

生体反射型認証 ー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ー

青山 真之¹ 山本 匠^{2,3} 高橋 健太⁴ 西垣 正勝^{2,5}

¹ 静岡大学大学院情報学研究科 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

² 静岡大学創造科学技術大学院 〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

³ 日本学術振興会特別研究員 (DC1)

⁴ 株式会社日立製作所 システム開発研究所, 〒215-0013 神奈川県川崎市麻生区王禅寺 1099 番地

⁵ 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

E-mail: ^{2,5} nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp, ⁴ kenta.takahashi.bw@hitachi.com

あらまし 生体情報は一般的に容易に漏洩する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っても絶対になりすましができないような生体情報が強く望まれる。著者らはすでに、この問題を解決する一つの方式として生体の反射を利用した認証方式を提案している。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るため、これが不正者に知られたとしても、その不正者が本人を模倣することが困難であると考えられる。よって、生体反射を用いた認証方式はなりすましに対して高い耐性を有すると期待できる。本稿では、生体反射型認証のプロトタイプとして、人間の輻輳反射と眼球形状および両眼間距離を用いた認証方式を提案する。本方式では、3次元空間上に注視目標を提示し、これを注視した場合に輻輳が正しく生じているか否かによってユーザを認証する。実験により本認証方式の実現可能性を検討する。

キーワード 生体認証, 生体反射, 輻輳反射, 眼球形状, 両眼間距離

Proposal of A User Authentication using Convergence Reflex, Eyeball Shape and Eye Distance

Naoyuki AOYAMA¹ Takumi YAMAMOTO^{2,3}
Kenta TAKAHASHI⁴ Masakatsu NISHIGAKI^{2,5}

¹ Graduate School of Informatics, Shizuoka University 3-5-1 Johoku, Naka, Hamamatsu, 432-8011 Japan

² Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University 3-5-1 Johoku, Naka, Hamamatsu, 432-8011 Japan

³ Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science (DC1)

⁴ Hitach, Ltd., System Development, Lab., 1099 Ohzenji, Asao-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 215-0013, Japan

⁵ Japan Science Technology and Agency, CREST

E-mail: ² nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract Biometrics information could be easily leaked and/or copied. Therefore, biometrics authentication in which biometric information is not required to be secret is desirable. We have proposed a user authentication using a human reflex response as a solution that would solve this problem. It is expected that even if people know somebody's reflex characteristics, it is difficult for anybody to impersonate the somebody, since nobody will basically not be able to control his/her own reflex. In this paper, we are studying a user authentication using convergence reflex, eyeball shape and eye distance as a prototype system of reflex-response-based authentication. This system carries out user authentication by checking whether or not an appropriate convergence is obtained in the user's eyes when user looks at target displayed in a 3D space. The availability of the proposed authentication system is evaluated through fundamental experiments.

Keyword Biometric Authentication, Reflex, Convergence Reflex, Eyeball Shape, Eye Distance

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という要件を満たす可能性の

ある認証方式の一つとして、生体反射型認証[4][5][13]が挙げられる。生体反射は人間が自分で制御することのできない不随意な生体情報であり、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

なりすますことは難しいと期待される。

著者らはすでに、物体の注視の際に起こる輻射反射を利用した生体反射認証方式を文献[13]で提案している。人は、カメレオンのようにそれぞれの眼で異なる2点を見ることは基本的に不可能であり、一つの注視目標を無意識かつ自動的に両眼で追う。その際の両眼の方位調節反応が輻射反射である。本認証方式は、ユーザが認証画面内の注視目標を注視した際に、注視目標と両眼の注視点の一致の有無を確認することによって認証を行う。ユーザに要求されるのは、認証中、認証画面内の注視目標を注視することだけである。このように、ユーザの無意識の内に起こる反射を利用することで、不正者の訓練によるなりすましを防ぐことができると思われる。また、注視点検出装置を用いたユーザの注視点の検出は自然光下で測定可能であるため、暗室での待機は不要であり、ユーザの負担も軽減されると期待される。

