

眼球–頭部協調運動における生体反射型反応に基づく 生体認証方式に関する検討

高橋 洋介¹ 遠藤 将¹ 松野 宏昭¹ 村松 弘明¹ 大木 哲史¹ 西垣 正勝^{1,a)}

受付日 2019年3月4日, 採録日 2019年9月11日

概要: 生体情報は一般的に漏洩しやすいという重大な問題が存在するため, 生体情報が漏洩した場合であつてもなりませんが困難な生体認証が望ましい. これに対して, 生体の反射に基づく反応 (生体反射型反応) を利用した認証方式が提案されている. 生体反射型反応は人間が自分で制御することが難しい生体情報であるため, 不正者が認証情報を入手したとしても, 正規ユーザになりすますことは困難であると考えられる. しかし, 既存方式には生体反射型反応を計測するにあたって個人ごとのキャリブレーションが必要という問題がある (課題 1). さらに, 生体反射型反応には随意的な反応と不随意的な反応が存在するが, 随意的反応には「ユーザの意思」という要素が介在する分, 不随意的反応に比べて不正者が訓練などによってなりすましを成功させる余地が残る (課題 2). 本論文では, 生体反射型反応を利用した生体認証の課題 1 と課題 2 に対応した認証方式の実現に向け, 眼球–頭部協調運動に注目する. 眼球–頭部協調運動は随意的な反応であるサッカド反応と不随意的な反応である前庭動眼反射に基づく反応の組合せからなる. ユーザ実験を通じて, サッカド反応と前庭動眼反射型反応それぞれの認証精度の評価を行った. 基礎実験の結果, 前庭動眼反射型反応に基づく生体認証はサッカド反応に比べて高い認証精度およびなりすまし耐性を有することを確認した.

キーワード: 生体認証, 生体反射, 生体反応, 眼球–頭部協調運動

A Study on Biometric Authentication Using Human Reflex Based Response in Eye-Head Coordination Movement

YOSUKE TAKAHASHI¹ MASASHI ENDO¹ HIROAKI MATSUNO¹
HIROAKI MURAMATSU¹ TETSUSHI OHKI¹ MASAKATSU NISHIGAKI^{1,a)}

Received: March 4, 2019, Accepted: September 11, 2019

Abstract: Biometric information can be easily leaked and/or copied. Therefore, the biometric information used for biometric authentication should be kept secure. To cope with this issue, we have proposed a user authentication system using a human reflex based response. It is assumed that even if people know someone's reflex response characteristics, it is difficult to impersonate that individual, as anyone cannot control his/her reflex based responses. However, the calibration for each subject is required for precisely measurement the reflex based responses (problem 1). Furthermore, there are two types of human reflex based responses, and voluntary responses are more likely to impersonate the legitimate user, than involuntary responses (problem 2). In this paper, we focus on the eye-head coordination movements in order to tackle the problems 1 and 2. The eye-head coordination is composed of a combination saccade response and vestibulo-ocular reflex based response. In this study, we evaluated two types of biometric authentication using saccade response and vestibulo-ocular reflex based response separately. Our experimental results showed that vestibulo-ocular reflex based response has higher availability and tolerance against a masquerade attack than saccade response.

Keywords: biometric authentication, human reflex, human response, eye-head coordination movement

1. はじめに

生体情報が漏洩しても複製ができず、また、訓練などにより習得することもできないような、なりすましに対して高い耐性を有する生体認証が必要である。特に、最重要機密にアクセスするような場合の本人認証においては、このような生体認証が強く望まれる。この要求に対応する1つの方向性として、人間の反射に基づく反応（以下、「生体反射型反応」と呼ぶ）を利用したアプローチが考えられる。生体反射は人間が自分で制御することが難しい生体情報であり、これが不正者に明らかになったとしても、不正者が本人になりすましを行うことは困難であると期待される。

生体反射型反応を利用した生体認証はかねてから提案されてきた [1], [2], [3], [4], [5]。しかし、反応そのものの個人差が大きくないため、他の身体的な生体情報との組み合わせが必要といった問題や、反応そのものを計測するにあたって個人ごとのキャリブレーションが必要といった問題があげられる（課題1）。さらに、生体反射型反応には随意的な反応と不随意的な反応の2種類のタイプが存在するが、これまでの既存研究では随意的な反応についても認証に利用していた。随意的反応には「ユーザの意思」という要素が存在する分、不随意的反応に比べて不正者が訓練などによってなりすましを成功させるという余地が残る（課題2）。生体反射型反応を利用した生体認証が目的としている強いなりすまし耐性を実現するためのモダリティとしては、本人の意思とは無関係に引き起こされる不随意的な反応の利用がより好適であると考えられる。

そこで、本研究ではこの2つの課題を解決するため、生体反応型反応の中の不随意的な反応そのものの個人差を用いた生体認証の第一歩として、眼球-頭部協調運動における生体反射型反応に基づく生体認証を提案する。人間の注視動作は眼球運動だけではなく、頭部運動が加わった複雑な動作である。この連動は眼球-頭部協調運動と呼ばれる。課題1に対しては、視標を注視する際の眼球と頭部の位置情報の遷移、つまり、眼球と頭部の相対位置を眼の画像から算出し、これを用いて認証を行う。これにより、眼球-頭部協調運動における生体反射型反応を利用しつつ、身体的な生体情報の併用が不要であり、かつ、ユーザごとの注視点のキャリブレーションが不要な生体認証の実現を試みる。眼球-頭部協調運動は、提示された視標を眼で追うという本人の意思により引き起こされる随意的な反応（以下、「サッカード反応」と呼ぶ）と、頭部運動によって誘発され、頭部運動時にそれとほぼ同じ速さで眼球を反転させて、網膜像のブレを抑制する不随意的な反応（以下、「前庭動眼反射

(Vestibulo-Ocular Reflex) 型反応」と呼ぶ)の組合せからなる。眼球-頭部協調運動における前庭動眼反射型反応を利用することによって、課題2の不随意的な生体反射型反応そのものを利用した生体反射型反応に基づく生体認証の達成も可能である。

本論文では、基礎実験を通じて、サッカード反応と前庭動眼反射型反応それぞれの認証精度を求め、認証精度およびなりすまし耐性の観点から、眼球-頭部協調運動における生体反射型反応に基づく生体認証の実現可能性を示す。なお本論文は、文献 [6], [7], [8] を基に、方式の改良、さらなる考察を行ったものである。

以降、2章で関連研究を概説し、3章で提案方式を示す。4章で提案方式の認証精度、5章でなりすまし耐性に関する実験の結果を報告する。最後に、6章でまとめと今後の課題を記す。

2. 関連研究

人間の反射に基づく反応を利用した生体認証として、生体反射型認証について説明する。続いて、反射を含む行動的生体情報を利用した生体認証として、眼球運動を用いた生体認証について説明する。

2.1 生体反射型認証

生体情報が漏洩しても複製ができず、また、訓練などにより習得することもできないような、なりすましに対して高い耐性を有する生体認証として生体反射型認証 [1], [2], [3] が提案されている。反射とは、外界の作用によって感覚器が刺激されたときに、筋肉などが意識とは無関係に反応を起こすことであり、つねに決まった形で、自動的かつ機械的に、そして瞬間的に現れる [9]。既存研究では、その意味を少し大きくとり、人間が制御できないレベルでの反応を反射と定義している。しかし本論文では、反射の語義を拡大解釈することは適切ではないという考慮の下、人間が制御できないレベルでの反応を「生体反射型反応」と呼び、反射とは区別して論ずる。

