

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)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-07-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高橋, 洋介, 遠藤, 将, 松野, 宏昭, 村松, 弘明, 大木, 哲史, 西垣, 正勝 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00025407

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）

高橋 洋介 遠藤 将 松野 宏昭 村松 弘明 大木 哲史 西垣 正勝

静岡大学 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし 生体情報は一般的に容易に漏洩するという問題が存在するため、生体情報が漏洩した場合であってもなりすましが困難な生体情報が望ましい。これに対して、生体の反射を利用した認証方式が提案されている。著者らは2017年5月BioX研究会において、視標を注視する際の反射的な動きである眼球-頭部協調運動の個人差を用いた認証方式を提案し、単一時刻（視標注視時）の眼球と頭部の位置情報を利用したプロトタイプシステムによって本認証方式の実現可能性を検討した。しかし、本提案方式の本質は移動する視標を眼で追う際のユーザの動的な振る舞いの中に含まれる個人性を利用することにある。そこで本稿では、単一時刻の静止面だけでなく、視標注視時の動的な動きを用いて実験を行うことで、眼球-頭部協調運動に基づく生体反射認証の本来の可用性について検討を行う。

キーワード 生体認証, 生体反射, 眼球-頭部協調運動

A Study on Human Reflex Based Biometric Authentication Using Eye-Head Coordination (part 2)

Yosuke TAKAHASHI Masashi ENDO Hiroaki MATSUNO Hiroaki MURAMATSU
Tetsushi OHKI and Masakatsu NISHIGAKI

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract Biometric information could be easily leaked and/or copied. Therefore, biometric authentication in which biometric information is not required to be secret is desirable. To cope with this issue, we have proposed a user authentication using human reflex response. In BioX (May 2017), we have proposed a biometric authentication using eye-head coordination as the particular instance of reflex based authentication. At this stage, the features of eye-head coordination are calculated from static image when the user viewed the stimulus. However, it is essential to devise a biometric authentication that utilizes the differences in dynamic behavior. In this study, we calculate the features by studying dynamic behavior of eye movement which will be captured using video. We conducted a basic experiment, and we investigated the intrinsic availability of biometric authentication using eye-head coordination.

Keywords Biometric authentication, Human reflex, Eye-head coordination

1. はじめに

生体認証は忘却や紛失の恐れがないなど多くの利点があり、普及が進んでいる。しかしながら、指紋や虹彩などの人間の身体的特徴を用いた生体情報は残留指紋や写真などから生体情報そのものが漏洩し、なりすましが可能であることが知られている[1][2]。

この問題に対処するために、(1) 漏洩しにくい生体情報や、(2) 動的な生体情報を用いた生体認証技術が提案されている。(1) を利用した認証には、手のひらや指の静脈を用いた認証方式が提案されている[3][4]。(2) を利用した認証には、手書きの署名などがある[5]。

しかし、(1) のような通常では漏洩しにくいと考えられる生体情報であっても、隠されたセンサやフィッシングによって、ユーザの望まない状況で不正に生体情報が盗られる可能性が否定できない。一方、(2) のような動的な生体情報であっても、不正者が訓練により正規ユーザの特徴を習得するといったなりすましの危険性を否定できない。

以上より、生体情報が漏洩しても絶対に複製ができず、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方式の要求が考えられる。この要求に対応する一つの方向性として、生体反射型認証[6][7][8]が挙げ

られる．生体反射は人間が自分で制御することができない不随意な生体情報であり，これが不正者に漏洩したとしても，不正者が正規ユーザになりすますことは困難であると期待される．