本稿では、注視目標の提示位置を認証画面上[13]から3次元空間上に拡張することによって、輻射反射に基づく生体反射認証の精度改善を果たす。

2. 輻射反射と眼球形状および両眼間距離

人間の眼は、視野の中心部が最も解像度が高い。このため人間は、体、顔、眼球をコントロールして、興味の対象を視野中心部で捉えようとする。本稿では、人間の視界の中で視野中心部が捉えている点を「注視点」と呼ぶことにする。また、人間は、目標物を視野中心部で捕捉するにあたり、左右2つの眼が1つの点を注視するように、両眼の向きを適切に調整している。この視機能は「輻射反射」と呼ばれ、人間が遠近感を測るための仕組みの一つと考えられている[10]。

輻射反射は、両眼の注視点をリアルタイムで計測し、両注視点の一致を検査することで確認可能である。本研究では、瞳孔-角膜反射法[11]に基づく注視点検出装置を2台用意し、右眼と左眼の注視点をそれぞれ測定する。ただし、輻射反射は万人に起こる生体反射であり、本人認証に利用可能なほどの個人差を有していない。しかし、現在の一般の注視点検出装置においては、ユーザによる眼球の物理的な形状の差異や生理的な固体異差を補償するために、あらかじめユーザごとに注視点の校正（以降、キャリブレーション）が要求される[11]。すなわち、眼球の位置や向きから注視点を検出する過程においては個人差が大きく影響することが分かる。このため、ユーザAのキャリブレーションデータを用いてユーザBの注視点を検出しようとしても、両眼の注視点を正しく取得することができず、左眼と右眼の注視点はそれぞれ別の位置にあるものとして測定される。すなわち、他人のキャリブレーションデータを用いて注視点を検出した場合には、輻射反射を確認することができない。

なお、注視点検出装置によって測定されるのは右眼と左眼のそれぞれの視線ベクトルであることに注意しなければならない。このため、注視点の奥行き方向の位置（以降、輻射距離）を測定するには、左右の眼の視線ベクトルが交差する点を求める（視線交差法[12]）か、または、両眼の角膜反射像間の距離から輻射距離の推定を行う[12]（以下、両眼間距離法）必要がある

¹ 本研究では、不正者は（それぞれの眼で異なる2点を見ることは基本的に不可能だが）認証装置に指示された注視目標とは異なる点を見たり、時には意識的に寄り目をしたりすることは可能であることを考慮し、両眼間距離法を採用することとする。不正者は別の点を見たり寄り目をする（以下、不正視）ことによって、注視点検出装置によって測定される視線ベクトル、および、両眼の角膜反射像間距離を変化させることができる。ここで、視線交差法においては、不正者が不正視を行った際にそれを検出する術がない。例えば不正者がユーザBになりすます場合、自分の視線ベクトルがユーザBの視線ベクトルと一致するように不正視をすることができれば、それは同時に輻射距離のなりすましにも成功したことを意味する。一方、両眼の角膜反射像間の距離から輻射距離を測定する方法であれば、「両眼間の距離」という静的な生体情報の個人差が認証に関与してくるため、なりすましに頑強になることが期待できる。すなわち、不正者がユーザBになりすます場合には、自分の両眼の角膜反射像間距離がユーザBと同じになるように不正視をしなければいけないため、視線ベクトルまでなりすますことは非常に困難であり、逆に、自分の視線ベクトルがユーザBの視線ベクトルと一致するように不正視をしようと思ったら、両眼の角膜反射像間距離がユーザBのものとは異なってしまうと考えられる。

以上のように、輻射反射そのものには有意な個人差が存在しないが、輻射反射を測定する部分に、個人差を有する生体情報である眼球形状を適切に関与させることにより、生体反射型認証の一方式を実現することが可能である。また、視線ベクトルや両眼の角膜反射像間距離については不正視によるなりすましが可能であるが、輻射距離を測定する部分に、個人差を有する両眼間距離を適切に関与させることにより、なりすましに頑強な生体反射型認証の実現を可能にしている。

