50, No.4, pp.436-442 (1996).
- [10]酒井幸市: デジタル画像処理入門, CQ 出版社, pp.133-140 (1997).