しかし，既存の生体反射型認証[6][7][8]において用いられている反射（眼球のサカード反射や瞳孔の対光反射）は，生体反射そのものの個人差が大きくないため，静的な生体情報（眼の盲点）と組み合わせが必要であった．そこで著者らは，生体反射そのものの個人差を用いた生体反射認証方式の 1 つとして，眼球-頭部協調運動の個人差を用いた生体反射認証を提案している[9]．眼球-頭部協調運動に基づく生体反射認証の本質は，移動する視標を眼で追う際のユーザの動的な振る舞いの中に含まれる個人性を利用することにある．しかし，文献[9]で試作されたシステムは，視標注視時の眼球と頭部の位置情報のみを用いて認証を行うプロトタイプであったため，不正者が自らの眼球と頭部の位置を「正規ユーザの視標を注視した際の眼球と頭部の位置」に合わせこむことで，なりすましを成功させる可能性を残していた．また，単一時刻（視標注視時）の眼球と頭部の位置情報を利用するだけでは，本人と他人の差が大きく現れないという認証精度の問題も生じた．そこで本稿では，ユーザが正面方向を向いている状態から，側面方向に提示された視標を注視するまでの，眼球と頭部の位置情報の遷移を特徴量として利用することにより，眼球-頭部協調運動に基づく生体反射認証の本来の可用性について検討を行う．

2. 生体反射認証

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，筋肉等が意識とは無関係に反応を起こすことであり，常に決まった形で，自動的かつ機械的に，そして瞬間的に現れる[10]．本稿では，その意味を少し大きく取り，人間が制御できないレベルでの反応を反射と定義する．

人間には様々な反射の存在が確認されており，例えば，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[11]．このような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，例えば「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 特有の生体反射（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，生体反射の個人差に基づく本人認証においては，個人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

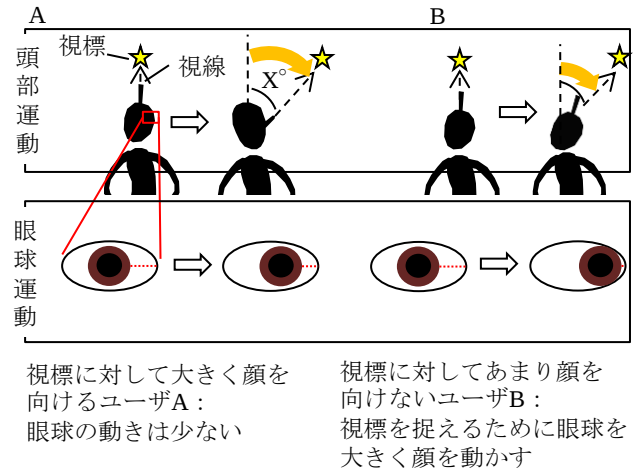


図 1 眼球運動と頭部運動の関係

なり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[12]．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[13][14]．本稿は生体反射そのもの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る．

3. 眼球-頭部協調運動を用いた生体反射認証

3.1. コンセプト

既存の生体反射型認証[6][7][8]では，個人差を有する静的な生体情報を「生体反射を誘発するトリガ」として利用し，なりすましが困難な認証を実現しているが，生体反射そのものの個人差を認証に用いていない．本稿では，反射そのものの個人差を用いた生体反射認証の第一歩として，眼球-頭部協調運動を生体認証へと応用する．

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．この連動は眼球-頭部協調運動と呼ばれる．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）の分布が被験者ごとに個人差が大きいということが，文献[15]によって明らかになっている．この研究は，頭部運動を 3 次元的にとらえることにより，3 次元空間上で視線がどのように制御されているかを明らかにすることを目的としている．そのため，磁気センサを用いて頭部運動を検出し，眼球運動分析装置と組み合わせて実験が行われている．しかし，本人認証をするにあたってこのような装置を使用することは適用先が限定され，現実的でない．