3. 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

3.1. 認証方式

輻射反射と眼球形状および両眼間距離を利用した認証は以下の手順によって行われる。

【登録フェーズ】

- ① 認証装置は正規ユーザの両眼の視線ベクトル、および、輻射距離をリアルタイムで計測できるように、右眼の瞳孔および角膜反射像の位置から瞳孔-角膜反射法によって右眼の視線ベクトルを検出するにあたってのキャリブレーション、左眼の瞳孔および角膜反射像の位置から瞳孔-角膜反射法によって左眼の視線ベクトルを検出するにあたってのキャリブレーション、両眼の角膜反射像間の距離から両眼間距離法によって輻射距離を検出するにあたってのキャリブレーションをそれぞれ行う。

¹ 著者らが基礎実験を行ったところ、これら2つ手法の輻射距離の測定精度は、被験者と注視目標の距離が被験者から15cm～45cmの場合においては、ほぼ同程度であることが確認された。

- ② 認証装置は、①のキャリブレーションデータをユーザ名とともに登録する。

【認証フェーズ】

- ① 被認証者は認証装置にユーザ名を入力する。
- ② 認証装置は、登録されているキャリブレーションデータを注視点検出装置にセットして、被認証者のそれぞれの眼の視線ベクトルと輻輳距離のリアルタイム計測を開始する。
- ③ 被験者の前方に注視目標が表示される。被験者は認証中、注視目標を注視するように指示される。なお、注視目標の表示位置や表示回数などは、認証装置に要求されるセキュリティ強度によって決定される。
- ④ 認証装置は、検出した両眼の注視点を注視目標の提示位置の情報とともに記録する。
- ⑤ ③、④を必要な回数、繰り返す。

ユーザ A が正規ユーザであれば、検出された両眼の注視点はどちらも注視目標と一致するはずである。これに対し、ユーザ B がユーザ A として認証フェーズを実施した場合には、キャリブレーションデータの差異のため注視点を正しく取得することができず、検出された両眼の注視点は注視目標と一致しないであろう。したがって、両眼の視線が注視目標に向かっており、かつ、輻輳距離が被験者から注視目標までの距離と一致するかを検査することで、正規ユーザ A の認証が可能である。

3.2 なりすまし耐性

ユーザ B が能動的な不正者であった場合、正規ユーザ A のキャリブレーションデータを盗んだ上でユーザ A へのなりすましを試みるであろう。以下、説明を分かりやすくするために、輻輳距離 Z については、両眼の角膜反射像間距離 d を用いて説明する。ここで、両眼間距離法によって d から Z を求める際の関係式を $Z = f(d)$ とする。今、ユーザ A とユーザ B のキャリブレーションデータの差を左眼の視線ベクトル: $(\angle x_L, \angle y_L)$ 、右眼の視線ベクトル: $(\angle x_R, \angle y_R)$ 、両眼の角膜反射像間距離: $\angle d$ としよう。すなわち、ユーザ B が注視目標 (X, Y, Z) を注視した場合の数値が左眼の視線ベクトル: (x_{LB}, y_{LB}) 、右眼の視線ベクトル: (x_{RB}, y_{RB}) 、両眼の角膜反射像間距離: d_B であったとすると、ユーザ B がユーザ A のキャリブレーションデータを用いて注視目標 (X, Y, Z) を注視した場合に、注視点検出装置においては左眼の視線ベクトル: $(x_{LB} + \angle x_L, y_{LB} + \angle y_L)$ 、右眼の視線ベクトル: $(x_{RB} + \angle x_R, y_{RB} + \angle y_R)$ 、両眼の角膜反射像間距離: $d_B + \angle d$ として検出される。

ユーザ A のキャリブレーションデータを入手したユーザ B は、自分とユーザ A とのキャリブレーションデータの差を知ることができる。よってユーザ B は、左眼と右眼の視線ベクトルをそれぞれ $(x_{LB} - \angle x_L, y_{LB} - \angle y_L)$ 、 $(x_{RB} - \angle x_R, y_{RB} - \angle y_R)$ に向けた上で、両眼の角膜反射像間距離を $d_B - \angle d$ となるようにすれば、認証装置（注視点検出装置）に自分の左眼の視線ベクトル (x_L, y_L) 、右眼の視線ベクトル (x_R, y_R) 、輻輳距離 $f(d)$ のすべてがユーザ A と同じであると思わせることができるということが分かる。

