

視線の軌跡情報を用いた個人認証手法に関する一検討

向井 寛人^{1,a)} 小川 剛史^{2,b)}

概要: 生体情報を用いた個人認証技術は長年研究されており、現在では指紋認証や虹彩認証はしばしば実用されている。しかし、このような身体的特徴はひとたび盗まれて複製されてしまうと二度と使用できないという危険性がある。筆者らは、自ら目を動かし視線で文字や記号を描画することで認証するといった行動的特徴を用いた手法について研究をしている。本稿では、視線の軌跡情報から個人の判別が可能であるかどうかを検証するために実施した分類実験について述べる。

キーワード: 生体認証, 視線の軌跡

A Study on the Personal Authentication Using the Path of Eye Movements

HIROTO MUKAI^{1,a)} TAKEFUMI OGAWA^{2,b)}

Abstract: There have been several studies on personal authentication technologies using biological information. Personal authentication systems using biometrics like fingerprints or iris have already come onto the market. There are some problems with biometric systems using physical characteristics. For example, if someone copied our fingerprints, we cannot update them. We are studying on personal authentication using the path drawn by eyes as behavioral characteristics. In this paper, we conducted the experiments to classify paths drawn by subjects' eyes. Experimental results suggested that a person can be identified using the paths.

Keywords: biometrics, path of eye movements

1. はじめに

スマートフォンやパソコンなどの電子デバイスを利用する時や、オンラインショッピングなどのネットワークサービスを利用する時など、日常生活において個人認証を必要とする場面が爆発的に増加している。最も利用されている認証方式は、ID とパスワードを用いた認証方式であるが、

パスワード認証はブルートフォース攻撃などの脅威に常に晒されており、認証情報の漏洩による「なりすまし」や「不正アクセス」の危険がある。そこで、複雑なパスワードを設定したり、システム毎に異なるパスワードを設定したりとセキュリティ対策が行われているが、人間の記憶に基づく認証方式は限界を迎えている。このような問題に対する解決策として、指紋 [1] や虹彩 [2] など生体情報を用いた個人認証方式が注目を集めている。

生体情報には指紋や虹彩といった身体的特徴を示す情報と筆跡 [3] や歩容 [4] といった行動的特徴を示す情報がある。生体情報は個人がもつ固有の情報で、盗難や複製が困難であることから、高いセキュリティを維持できると言われているが、万一、情報が盗まれて複製されると、身体的

¹ 東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo

² 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo

a) h.mukai@ogawa-lab.org

b) ogawa@nc.u-tokyo.ac.jp

特徴は半永久的に変化することがないため、二度と使用できないといった問題もある。一方で、行動的特徴は個人の動作的な特徴を利用するため複製される可能性が低く、仮に複製された場合でも別の動作を利用することで対応が可能である。

行動的特徴として視線を用いた研究は多くされており、視線は筆跡や歩容などの行動的特徴に比べて外部からその動きが分かりづらく、また虹彩認証や顔認証 [5] などと併用できる可能性があるといった利点がある。本研究では自分の目を動かして視線で文字や記号を描くことで認証を行うといった行動的特徴を利用した手法の実現を目的としている。本稿では、視線の軌跡情報から個人の判別が可能かどうかを検証するために実施した分類実験について述べる。

以下、2章で視線を利用した個人認証に関する従来研究について述べ、3章で提案する視線の軌跡情報を利用した個人認証手法について述べる。4章では視線の軌跡情報による個人判別性能を検証するために実施した分類実験について述べ、最後に5章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