そこで，本稿では，正面方向から視標を注視する際の動画のみから分担比に相当する特徴量を算出する．これにより認証のためのコストの削減やユーザの利便



図 2 角膜イメージングカメラ

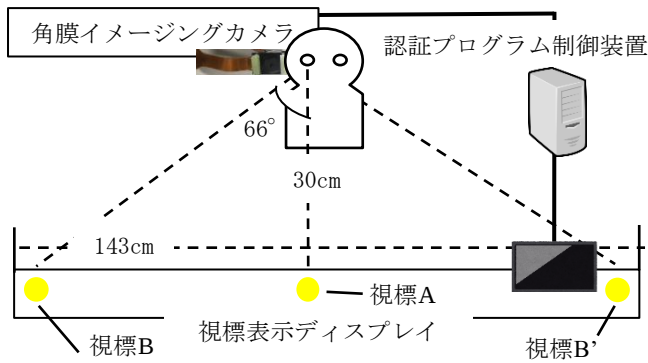


図 3 実験の概観

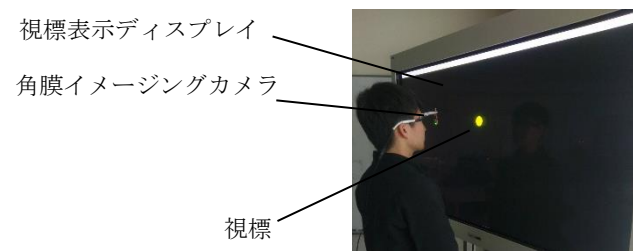


図 4 実験の風景

性の向上が達成され、適用先も広がると考えられる。

3.2. 特徴量

本稿では、視標を注視する際の分担比に注目する。人間が視標を注視する際、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。したがって、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、人間の眼球運動と頭部運動の和が 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、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簡易的に分担比にあたる特徴量を算出することができる。その結果、角膜イメージングカメラ（図 2）によって撮影されるユーザの眼の映像のみから、眼球-頭部協調運動の特徴量を算出することが可能であると考えられる。

3.3. 認証手順

眼球-頭部協調運動における分担比を利用した生体反射認証の手順を説明する。被認証者は、システムが被認証者の注視点を計測できるように、角膜イメージ

ングカメラ（図 2）を装着して認証を行う。

【登録フェーズ】

- ① システムは、被認証者の眼の高さに合わせて視標を表示する。
- ② 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。システムは、被認証者の正面に視標を表示する。その後、システムは認証画面内の左右ランダムな位置に視標を表示する。システムは、被認証者が正面の視標を注視している状態から、左右いずれかの視標を注視するまでの、各時刻の分担比を被認証者の角膜位置から算出し、視標の位置、ユーザ名とともに登録する。

【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名のものを取り出す。
- 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。システムは、被認証者の正面に視標を表示する。その後、認証画面内の左右ランダムな位置に視標を表示する。システムは、その間の被認証者の角膜位置から各時刻の分担比を算出する。視標の表示回数は、システムに要求されるセキュリティ強度によって決定される。
- ④ システムは、登録時と認証時の特徴量（視標の位置と分担比の時間遷移）が十分類似していれば認証成功とする。

3.4. なりすまし耐性

第三者が能動的な不正者であった場合、正規ユーザの眼球と頭部の動きを模倣することによって、なりすましを試みるであろう。しかし、眼球-頭部協調運動は人間にとって不随意的な動作であるため、不正者は仮にある一時刻における「自らの眼球と頭部の位置」をその時刻における「正規ユーザの眼球と頭部の位置」に合わせることができたとしても、正面の視標から左右の視標に眼を移動する間のすべての時刻においてそれを行うことは不可能であると考えられる。これにより、不正者を検出できることが期待される。

4. 基礎実験

眼球-頭部協調運動に基づく生体反射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。実験機器の都合上、各被験者の右眼に設置した角膜イメージングカメラによって取得される動画像を用いて実験を行う。

本来であれば、正規ユーザの認証情報が漏洩した場合であっても、不正者による眼球-頭部協調運動の模倣ができないことを検証する必要があるが、現時点では、眼球-頭部協調運動に個人差があることを検証する段階であるため、なりすましに関する実験は行っていない。

