ランダム性を持ったあみだくじ型視線認証の提案

宮崎　翔吾 [a)]・山場　久昭 [b)]・油田　健太郎 [c)]・岡崎　直宣 [d)]

A Study of Amidakuji-type Gaze Authentication with Randomness

Shogo MIYAZAKI, Hisaaki YAMABA, Kentaro ABURADA, Naonobu OKAZAKI

Abstract

Currently, password authentication, PIN authentication, etc. are used in various situations, but resistance to peeping attacks is not enough. And with the improvement of eye tracking technology, gaze authentication is attracting attention as an authentication that is resistant to shoulder surfing. However, there are problems such as improvement of the authentication success rate, shortening of the authentication time, and resistance to other attacks for the gaze authentication. Therefore, in this research, we aimed to improve the problem of gaze authentication by introducing Amidakuji as an aid to gaze input and changing the input of correct answer for each authentication. As a result of implementing gaze authentication using Amidakuji on the desktop and evaluating the time and success rate of authentication and usability, the average total authentication time was 27.5 s and the authentication success rate was 74.0.

Keywords: gaze authentication, shoulder surfing, eye tracking, amidakuji, tobii

1. はじめに

スマートフォンやタブレットのロック画面やウェブサイトへのログイン時などに個人情報を他者に見られないために、個人を識別する様々な認証方式がある。現在、パスワード認証や PIN 認証などは様々な場面で使用されているが、覗き見攻撃への耐性が十分ではない。また、指紋や虹彩などのバイオメトリクス認証は、一度盗まれると変更することができないなどの問題点がある。

近年、視線追跡技術の向上により、スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末やコンピュータの画面のどこをユーザが見ているか判別することが容易になった [1)]。そのため、ユーザの視線を追跡することでキーボード入力やタッチ入力の必要ないユーザ認証を行うことができるようになってきている。この視線追跡技術を用いた認証は、後ろから入力を覗き見る覗き見攻撃や操作した後の熱をたどるサーマルアタック、指紋などの汚れをたどるスマッジアタックなどに耐性を持っている。こういった利点がある一方、視線を用いた認証には認証成功率が低いことや認証に時間がかかること、反復攻撃や録画攻撃で破られる可能性があることなどの欠点が存在する。

そこで本研究では、視線入力の補助としてあみだくじを導入することで、視線認証の問題点を改善することを目的とする。あみだくじは線を視線で辿るため、視線の動きの単純化やブレの減少が期待できる。また、一筆書きで入力が可能なため認証時間の短縮も期待でき、視線認証の入力の補助としてあみだくじを用いることとした。今回提案する手法では、あみだくじの分岐点にパスアイコンを配置し、パスアイコンに沿った視線入力を行うことで個人を識別する。また、反復攻撃への耐性を持たせるために、認証ごとにパスアイコンをランダム配置するチャレンジレスポンス方式をとる。この手法をデスクトップ上に実装し、時間と成功率の評価を行う。また、アンケートによるユーザビリティの評価も行う。

[a)] 工学専攻機械・情報系コース大学院生
[b)] 情報システム工学科助教
[c)] 情報システム工学科准教授
[d)] 情報システム工学科教授

2. 研究背景

2.1 認証要素

認証を行うためには、知識要素、所有要素、生体要素の 3 つの内いずれか 1 つの要素が必要である。また、これらの要素を複数組み合わせることでマルチファクタ認証と呼ばれるより強固な認証を行うことができる。知識要素とは PIN 認証やパスワード認証などの本人しか知らない情報による要素を認証に用いることであり、所有要素とは身分証やセキュリティトークンなどの持っている物を要素として認証する。生体要素とは、指紋や虹彩などの人間の生体の特徴を要素として用いる認証である。

2.2 視線認証

日常生活でモバイル端末やパーソナルコンピュータなどのロック解除や、個人のアカウントや銀行口座などを利用するときに認証を行うことは多い。認証には様々な種類の認証があり、単純なタッチやキーボード入力による認証だけでなく、特別なデバイスを用いて特殊な入力を行う手法や、指紋や虹彩、筋電位などの個人の生体的特徴を計測して認証に用いる手法などがある。

