

表面筋電位による個人認証システム実現のための相互相関係数を用いた個人識別手法の検討

黒木 聡舜¹ 山場 久昭^{1,a)} 油田 健太郎¹ 朴 美娘² 岡崎 直宣^{1,b)}

概要: 近年、スマートフォンやタブレットのようなモバイル端末が普及してきているが、それらの認証に必要な情報が第三者の覗き見によって露呈してしまうことが問題となってきた。このような「覗き見攻撃」への対策として、指紋などの生体情報を用いた生体認証が注目されている。筆者らのこれまでの研究では生体情報一つである筋電位を用いた個人認証システムについて検討を行ってきた。具体的には、前腕部の筋電位の波形が手首から先の手の動き（ジェスチャー）によって異なること、さらに、同じジェスチャーであっても、その波形は人によって異なることを利用し、いくつかのジェスチャーを組み合わせるパスワードとして用いる手法を提案している。本稿では、この認証システムで不可欠な筋電波形同士の類似性の判定を相互相関係数アルゴリズムで行う手法について検討した結果を報告する。

キーワード: モバイル端末, ユーザ認証, 覗き見攻撃, 筋電図, 相互相関

A Study on Individual Identification Method Using Cross-Correlation Coefficient for Realization of Personal Authentication System by s-EMG

KUROGI TOKIYOSHI¹ YMABA HISAAKI^{1,a)} ABURADA KENTARO¹ PARK MIRANG²
OKAZAKI NAONOBU^{1,b)}

Abstract: At the present time, mobile devices such as tablet-type PCs and smart phones have widely penetrated into our daily lives. Therefore, an authentication method that prevents shoulder surfing is needed. We are investigating a new user authentication method for mobile devices that uses surface electromyogram (s-EMG) signals, not screen touching. The s-EMG signals, which are generated by the electrical activity of muscle fibers during contraction, are detected over the skin surface. Muscle movement, which are called gestures in this paper, can be differentiated by analyzing the s-EMG. And also, s-EMG signals generated from a same gestures by different persons are different. So, a list gestures are used as a password in the study. In this paper, it examined an individual identification method using cross-correlation coefficients to realize personal identification system based on s-EMG.

Keywords: mobile device, user authentication, shoulder surfing, s-EMG, Cross-Correlation

1. はじめに

モバイル端末の既存の認証方式である PIN 認証やパター

ン認証は覗き見耐性が十分であるとは言えない。スマートフォンやタブレットの認証情報が覗き見によって認証に必要な情報が第三者に取得されてしまい、容易に認証を突破されてしまうという問題が起きてきている。

この問題を解決する技術として指紋などの生体情報を用いた生体認証が注目されている。生体認証技術とは、人間の身体的特徴（生体器官）や行動的特徴（癖）を用いて本

¹ 宮崎大学

IPSI, University of Miyazaki

² 神奈川工科大学

Kanagawa Institute of Technology

^{a)} yamaba@cs.miyazaki-u.ac.jp

^{b)} oka@cs.miyazaki-u.ac.jp

人認証を行う技術であり、バイオメトリクス認証とも言われる。具体的には、指紋、掌形、筋電位、虹彩等、行動的特徴として筆跡、リズム等が生体認証として用いられている [1].

筆者等の研究室では、生体情報の 1 つである表面筋電位 [2] を用いた認証手法の検討を行い、それが有望であったと確認している [3][4]. すなわち、被験者の筋電図が、同一のジェスチャーの筋電図を複数回測定しても毎回類似した筋電図波形が得られる事、同一のジェスチャーであっても、異なる被験者からは類似しない筋電図波形が得られる事を確認している。これらの既存研究ではそのジェスチャーをパスワードとして組み合わせ用いる。

ただし、測定した筋電図波形同士を比較し、その筋電図波形が類似しているか否かの判定は人間の目視で行っており、これを機械で判定する方法として筋電図波形の最大値と最小値を特徴量として用い、サポートベクターマシンで識別を行うという手法を行った [5][6][7].