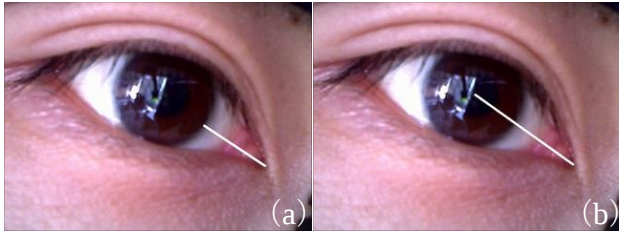


図 5 撮影画像

- (a) 目頭から角膜境界までの距離
- (b) 目頭から角膜中心までの距離

取得したデータの具体例

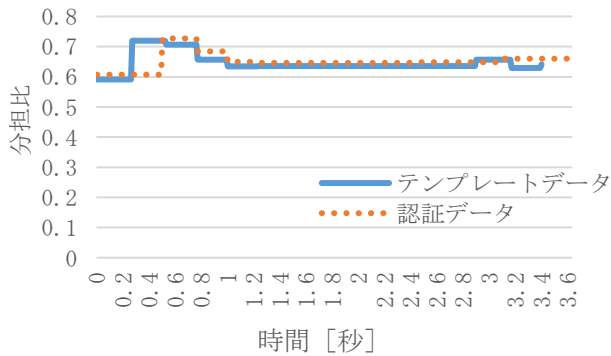


図 6 取得したデータの具体例

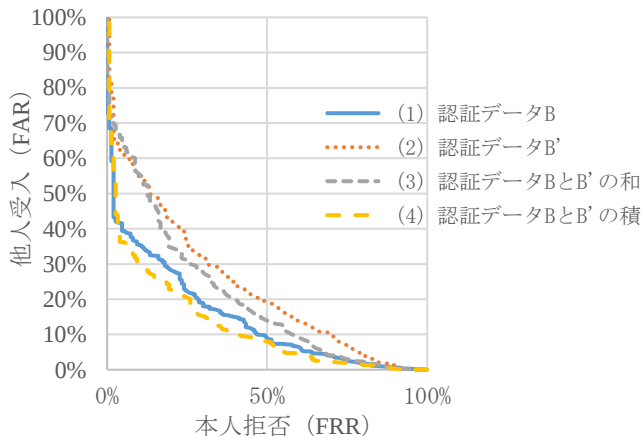


図 7 各判定方法の認証精度

い。

4.1. 実験概要

実験の概観を図 3 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 $32,000 \times 18,000[\text{pix}]$ である。
- ・ 角膜イメージングカメラ：被験者の右眼を撮影する。被験者は図 4 のようにカメラを装着して実験を行う。カメラモジュールは NCM13-J（日本ケミコン株式会社製），撮影画像の解像度は $640 \times 480[\text{pix}]$ とした。また，フレームレートは $15[\text{fps}]$

で撮影した。

- ・ 認証プログラム制御装置：認証フェーズにおける視標の表示および角膜位置の測定を行う。PC（CPU：Inter Core i5 2.6GHz，メモリ：8GB，OS：Windows10 HOME）上で動く JAVA アプリケーションプログラムとして実装した。

4.2. 実験方法およびデータの収集

図 2 に示すように，被験者の右眼から視標までの距離が約 30cm，被験者の正面から視標 B（または B'）に対する視角が約 66° となるように視標表示ディスプレイを設置した。被験者を視標表示ディスプレイの前に立たせ，実験の間，視標を注視し続けるよう指示した。はじめに，視標 A を表示し，被験者に正面方向から注視してもらう。次に，視標 A を消失させ，視標 B または B' のどちらかをランダムに表示させ，被験者が視標 A から視標 B（または B'）を注視するまでの動きを 1 試行とし，その間の被験者の右眼の動画像を取得した。