近年、視線追跡技術が発達してきており、デスクトップのモニター等に取り付けて視線位置を測定する視線追跡装置が

普及してきているため、視線の動きや特徴量などを用いて認証を行う視線認証と呼ばれる手法が存在する[2)]。視線認証は認証動作を観測されにくいため覗き見攻撃やサーマルアタック、スマッジアタックなどの攻撃に強いが、認証成功率が低いことや、認証に時間がかかってしまうことなどの欠点も存在する。また、特別なデバイスを用いなくとも、スマートフォンの内カメラで視線位置を測定することもでき[3)]、スマートフォン単体で視線認証も行われているなど、個人認証の手法の一つとして視線認証は注目されている。

2.3 想定される攻撃

人々が集まる場所では、意図的でなくともモバイル端末などの画面を覗き見られ情報を盗み見られることがある[4)]。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、キーボードによるパスワードの入力などは第三者に覗き見られた場合、そ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たり、不正なアクセスをうけてしまうことがある。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などの認証に必要な情報を不正に取得する行為を覗き見攻撃と呼ぶ。また、ユーザによる入力操作後の熱の動きを追うサーマルアタックや、入力した際の指紋などの汚れ跡をたどるスマッジアタックなどの攻撃方法もあるが、視線認証は、画面やキーボードの操作による入力を行わないためそれらの攻撃に強い。

しかし、視線認証も認証を行っている画面とユーザ自身の視線の動きを同時に覗き見られる位置から覗き見攻撃を受けることもある。他にも、職場の同僚のような関わる頻度の高い相手から認証画面や視線の動きのどちらかを何度かずつ観測された場合、両方の観測した場面を組み合わせることで認証情報を盗む反復攻撃と呼ばれる攻撃にも弱い。それだけではなく、近年ではビデオカメラなどの録画機器を用いて認証情報を録画により取得するという録画攻撃も脅威になりつつある。録画攻撃への基本的な対策として、第三者に覗き撮られることのない環境で認証動作を行う必要があるが、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きており、意図的でなくとも認証動作を録画されてしまい、個人情報が漏洩される可能性は否めない。

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[5)]。

2.4 チャレンジレスポンス方式

チャレンジレスポンス方式とは、ワンタイムパスワードと呼ばれる 1 回限りの使い捨ての認証方式の内の一つである。この認証は、認証をしたいユーザが認証サーバ側から送られてくるチャレンジに対して、ユーザ自身の持っているパスワードを組み合わせてレスポンスとして認証サーバ側に送り返す手法であり、パスワードを直接やり取りすることなく認証できる手法である。認証サーバは自身に登録されているパスワードとチャレンジを内部で演算し、ユーザから送られてきたレスポンスと照合した結果が一致すれば、ユーザのパスワードが正しいと判断し認証を成功とする。チャレンジとレスポンスからパスワードを逆算することはできず、チャレンジは毎回変わるため、レスポンスも毎回変化する。そのため、パケットを盗聴してもパスワードは解読できず、レスポンスをコピーしてサーバへ認証しようとしても、毎回レスポンスが変わるため、認証に失敗する。

3. 関連研究

3.1 視線による PIN 認証[2)]

スクリーン上に表示されたキーパッドの中から自分が入力したい数字を見ることで PIN 入力を行う手法である。注視による PIN 入力は、見たものがすべて入力とされてしまうミダスタッチ問題が問題点として挙げられるが、この手法では、1 秒以上注視していたと判断された数字を入力することでミダスタッチ問題の発生を抑えている。

3.2 覗き見耐性を持つあみだくじと画像の認証[6)]

人間の画像認識能力を用いた画像認証方式があるが、多くの画像認証方式は覗き見攻撃に脆弱であるため、攻撃者に認証情報が特定されないよう認証情報の入力を曖昧にする方式が提案されている。しかし、既存の方式は広い空間の中からパス画像を探し出すことが困難という問題があった。そこでこの手法では、常に同じ位置にパス画像とおとり画像を配置することで、ユーザの探索負荷を軽減している。そして、認証の都度変化するあみだくじを画像群上に配置することによって、パス画像を起点に毎回異なる経路を辿ってレスポンスを生成させるワンタイム性を追加し、覗き見攻撃耐性の維持を図っている。