これまでに生体情報として視線を用いた個人認証に関する研究が盛んに行われている。

目の動的な特徴を認証に利用した初期の研究に Kasrowski の研究が挙げられる [6]。Kasrowski は 3×3 の格子点を跳躍移動する点を目で追わせ、その時の目の方向毎の速さ分布や刺激点に対する視線の位置などを特徴量として抽出し、認証に用いた。Bednarik らは Kasrowski のような動的な刺激ではなく、白い背景の中心に黒い十字が描かれた静止画像を見た際の目の動きを認証に用いた [7]。この手法は視線の速さや瞳孔の大きさの変化、両目の距離の変化などを特徴量として取り入れた。一方、これらのように同一の刺激に対する視線情報を用いる手法はすべてタスクが限定的であり学習効果によって精度が劣化する可能性があることを懸念し、Kinnunen らはテストデータと学習データで異なる刺激を用いる、タスクに依存しない手法を提案した [8]。これは動画を見る際の視線の動きから方向のヒストグラムを構築し、混合ガウス分布により認証を行う手法である。このタスクに依存しない手法は認証時の刺激を毎回異なるものにする事ができるため、他人になりすまされる可能性がより低くなるといった利点もある。また、他にも Holland らは点刺激や静止画像などを見る場合のような視線の反射的な動きではなく、文章を読む際のように意識的な視線の動きから、その注目領域数や停留数などの特徴を用いて認証を行った [9]。

以上の既存研究では、何らかの刺激を与えた場合の視線の動きを利用しており、実際に認証システムを構築するに

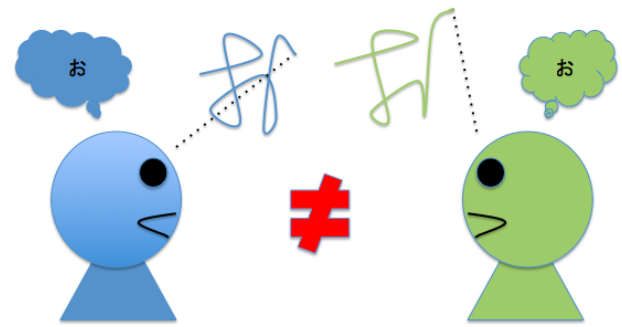


図 1 視線で描く軌跡のイメージ

はそれらの刺激を提示するディスプレイなどが必要となる、または個人が複数のパスワードを持つ事が困難であるといった問題がある。

3. 提案手法

3.1 視線の軌跡情報を用いた認証

我々の提案する手法は図 1 のように文字や記号などの軌跡を自らの視線で描くことで認証を行う手法である。この手法は指紋や虹彩などの身体的特徴を用いる認証とは異なり、行動的な特徴を用いるため盗まれる可能性が低く、万が一盗まれたとしても複製される可能性が低い。仮に複製された場合でも別の動作を用いることで対応が容易に可能である。また、筆跡や歩容のような別の行動的特徴を用いた認証と比べても認証動作が外部から見づらく、虹彩や顔などの身体的特徴を用いた別の認証手法と併用できる可能性がある。

この提案手法は 2 節で述べた視線を用いた従来研究のような移動する点刺激や静止画像など提示された刺激に対する視線の動きや反応を用いていないため、刺激提示用のディスプレイなどの装置が不要であり、実用上の制約が少ない。さらに同一人物でも描く記号や文字を使い分ければ複数のパスワードを容易に所持することが可能である。つまり複数のパスワードを所持できるという事は、人物の認証だけでなく、その目的も同時に登録できることを示している。例えば利用者が文字 C を視線で描くことでエアコンのスイッチを入れたり、文字 T を描くことでテレビのスイッチを入れたりなど、利用するサービスによって異なるパスワードが登録できる。この場合、どれか 1 つのパスワードが盗まれて複製されても他の用途には流用できず、高いセキュリティを維持できる。

3.2 視線データの取得

視線のデータの取得に図 2 に示すトビー・テクノロジー社の Tobii TX300 を使用し、画面から約 60cm の位置に顎を固定し、画面上に目で文字を描く。アイトラッカは、利用者の利き目の視線位置を約 50Hz で記録する。



図 2 視線計測装置 (Tobii TX300)