眼球-頭部協調運動においては個人内であっても分散が大きいことに鑑み，各被験者に登録フェーズの認証試行を 5 回実施してもらった。すなわち，10 名 $\times$ 5 試行 $\times$ 2（視標 B または B'）= 100 個の動画像をテンプレートデータとして収集した。また，実験開始日（テンプレートを登録した当日），約 1 ヶ月後，約 2 ヶ月後にそれぞれ認証フェーズを 5 回実施してもらい，10 名 $\times$ 5 試行 $\times$ 2（視標 B または視標 B'） $\times$ 3 回（実験開始日，約 1 ヶ月後，約 2 ヶ月後）= 300 個の動画像を認証データとして収集した。

3.2 節でも述べたように，本方式では分担保にあたる特徴量として角膜の位置を利用する。今回は，各被験者の右眼の動画像から，目頭から角膜境界までの距離（図 5 (a)）を 1 フレームごとに測定した。なお，被験者ごとの眼の大きさなどによる影響をなくすため，目頭から角膜中心までの距離（図 5 (b)）との比をとることで正規化した。

今回実際に取得したデータの具体例として，被験者 1 の登録フェーズ第 1 試行時の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 6 に示す。

4.3. 評価

4.3.1. 実験結果

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) [16]を用いた。これは 2 つの時系列データ間の距離，つまり非類似度を測るアルゴリズムで，一方のデータを非線形に伸縮させ，最も整合した時点をマッチング結果とするものである。

表 1 認証結果

	(1)	(2)	(3)	(4)
本人拒否率	24.0%	30.0%	28.7%	22.0%
他人受入率	23.9%	30.7%	28.3%	19.4%
等誤り率	23.9%	30.3%	28.5%	21.8%

表 2 静止画と動画の比較

	静止画 (認証データB)	動画 (認証データB)	静止画 (認証データB')	動画 (認証データB')
本人拒否率	27.3%	24.0%	34.0%	30.0%
他人受入率	27.4%	23.9%	34.2%	30.7%
等誤り率	27.4%	23.9%	34.1%	30.3%