そこでユーザ B は、意図的に左眼と右眼の視線ベク

トルをそれぞれ $(x_{LB} - \angle x_L, y_{LB} - \angle y_L)$ 、 $(x_{RB} - \angle x_R, y_{RB} - \angle y_R)$ に向けることを試みる。しかし、ユーザ B 自身の輻輳反射のため、ユーザ B にとって左眼と右眼で異なる方向を見ることは訓練を積んだとしても不可能に近いと考えられる。また、仮に、寄り目をしながらある点を注視した際に、ちょうど左眼と右眼の視線ベクトルがそれぞれ $(x_{LB} - \angle x_L, y_{LB} - \angle y_L)$ 、 $(x_{RB} - \angle x_R, y_{RB} - \angle y_R)$ となることがあったとしても、その際に同時に両眼の角膜反射像間距離も $d_B - \angle d$ に一致する確率は低いと期待される。逆に、ユーザ B が、自分の両眼の角膜反射像間距離が $d_B - \angle d$ となるように意図的に寄り目などをした場合も、その際に同時に、左眼と右眼の視線ベクトルまで $(x_{LB} - \angle x_L, y_{LB} - \angle y_L)$ 、 $(x_{RB} - \angle x_R, y_{RB} - \angle y_R)$ に合わせるようなことはほぼ不可能であると推測される。

このように、本認証方式は、登録されている生体情報(キャリブレーションデータ)が漏洩したとしても、なりすましが困難であると予想される。

4. 輻輳反射と眼球形状および両眼間距離を利用した認証システム

4.1 システム構成

認証システムは、制御装置、注視点検出装置、アゴ台、注視目標表示装置から構成される。各装置の詳細を以下に示す。

- 制御装置：3.1 節に示した登録フェーズ、認証フェーズの各ステップを実行する認証プログラムを C++ 言語により実装した。プログラムは Pentium4² 3GHz、2GB Memory、Windows XP Professional³ の PC にて実行される。注視点検出装置から被認証者の注視点情報を受け取り、認証の判定を行う。
- 注視点検出装置：
 - 【視線測定装置（左眼用）】赤外線 LED（テクノワークス社 TE9171）を備えた赤外 CCD カメラ（テクノワークス社 TE-9170）により、被験者の左眼を撮影する。撮影画像から角膜反射点と瞳孔の中心部を求め、瞳孔-角膜反射法[11]により被験者の左眼の視線ベクトルを推定する。
 - 【視線測定装置（右眼用）】左眼用の視線測定装置と同じ装置であり、被験者の右眼の視線ベクトルを推定する。
 - 【輻輳距離測定装置】赤外 CCD カメラ（テクノワークス社 TE-9170）により、被験者の左右の眼球上の角膜反射像を撮影する。撮影画像から両眼の角膜反射像間の距離を求め、両眼間距離法[12]により被験者の輻輳距離を推定する。
- アゴ台：実験環境を常に一定に保つため、被認証者の頭部を顎、額、左右側頭部の 4 点で固定する。アゴ台の設置位置は全被験者で共通で、同じ場所にアゴ（顔）が置かれるように座ってもらう。アゴ台に顔を乗せた状態で、CCD カメラの画像が被認証者の眼球を捉えるように、カメラの仰角を

² Pentium4 は、Intel Corporation の登録商標です。

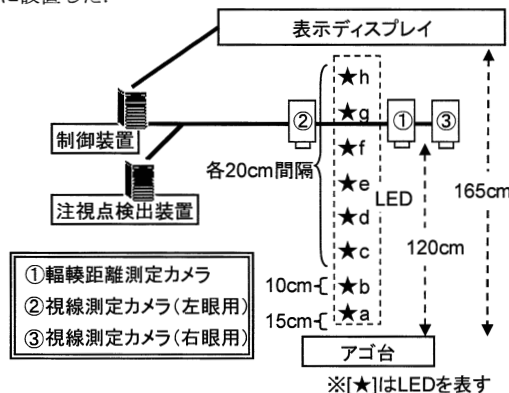
³ Windows XP Professional は、米国 Microsoft Corporation 及び他の諸国における登録商標です。