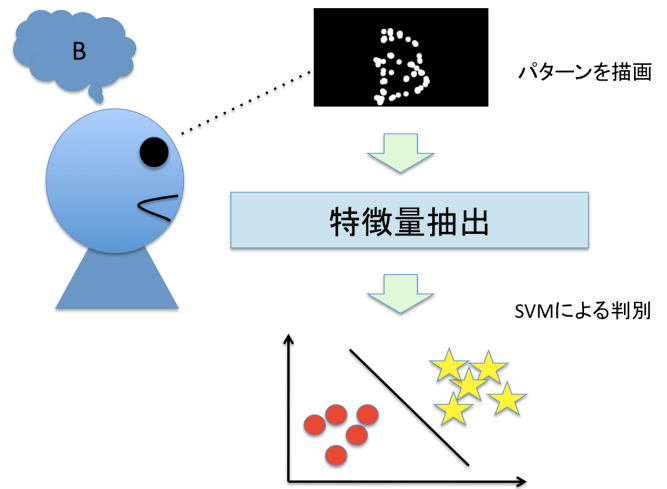


図 3 検証実験の流れ

3.3 特徴量抽出

視線で描かれた文字に関して、文字そのものだけでなく、そのサイズや描くのに必要な時間にも個人の特徴が現れると考え、アイトラッカで取得した視線情報から以下に示す特徴量を抽出する。

軌跡サイズ：手書きの文字と同様に、人によって描く軌跡の大きさに変化があると考えられる。そこで、描かれた軌跡のバウンディングボックスの横幅および縦幅のピクセル数を用いる。

描画時間：描く軌跡のサイズや複雑さにより、その描画に必要な時間は変化すると考えられるが、人による描き方にも影響を受けると考えられる。そこで、アイトラッカが秒間 50 フレームで視線位置を記録しているため、描かれた軌跡に含まれるフレーム数を特徴量とする。

視線移動速度：視線で軌跡を描く際に、人やその軌跡の形状によって視線移動速度の分布に違いがあると考えられるため、連続する 2 フレーム間の視線座標の差を移動速度と定義して、その平均値と標準偏差を用いる。

軌跡のルート：視線がどのようなルートで軌跡を描いたかを示す時系列データとしてフレーム数を基準に軌跡を 30 の区間に分割し、各区間における平均座標と平均速度を特徴量とする。ルート情報を用いることで、仮に同じ形状の軌跡であっても、描く順序や描く際の速度分布に、個人の特徴が表れることを期待している。なお、座標は軌跡のバウンディングボックスの左上端の頂点を基準としているため、画面のどの場所に描いても値は変わらない。

以上により、一つの視線軌跡から計 155 次元の特徴量を抽出する。

4. 検証実験

3.3 節に示した特徴量を用いて、視線で文字や記号を描いたときに、どれだけ個人が判別可能であるかを検証する分類実験を行った。本実験の概要を図 3 に示す。被験者が視線で描いた文字や記号をアイトラッカで記録し、特徴量を



図 4 視線計測時のディスプレイ表示

抽出する。抽出した特徴量から誰の描いた視線データであるかを SVM(Support Vector Machine) を用いて判別する。

4.1 実験のタスク

成人男性 10 人の被験者にアルファベットの B と (マル) 記号をそれぞれ 50 回ずつ視線で描かせてデータを収集した。図 4 に示したように、視線計測装置のディスプレイに何も表示しない「背景なし」条件と風景写真を表示した「背景あり」条件の 2 条件で視線を計測した。被験者には軌跡を描く直前と直後にキーボードのスペースキーを押すように指示し、それを視線データ取得の開始と終了のトリガとした。図 5 はある被験者二人の文字 B の軌跡データを視覚化した例である。なお、描く際のスピードや大きさについて明示的な指示は与えていない。図 6 に視線計測時の様子を示す。