人間には様々な反射の存在が確認されており、たとえば、瞳孔には眼球に入る光が急に強さを増した際に縮瞳する対光反射の存在が知られている [10]。このような「反射に基づく反応（生体反射型反応）」に何らかの個人差が含まれる場合、認証への応用が考えられる。生体反射は、その反応を本人が意識的に制御することは難しいと考えられている。このため、たとえば「ユーザAであれば、ある光刺激Sに対して瞳孔がQ%収縮する」という認証情報が漏洩したとしても、A以外のユーザがユーザA特有の反応（その刺激Sに対して瞳孔がQ%収縮する）を模倣（訓練による習得を含む）することは困難と予測される。すなわち、生体反射型反応の個人差に基づく本人認証においては、認証の拠所となる生体情報を公開したとしても他人によるなり

¹ 静岡大学
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8011, Japan.

a) nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

すましは困難なものとなる。

虹彩を用いた生体認証方式の中に、対光反射をユーザの生体検知 (liveness detection) のために使用しているものがある [11]。しかし、生体検知は反射の有無を調べるのみであり、それゆえになりすましの成功例などが報告されている [12], [13]。生体反射型認証は生体反射型反応の個人差を用いて認証を実施することによってさらになりすましに対して頑強な生体認証の実現を提案するものであり、既存の生体検知の概念とは一線を画する。

しかし、既存方式において用いられている生体反射型反応 (サッカー反応 [1], 対光反射に基づく反応 [2], 輻輳反射に基づく反応 [3]) は、その個人差が本人内変動の大きさに対して顕著ではなく、生体反射型反応そのものの個人差を利用するだけでは十分な認証精度が得られない。このため、身体的な生体情報の個人差を併用することにより、認証精度の増補が図られている。具体的には、文献 [3] では、視線の輻輳を測定するにあたり、視線検出装置で注視点をリアルタイム検出する際に必要となるキャリブレーションデータ (個人ごとの眼球形状に応じて計測結果を補正するためのデータ) の個人差を併用した認証方式となっている。文献 [1], [2] では、眼球内の盲点位置の個人差を併用して認証が行われている。ただし、盲点は注視点の相対位置として求まるため、盲点位置の個人差の拠所は、やはり、キャリブレーションデータ (眼球形状) の個人差である。

身体的な生体情報を併用する際の弊害として、たとえば、不正者が精巧なコンタクトレンズにより、自分の眼球形状を正規ユーザの眼球形状に完全に合わせこむこと (すなわち、身体的な生体情報の個人差を消失させること) ができたとしたら、なりすましに成功する可能性が残る。実際、文献 [1], [2], [3] のなりすまし耐性の評価においては、攻撃者が裸眼かつキャリブレーションデータをすり替えることは無いという前提での実験が行われている。つまり、身体的特徴 (キャリブレーションデータ) の違いがなりすましの困難性に含まれており、生体反射型反応そのものによるなりすまし耐性の評価とはなっていない。このような高度ななりすましを防ぐには、生体反射型反応そのものの個人差を直接利用するタイプの認証方式の実現が必要である (課題 1)。

また、生体反射型反応には随意的なものとならないものがある。既存の生体反射型認証において用いられている反応のうち、サッカー反応 [1] と輻輳反射に基づく反応 [3] は随意的な生体反射型反応に、対光反射に基づく反応 [2] は不随意的な生体反射型反応に分類される。随意的な反応には「ユーザの意思」という要素が介在する分、不随意的な反応に比べて不正者が訓練などによってなりすましを成功させるという余地が残る。生体反射型認証の目的は、訓練などにより習得することもできないような生体認証の実現にある。このような高度ななりすましを防ぐには、不

随意的な生体反射型反応の個人差を直接利用するタイプの認証方式の構築が必要である (課題 2)。

2.2 眼球運動を用いた生体認証

眼球運動は、視標を眼で追うという本人の意思により引き起こされる随意的な運動と、視覚や前庭感覚刺激により誘発される不随意的な運動の複合によって成り立っている。不随意的な眼球運動を利用した生体認証は、生体反射型反応を用いた生体認証と類似の特徴を有する [4], [5]。

Sluganovic ら [4] は、ユーザがディスプレイ上の跳躍移動する点を眼で追うときの眼球運動を利用した認証を提案している。視線や視線角度 (視標と視線のなす角度) の変位、速度、固視微動と呼ばれる眼球振動などを特徴量として認証を行っている。Holland ら [5] はテキストを読む際の眼球運動を特徴とした認証を提案している。得られた眼球運動をサッカー反応と固視微動という 2 つに分類し、両者の特徴量を組み合わせることによって認証を行っている。

しかし、2.1 節でも述べたように、視線検出装置による注視点検出には眼球形状の個人差に基づくキャリブレーション補正が含まれている。すなわち、視線検出装置を用いて計測される眼球運動の個人差には、身体的特徴 (キャリブレーションデータ) の個人差が重畳されている。このため、文献 [4], [5] の生体認証も、既存の生体反射型認証と同様、眼球運動そのものの個人差のみを利用した認証方式とはなっていない。文献 [4] のなりすまし実験がキャリブレーションデータのすり替えを想定しない形で行われている点も同様であり、身体的特徴 (キャリブレーションデータ) の違いがなりすましの困難性に含まれており、眼球運動そのものによるなりすまし耐性は確認されていない (文献 [5] ではなりすまし実験は実施されていない)。したがって、眼球運動を利用した生体認証においても、2.1 節で示した課題 1 が顕在している。

また、眼球運動のうち、随意的な運動には「ユーザの意思」という要素が介在する分、不随意的な運動に比べ、不正者が訓練などによってなりすましを成功させるという余地が残る。このため、不随意的な眼球運動の個人差を直接利用するタイプの認証方式の実現が望まれる。すなわち、2.1 節で示した課題 2 も、課題 1 と同様、眼球運動を利用した生体認証にも共通する問題となっている。

3. 提案方式

3.1 コンセプト

人間の注視動作は眼球運動だけでなく、頭部運動が加わった複雑な動作である。眼球-頭部協調運動も、眼球運動と同様、随意的な運動と不随意的な運動の複合体である。具体的には、視標を注視する際に「提示された視標を眼で追う」という本人の意志によって引き起こされる随意的な

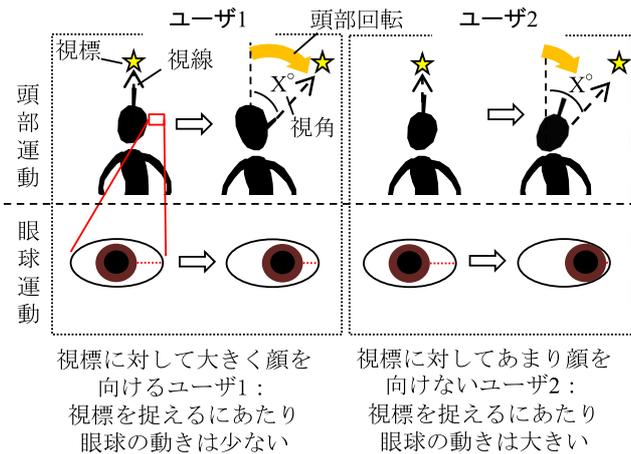


図 1 眼球と頭部の関係

Fig. 1 Eye-head coordination.