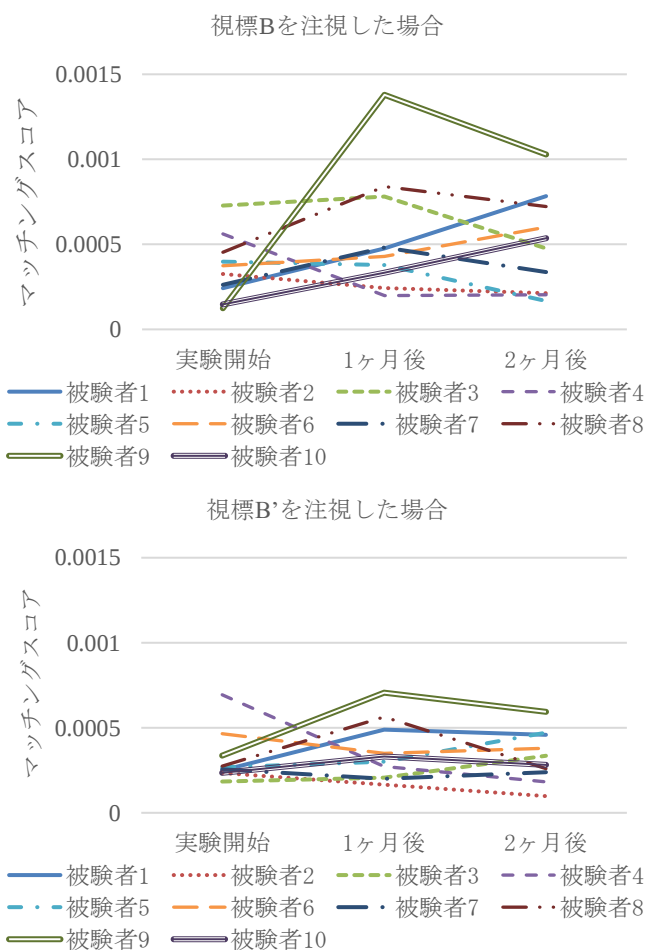


図 8 同一被験者のマッチングスコアの推移

また、被験者ごとに収集した 5 回分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ためにも、DTW を利用した。具体的には、被験者 i の j 回目 ($j=1 \sim 5$) のテンプレートを T_{ij} とし、各 j ごとに、 T_{ij} と $T_{ij'}$ ($j' \neq j$) の DTW のマッチングスコアを計算し、スコアが一番高いものを被験者 i に対する最適なテンプレートとした。

このように選んだ最適なテンプレートデータを用いて、すべての認証データとの DTW のマッチングス

コアを計算した。今回は角膜イメージ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 2 種類に分類し、被験者の右側に視標（視標 B）を提示した場合のデータを「認証データ B」、被験者の左側に視標（視標 B'）を提示した場合のデータを「認証データ B'」とし、以下 4 つの方法で認証率を評価した。

- (1) 認証データ B のみを用いた場合
- (2) 認証データ B' のみを用いた場合
- (3) 認証データ B と B' の和 (OR) を用いた場合
- (4) 認証データ B と B' の積 (AND) を用いた場合

これら 4 つの判定方法での認証結果を表 1 に示す。また、閾値を変化させ、FAR と FRR をプロットした ROC 曲線を図 7 に示す。

図 7 より、眼球-頭部協調運動という生体反射そのものによる個人差が、本人と他人を識別するための情報として利用できることが確認できる。また、表 1 より、視標を右側に提示した場合の認証データ B が、左側に提示した場合の認証データ B' よりも、認証精度が高いという結果が得られた。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、視標を捉える。今回は、角膜イメージングカメラを右眼側に設置したため、右眼が主導的に働く「右側の視標 B の注視」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。更に、認証データ B と B' を積 (AND) の形で組み合わせることによって認証精度が向上していることが表 1 より確認できる。これは、左側の視標 B' 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 B に含まれる本人性と認証データ B' 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。

4.3.2. 動的な眼球-頭部協調運動の利用

本稿では、正面の視標を見ている状態から、右側に提示された視標 B（または左側に提示された視標 B'）を注視するまでの、被験者の右眼の動きを動画で撮影し、各時刻の分担比を特徴量として本人認証を行なっている。一方、文献[9]では、視標注視時の右眼の動きを静止画で撮影し、一時刻の分担比のみを特徴量として本人認証を行なっている。本稿と文献[9]との認証精度を比較するために、今回の実験にて取得した認証データ B（または B'）の動画に対して、各フレームから算出される分担比をすべて用いて認証を行った場合の認証精度と、動画中の「視標 B（または B'）を注視した時点での 1 フレーム（静止画）」から算出される分担比のみを用いて認証を行った場合の認証精度を、それぞれ求めた。その結果を表 2 に示す。

文 献

表 2 より、静止画から得られる特徴量を利用する場合に比べ、動画から得られる特徴量を利用する場合のほうが、高い認証精度が得られることが確認できた。したがって、視標注視時の眼球-頭部協調運動におけるユーザの動的な振る舞いを利用することによって、なりすまし耐性の向上と同時に認証精度の向上も図ることができる。

4.3.3. 経時変化による影響

各被験者の経時変化による影響を調査するために、各被験者のテンプレートデータに対して、実験開始日、約 1 ヶ月後、約 2 ヶ月後における各 5 試行の認証データとのマッチングスコアを求めた。その平均スコアを図 8 に示す。

この結果、何人かの被験者の本人間のマッチングスコアは時間の経過とともに低下することが分かった。したがって、現状の提案方式の適用先は短期間の認証システムに限定されるであろう。しかし、スコアの経時変化が小さい被験者も少なからず存在している。また、経時変化によってマッチングスコアが低下したとしても、認証のたびにテンプレートを更新していくという運用を採ることもできよう。今後は、より長期的に認証可能な方式についても検討を続けていきたい。