そこで今回、本研究では、測定した筋電図波形を相互相関係数アルゴリズムを用いて個人識別ができるかの検討を行った。

2. モバイル端末の個人認証の課題と対策

この節では、モバイル端末の個人認証で覗き見攻撃や録画攻撃が脅威になっている事とその対策として生体認証が有望視されていることを説明する。

モバイル端末の個人認証として現在広く用いられている PIN 認証やパターン認証等は第三者に覗き見られた場合パスワードなどの認証情報を盗まれやすい。

その結果、容易にロックを解除されてしまう。このような、正規ユーザの認証行為を覗き見することにより暗証番号やパスワードといった秘密情報を不正に取得する行為を覗き見攻撃と呼ぶ。

また、近年ではビデオカメラを用いて秘密情報を録画により取得し、それらの情報を計算機で解析するという録画攻撃も脅威になりつつある。録画攻撃への最も基本的な対策としては、他人に覗き見られることのない環境で認証動作を行うという事が挙げられる。しかし、我々の生活環境にはいたる所に監視カメラが設けられており、意図的でなくとも認証動作を録画されてしまい、個人情報に漏洩される可能性が否めなくなっている。覗き見を困難にさせること、された場合にも安全性の確保ができるようにする対策が必要であるが容易ではない [8].

これらの攻撃への対策として、生体認証情報を用いる事が有望視されている。生体認証とは、指紋や虹彩、筋電位といった人間の生体の特徴をパスワードとして用いる認証方法である。

3. 筋電位を用いた個人認証手法

3.1 筋電位

筋電位とは、脳から送られた信号が筋線維に伝達された際に生じるものであり、ニューロン（神経細胞）が細胞内外の電位を変化させることで生じる一時的な細胞内外の電位差の逆転のことである。筋電位は筋電計を用いることで測定することが可能であり、皮膚表面で計測した筋電位のことを表面筋電位と呼ぶ。観測された電位の変化は図 1 のような筋電図として記録できる。これを surface electromyogram(s-EMG) という [9].

3.2 筋電位を用いた個人認証手法の概要

筆者等の研究室では、手首から先を動かした時に観測される表面筋電位を筋電計で測定し、得られた波形を用いて個人認証を行う手法が提案された。

この手法は、筋電計で計測された表面筋電位の波形はジェスチャー毎に異なり、また、同一のジェスチャーであっても波形には個人差があるという特徴を利用したものである。攻撃者から認証動作を見られ、その攻撃者が全く同じジェスチャーを再現したとしても、別の人間が同一のジェスチャーを再現しても測定される筋電位の波形は類似したものにはならないという特徴から認証突破する事が出来ない。

この手法では、図 2 のような一連のジェスチャーを認証情報（パスワード）として用いる。まず、そのジェスチャー毎に得られる波形（図 3）をモバイル端末上に登録しておく。パスワードであるジェスチャーを登録した所有者が認証操作を実際に行う時は、図 2 のジェスチャーを行う。すると、図 4 に示すような、登録されている一連のジェスチャーの筋電位の波形と似た波形が測定され、これらが類似している事によって、認証が成功となる。しかし、第三者が同じジェスチャーで認証動作を行った場合は、筋電計で測定して得られた波形には個人差があるので、図 5 のような似ていない波形が測定され、ロックを解除することができないことが期待できる。

筆者等は、測定した筋電図波形同士を比較し、それが類似しているか否かによって、それらが同人物の筋電図波形であるか、あるいは同一のジェスチャーによって生成された波形であるのかを人間が判定可能であることを確認している。そこで、計算機器によって自動判定する方法として筋電図波形の最大値と最小値を特徴量として用い、サポートベクターマシンで識別を行うという手法を検討したがその精度は十分ではなかった [5][6][7].

4. 相互相関を用いた個人識別手法

本研究では、相互相関係数を用いて筋電図波形を比較し、

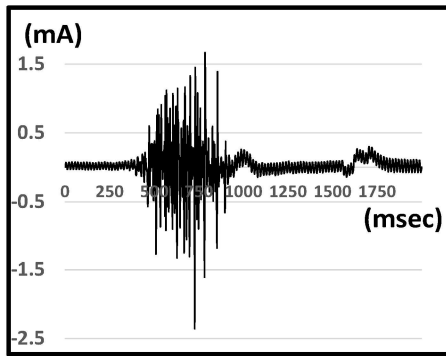


図 1 筋電図

Fig. 1 A sample of electromyogram signals.

