様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２９　年　　５　月　３１　日現在

機関番号：　１２２０１
研究種目：　基盤研究(C)（一般）
研究期間：　2013～2016
課題番号：　２５３３０２２６

研究課題名（和文）視覚情報と行動特徴を用いたマルチモーダル個人認証方式の研究

研究課題名（英文）Study on an multi-modal personal authentication using visual information and behavior characteristics

研究代表者

長谷川　まどか（Hasegawa, Madoka）

宇都宮大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：８０３２２０１４

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では，覗き見への耐性が高く，かつ，ユーザが使いやすい認証方式の実現を目指し，携帯ディスプレイ上に表示される複数の画像の中から自分が記憶している画像を選択する処理と端末を把持して空中筆記する動作とを利用して個人認証する方式の検討を行った．検討項目は，画像選択型認証方式に関する内容と空中筆記時の行動特徴による個人認証方式に関する内容に大別できる．前者では，覗き見による窃用が困難となるような画像の加工法の検討と本方式で生成された画像の視認性を評価するための客観評価尺度の確立を行った．また，後者では，携帯端末を把持して空中筆記した際の行動特徴を加速度センサで取得し，認証する手法を開発した．

研究成果の概要（英文）：　We studied on a usable authentication method for handy mobile terminals. Our system consists of a graphical password using hybrid images and a personal authentication system based on arm swing operation.
For the graphical password, we proposed an image synthesis method based on the wavelet transform. We also proposed an objective evaluation score considering the visibility of the foreground image in the hybrid image for both the legitimate user and the shoulder-surfer. Experimental results show that our score can choose suitable hybrid images for user authentication.
For the authentication system based on arm swing operation, we developed a method to calculate the difference between the pre-registered motion data and the user's current motion data by using the Euclidean distance and the error angle. This method is effective to reduce the False Rejection Rate. Simulation results show that this method can reduce Equal Error Rate.

研究分野：　画像処理

キーワード：　画像選択型認証　ユーザブルセキュリティ　ハイブリッド画像　加速度センサ

１．研究開始当初の背景

携帯電話や PDA など携帯デバイスの普及が急速に進んでいる．これらの携帯デバイスは，電子マネー機能やインターネットバンキングサービスへのアクセス端末としての機能が充実してきており，安全な本人認証方式が必須である．現在，携帯デバイスの認証には利便性の面からパスワードや暗証番号が多用されているが，携帯デバイスの入力インターフェースはテンキーおよび数個の記号ボタン等に限られており，また，片手で操作するため，一般の PC のキーボード入力による認証と比べて覗き見に脆弱である．安全性の向上のため，パスワードに加え，いくつかの要素を認証に使用する多要素認証も試みられており，指紋認証デバイスや内蔵カメラを用いた顔画像認証を搭載した機種も存在するが，前者は指紋の使用に対するユーザの心理的抵抗感があることや，落下等でデバイス上に傷がついた場合に認証不可になるなどの問題がある．また後者は，撮影環境の変動による影響が大きく，逆光環境や夜間屋外で使用した場合，顔認識率が低下するという問題がある．携帯端末には，特殊なデバイスが不要で，多様な使用環境に対応可能な認証方式が望まれている．

画像選択型認証 [1],[2]は，上記の携帯端末の認証方式の要求を満たす方式の一つと考えられるが，画像は本人のみならず，覗き見を行う攻撃者にも覚えやすい可能性がある．そこで，モザイク処理[3]や油彩フィルタ[4]で画像処理を施し，正当な使用者には記憶・想起が容易であるが攻撃者には記憶が困難な程度に画像を劣化させて覗き見耐性を強化する方式が提案されている．しかし画像を劣化させる度合いは経験的に求めたものであり，覗き見防止に最適なフィルタの選定法は明らかとなっていない．また，画像選択のため認証に時間を要する，劣化により自分のパスワード画像を忘れる可能性も高くなるなど，ユーザビリティの向上の観点からも検討すべき課題が複数存在していた．

２．研究の目的

これまで我々は，マルチセンソリー認証方式の研究に取組んできた[5]．本方式は視覚的要素と秘密のチャネルで伝送される音や触覚要素等を組合せた新しい認証方式であるが，これまでは専用の装置での実装を前提としていた．