設置する。なお、アゴ台の場所が固定されているため、被験者の両眼は常におよそ同じ位置にくるが、今回はカメラの仰角の微調整については認証の都度、行うようにした。

- ・ 注視目標表示装置：制御装置の制御に従い、注視目標を提示する。制御装置の指示を被認証者に伝えるインタフェースでもある。表示ディスプレイと8個のLED (a~h) から構成される。表示ディスプレイはSAMSUNG 32 型液晶カラーモニタ SyncMaster⁴ 323Tを使用した。解像度は 1280×1024 ピクセルとした。

4.2 システム概観

システムの配置は図1のようにになっている。被認証者は認証フェーズおよび登録フェーズ実行時にはアゴ台に頭部を固定され、表示ディスプレイ及びLEDを両眼で見るようになる。眼球の位置から表示ディスプレイまでの距離を165cmとし、認証画面の使用領域の両端が視角で約24°となるように設置した。LEDは被験者の正面15cm, 25cm, 45cm, 65cm, 85cm, 105cm, 125cm, 145cmの距離に設置した。また、視線測定用のカメラ、輻輳距離測定用のカメラは被験者の前方120cmの距離に設置した。



※[★]はLEDを表す

図1：システムの概観

4.3 登録／認証プログラム

注視点検出を行うにあたって、登録フェーズで注視点検出装置のキャリブレーションを行う必要がある。今回は、瞳孔-角膜反射法[11]による左右眼のそれぞれの視線ベクトルの測定に対するキャリブレーションにおいては、図1に示す表示ディスプレイ上の上下左右斜めの8方位の端点及び中心に表示した円形画像を利用した。また、両眼間距離法[12]による輻輳距離の測定に対するキャリブレーションにおいては、図1に示す8個のLED (a~h) を利用した。

認証フェーズにおいては、被験者からの距離が最も近い3個のLED (a~c) を注視目標として使用することにした。すなわち今回の認証システムでは、ユーザに3点の注視点 (a~c のLED) を注視してもらい、す

べての注視点において注視点検出装置が検出したユーザの両眼の注視点が注視目標に十分一致した場合に認証成功と判定する。それぞれの注視目標を注視してもらう時間は、およそ1秒である。

なお、登録フェーズおよび、認証フェーズにおける両眼の撮影は、3台のCCDカメラによって同時に実施される。

5. 実験

本認証方式の実現の可能性を示すため、4章にて実装した認証システムを使用して、輻輳反射における個人内・個人間の差に関して調査するための基礎実験を行った。被験者は本学情報系学科の学生4名(A~D)とした。本システムで使用している注視点検出装置は自然光下での注視点検出が可能であるが、今回はより鮮明な瞳孔画像を得るために0.08~0.15lxの暗室にて実験を行った⁵。各被験者には、実験1日目に登録フェーズ（キャリブレーション）を実行してもらい、4日目と25日目に認証フェーズを実施してもらった。なお、被験者には事前に本実験に関する説明を十分に行った。今回は裸眼での実験を実施した。

5.1 本人認証率と他人受入率に関する検証

本認証方式は注視点検出装置が検出したユーザの両眼の注視点と注視目標の一致／不一致によって認証を行う。ここで、本認証方式が機能するためには、注視点の個人間の差異が個人内の揺らぎと比べ有意であることが必要条件となる。これを確認するために、本人のキャリブレーションデータを用いて注視点を検出した場合と、他人のキャリブレーションデータを用いて注視点を検出した場合に対し、以下の(1)および(2)を評価した。

(1) 視線ベクトル精度：EP(α, β, γ)

被験者 α のキャリブレーションデータを用い、被験者 β が実験 γ 日目に認証フェーズを実行した際の、「認証装置にて検出された左眼の視線ベクトルの、注視目標方向に対する角度のずれ(単位:度)」と「認証装置にて検出された右眼の視線ベクトルの、注視目標方向に対する角度のずれ(単位:度)」の平均。 $\alpha = \beta$ の場合に本人認証率を、 $\alpha \neq \beta$ の場合に他人受入率を測る指標となる。