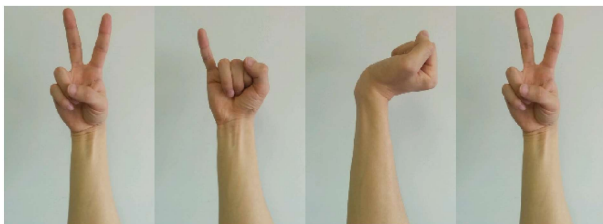


図 2 登録をしたパスワード (ジェスチャー列)

Fig. 2 An example of a registered password (a list of gesterus).

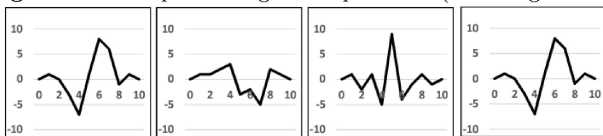


図 3 対応する筋電図

Fig. 3 The corresponding electromyograms.

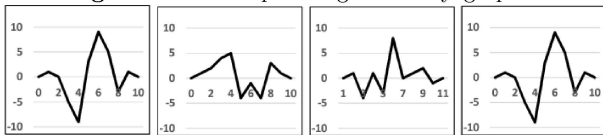


図 4 所有者が入力した認証動作を測定した波形

Fig. 4 An example of input electromyograms generated by the owner.

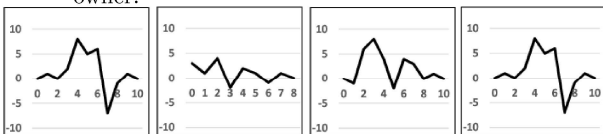


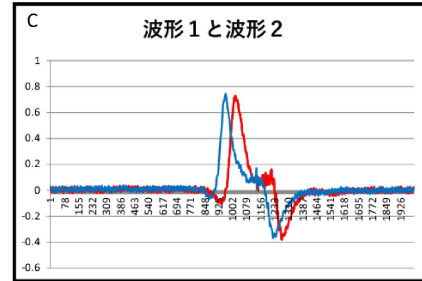
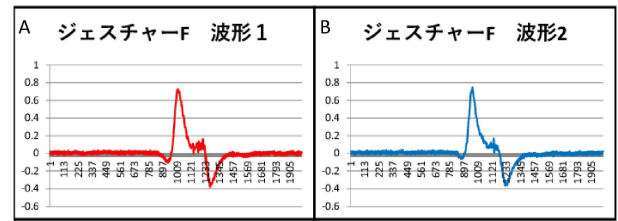
図 5 攻撃者が入力した認証動作を測定した波形

Fig. 5 An example of input electromyograms generated by another.

正当なユーザかそうでないかを判定する手法を提案する。

4.1 相互相関関数

相互相関関数は、2つの信号・配列の類似性を確認するために用いられる手法の1つである。相互相関関数の出力は0から1を取り、この値を相互相関係数と呼ぶ。0は無相関であり、1に近いほど強い相関があるといえる。2つの信号の畳み込みの式を以下に示す。



相互相関

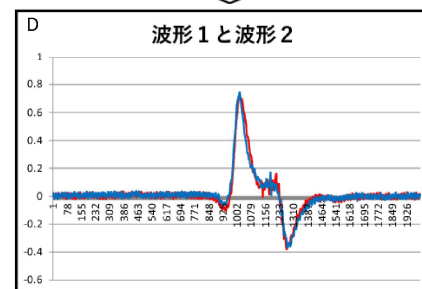


図 6 相互相関

Fig. 6 Cross-Correlation Coefficient

$$(f * g)(m) = \sum_n f(n)g(m - n) \quad (1)$$

図6のAとBのように波形が2つあるとする。Aの波形の時間軸0を基準にBを重ねるとCのようになってしまう。そこで、相互相関関数を用いる事で一番類似している部分に重ね合わせる事が出来る。相互相関関数を用いる事で図6のDの様に一番類似している部分で重なり、より正確な相関係数が導き出される。