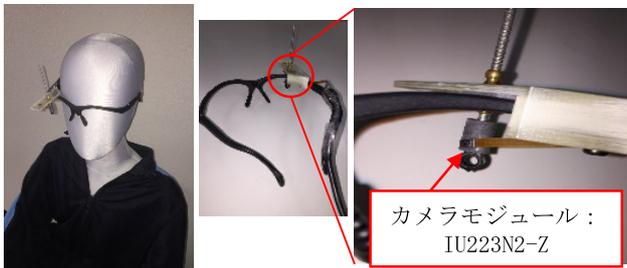


図 2 メガネ型ビデオカメラ

Fig. 2 A glass-type video camera.

眼球運動（サッカド反応）および頭部運動と、頭部運動により誘発され、頭部運動とほぼ等速に眼球を反対方向に移動させ、網膜像のブレを抑制する不随意的な眼球運動（前庭動眼反射型反応）の 2 つから成り立っている。本論文では、課題 1 と課題 2 に対応した生体反射型反応に基づく生体認証の実現に向け、この眼球-頭部協調運動に注目する。

眼球-頭部協調運動の個人差に関しては、「分担比（視線移動に占める頭部運動の割合）」の分布に比較的大きな個人差が存在することが、文献 [14], [15] によって明らかになっている。人間が視標に対して顔を向けて視標を注視する際、注視方向は眼球運動と頭部運動のベクトル和によって表される。すなわち、正面から x 度の角度で右（または左）に表示される視標を注視する際、人間の眼球運動（眼球の移動角度）と頭部運動（頭部の移動角度）の和が x 度に相当する。そのため、図 1 のように視標に対して大きく顔を向けると、眼の動きは小さくなり、その逆もまた同様である。したがって、メガネ型ビデオカメラ（図 2）を用いてユーザーが視標を注視する際の角膜の位置を測定することによって、眼球-頭部協調運動の特徴量（視標に対してどの程度顔を向けたか）を測定することが可能である。角膜の絶対位置に基づく特徴量を利用する場合は、ユーザーごとにキャリブレーション補正が必要である。これに対し、分担比は、「目頭から角膜までの距離と角膜から目尻まで

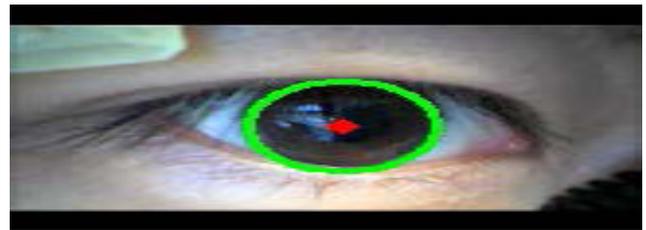


図 3 Hough 変換による角膜の検出

Fig. 3 Detection of the circle.

の距離の比をとる」という操作によって特徴量の正規化がなされており、すべてのユーザーに対してキャリブレーション補正なしで測定することができる相対的な特徴量となっている。そこで本論文では、眼球-頭部協調運動の個人差に基づく生体認証を構築することにより、生体反射型反応を用いた生体認証における課題 1 の解決を試みる。

眼球-頭部協調運動の中で発生する前庭動眼反射は不随意的に誘発される反射であり、不正者が訓練などによって習得することが非常に難しい生体情報であることが期待される。そこで本論文では、眼球-頭部協調運動における前庭動眼反射に基づく反応を「前庭動眼反射型反応」と呼び、その個人差のみに基づく生体認証を構築することにより、生体反射型反応を用いた生体認証における課題 2 の解決を試みる。

3.2 特徴抽出

3.1 節で説明したように、本論文では、メガネ型カメラによって撮影されるユーザーの角膜画像から算出される分担比を、視標を注視する際の眼球-頭部協調運動の特徴量として使用する。

今回は、角膜位置を検出するアルゴリズムとして OpenCV Ver.2.4.9 [16] に実装されている `cv::HoughCircles` 関数を用いる。`cv::HoughCircles` 関数のパラメータについては、`method` を `CV_HOUGH_GRADIENT`, `dp` を 1, `minDist` を 100, `palam1` を 10, `palam2` を 20, `minRadius` を 15, `maxRadius` を 35 とした。カメラの解像度は 320×200 ピクセルであり、これを 160×100 ピクセルにリサイズしたものを使用する。角膜検出の前処理として、グレースケール化、適応的 2 値化、エッジ検出を施して 2 値化画像に変換している。それぞれの処理は Open CV Ver.2.4.9 の `cv::cvtColor` 関数, `cv::AdaptiveThreshold` 関数, `cv::Canny` 関数によって行った。`cv::AdaptiveThreshold` 関数のパラメータは、`maxValue` を 255, `adaptiveThreshold` を `CV_ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C`, `thresholdType` を `CV_THRESH_BINARY`, `BlockSize` を 23 とした。`cv::Cany` 関数のパラメータは、`threshold1` を 100, `threshold2` を 200 とした。今回は、角膜位置が正しく検出できなかった画像に関しては手でパラメータの調整を行った。図 3 に Hough 変換が検出した円と角膜を重ね合わせた画像例を示す。

3.3 認証手順

被認証者はメガネ型ビデオカメラを装着する。今回は、実験機器の都合上、被認証者の右眼に設置したカメラによって右眼の角膜画像のみを撮影して認証を行う。被認証者の右眼から視標までの距離が30cmとなるように視標表示用のディスプレイを設置した。中央の視標Sは被認証者の正面に、右側の視標 S_R は被認証者の正面に対して $+66^\circ$ の方向に、左側の視標 S_L は被認証者の正面に対して -66° の方向に表示する。ディスプレイの高さは、視標が被認証者の目の高さと同じ位置に表示されるように設置した。認証システムは以下のように動作する。

【登録フェーズ】

- ① 被認証者は認証中、視標を眼で追うようにシステムから指示される。
- ② システムは、被認証者の正面に視標Sを表示する。その3秒後、システムは視標 S_R あるいは S_L をランダムに選び、これを表示する。
- ③ システムは、被認証者が視標Sを注視している状態から、視標 S_R あるいは S_L を注視するまでの、各時刻の分担比を被認証者の右眼角膜位置から算出し、視標の位置、ユーザ名とともにテンプレートデータとして登録する。
- ④ 被験者ごとに①～③を5回繰り返し、5つのテンプレートデータを取得する。3.5節で説明する方法によって、この中から被験者ごとに「最適なテンプレートデータ」を選択し、これを認証フェーズにおいて使用する。

【認証フェーズ】

- ① 被認証者はシステムにユーザ名を入力する。
- ② システムは、登録情報の中から当該ユーザのテンプレートを取り出す。
- ③ 被認証者は認証中、視標を眼で追うようにシステムから指示される。
- ④ システムは、被認証者の正面に視標Sを表示する。その3秒後、システムは視標 S_R あるいは S_L をランダムに選び、これを表示する。
- ⑤ システムは、被認証者が視標Sを注視している状態から、視標 S_R あるいは S_L を注視するまでの、各時刻の分担比を被認証者の右眼角膜位置から算出する。
- ⑥ システムは、認証フェーズで取得された特徴量がテンプレートデータ（登録フェーズで取得された特徴量）と十分類似していれば、被認証者を認証成功とする。類似度の算定に関しては3.4節で説明する。