(2) 輻輳距離精度：CP(α, β, γ)

被験者 α のキャリブレーションデータを用い、被験者 β が実験 γ 日目に認証フェーズを実行した際の、「被験者から注視目標までの実際の距離」と「認証装置にて検出された輻輳距離」の差を「被験者から注視目標までの実際の距離」で除した値の平均。EPと同様、 $\alpha = \beta$ の場合に本人認証率を、 $\alpha \neq \beta$ の場合に他人受入率を測る指標となる。

まず、各被験者に被験者自身のキャリブレーションデータを用いて各注視目標を注視してもらった場合の注視精度 (EP(i,i,k) : i=A~D,k=4,25) および輻輳反射精度 (CP(i,i,k) : i=A~D,k=4,25) を算出した。続いて、各被験者に自分以外のキャリブレーションデータを用

⁴ SyncMasterはSamsung Electronics CO.,Ltdの登録商標です。

⁵ 対光反射を用いる文献[5]の方法と異なり、本方式では暗室入出後、すぐに実験を開始して構わない。

いて注視目標を注視してもらった場合に対しても同様の値 ($EP(i,j,k)$, $CP(i,j,k)$: $i,j=A\sim D$, $k=1,4,25$, ただし $i\neq j$) を算出した⁶。これらの結果をそれぞれ図2, 図3に示す。図2, 図3は、被験者 α のキャリブレーションデータごとに、各被験者 β の実験1日目、4日目、25日目の視線ベクトル精度EP、輻輳距離精度CPの結果をそれぞれ左から順に示す。ただし、 $\alpha=\beta$ の場合は、実験1日目のデータは登録フェーズのキャリブレーションのためのデータとなるため、図2, 図3にプロットされるのは実験4日目、25日目の結果のみとなる。

次に、全被験者 i ($i=A\sim D$) に対して、本人のキャリブレーションデータを用いて注視点を検出した場合の視線ベクトル精度 $EP(i,i,k)$ および輻輳距離精度 $CP(i,i,k)$ の最大値を閾値 θ_{EP} , θ_{CP} として設定し、 i 以外の被験者 j が i のキャリブレーションデータを用いて注視点を検出した際に、視線ベクトル精度、輻輳距離精度がそれぞれ閾値を超えるかどうかを求めた。これらの閾値もあわせて図2, 図3に示す。

図2, 図3の結果から、視線ベクトル精度EPと輻輳距離精度CPがともに本人の揺らぎの最大値以内に収まるのは本人だけ(すなわち、 $i,j=A\sim D$ に対し、 $EP(i,j,k)\leq\theta_{EP}$, $CP(i,j,k)\leq\theta_{CP}$ を同時に満たすのは $i=j$ のときのみ)であることが分かる。この結果から、視線ベクトル精度EPと輻輳距離精度CPを用いて、本人と他人の切り分けが可能であることが確認できる。なお、今回の θ_{EP} および θ_{CP} の値は、それぞれ 1.66, 1.75 であった。

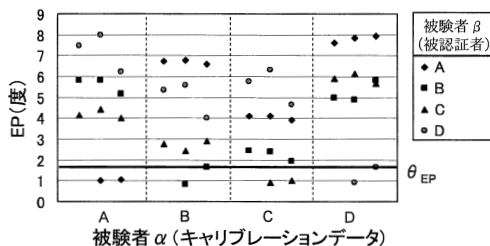


図2: 各被験者の視線ベクトル精度EP

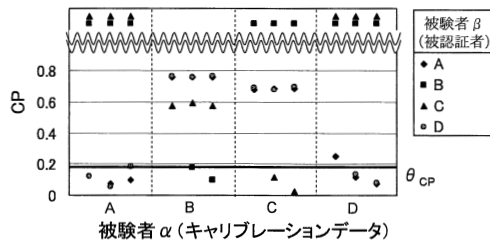


図3: 各被験者の輻輳距離精度CP

5.2 なりすましに関する検証

生体情報が漏洩した際に、本当になりすましが不可

⁶ 実験1日目のデータは、本人にとっては登録フェーズのデータとして用い、他人に対してはなりすまし実験のデータとして使用している。

能であるかを検証した。すなわち、攻撃者が正規ユーザとのキャリブレーションの差を考慮して、認証装置が提示する注視目標とは別の点を見たり、寄り目をするなどの不正視をすることにより、なりすましが可能であるか否かを確認した。