被験者に描かせる文字としてアルファベットの B と (マル) 記号を採用した理由は、文字や記号の複雑さの違いが分類にどれだけ影響するのかを調べるためであり、マルはシンプルな形で簡単に描くことができ、B は描く際に視線の方向を上下左右に動かす必要があることから (マル) 記号よりは複雑な文字であると考えた。

4.2 分類実験

4.2.1 SVM を用いた分類

本実験では分類を行うための機械学習手法として SVM

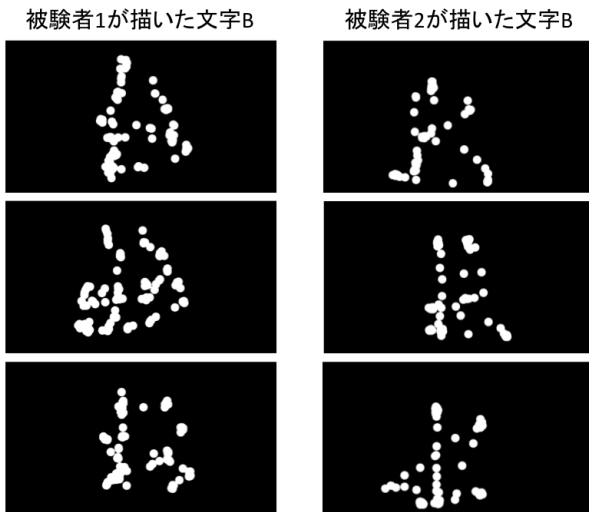


図 5 視線の軌跡例

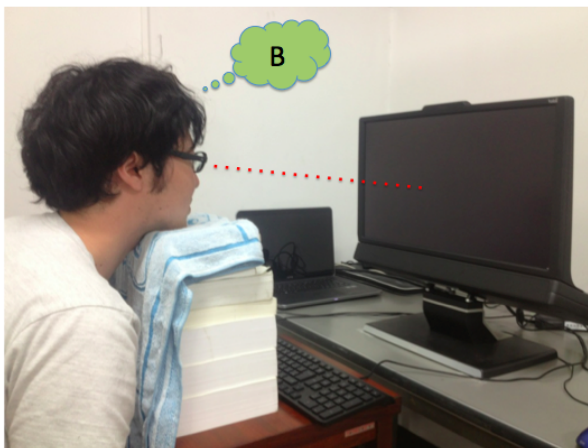


図 6 視線計測時の様子

を利用し、1vs1 法によって 3.3 節において述べた特徴量を用いて人物の分類を行った。特徴量は各次元において平均が 0、分散が 1 になるように標準化を行い 5-fold cross validation で評価した。SVM のカーネルには RBF カーネルを用い、パラメータは学習データの中で cross validation を行いグリッド探索をして最適な値を求めた。

4.2.2 「背景なし」条件の実験結果と考察

「背景なし」条件の下、被験者 10 人から集めたアルファベットの B と (マル) 記号、それぞれ 500 個ずつに対して分類を行った。B および (マル) 記号の分類結果をそれぞれ表 1 および表 2 に示す。分類精度は、B が 91.2%、(マル) が 93.4% となった。

B と (マル) ともに 90% 以上の分類精度が達成できており、個人認証に応用できる可能性があると考えられる。また、文字 B と (マル) 記号ではあまり精度に差がなく、アルファベット程度の形であれば非常にシンプルな (マル) 記号と同様に利用できる可能性がある。表 1 や表 2 において、どの被験者もほぼ正しく分類できており、被験者の違いが分類精度に与える影響も見受けられない。日常生活において、

視線で文字や記号を描くことはあまりなく、不慣れな行為ではあったが、誰もが一定程度安定して様な軌跡を描けており、さらに被験者を分類できる特徴を備えていると考えられる。