4. 提案手法

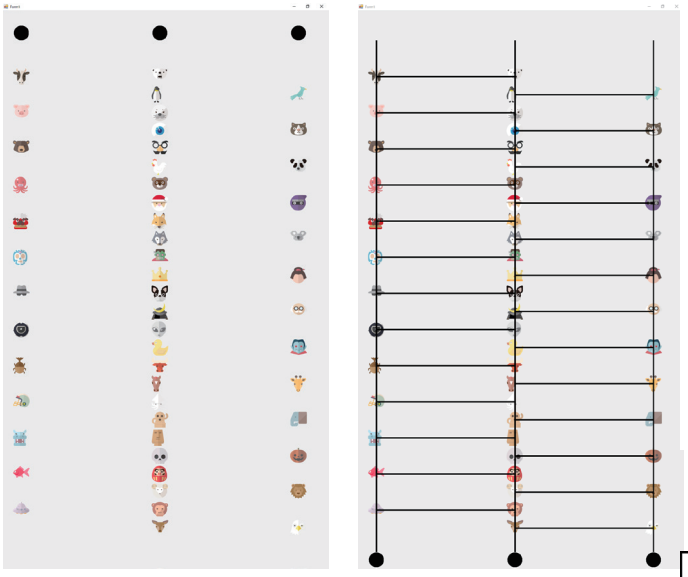
4.1 あみだくじの性質

日本では特定の人数から当たり・はずれを決めたり、順番を決めたりする際にあみだくじと呼ばれる方法を用いることがある。現在、形としては縦と横の直線からなるはしご上のあみだくじが一般的であり、一つの縦線の上端から線を下へと辿って行き、横線にさしかかった場合は必ず曲がる。下限までたどり着いた時点で終了となり、どの縦線を選んだ場合でも上端から下端までの経路は重複することはないという法則がある。

あみだくじは日本ではなじみのあるくじであり、知らない人でも上下左右の動きで済むため動きが単純で理解しやすい。そこでこのあみだくじを視線認証と組み合わせることで、ユーザに求められる視線の動きも単純で理解のしやすい認証の作成を目指す。それだけではなく、線を視線で辿るため視線のブレの減少や、一筆書きでの入力を行えるため一つずつ視線で数字を入力するよりも認証時間の短縮が期待できる。

4.2 アイコンの配置

単純なあみだくじの動きだけで一定の強度を持った認証を行うには、膨大な経路数を持ったあみだくじが必要であるため、実用的な大きさのあみだくじにはならない。そこで、一定の大きさのあみだくじで認証を行うため図 1 のようにあみだくじの分岐点にアイコンを配置する。このアイコンの中からユーザはあらかじめパスアイコンと呼ばれる分岐の目印となるアイコンを決めておき、分岐をするかどうかで一定の大きさのあみだくじから膨大な経路数を確保する。



(a) 認証探索画面　　(b) 認証実行画面

図 1: 認証画面

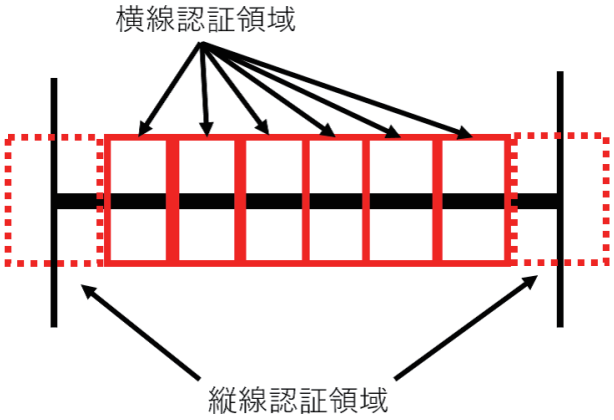


図 2: 認証領域

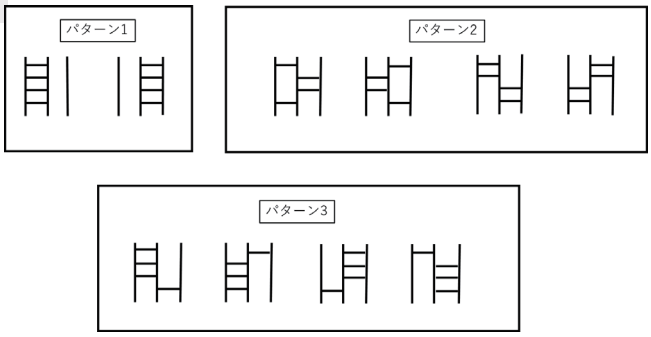


図 3: あみだくじの成立パターン

4.3 認証方法

事前準備として認証を行うユーザは、あらかじめ認証に用いる 52 個のアイコンの中からパスアイコンを 4 つ決めておく。通常のあみだくじとは異なり、このあみだ式視線認証ではパスアイコンにさしかかった場合のみ横線を辿る。