3.4 識別

今回は、登録フェーズのテンプレートデータと認証フェーズの認証データを比較する際に使用するアルゴリズムとして、Dynamic Time Warping (DTW) [17]を用いる。DTWは、2つの時系列データ間の距離を測るアルゴリズムであ

り、一方のデータを非線形に伸縮させながら、最も整合したマッチング結果を算出する。

時系列データ $X = \{f(t)|x_1 \leq t \leq x_n\}$ と $Y = \{g(t)|y_1 \leq t \leq y_m\}$ に対し、DTWにより時間伸縮を調整した X と Y の距離 $DTW(X, Y)$ を以下のように定義する。

$$DTW(X, Y) = \min \left[\frac{\sum_{\theta=1}^k |f(p_\theta) - g(q_\theta)|}{k} \right]$$

ここで、 k は経路長を、 $(p_1, q_1), \dots, (p_k, q_k)$ は X と Y を対応付けるワーピングパスを表し、

$$(p_1, q_1) = (x_1, y_1)$$

$$(p_k, q_k) = (x_n, y_m)$$

$$(p_\theta, q_\theta) = \begin{cases} (p_{\theta-1} + 1, q_{\theta-1}) \\ \text{or} \\ (p_{\theta-1}, q_{\theta-1} + 1) \\ (p_{\theta-1} + 1, q_{\theta-1} + 1) \end{cases}$$

を満たす。DTWは距離が0に近いほど、類似度が高くなる。

3.3節の認証フェーズ⑥において、 $DTW(X, Y) < \phi$ を満たした場合、正規ユーザとして認証成功とする。ここで、 ϕ は正規ユーザを認証成功とする閾値である。

3.5 最適なテンプレートの選択

眼球-頭部協調運動は本人内であっても変動が大きいことに鑑み、被認証者には登録フェーズにおいて登録試行を5回繰り返してもらい、各被認証者の5つのテンプレートデータの中から最適なテンプレートを選ぶという方策を採ることとした。具体的には、被験者 i の a 回目($a = 1 \sim 5$)のテンプレートを T_{ia} とし、各 a ($a = 1 \sim 5$)ごとに、 T_{ia} と $T_{ia'}$ ($a \neq a'$)のDTW距離を計算し、すべての $T_{ia'}$ ($a \neq a'$)との距離が一番小さくなる T_{ia} を被験者 i に対する「最適なテンプレート」として採用する。

4. 本人認証実験

4.1 目的

眼球-頭部協調運動における生体反射型反応に基づく生体認証の認証精度をユーザ実験によって求める。被験者は本学情報系学科の学生10名(被験者1~10)とした。

4.2 概要

実験システム概観および実験風景を図4と図5に示す。各装置の詳細を以下に示す。

- 視標表示ディスプレイ：視標を表示する。65型液晶ディスプレイTY-TP65P10S(パナソニック株式会社製)を使用した。解像度は $32,000 \times 18,000$ [pix]である。
- メガネ型ビデオカメラ：被験者の右眼を撮影する。被験者は図5のようにカメラを装着して実験を行う。カ

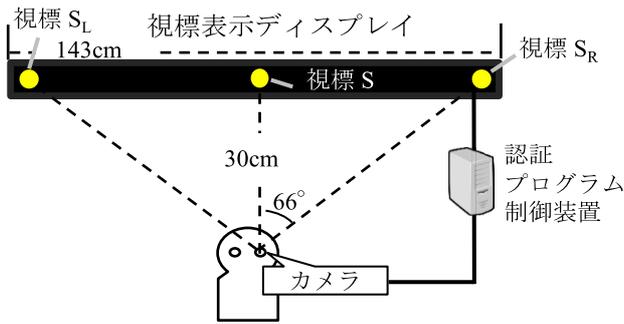


図 4 実験システム概観
Fig. 4 System arrangement.

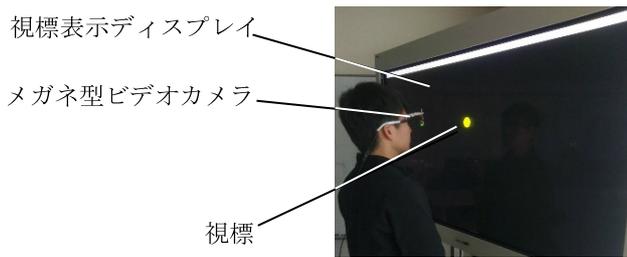


図 5 実験風景
Fig. 5 Experimental environment.

メラモジュールは IU223N2-Z (ソニー株式会社製), 撮影画像の解像度は 320×200 pix, フレームレートは 120 fps である.

- 認証プログラム制御装置: 登録フェーズならびに認証フェーズにおける視標の表示および角膜位置の算出を行う. PC (CPU: Inter Core i5 2.6 GHz, メモリ: 8 GB, OS: Windows10 HOME) 上で Python によって実装した.

4.3 実験方法

図 4 に示した実験環境, 3.3 節に示した認証手順によって実験を行った. 3.5 節で説明したように, 各被験者には登録試行を 5 回実施してもらった. すなわち, 10 名 \times 5 試行 \times 2 方向 (視標 S_R または S_L) = 100 個の動画をテンプレートデータとして収集し, その中から被験者ごとに最適なテンプレートを選択した. 認証フェーズは, 登録フェーズ実施の約 2 分後に 10 回の認証試行を実施してもらった. すなわち, 200 個 (10 名 \times 10 試行 \times 2 方向) の認証データを収集した.

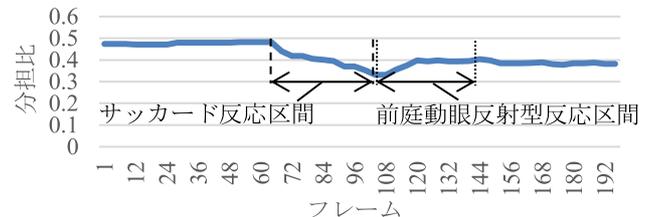
3.2 節で述べたように, 本システムでは角膜の位置から分担比にあたる特徴量を算出し, これを利用して認証の可否を判定する. 各被験者の右眼の動画像から, 目頭から角膜中心までの距離 (図 6 (a)) を 1 フレームごとに測定した. 角膜中心に関しては, 3.2 節で述べた方法によって角膜検出を行ったうえでその中心座標を算出した. 目頭から角膜中心までの絶対距離を特徴量として認証を行ってしまうと, 認証の拠所となる情報の中に「ユーザの眼の大きさ」



(a) 目頭から角膜中心までの距離 (b) 目頭から目尻までの距離

図 6 撮影画像

Fig. 6 Captured images.



(a) テンプレートデータ



(b) 認証データ

図 7 分担比の推移

Fig. 7 Transition of sharing rate for subject.

という身体的特徴の個人差が含まれることになるため, 課題 1 に対する対処が不十分となる. このため, 「目頭から角膜中心までの絶対距離」を「目頭から目尻までの絶対距離 (図 6 (b))」で除算することで正規化した相対距離 (分担比) を利用して認証を行っていることに留意されたい.