4.2 相互相関係数を用いた判定手法

本研究では相互相関関数を用いて登録しておいた波形と入力された波形との相互相関係数を求め、ある閾値を設定しておき、その閾値を用いて正当なユーザの波形か否かを判定する。

認証の際に、事前に認証システムに登録しておいたユーザの筋電波形と入力された波形の相互相関係数の値を求めて、それが閾値以上であれば正当なユーザと判定する。適切な閾値の選択については後述する実験で検討を行っている。

ただし、筋電波形は同一のユーザであっても測定される波形は毎回同一ではない為、登録する波形の選択には注意が必要である。登録した波形とあまり類似していない波形が測定されてしまうと、本人であっても認証に失敗してし

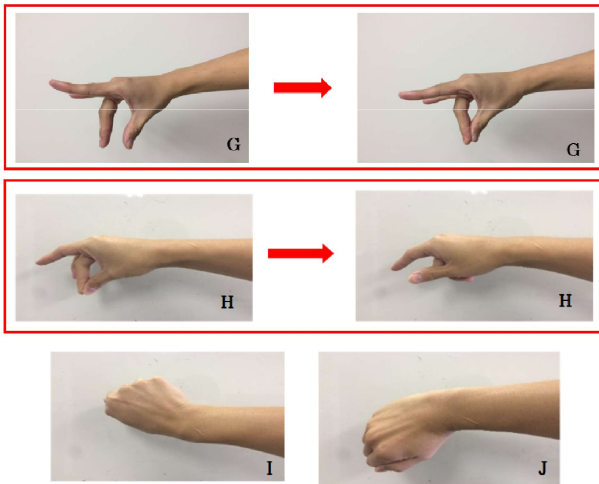
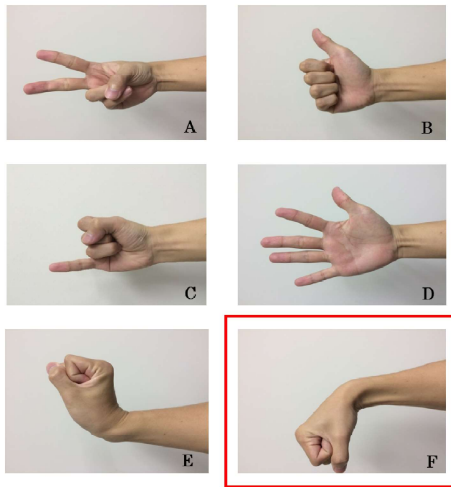


図 7 実験で用いたジェスチャー

Fig. 7 The gestures introduced into the experiments.

まう。

今回は登録する波形の選出は複数回測定した筋電波形から登録する際の被験者の基準となる波形（以下標準波形）を相互相関関数を用いて選出する。標準波形の選び方として、測定した筋電波形群の平均値を用いる方法も検討したが、あまり良くない性能となった。具体的には、測定した筋電波形それぞれに対して、他のすべての筋電波形に対して相互相関を行う。その相互相関係数の平均が最も高かった筋電波形を標準波形として選出した。

5. 実験

4.2 の手法で選出した標準波形を用いて相互相関係数による筋電波形の類似性の判定を行うことにより、本人のジェスチャーであれば類似している、他人のジェスチャーあるいは異なるジェスチャーであれば類似していないと判