4.2.3 「背景あり」条件の実験結果と考察

「背景あり」条件の下で、取得した視線の軌跡データを用いて分類を行った結果、文字 B と (マル) 記号の分類精度はそれぞれ、96.2% および 96.8% となった。また、各被験者毎の分類結果を表 3 および表 4 に示す。分類精度の値は背景なしの時に比べて表 5 のようにどちらも高くなった。

「背景あり」条件は「背景なし」条件よりも、ディスプレイに焦点を合わせやすく、より安定して文字や記号の軌跡を描くことができたため、分類精度が向上したと考えられる。実験後、被験者に対して行ったヒアリング調査において、ほぼすべての被験者が「背景あり」条件の方が「背景なし」条件よりも目印や基準になるものが存在していて軌跡を描きやすく感じると述べていることも、以上の結果を示唆している。一方、図 7 および図 8 は文字 B と (マル) 記号において、各次元の値を 0 から 1 の範囲で個人ごとにスケールした後の特徴量における各次元の分散の平均を示したものであるが、「背景あり」条件が「背景なし」条件よりも特徴量の分散値が常に小さくはなっていない。つまり被験者は、「背景なし」条件よりも「背景あり」条件下で、同じ軌跡を安定して描けているとは言えず、各試行

表 1 「背景なし」条件の B の分類結果

予想	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
正解										
A	47	0	0	0	1	2	0	0	0	0
B	0	41	3	0	0	0	0	1	4	1
C	1	1	43	1	0	1	0	3	0	0
D	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
E	1	0	1	0	44	1	2	0	0	1
F	2	1	0	0	1	46	0	0	0	0
G	0	0	0	0	3	1	44	1	1	0
H	1	0	1	0	0	0	1	47	0	0
I	0	2	0	0	0	0	1	0	46	1
J	0	1	1	0	0	0	0	0	0	48

表 2 「背景なし」条件の (マル) の分類結果

予想	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
正解										
A	49	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B	0	49	1	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	47	0	0	1	0	0	0	0
D	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	47	0	1	0	2	0
F	2	0	0	0	1	47	0	0	0	0
G	0	0	0	0	7	1	38	0	4	0
H	0	0	0	0	0	0	1	47	2	0
I	0	0	0	0	0	0	3	0	47	0
J	2	0	0	0	0	2	0	0	0	46

で描く軌跡には違いが生じていることが分かる。

したがって、被験者の感じた描きやすさは、毎回同じ形を容易に描けるということではなく、焦点を合わせやすいことによる見やすさや疲れにくさのようである。しかし、「背景あり」条件の方が精度が向上しており、分類には何らかの影響があったと考えられるため、今後より詳細な分析を行う予定である。

5. おわりに

本稿では視線で描いた文字や記号から抽出される行動的特徴を用いた個人認証手法を実現するために、まず、視線の軌跡情報によってどれだけ人物の判別が可能であるかを検証する分類実験を行った。実験の結果、「背景なし」条件、「背景あり」条件の双方で90%以上の分類精度となっ

表 3 「背景なし」条件の B の分類結果

予想	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
正解										
A	48	0	0	1	0	0	1	0	0	0
B	1	47	0	0	1	0	0	0	1	0
C	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
D	1	0	0	49	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	45	1	2	0	1	1
F	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
G	0	0	0	0	3	0	46	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	49	1
J	0	0	0	0	1	0	1	0	1	47

表 4 「背景なし」条件の ○(マル) の分類結果

予想	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
正解										
A	48	0	0	0	0	0	1	0	0	1
B	1	48	1	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	49	0	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	47	1	1	1	0	0
F	0	0	0	0	0	49	0	0	0	1
G	0	0	0	0	1	3	46	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
I	0	0	0	0	0	2	1	0	47	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50