認証時、図 1a のようにユーザは初めにあみだが表示されていない状態で、ランダムに配置された 52 個のアイコンを確認する。このとき、ユーザは自信が指定したパスアイコンの中から一番上に存在するパスアイコンを確認する。確認後、いずれかの開始位置と呼ばれる上端の黒丸を見ることで図 1b のようにあみだが表示されるため、ユーザは指定していたパスアイコンが一番上にある縦線から線を視線で追って下へ進んで行く。このとき、パスアイコンがある分岐のみあみだのルールに従って曲がり、いずれかの縦線の下限の終了位置と呼ばれる黒丸にたどり着いた場合認証は終了する。正解経路と認証時に通った経路が一致したと判定された場合に認証を成功とする。

認証開始から開始位置を見てあみだくじが表示されるまでの時間を認証準備時間、あみだくじが表示されてから認証終了位置を見るまでを認証実行時間とする。

4.4 判定方法

すべての横線に図 2 のような 2 種類の認証領域を設け、ユーザがパスアイコンが存在する横線を正しい方向に辿ったかを判定する。今回は、視線位置を 11ms ごとに一回計測し、視線位置が認証領域に含まれているかを測定する。実線で囲まれた箇所が横線認証領域であり、視線が横線認証領域を多く通過するほどその横線を見ていると判定する。また、点線で囲まれた箇所が縦線認証領域であり、横線を通るまでにどの縦線を見ているかを測定する。この縦線から縦線への移動で視線の動いた方向の判定をする。これら 2 種類の認証領域の判定を用いて、すべてのパスアイコンが含まれている横線が、正しい方向へと移動した場合に経路が一致したと判定する。

4.5 偶然突破率

PIN 認証は 0〜9 の数字を 4 桁入力するため 10^4 通り選択肢があり、偶然突破確率は 1/10,000 である。

縦線が 2 本、横線が m 本、パスアイコンが n 個のあみだ式認証の場合の経路数は、m 本の横線うちの n 本にパスアイコンが 1 つずつ入り、開始位置が左右どちらかの 2 パターンなので、縦線が 2 本の場合のあみだくじの経路数は ${}_mC_2 \times 2$ となる。縦線が 2 本のときの 1 万通り前後の経路数となるあみだの横線の本数とパスアイコンの数を表 1 に示す。このように縦線 2 本では PIN 認証と同程度の 1 万通り前後の経路を確保するためには、横線の数が多くなり認証に用いるあみだが縦長になるか、パスアイコンの数が多くなるためユーザビリティに影響が出てしまう。

そこで次に、縦線 3 本、横線の総数を $2m$（1 つの縦線間にある横線の数は m）、パスアイコンが 4 つのときのあみだくじの経路数を計算した。このときのあみだくじが成立するパターンはおおよそ 3 パターンに分けることができ、細かく分けると図 3 のように分けられる。経路の総数はこの 3 パターンの合計であり、次のように計算することができる。

1. 横線が片側に 4 本ある場合

$$ {}_mC_4 \times 4 $$

2. 横線が片側に 2 本ずつある場合（左右交互では成立しない）

表 1: 縦線 2 本あみだの経路数

パスアイコン数	横線の数	経路数
4	20	9,690
4	21	11,970
5	17	12,376
6	15	10,010

表 2: 縦線 3 本あみだの経路数

パスアイコン数	横線の数	経路数
4	10	3,240
4	12	7,260
4	13	10,296
4	14	14,196

$$4\sum_{i=2}^{m-1} {}_iC_2(m-i)$$

3. 横線が片側に集中して 3 本、もう片方に 1 本存在する場合

$$4\sum_{i=3}^{m-1} {}_iC_3 + {}_mC_3 \times 2$$

縦線が 3 本のときの 1 万通り前後の経路数となるあみだの横線の本数を示している表 2 より、縦線 3 本、1 つの縦線間にある横線の数が 13 本のとき、偶然突破率が PIN 認証よりも低い 1/10,296 という値になる。以降はこの値を用いて実装を行う。