今回実際に取得したデータの例として, 被験者 1 のテンプレートデータ (3.5 節の方法で選択された最適なテンプレートデータ) と認証フェーズ第 1 試行時の認証データを図 7 に示す. 図 7 のデータは, 被験者が正面の視標 S を注視している状態から右側の視標 S_R を注視したときの分担比の 1 フレームごとの推移を表している. 視標 S_R が表示された時点を実験の第 1 フレームとしてプロットされている.

課題 2 の観点からは, 不随意的な反応である前庭動眼反射型反応の認証への利用が本研究の目的となる. そこで, 随意的なサックード反応と不随意的な前庭動眼反射型反応の両方の認証精度を求めることによって, 不随意的な生体反射型反応に基づく生体認証方式の有用性を確認する. サックード反応の認証精度については, テンプレートデータならびに認証データにおいて, サックード反応が観測されている時系列データ区間のみを切り出し, 当該区間のテンプレートデータと認証データを対象にして両者の DTW 距離を求め, 認証を行う. 前庭動眼反射型反応の認証精度については, 同様に, 前庭動眼反射型反応が観測された時系列データ区間のみを切り出し, 認証を行う.

また、今回はメガネ型ビデオカメラを被験者の右眼側に搭載したことに鑑み、各被験者の認証データを視標 S_R , S_L に応じて 2 種類に分類し、被験者の右側に視標 S_R を提示した場合のデータを「認証データ D_R 」、被験者の左側に視標 S_L を提示した場合のデータを「認証データ D_L 」とした。そして、 D_R に対する認証結果、 D_L に対する認証結果、 D_R に対する認証結果と D_L に対する認証結果の論理和 (OR) 型融合判定による認証結果、論理積 (AND) 型融合判定による認証結果を評価する。

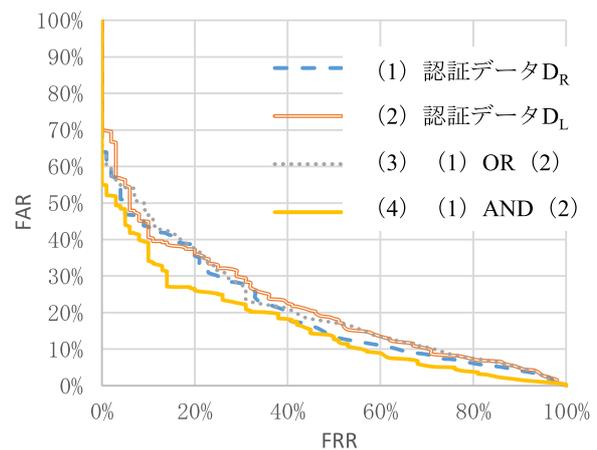
すなわち本実験では、サッカード反応と前庭動眼反射型反応のそれぞれのデータ区間において、 D_R の認証精度、 D_L の認証精度、 D_R OR D_L の認証精度、 D_R AND D_L の認証精度を評価する形になる。具体的には、以下の 8 つの場合での認証精度を確認する。

- (1) 認証データ D_R 内のサッカード反応区間の分担比のみを用いる場合
- (2) 認証データ D_L 内のサッカード反応区間の分担比のみを用いる場合
- (3) (1) の認証結果と (2) の認証結果の論理和 (OR) を用いる場合
- (4) (1) の認証結果と (2) の認証結果の論理積 (AND) を用いる場合
- (5) 認証データ D_R 内の前庭動眼反射型反応区間の分担比のみを用いる場合
- (6) 認証データ D_L 内の前庭動眼反射型反応区間の分担比のみを用いる場合
- (7) (5) の認証結果と (6) の認証結果の論理和 (OR) を用いる場合
- (8) (5) の認証結果と (6) の認証結果の論理積 (AND) を用いる場合

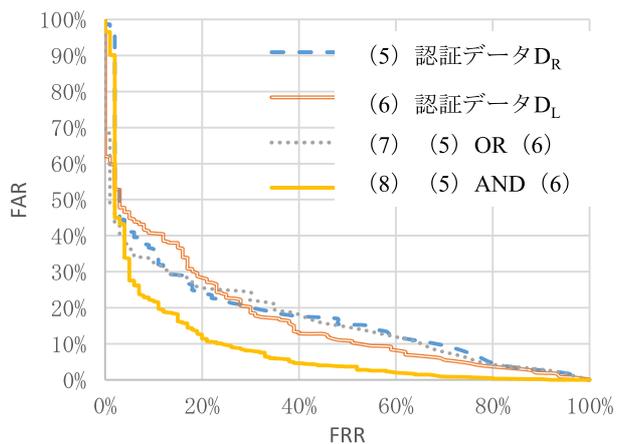
4.4 結果

(1)~(8) のそれぞれの場合ごとに、3.4 節で説明した方法によって選択した各被験者の最適なテンプレートデータを用い、個々のテンプレートデータに対して全被験者のすべての認証データとの DTW 距離を計算した。

認証閾値 ϕ を変化させて他人受入率 (FAR) と本人拒否率 (FRR) をプロットした ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線を図 8 に示す。また、8 つの判定方法での認証精度を表 1 に示す。この結果より、サッカード反応、前庭動眼反射型反応ともに認証データ D_R の認証結果と認証データ D_L の認証結果の論理積によって融合判定する場合が最も認証精度が高く、サッカード反応を利用した生体反射型認証においては、 $\phi = 0.0023$ のとき $EER \approx 25\%$ 、前庭動眼反射型反応を利用した生体反射型認証においては、 $\phi = 0.0042$ のとき $EER \approx 16\%$ であった。



(a) サッカード反射における ROC 曲線



(b) 前庭動眼反射型反応における ROC 曲線

図 8 ROC 曲線

Fig. 8 ROC curve.

表 1 認証精度

Table 1 Authentication accuracy.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
EER	28%	30%	29%	25%	23%	24%	23%	16%

4.5 考察

表 1 および図 8 より、10 名という少数の被験者による実験ではあるが、眼球-頭部協調運動における前庭動眼反射型反応の個人差が、本人と他人を識別するための情報として利用できる可能性が示された。すなわち、生体反射型反応を用いた生体認証における課題 1 と課題 2 を解決した認証方式の実現が期待される結果を得ることできた。随意的な反応であるサッカード反応を利用した認証と比べ、なりすまし耐性の観点で優位だと予想される不随意的な反応である前庭動眼反射型反応を利用した認証が、認証精度の面でも優位な結果となったことは興味深い。

サッカード反応、前庭動眼反射型反応ともに、視標を右側に提示した場合のほうが左側に提示した場合よりも認証精度が高いという結果であった。人間は通常、右側の視標については右眼を主に使って、左側の視標については左眼

を主に使って、視標をとらえる [18]. 今回は、カメラで右眼のみを撮影したため、右眼が主導的に働く「右側の視標 S_R に対する注視」の際の動きの中に、より大きな本人性が認められる形になったのではないかと考えられる. さらに、特に前庭動眼反射型反応においては、認証データ D_R と D_L の認証結果を論理和 (OR) あるいは論理積 (AND) の形で融合判定することによって認証精度が向上することが確認された. これは、左側の視標 S_L を注視する際の右眼の動きの中にも相応の本人性が含まれており、認証データ D_R に含まれる本人性と認証データ D_L に含まれる本人性の両者を使用することによって、最も良い認証精度が得られたのだと考えられる.