5. おわりに

本稿では、眼球-頭部協調運動の個人差を用いた生体反射認証に対して、移動する視標を眼で追う際のユーザの動的な振る舞いの中から特徴量を算出し、本方式の可用性について検討を行った。眼球-頭部協調運動は人間にとって不随意的な動作であるため、不正者は移動する視標を眼で追う間のすべての時刻において正規ユーザの動きと一致させることは不可能であると考えられる。

静止画から得られる特徴量を利用する場合[9]に比べ、認証精度の向上が確認でき、特徴量を積 (AND) の形で組み合わせることで等誤り率 21.8% という最も良い認証精度が得られた。したがって、視標注視時の眼球-頭部協調運動におけるユーザの動的な振る舞いを利用することによって、なりすまし耐性の向上と同時に認証精度の向上も図ることができる。

しかし、動的な振る舞いであっても、反射という生体情報に本人と他人の差が大きく現れなかったため、さらなる改良が必要である。また、本人間のマッチングスコアは時間の経過とともに低下することが分かり、より長期的に認証可能な方式についても検討を進めていく。

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情報学研究科中澤篤志先生に感謝いたします。

- [1] T. Matsumoto, "Gummy and conductive silicone rubber fingers importance of vulnerability analysis," *Advances in Cryptology-ASIACRYPT 2002*, Springer, pp.574-575, Dec. 2002.
- [2] J. Daugman, "Recognizing Persons by their Iris Patterns," *Advances in Biometric Person Authentication*, Springer, pp.5-25, Dec. 2004.
- [3] M. Watanabe, "Palm vein authentication," *Advances in biometrics*, pp.75-88, Jan. 2008.
- [4] D. Mulyono, H. S. Jinn, "A study of finger vein biometric for personal identification," *Proc. Int. Symp. Biometrics & Security Technologies, ISBAST 2008*. Islamabad, pp.1-8, Apr. 2008.
- [5] A.K. Jain, F.D. Griess, S.D. Connell, "On-line signature verification," *Pattern Recognition*, Vol.35, No.12, pp.2963-2972, Dec. 2002.
- [6] M. Nishigaki, D. Arai, "A user authentication based on human reflexes using blind spot and saccade response," *International Journal of Biometrics*, Vol.1, No.2, pp.173-190, Aug. 2008.
- [7] 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," *情処学論*, vol.48, no.9, pp.3039-3050, Sep. 2017.
- [8] 青山真之, 山本匠, 高橋健太, 西垣正勝, "生体反射型認証-輻射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-, " *情処学研報*, CSEC-44, pp.85-90, Mar. 2009.
- [9] 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," *信学技法*, Vol.117, No.42, BioX2017-8, pp.61-65, May 2017.
- [10] A.A. Leis, H.H. Zhou, M. Mehta, H.L. Harkey, and W.C. Paske, "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, Nov. 1996.
- [11] R.S. Young, B.C. Han, P.Y. Wu, "Transient and sustained components of the pupillary responses evoked by luminance and color," *Journal of Vision Research*, Vol.33, No.4, pp.437-446, Mar.1993.
- [12] J. Daugman, "Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition," *Int'l J. Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, Vol. 1, No. 1, pp.1-17, Mar.2003.
- [13] B. Sabarigiri, D. Suganyadevi, "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.
- [14] J. Jomier, E. Rault, S.R. Aylward, "Automatic quantification of pupil dilation under stress," in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: Macro to Nano*, pp.249-252, Apr. 2004.
- [15] 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, May. 1992.
- [16] H. Sakoe, S. Chiba, "Dynamic Programing Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition," *IEEE Transactions on acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol.26, No.1, pp.43-49, Feb. 1978.