本稿では、正規ユーザ i のキャリブレーションデータを入力した攻撃者 j が、自分(攻撃者 j)と正規ユーザ i の視線ベクトルの差異を知り、不正視をすることによって、認証装置にて測定される攻撃者 j の視線ベクトルを正規ユーザ i の視線ベクトルと完全に一致させることができたという場合を想定する。そしてその際に、認証装置にて測定される攻撃者 j の輻輳距離までが同時に正規ユーザ i の輻輳距離と一致してしまうことがないかを、以下の手順で確かめた。

- 1) 正規ユーザ i が注視目標のある点を注視した際の、左右眼それぞれにおける「角膜反射点と瞳孔中心の相対位置」を調べる。
- 2) 攻撃者 j の視線ベクトルの測定に対するキャリブレーションデータから、「攻撃者 j の左右眼それぞれにおける「角膜反射点と瞳孔中心の相対位置」が1)の値となる場合の、攻撃者 j の実際の左右眼それぞれの視線ベクトル」を逆算する⁷。
- 3) 2)で算出された攻撃者 j の実際の視線ベクトルが、攻撃者 j 自身の輻輳反射の性質に反する場合(すなわち、攻撃者 j による正規ユーザ i へのなりすましは不可能であると判定する。具体的には次のア、イ)をどちらか一方でも満たす場合、輻輳反射に反しているとみなす。
 - ア) 左右の眼の視線ベクトルの水平方向成分が交わらない(人間は寄り目をすることはできるが、意図的に両目を離す方向に向けることはできない)。
 - イ) 左右の眼の視線ベクトルの垂直方向成分の角度差が θ° を超えている(人間は、片眼で上をもう片眼で下を同時に見ることはできない)。今回は経験的に $\theta=2.52^\circ$ とした。
- 4) 3)の判定に通過した場合には、2)で算出された攻撃者 j の左右眼の視線ベクトルからその交差点を求め、攻撃者 j の実際の輻輳距離(視線ベクトルの交差点から攻撃者までの奥行き方向の距離)を求める。
- 5) 攻撃者 j の輻輳距離の測定に対するキャリブレーションデータから、「攻撃者 j の輻輳距離が4)で算出された値である場合における、攻撃者 j 本人の「両眼の角膜反射像間距離」を逆算する。
- 6) 正規ユーザ i の輻輳距離の測定に対するキャリブレーションデータから、「攻撃者 j の「両眼の角膜反射像間距離」が5)で算出された値であった場合に、正規ユーザ i のキャリブレーションデー

⁷ 攻撃者 j が2)で算出された視線方向を注視した際に、認証装置(注視点検出装置)にて計測される攻撃者 j の「角膜反射点と瞳孔中心の相対位置」が、正規ユーザ i が注視目標を注視した際の「角膜反射点と瞳孔中心の相対位置」と一致し、認証装置は攻撃者 j の視線ベクトルを正規ユーザ i の視線ベクトルを区別できなくなる。

タがセットされている認証装置（注視点検出装置）においては、攻撃者 j の輻輳距離がどれくらいの値として測定されるか”を逆算する。

- 7) 6)で算出された輻輳距離が「攻撃者から注視目標までの実際の距離」と十分近ければ、攻撃者 j は正規ユーザ i として認証されることになる。この判定を行うために、6)で算出された輻輳距離に対する輻輳距離精度 CP を求める。
- 8) すべての注視点に対して 1)～7)を繰り返し、輻輳距離精度 CP の平均を求める。その値が 5.2 節の実験で求めた θ_{CP} よりも小さければ、攻撃者 j の正規ユーザ i に対するなりすましは成功、大きければ失敗と判定する。