5. 実験

この章では、提案したあみだ式認証がどれほどの有効性を示すかの評価実験を行う。評価項目は成功率とパスアイコンを探す認証探索時間、あみだを視線で辿る認証実行時間、そしてその総合的な時間を評価する。その後アンケートを行いユーザビリティについての評価を行う。

5.1 実装

提案方式を実現させるために、実装には C ＃言語を用い、開発ソフトは Visual Studio 2017 を使用した。また、視線追跡のデバイスとして Tobii Eye Tracker 4C を用いてユーザの視線位置を検出した。

5.2 実験手順

提案手法の認証探索時間と認証実行時間、その二つの時間の合計、認証成功率を調査した。被験者として宮崎大学工学部生 10 人に実験を行ってもらった。被験者は視力矯正のための眼鏡やコトンタクトの着用が可能であり、目の疲労も考慮して自由に休憩を取ることができた。

実験手順としてまず被験者に実験の流れを説明し、提案手法の説明後、被験者本人のキャリブレーションを行う。その後、任意に選んだアイコンを 4 つパスアイコンとして設定し、

表 3: 認証時間と認証成功率

探索時間 (s)	実行時間 (s)	総時間 (s)	成功率 (%)
12.8	14.7	27.5	74.0

実際に実装したシステムで本人が満足するまで練習をしてもらう。練習時には何度でもキャリブレーションをやり直すことができ、パスアイコンの記憶と探索方法の把握を意識してもらった。練習を終えた後に本実験を行う。本実験では提案手法の認証方式を 10 回認証してもらい、認証の成否と認証探査時間、認証実行時間を記録した。

また、本実験終了後には、提案手法の認証方式の使いやすさを確認するために宮崎大学工学部生 10 人に実験の後アンケートを実施した。アンケートでは、提案手法について、以下の 7 項目について 1（そう思わない）〜5（そう思う）の 5 段階評価で回答してもらい、意見や感想があれば記入してもらった。

(1) この認証を利用したいと思う。

(2) この認証を利用するには慣れが必要であると感じた。

(3) この認証は使いやすかった。

(4) この認証はわかりやすかった。

(5) この認証のアイコンの配置は見やすかった。

(6) パスアイコンは探しやすかった。

(7) あみだくじを視線で追うことは認証の補助になった。

5.3 結果

認証時間と認証成功率の平均の値を表 3 に示す。認証開始からあみだくじ表示までの認証探索時間の平均 12.8s であり、あみだくじの表示から認証終了までの認証実行時間は平均 14.7s であった。また、それらを合わせた認証総時間の平均は 27.5s であり、平均認証成功率は 74.0 %であった。

そして、ユーザビリティ評価のアンケート結果は図 4 となっている。(1)、(2)、(4)、(7) の項目では否定的な回答は少なかったが、アイコンに関する (5)、(6) の項目では、肯定的な回答が少なかった。(3) の項目については、肯定的な回答と否定的な回答は同程度であった。意見として、認証ごとに精度にばらつきがあるように感じられたこと、パスアイコンの配置に工夫が必要であることなどが挙げられた。

6. 考察

今回の提案手法での認証成功率は 74.0 %であった。元々視線追跡装置を使用したことのある被験者や、練習時間が長かった被験者の成功率が高く、アンケート (2) の結果が示すように、この認証には慣れが必要であることが分かった。また、精度のばらつきについては、画面上部分のキャリブレーション時にずれが発生すること、被験者の数名が頭部の動きによるずれを感じたことからあみだくじが縦長であったことが原因ではないかと考える。よって、あみだくじを横長にするために縦線を増やし練習時間やキャリブレーション時間を多くとることで、認証成功率を上昇させることができる。そして、アンケート (7) の評価も高く、認証実行時間は長くないため、視