表 1 測定に用いた機器とソフトウェア

機器	ソフトウェア
電極	筋電センサ (DL-141)
データロガー	バイオログ (DL-3100)
計測ソフトウェア	m-Biolog

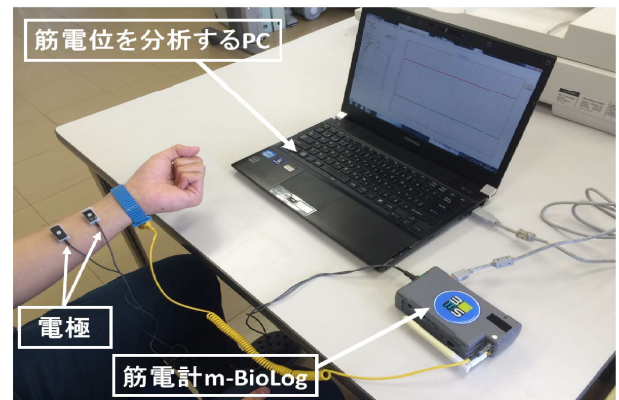


図 8 表面筋電位測定の様子

Fig. 8 Measuring an s-EMG signal

定出来るか否かを検証する実験を行った。

また、類似判定の判定基準となる閾値の適切な値の検討も行った。

5.1 表面筋電位の測定

5.1.1 実験で用いたジェスチャー

本研究では図 8 に示す A~J の 10 ジェスチャー（チョキ、親指、小指、パー、伸展[手の甲側に向けてひねる]、屈曲[手の平側に向けてひねる]、中指と薬指と親指を 2 回合わせる、クラップ、尺屈[小指側に向けてひねる]、外転[親指側に向けてひねる]）を用いた。

5.1.2 測定環境

表面筋電位の測定は S&M 社の機器 m-BioLog を用いた（表 1 を参照）。

測定の様子を図 7 に示す。筋電計を机に置き、椅子に座った状態で 2 電極を用いて筋電位の測定を行った。電極位置は、どの位置に電極を貼ると波形が表れやすいのか、予備実験に基づいて決定した。また電極を貼る際に専用のクリームで皮脂を除去し、クリームをふき取ることで皮膚と電極の接触抵抗を小さくした。

本稿の実験では、健康体被験者 20 代学生 11 名で行った。測定する部分として右手の前腕部分で筋電位を測定した。ジェスチャーの測定は拳を軽く握った状態を初期状態とし、それぞれのジェスチャーを行った。この動作を 10 回ずつ繰り返した時の筋電位を測定し、それを 1 セットとして、計 3 セット行った。

5.2 標準波形とその他の波形の判定実験

比較実験では図 7 のジェスチャーの内最も特徴的であると人間が判定できたジェスチャー F, G, H を用いた。今

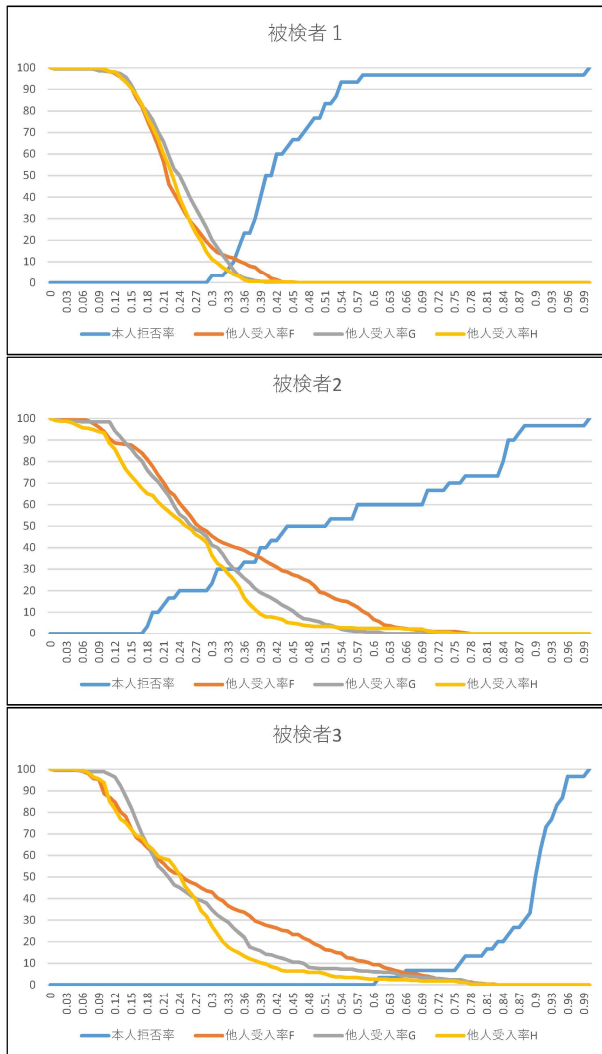


図 9 被検者 1～3 の FRR と FAR
Fig. 9 FRR and FAR of subject 1～3

回は被験者 11 名のジェスチャー F (屈曲) の標準波形に対して、FRR を行った。その後、その標準波形とその他の被験者の同じジェスチャー F に対して FAR を行い、その他に異なるジェスチャー G (ダブルタップ), H (クラップ), (比較対象に被験者も含む) も同様に FAR を行った。