5. なりすまし実験

5.1 目的

4章の本人認証実験にて評価した他人受入率 (FAR) は、ユーザ i の生来の生体情報とユーザ j の生来の生体情報との類似度を求めた. すなわち、4章の FAR は「エフォートなしの攻撃者」を対象としたなりすまし実験であると位置づけることができる. 本章では、より能動的な攻撃者を想定したなりすまし実験を行い、眼球-頭部協調運動における生体反射型反応に基づく生体認証が「エフォートありの攻撃者」によるなりすましに対して頑健であることを確認する.

生体反射型反応を用いた生体認証におけるエフォートありのなりすまし攻撃に対する頑健性を検証するために、本論文では、筆跡認証との比較を行う方法を採用. 筆跡認証は、偽筆署名に対する研究がさかんに行われており [19], [20], [21], [22], [23], 行動的な生体情報を利用した生体認証方式の中で、エフォートありのなりすまし実験に対する知見が最も多い生体認証方式の1つである. その中でも、文献 [23] では、筆跡画像だけでなく運筆の過程までを攻撃者役の被験者に開示し、被験者がタブレットに表示される運筆の軌跡をなぞり書いて模倣するという形で、強力ななりすまし攻撃者を想定した実験を行っている. そこで本実験では、提案方式と筆跡認証のなりすまし耐性を比較することによって、前庭動眼反射型反応に基づく生体認証における能動的ななりすまし攻撃に対する頑健性を検証する.

5.2 実験方法

本来であれば、標的となる正規ユーザの認証動作 (眼球-頭部協調運動) を不正者役の被験者に開示し、被験者が訓練などによって標的の認証動作を模倣してなりすましに臨むという実験形態とすべきだが、眼球-頭部協調運動の模倣は被験者にとって過負荷な作業であると考えられる. そこで、今回のなりすまし実験では、不正者役の被験者全員に指定した同一の動作を行ってもらおうという方法を取

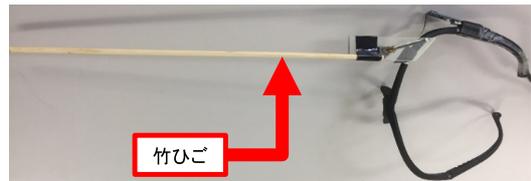


図 9 竹ひごを装着したメガネ型ビデオカメラ

Fig. 9 A glass type camera with bamboo chick.



図 10 なりすまし実験の様子

Fig. 10 Impersonation attack.

た. 指定した同一の動作は、「仮想的な正規ユーザ U の認証試行」と見なせるため、正規ユーザ U に対して不正者役の被験者全員が能動的ななりすまし攻撃を行っているという実験を構成した形になる.

具体的には、顔 (右眼) の正面方向に目印を設置し、「目印が視標と重なるように視標を注視する」という努力義務を被験者に課することによって、視標に対する眼球および頭部の位置が全被験者で共通となるよう誘導した. 今回は、角膜撮影のために被験者が装着するメガネ (図 2) の右眼部分から鉛直方向に竹ひごを取り付け (図 9)、竹ひごの先端を「顔の正面方向の目印」として使用した. 実験の様子を図 10 に示す. 提案方式において認証の拠所となっているのは眼球 (視線) と頭部の相対位置である. 視標に対する視線の方向を一致させて、視標をとらえる際の頭部の位置を統制することによって、眼球と頭部の相対位置を全被験者間で統一することが、提案方式におけるなりすまし攻撃となっていることに注意されたい.

上述のとおり、眼球-頭部協調運動の模倣は被験者にとって過負荷な作業であり、エフォートなしの被験者群とエフォートありの被験者群のなりすまし実験の他人受入率 (FAR) を統計的に比較できるほどの多数の被験者を確保することは困難であった. そこで、4章の本人認証実験に従事した 10 名の被験者のうち、5 名に今回のなりすまし実験を行ってもらい、同一被験者のエフォートなしの場合の FAR とエフォートありの場合の FAR を直接比較することとした.

今回のなりすまし実験は、被験者に同一の動作 (図 9 の竹ひご付きメガネを装着して、目印が視標と重なるように視標を注視する) を課する点以外は、4章の本人認証実験と同一である. 「仮想的な正規ユーザ U 」は実在している

表 2 なりすまし実験における FAR

Table 2 FAR of forgeries for impersonation attack.

	サッカー反応	前庭動眼反射型反応
本人認証実験	25%	20%
なりすまし実験	61%	46%

わけではないので、ユーザUのテンプレートデータは存在しない。このため、被験者 i ($1 \leq i \leq 5$) に対して被験者 j ($1 \leq j \leq 5, i \neq j$) がなりすましを行っているという状況を考え、 i と j のすべての組合せで他人受入率 (FAR) を検査することによって、なりすまし成功率を算出することとした。具体的な手順は以下のとおりである。

- ① 5名の被験者全員に5回の認証試行を実施してもらう。
- ② 被験者 i ($1 \leq i \leq 5$) を正規ユーザと見なし、各被験者 i の5つの認証データの中から3.5節で説明した方法によって最適なデータを選択し、これを被験者 i のテンプレートとする。
- ③ 被験者 i のテンプレートデータに対し、被験者 j ($1 \leq j \leq 5, i \neq j$) の20個の認証データ (4名 \times 5試行) とのDTW距離を評価する。ここで、被験者 i, j の分担比の時系列データをそれぞれ I, J とし、 $DTW(I, J) < \phi$ を満した場合はなりすまし成功として計数する。認証閾値 ϕ は、4章の本人認証実験において $FAR = FRR$ となった際の閾値を用いる。
- ④ すべての被験者 i ($1 \leq i \leq 5$) に対して②, ③を行い、計100回 (5名 \times 20個) のなりすまし試行におけるなりすまし成功回数を本実験のなりすまし成功率 (FAR) とする。

5.3 結果

なりすまし実験の結果を表2に示す。4章の本人認証実験の場合と同様に、サッカー反応が観測された時系列データ区間と前庭動眼反射型反応が観測された時系列データ区間に分けて、なりすまし成功率 (FAR) を算出している。表2には、4章の本人認証実験の結果のうち、今回のなりすまし実験を行った5名の被験者のデータのみを抽出して他人受入率 (FAR) を算出した結果も併記した。4章の本人認証実験における他人受入率がエフォートなしのなりすましに対する耐性を、今回のなりすまし実験におけるなりすまし成功率 (他人受入率) がエフォートありのなりすましに対する耐性を表している。

表2より、前庭動眼反射型反応のほうがサッカー反応に比べてFARの値が低いことが確認できる。本人認証実験の結果より、不随意的な生体情報である前庭動眼反射型反応は、エフォートなしのなりすましに対し、随意的な生体情報であるサッカー反応に比べて高い耐性を有することが確認されていたが、今回のなりすまし実験で、エ