表 5 「背景なし」条件と「背景あり」条件の分類精度

	背景なし	背景あり
B	91.2%	96.2%
○(マル)	93.4%	96.8%

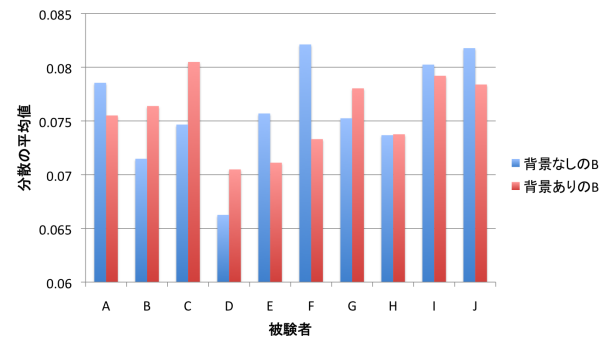


図 7 被験者ごとの B の特徴量の分散

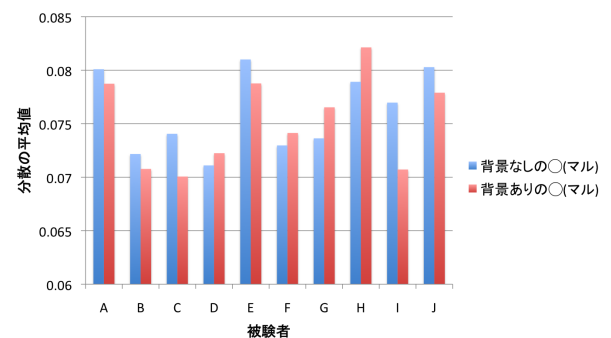


図 8 被験者ごとの (マル) 特徴量の分散

た。このことから、文字や軌跡を視線で描く際の軌跡には個人の特徴が含まれ、個人認証に利用できる可能性があると考えられる。また「背景なし」条件よりも「背景あり」条件の方が高い分類精度を示しており、また軌跡を描きやすかったと被験者からの意見があったことから、何かを見ながら軌跡を描くほうが認証システムに適していると考えられる。

今後は、視線の軌跡を用いた個人認証システムを構築し、その認証精度を検証する予定である。また視線で描く軌跡が時間が経つに連れてどのように変化し、認識精度にどのような影響をあたえるのかについて調査する。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)(25330227)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Vincenzo Piuri and Fabio Scotti. Fingerprint Biometrics via Low-cost Sensors and Webcams. In *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems*, pp. 1-6. IEEE, 2008.
- [2] John Daugman. How Iris Recognition Works. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 21-30, 2004.
- [3] 小南嘉史, 西村広光, 富川武彦. 筆跡情報と筆圧情報の hmm を用いたサイン認証. 神奈川工科大学研究報告. B, 理工学編, Vol. 30, pp. 73-78, 2006.
- [4] Kazushige Sugiura, Yasushi Makihara, and Yasushi Yagi. Gait Identification Based on Multi-view Observations Us-

- ing Omnidirectional Camera. In *Asian Conference on Computer Vision*, pp. 452–461. Springer, 2007.
- [5] Kyong I Chang, Kevin W Bowyer, and Patrick J Flynn. An Evaluation of Multimodal 2D+ 3D Face Biometrics. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 4, pp. 619–624, 2005.
- [6] Paweł Kasprowski. *Human Identification Using Eye Movements*. Phd thesis, Silesian University of Technology, Institute of Computer Science, Poland, 2004.
- [7] Roman Bednarik, Tomi Kinnunen, Andrei Mihaila, and Pasi Fränti. Eye-Movements as a Biometric. In *Image analysis*, pp. 780–789. Springer, 2005.
- [8] Tomi Kinnunen, Filip Sedlak, and Roman Bednarik. Towards Task-Independent Person Authentication Using Eye Movement Signals. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications*, pp. 187–190. ACM, 2010.
- [9] Corey Holland and Oleg V Komogortsev. Biometric Identification via Eye Movement Scanpaths in Reading. In *Proceedings of the 2011 International Joint Conference on Biometrics*, pp. 1–8. IEEE, 2011.