その結果、認証システムで相互相関係数を用いた識別の精度は被検者に適した閾値の設定を行う必要があるという事が分かった。

ある被検者 3 人の FRR (False Rejection Rate) FAR (False Acceptance Rate) を図 9 に示す。図 9 の被験者 1, 2 では閾値を 0.3 付近にすることでよい結果が得られると分かる。被検者 3 に関しては 0.6 付近で同様の結果になるといえる。実際に被験者 11 人で同様に相互相関係数を用いた識別の精度は被検者に適した閾値の設定を行う必要があるという事が分かった。

5.3 適した閾値の設定に対する検討

5.2 で認証システムで相互相関係数を用いた識別の精度

表 2 FRR と FAR の交点を閾値にした際の FRR と FAR

被検者	閾値	FRR	FAR
1	0.34	10%	7.21%
2	0.38	33.33%	22.81%
3	0.65	3.33%	4.22%
4	0.31	16.66%	19.61%
5	0.28	13.33%	18.66%
6	0.41	0%	0.14%
7	0.42	13.33%	11.41%
8	0.51	20%	6.64%
9	0.47	20%	12.41%
10	0.41	26.66%	7.71%
11	0.25	30%	51.99%

表 3 FAR の平均値が 5% 以下部分を閾値にした際の FRR と FAR

被検者	閾値	FRR	FAR
1	0.36	23.33%	4.22%
2	0.58	60%	4.55%
3	0.64	3.33%	4.84%
4	0.4	70%	4.19%
5	0.36	56.66%	4.82%
6	0.33	0%	3.38%
7	0.57	46.66%	4.98%
8	0.54	30%	4.93%
9	0.67	66.66%	4.78%
10	0.46	46.66%	4.58%
11	0.46	86.66%	4.87%

は被検者に適した閾値の設定を行う必要があるという事が分かった。そこで、被検者に適したより良い閾値の設定に対する検討を行った。

今回は閾値の決定の仕方として、FRR と FAR の交点部分を閾値と設定する方法と FAR がある一定値以下になった部分の閾値と設定する 2 つの方法を検討した。

FRR と FAR の交点部分を閾値と設定する方法として今回はジェスチャー F 同士の FRR と FAR の交点部分を閾値設定した。その理由として、同一のジェスチャーは異なるジェスチャーとの比較と比べて類似している傾向にあるという事が筆者等の研究で分かっている。図 9 の被験者 2 の各ジェスチャーの FRR と FAR の交点を比較してみると同じジェスチャーである F が最も類似していることが分かる。

また、FAR がある一定値以下になった部分の閾値と設定する方法として今回は FAR の平均値が 5% 以下になった部分の閾値を適用した。筆者等の研究ではジェスチャーを 4 桁のパスワードとして用いる事を検討している。そこで 1 つの判定精度を 5% 以下にすることで PIN 認証以上の精度を見越せると考え、設定した。

FRR と FAR の交点部分を適用したものを表 2, FAR がある一定値以下になった部分を適用したものを表 3 にしめす。

結果はFRRとFARの交点部分を適用したものの、FARがある一定値以下になった部分を適用したものの2つとも同様に被検者3, 6に関しては良い結果であるが、被検者2, 11に関しては判定結果が良くない結果となった。閾値の設定の方法として本来であればFARがある一定値以下になった部分を適用したものが望ましいが、判定結果の良かった被検者3, 6に関してはFRRとFARの交点部分を適用したものの手法はより良い精度となった。2つの手法を組み合わせる事でより良い精度の向上があると考えられる。