すべての被験者（A～D）の組合せに対して、上記の判定を行った。手順 7)にて得られた輻輳距離精度 CP を図 4 に示す。なお、手順 3)の α 、 γ の時点でありすましが不可能であると判定されたケースについては、図 4 には記していない。図 4 より、なりすましが成功するという結果が得られたケースは 0 であることが確認できる。

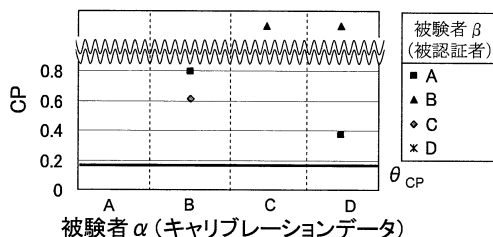


図 4：なりすまし攻撃者の輻輳距離精度 CP

6. まとめ

生体情報そのものが漏洩しやすいという生体認証が抱える重大な問題を解決するために、生体の反射を利用した認証方式を提案した。生体反射は人間が自らの意思で制御することができないため、生体情報が漏洩したとしても、不正者が本人になりすますることは困難である。本稿では、生体反射型認証のプロトタイプである輻輳反射と眼球形状および両眼間距離を用いた認証システムを構築し、基礎実験から生体反射型認証の実現の可能性を示した。今後は、より多くの被験者における本人認証率と他人受入れ率の測定を行うとともに、なりすまし耐性についても検証していきたい。

謝辞

静岡大学情報学部情報科学科 林部敬吉様、工学部システム工学科 海老澤嘉伸様には人間の視覚の仕組みおよび視線測定技術に関しての有益なる助言を頂いた。ここに深く謝意を表す。また、本研究は一部、(財)セコム科学技術振興財団の研究助成を受けた。

文 献

- [1] 松本勉，平林昌志，“虹彩照合技術の脆弱性評価（その 2）”，コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS2003) 論文集，pp187-192 (2003)。
- [2] バイオメトリクスセキュリティコンソーシアム

編集，“バイオメトリクスセキュリティ・ハンドブック”，pp186-197，オーム社 (2006)。

- [3] 中西巧，西口直登，伊藤良生，福井裕，“DWT によるサブバンド分解と適応信号処理を用いたオンライン署名照合”，電子情報通信学会論文誌 A，Vol. J87-A，No. 6，pp. 805-815 (2004)。
- [4] 西垣正勝，荒井大輔，“生体反射を利用した認証方式”，情報処理学会論文誌，vol. 47 no. 8，pp. 2582-2592 (2006)。
- [5] 小澤雄司，西垣正勝，“生体反射型認証：対光反射と盲点位置を利用した認証方式（その 3）”ユビキタスネットワーク社会におけるバイオメトリクスセキュリティ研究会，研究発表会予稿集，pp. 19-26 (2007)。
- [6] 森宏一 編集：哲学辞典，p. 385，青木書店 (2000)。
- [7] 小田高広，“アイリスコード生成装置およびアイリス認識システム”，特許第 3315648 号。
- [8] 松本勉，平林昌志，“虹彩照合技術の脆弱性評価（その 2）”，コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS2003) 論文集，pp. 187-192 (2003)。
- [9] 宇根正志，松本勉，“生体認証システムにおける脆弱性について：身体的特徴の偽造に関する脆弱性を中心に”，金融研究，vol. 24，No. 2，pp. 35-84 (2005)。
- [10] Richard L. Gregory 著，近藤倫明・中溝幸夫・三浦佳世 訳：脳と視覚 グレゴリー視覚心理学，p73，ブレーン社 (2001)。
- [11] 大野健彦，“視線インタフェースから視線コミュニケーションへ”，情報研報 2001-HI-95，Vol. 2001，No. 087，pp. 171-178 (2001)。
- [12] 黒田嘉宏，森下裕太，増田 泰，黒田知宏，大城理，“角膜反射像の間隔による注視点奥行き推定と注視提示”，ヒューマンインタフェース学会，Vol. 10，No. 2，pp. 31-38 (2008)。
- [13] 青山真之，西垣正勝，“生体反射型認証—輻輳反射と眼球形状を利用した認証方式の提案—”情報処理学会研究報告，Vol. 2007，No. 71，pp. 185-191 (2007)。