フォートありのなりすまし攻撃に対しても同様の傾向が示された。

前庭動眼反射に基づく反応は頭部運動によって誘発される不随意的な反応であるが、頭部の旋回運動自体は随意的な反応である。今回の実験では、全被験者の頭部運動が同一となるような統制を加えることによって、随意的な頭部運動の部分については攻撃者がこれを模倣した形でのなりすましを再現している。このような状況下においても、前庭動眼反射型反応のなりすまし成功率がサッカー反応のなりすまし成功率を下回ったという事実 (表2) から、前庭動眼反射型反応そのものに少なからず個人差が含まれており、その大きさはサッカー反応に含まれている個人差と比較して大きいということが示唆される。

しかしながら、前庭動眼反射型反応を用いたとしても、エフォートありのなりすましを46%の確率で許してしまうという結果は、能動的なりすまし攻撃に対する防御の難しさを物語っている。この点については、次節で筆跡認証のなりすまし耐性との比較を通じてより詳しく分析する。

5.4 筆跡認証との比較

文献[23]では、4名の被験者による82個の偽筆を用いてなりすまし耐性を評価している。なりすまし攻撃を3つのカテゴリに分類し、それぞれのなりすまし攻撃に対する他人受入率 (FAR) を算出している。「Blind Attack」は、攻撃者がテキスト (正規ユーザが登録した文字列) に関する知識のみしか所有していない場合の攻撃であり、エフォートなしのなりすましである。「Low-force Attack」は、攻撃者が筆跡画像を所有している場合の攻撃である。「Brute-force Attack」は、筆跡画像に加えて、運筆の様子を観察しながら模倣することができる場合の攻撃であり、具体的には、不正者役の被験者がタブレットに表示される運筆の軌跡をなぞり書いて模倣するという形で、なりすまし実験が行われている。

提案方式における4章の本人認証実験は、攻撃者は提示された左右の視標を注視するという知識のみしか所有していないため、「Blind Attack」に相当する。提案方式における本章のなりすまし実験は、不正者役の被験者に「指定した同一の動作」を模倣してもらうという実験と見なせるため、「Brute-force Attack」に相当すると考えられる。以上より、提案方式の本人認証実験 (4章) のFARと筆跡認証の「Blind Attack」のFARを、提案方式のなりすまし実験 (5章) のFARと筆跡認証の「Brute-force Attack」のFARを、それぞれ比較する。

ただし、文献[23]では本人拒否率 (FRR) が記載されていなかったため、FARとFRRの値を直接比べる形で両方式を比較することができない。このため、本人-他人間のマッチングスコアの分布を比較することにより、提案方式と文献[23]のなりすまし耐性を分析することとした。具体的に

表 3 2 種類の攻撃カテゴリにおける FAR
Table 3 FAR of forgeries for two attack strengths.

	攻撃カテゴリ	閾値	
		Low	Very High
文献[23]	Blind Attack	0.00%	0.00%
	Brute-force Attack	46.67%	0.00%
提案方式	Blind Attack	20.00%	0.00%
	Brute-force Attack	46.00%	0.00%

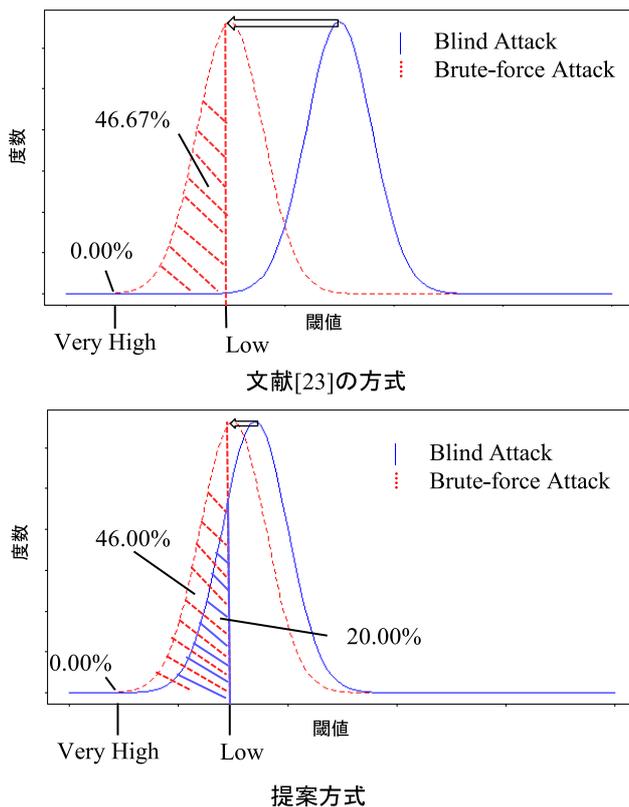


図 11 攻撃者によるマッチングスコアの分布
Fig. 11 Distribution of matching scores of forgeries.

は、次のように認証閾値を設置することによって、提案方式の本人–他人間のマッチングスコアの分布を、文献 [23] の本人–他人間のマッチングスコアの分布の基準に合わせ込んだ。文献 [23] では、「Low」ならびに「Very High」の認証閾値が、それぞれ、「Brute-force Attack の FAR が 46.67% となる際の認証閾値」、「Blind Attack の FAR が 0% となる際の認証閾値」として設定されている。そこで、提案方式においても、「Brute-force Attack の FAR が約 46% となる際の認証閾値」を Low、「Blind Attack の FAR が 0% となる際の認証閾値」を Very High として設定し、当該閾値における各 FAR を算出した。結果を表 3 と図 11 に示す。ただし、図 11 は、正確なスコア分布ではなく、概略イメージを示している。

図 11 は、不正者がなりすまし攻撃に対するエフォートがかかることにより、不正者の特徴量が正規ユーザの特徴

量に近づき、本人–他人間のマッチングスコアの分布が本人側 (図 11 の左方向) に移動するというを示している。図 11 より、提案方式のほうが文献 [23] に比べて、エフォートに対するスコア分布の移動量が小さい。このため、不随意的な前庭動眼反射型反応を利用した生体認証は、筆跡認証に比べてなりすましが難しいという結果が示唆される。

6. おわりに

本論文では、眼球–頭部協調運動における反射型反応の個人差を利用した生体認証を提案した。眼球–頭部協調運動は人間にとって不随意的な動作を含むため、認証情報が漏洩したとしても不正者が正規ユーザになりすましを行うことは困難であると考えられる。既存方式の課題 1 (生体反射型反応を計測するにあたって個人ごとのキャリブレーションが必要) に対して、ユーザが視標を注視する際の眼球画像から眼球と頭部の相対位置 (分担比) を特徴量として使用することで、キャリブレーション補正が不要な形で生体反射型反応そのものに基づく本人認証を実現できることが期待される。また、眼球–頭部協調運動における前庭動眼反射型反応の個人差のみに基づく生体認証を構築することにより、既存方式の課題 2 (随意的反応には不正者が訓練などによってなりすましを成功させる余地が残る) の解決が図られる。

本人認証実験の結果より、被験者 10 名による小規模な実験ではあるものの、前庭動眼反射型反応の個人差を利用して EER = 16% の認証精度が得られ、眼球–頭部協調運動に含まれる特徴量によってユーザを識別できる可能性が示唆された。また、なりすまし実験の結果、被験者 5 名による小規模な実験ではあるものの、エフォートなしのなりすまし攻撃およびエフォートありのなりすまし攻撃に対し、不随意的な生体反射型反応を用いた認証が随意的な生体反射型反応を用いた認証よりも高いなりすまし耐性を有することが示された。

今後は、被験者数を増やし、提案方式の有効性を統計的な観点から検証していく必要がある。中長期にわたって実験を継続し、生体反射型反応の個人内変動についても調査する予定である。今回は生体反射型反応に基づく生体認証のなりすまし耐性を筆跡認証と比較を行うことで評価したが、他のモダリティとの比較や検討についても深めていく予定である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、認証方式に関するご助言ならびに実験機器のご提供を賜りました京都大学大学院中澤篤志先生に感謝いたします。なりすまし実験に関するご助言を賜りました北九州市立大学山崎恭先生、大阪大学村松大吾先生に感謝いたします。本研究は一部、情報通信研究機構 (NICT) の委託研究 (契約番号 193) の助成を受けました。

参考文献

[1] Nishigaki, M. and Arai, D.: A user authentication based on human reflexes using blind spot and saccade response, *International Journal of Biometrics*, Vol.1, No.2, pp.173–190 (2008).