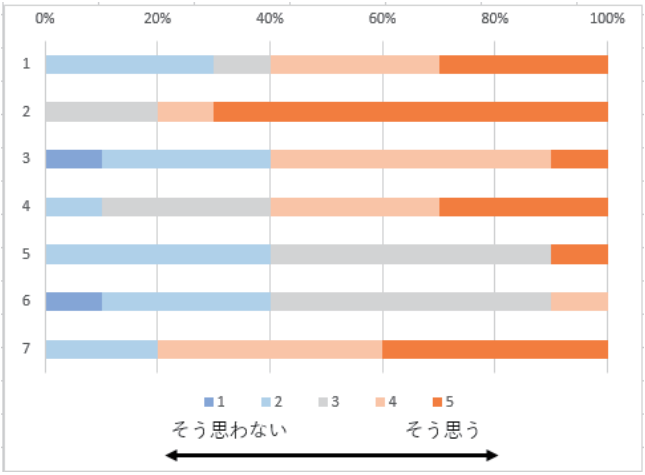


図 4: アンケート結果

線認証にあみだくじを用いることは入力の補助になると考えられる。

一方、パスアイコンについては肯定的な意見が少なく、ランダム配置により認証探索時間が発生することもあり、より工夫が必要であることが分かった。したがって、今後の課題として、パスアイコンの単純化による認識負担を低下させることや、チャレンジレスポンス方式としたことによる録画攻撃や、反復攻撃に対する耐性を調査することが挙げられる。

7. おわりに

本研究では、視線入力の動きを補助するためにあみだくじを用いる手法を提案し、その評価を行った。結果、あみだくじは視線認証の補助になるが、パスアイコンの工夫が必要であることが分かった。

今後の課題として、パスアイコンやあみだくじを改良しユーザビリテと成功率を向上させること、録画攻撃と反復攻撃に対する耐性の調査が挙げられる。

参考文献

1) E. Miluzzo, T. Wang, A. T. Campbell, and a. C. M. S. I. G. o. D. Communication: EyePhone: Activating Mobile Phones with Your Eyes, Workshop on Networking, Systems, and Applications on Mobile Handhelds (MobiHeld), 2010.

2) B. A. Delail, C. Y. Yeun: Recent Advances of Smart Glass Application Security and Privacy , Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), 2015.

3) C. Winkler, J. Gugenheimer, A. DeLuca, G. Haas, P. Speidel, D. Dobbelstein, and E. Rukzio: Glass Unlock: Enhancing Security of Smartphone Unlocking through Leveraging a Private Near-eye Display, CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1407-1410, 2015.

4) S. Li, A. Ashok, Y. Zhang, C. Xu, J. Lindqvist, and M. Gruteser: Whose Move is it Anyway? Authenticating Smart Wearable Devices Using Unique Head Movement Patterns, 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2016

5) M. Seetharama, V. Paelke, and C. Rocker: SafetyPIN: Secure PIN Entry Through Eye Tracking, HAS(Human Aspects of Information Security, Privacy, and Trust) 2015, pp.426-435 , 2015.

6) I. Sluganovic, M. Roeschlin, K. B. Rasmussen, I. Martinovic: Using Reflexive Eye Movements for Fast Challenge-Response Authentication , CCS '16 Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, 2016.

7) K. Krafka, A. Khosla, P. Kellnhofer, H. Kannan, S. Bhandarkar, W. Matusik, and A. Torralba: EyeTrackingforEveryone, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016 IEEE Conference on , 2016.

8) M. Khamis, M. Hassib, E. Zezschwitz, A. Bulling, and F. Alt: GazeTouchPIN:Protecting Sensitive Dataon Mobile Devices using Secure Multimodal Authentication , ICMI 2017 Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction, pp.446-450 , 2017.

9) M. Khamis, R. Hasholzner, A. Bulling, and F. Alt: GTmoPass: Two-factor Authentication on Public Displays Using Gaze-Touch passwords and Personal Mobile Devices, PerDis '17 Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Pervasive Displays Article No. 8 , 2017.

10) M. Eiband, M. Khamis, E. Zezschwitz, H. Hussmann, and F. Alt: Understanding Shoulder Surfing in the Wild: Stories from Users and Observers, CHI '17 Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Pages pp.4254-4265 , 2017.

11) 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)

12) 小島 悠子、山本 匠、西垣 正勝: 覗き見攻撃耐性と利便性を有する画像認証方式に関する一検討, 研究報告マルチメディア通信と分散処理（DPS）2009, pp.91-96, 2009.