本研究では，よりハードウェア的制約の厳しいタッチパネル型携帯デバイスでの利用を想定し，画像などの視覚刺激に対する記憶，音声などの音響刺激に対する記憶，振動等に対する触覚などの複数の知覚要素や，端末を振る動作などの行動特徴を組み合わせて認証に利用することで，覗き見への耐性が高くかつユーザが使いやすいマルチモーダル認証方式を開発することを目的としている．

３．研究の方法

本研究では，覗き見への耐性が高く，かつ，ユーザが使いやすい認証方式の実現を目指し，携帯ディスプレイ上に表示される画像選択する処理と端末を振る動作からユーザ独自の入力データを作成して認証するマルチモーダル認証方式の開発に焦点を当てて検討を行った．検討項目は次の 2 点に大別できる．

- 画像選択型認証方式に関する検討
- 空中筆記時の行動特徴による個人認証方式に関する検討

前者の画像選択型認証システムには，事前に，パスワードの代わりとなる画像(pass image)が複数枚登録され，ユーザはこれらの画像を記憶しておく．認証の際には，この pass image は，正当なユーザには識別できるが，覗き見攻撃者には認識が困難となる程度に劣化させた画像に加工してから表示するとともに，囮となる複数の画像も提示する．本システムの実現のため，pass image の加工法の検討，加工により生成された画像が認証での利用に適しているかを評価するための客観評価尺度の確立，ならびにユーザ実験を行った．さらに，認証用の画像の安全性向上を目指し，画像改ざんの検知法や画像が破損した場合の修復法についての検討も行った．

また，後者の行動特徴による認証方式の検討では，携帯端末を把持して空中筆記する動作を行った際の行動特徴を，端末内蔵の加速度センサを用いて取得して認証に使用することを前提とし，このデータを収集するためのアプリケーションの構築と，データの収集，個人認証のためのデータ照合方法の検討などを行った．

４．研究成果

(1) 画像選択型認証方式に関する検討

画像選択型認証については，まず必要条件を整理し，画像の解像度等を決定した後，第三者からの覗き見を困難にする方法の確立とプロトタイプの構築に重点を置いて研究を進めた．

第三者からの画像の覗き見を困難にする画像の加工法として，ウェーブレット変換を利用して作成したハイブリッド画像に着目し，Android 端末上で動作するプロタイプの構築と視認性の検証を行った．2 枚の自然画像を重畳して作成したハイブリッド画像の場合，ユーザが記憶する前景画像と，前景画像の難視化に使用する背景画像の組合せによっては，前景画像が非常に見えにくくなることが明らかとなった．この傾向は，画面サイズの小さい端末において特に顕著であった．この対策として，画像をブロックに分割し，ブロックごとに前景画像の強調処理を施す手法を考案した．また，ハイブリッド画像に隠されたユーザの pass image が攻撃者からは視認できないことを，画像内の局所的な特徴量をもとに客観的に評価する指標の検討を行った(発表文献[10])．この検討では，ユーザが記憶する

前景画像と難視化のために利用する背景画像のそれぞれについて SURF 特徴量を求め，特徴量の大きさを基に作成した特徴マップの差分を取ることで，両画像の類似度を評価できることを明らかにした．しかし，この段階では，覗き見攻撃者の距離からは前景画像を視認できない画像が認証に適しているという立場で客観指標を考案しており，正規ユーザの立場での前景画像の見やすさは十分に考慮していなかったため使い易さの面で改良の余地があった．

そこで，本検討をさらに進め，認証に適したハイブリッド画像の自動選定を支援することを目的とし，ユーザ側と覗き見攻撃者側の双方における前景画像の視認性を考慮した客観評価値を提案した(発表文献[2],[4])．

発表文献[10]の SURF を用いた重畳画像選定方式 (以下, 従来方式) では,“背景画像のオブジェクト領域が前景画像のオブジェクト領域をマスキングしている割合”を表す客観評価値を提案していた．ここでオブジェクト領域とは，画像中において，その画像の視認性に関わる特徴が顕著に表れている領域のことを指す．画像に SURF を適用して検出される特徴点の周囲を注目度が高いオブジェクトが存在する領域とみなし，SURF のスケールサイズを直径とする円の内部を 1 (白), それ以外の領域を 0 (黒) として二値化した画像をオブジェクトマップと定義している．オブジェクト差分マップ生成の流れを図 1 に示す．