被検者2, 11に関して良い結果が得られなかったが被検者に適したジェスチャーが存在し、適したジェスチャーの選択を行う事で認証精度の向上が期待できる。

6. 考察

本研究では、相互相関係数を用いて筋電波形を比較し、正当なユーザか否かを判定する手法を検討した。

結果は相互相関係数を用いた識別の精度は被検者に適した閾値の設定を行う事が必要であるということが分かった。

今回は閾値の決定の仕方として、FRRとFARの交点部分を閾値と設定する方法とFARがある一定値以下になった部分の閾値と設定する2つの方法を検討し、結果は2つの手法を組み合わせる事でより良い精度の向上があると考えられる。

また、実験では閾値を小数点第2位までとした為、それをより細かくすることで判定精度の向上が期待される。

だが、実験結果では判定性能が良くない被検者が数名みられた。しかし、被検者に適したジェスチャーが存在するのではないかと考えられ、その適したジェスチャーの選択を行うことでより判定精度の向上が期待される。

また、今回の実験で相互相関係数を求めたのは3つのジェスチャーに留まってしまった為、今後ジェスチャーの種類を増やし、同様に比較を行う事、また、より多くの被検者に対象に実験を行っていきたいと考える。

7. おわりに

本研究では、相互相関係数を用いて被検者にあった筋電波形（以下標準波形）の選出を行い、その標準波形とその他の筋電波形の比較を相互相関係数を用いて行い、判別を行った。結果は閾値の設定を被検者に適した値に設定することが必要であることが分かり、相互相関係数の閾値の設定を被検者に適したものに設定する事で有望であることが分かった。また、ジェスチャーに関しても被検者に適したものがあろうと考えられ、適したものを選択することで判定精度の向上が期待される。

今後の課題として、被検者に適した閾値の設定かつ被検者に適したジェスチャーの選出、他の筋電波形の特徴量の組み合わせを検討し、ジェスチャーの種類かつより多くの被検者を対象に相互相関係数アルゴリズムを用いた個人識

別手法が有望であるか探求に努めたい。

参考文献

- [1] Anil K. Jain, Karthik Nandakumar, Arun Ross, : 50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities, Pattern Recognition Letters 79, pp.80-105(2016)
- [2] 神経細胞と静止膜電位, 入手先 (<http://www7b.biglobe.ne.jp/~homunculus/neuro/neurophysiology/S1.html>)
- [3] Yamaba, H., Nagatomo, S., Aburada, K., Kubota, S., Katayama, T., Park, M., Okazaki, N. :An Au-thentication Method for Mobile Devices that is Independent of Tap-Operation on a Touchscreen, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life. No.2, Vol.1, pp.60-63(2015)
- [4] 山場久昭, 長友想, 油田健太郎, 久保田真一郎, 片山徹郎, 朴美娘, 岡崎直宣: 表面筋電位を用いた個人認証手法の実現に向けた基礎研究, 情報処理学会研究報告. Vol.2015-CSEC-69 No.32, pp.1-6(2015)
- [5] 黒木聡舜, 山場久昭, 久保田真一郎, 片山徹郎, 朴美娘, 岡崎直宣, : 表面筋電位計を用いた個人認証システムの実現に向けた検討, 情報処理学会研究報告. Vol.2015-SPT-15 No.5, pp.1-6(2015)
- [6] Yamaba, H., Kurogi, T., Kubota, S., Katayama, T., Park, M., Okazaki, N. :Evaluation of feature values of surface electromyograms for user authentication on mobile devices, Journal Artificial Life and Robotics, Vol.22, pp.102-112(2016)
- [7] Yamaba, H., Kurogi, T., Kubota, S., Katayama, T., Park, M., Okazaki, N. :An attempt to use support vector machines for a user authentication system using surface electromyogram signals.(2017)
- [8] 和斉薫: “モバイル端末向け個人認証方式における柔軟な安全性強度の実現手法に関する研究”, 宮崎大学大学院修士論文 (2015)
- [9] 新・筋電センサ MiniBioMuse-iii, 入手先 (<http://nagasm.org/ASL/SIGMUS0108/>)