[2] 西垣正勝, 小澤雄司: 生体反射認証: 対光反射と盲点位置を利用した認証方式, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.9, pp.3039–3050 (2007).

[3] 青山真之, 山本 匠, 高橋健太, 西垣正勝: 生体反射型認証—輻輳反射と眼球形状および両眼間距離を利用した認証方式の提案, 情報処理学会研究報告, CSEC-44, pp.85–90 (2009).

[4] Sluganovic, I. et al.: Using Reflexive Eye Movements for Fast Challenge-Response Authentication, *Proc. 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pp.1056–1067 (2016).

[5] Holland, C.D. and Komogortsev, O.V.: Complex eye movement pattern biometrics: Analyzing fixations and saccades, *ICB*, pp.1–8 (2013).

[6] 高橋洋介, 遠藤 将, 松野宏昭, 村松弘明, 西垣正勝: 眼球-頭部協調運動の個人差を用いた生体反射認証方式に関する検討, 信学技報, Vol.117, No.42, BioX2017-8, pp.61–65 (2017).

[7] 高橋洋介, 遠藤 将, 松野宏昭, 村松弘明, 大木哲史, 西垣正勝: 眼球-頭部協調運動の個人差を用いた生体反射認証方式に関する検討 (その2), 信学技報, Vol.117, No.513, BioX2017-44, pp.49–54 (2018).

[8] 高橋洋介, 遠藤 将, 松野宏昭, 村松弘明, 大木哲史, 西垣正勝: 眼球-頭部協調運動の個人差を用いた生体反射認証方式に関する検討 (その3), 信学技報, Vol.118, No.512, BioX2018-35, pp.37–42 (2019).

[9] Leis, A.A. et al.: Behavior of the H-reflex in humans following mechanical perturbation or injury to rostral spinal cord, *Journal of Muscle & Nerve*, Vol.19, No.11, pp.1373–1382 (1996).

[10] Young, R.S. et al.: Transient and sustained components of the pupillary responses evoked by luminance and color, *Journal of Vision Research*, Vol.33, No.4, pp.437–446 (1993).

[11] Daugman, J.: Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition, *Int'l J. Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, Vol.1, No.1, pp.1–17 (2003).

[12] Sabarigiri, B. and Suganyadevi, D.: Counter Measures Against Iris Direct Attacks Using Fake Images and Liveness Detection Based on Electroencephalogram (EEG), *World Applied Sciences Journal*, Vol.29, pp.93–98 (2014).

[13] Jomier, J. et al.: Automatic quantification of pupil dilation under stress, *Proc. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: Macro to Nano*, pp.249–252 (2004).

[14] 山田光穂: 二次元平面上の視標を注視させたときの頭部運動と眼球運動の協調関係の分析, 信学論 (D-II), Vol.J75-D-2, No.5, pp.971–981 (1992).

[15] Gresty, M.A.: Coordination of head and eye movements to fixate continuous and intermittent targets, *Vision Research*, Vol.14, No.6, pp.395–403 (1974).

[16] OpenCV library, available from (<https://opencv.org/>) (accessed 2019-01-29).

[17] Sakoe, H. and Chiba, S.: Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition, *IEEE Trans. acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol.26, No.1, pp.43–49 (1978).

[18] Khan, A.Z. and Crawford, J.D.: Ocular Dominance Re-

verses as a Function of Horizontal Gaze Angle, *Vision Research*, Vol.41, No.14, pp.1743–1748 (2001).

[19] 山崎 恭, 水谷陽輔, 小松尚久: 筆圧およびペンの傾きを考慮したオンライン手書き文字からの個人性抽出手法に関する一検討, 信学技報, PRMU98-70, pp.37–42 (1998).

[20] 中嶋信二, 浜本隆之, 半谷精一郎: 署名時のペンの傾きに着目したオンライン署名照合, 信学技報, PRMU97-242, pp.15–22 (1998).

[21] 金 長吉, 渡辺正晴, 川嶋稔夫, 青木由直: 非公開パラメータに基づくオンライン署名照合, 信学論 (D-II), Vol.J75-D-II, No.1, pp.121–127 (1992).

[22] 田口英郎, 桐山公一, 田中永二, 藤井克彦: ペンの動きに着目したオンライン署名識別法, 信学論 (D), Vol.J71-D, No.5, pp.830–840 (1998).

[23] Zoebisch, F. and Vielhauer, C.: A test tool to support brut-force online and offline signature forgery tests on mobile devices, *Proc. International Conference on Multimedia and Expo*, Vol.3, pp.225–228 (2003).



高橋 洋介

2017年3月静岡大学情報学部情報科学科卒業。2019年3月同大学大学院修士課程修了。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。



遠藤 将

2016年3月静岡大学情報学部情報社会科学科卒業。2018年3月同大学大学院修士課程修了。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。



松野 宏昭

2016年3月静岡大学情報学部情報科学科卒業。2018年3月同大学大学院修士課程修了。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。



村松 弘明

2015年3月静岡大学情報学部情報科学科卒業。2017年3月同大学大学院修士課程修了。在学中、情報セキュリティに関する研究に従事。



大木 哲史 (正会員)

2002年早稲田大学理工学部電子情報通信学科卒業。2004年同大学大学院理工学研究科電子・情報通信学専攻修士課程修了。2010年早稲田大学理工学術院情報・ネットワーク専攻博士(工学)取得。2010年早稲田大学理工

学総合研究所次席研究員, 2013年産業技術総合研究所特別研究員を経て, 2017年より静岡大学大学院総合科学技術研究科講師。情報セキュリティ全般, 特に個人認証を中心としたネットワークセキュリティに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



西垣 正勝 (正会員)

1990年静岡大学工学部光電機械工学科卒業。1995年同大学大学院博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(PD)を経て, 1996年静岡大学情報学部助手。同講師, 助教授の後, 2010年より同創造科学技術大学院教授。博

士(工学)。情報セキュリティ全般, 特にヒューマニクスセキュリティ, メディアセキュリティ, ネットワークセキュリティ等に関する研究に従事。2013~2014年情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会主査。2015~2016年電子情報通信学会バイオメトリクス研究専門委員会委員長。2016年より日本セキュリティマネジメント学会編集部長。2019年より情報処理学会情報環境領域委員長。本会フェロー。