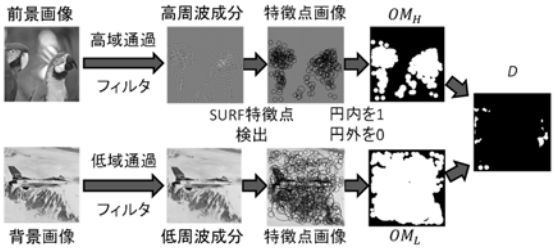

図1　オブジェクト差分マップ生成

前景画像の高周波成分を高域通過フィルタ，背景画像の低周波成分を低域通過フィルタによって抽出し，それぞれに SURF 適用した後に二値化することで，前景画像のオブジェクトマップ OM_H 及び背景画像のオブジェクトマップ OM_L を得る．次に，オブジェクト差分マップ D を作成する．D 中の 1(白)の面積が狭いほど，前景画像が背景画像にマスキングされていることを表す．この D を用いて，評価値 S は次式で定義される．

$$S = 1 - \frac{1}{XY}\sum_{y=0}^{Y-1}\sum_{x=0}^{X-1} D(x,y) \qquad (1)$$

ここで，式中の X, Y は画像の幅と高さをそれぞれ示す．この値が大きいほど重畳画像の覗き見耐性は高くなるため，S が閾値以上の画像を認証に使用する．しかし，一方で，S が大きいほど前景画像の視認性は低下するため，このままではユーザでも前景画像を視認できないような画像となる可能性がある．また，この方式では背景画像は低周波成分から SURF 特徴点を求めているため，視認性に関わる領域以外でも SURF 特徴点が検出されるという問題がある．

そこで，発表文献[2],[4]では，ユーザと覗き見攻撃者の視距離を考慮したハイブリッド画像の認証適性度 R_o を考案した．定義を次式に示す．

$$R_o = U_o \times (1 - A_o) \qquad (2)$$

ここで，R_o が大きいほど認証に適したハイブリッド画像であることを表す．また，U_o は前景視認性についてのユーザ側の評価値，A_o は攻撃者側の評価値であり，式 (3)，(4) により算出する．

$$U_o = \frac{1}{Z}\sum_{y=0}^{Y-1}\sum_{x=0}^{X-1} D(x,y) \qquad (3)$$

$$A_o = \frac{1}{Z'}\sum_{y=0}^{Y'-1}\sum_{x=0}^{X'-1} D'(x,y) \qquad (4)$$

式(4)の X', Y', $D'(x,y)$はそれぞれ攻撃者側の視距離を考慮した解像度および特徴差分マップを表す．d_u と d_a をそれぞれユーザと攻撃者の視距離とすると，X', Y'は，X, Y をそれぞれ d_u/d_a 倍した値であり，$D'(x,y)$は D の画像サイズを (X', Y') に縮小した画像から算出している．また，Z は $D(x, y)$, Z'は $D'(x, y)$における白画素数をそれぞれ表す．さらに，$D(x,y)$ および $D'(x,y)$を算出する際，背景画像のオブジェクトマップも，高周波成分から作成するように変更している．これはオブジェクトマップを低周波成分から作成すると，視認性への寄与度が低いと考えられる弱いエッジ領域も，SURF 適用時に特徴点として検出される場合があり，視認性評価の上で望ましいオブジェクトマップを得るには弱いエッジを除外した方がよいと考えられるためである．

液晶ディスプレイ上でハイブリッド画像を表示して前景画像の視認性に関する主観評価実験を行い，得られた主観評価スコアと上記の式(2)－(4)で得られる客観評価値との相関を算出した結果を表 1 に示す．表より，発表文献[2]の方式が，各前景画像，視距離において主観評価との順位相関が高くなっており，より主観に則した客観評価尺度となっていることが分かる．

表1　主観評価スコアとのスピアマン順位相関係数

前景画像	発表文献[10]		発表文献[2]	
	ユーザ側	攻撃者側	ユーザ側	攻撃者側
Airplane	0.90	0.93	0.95	0.95
Parrots	0.76	0.85	0.99	0.94

次に，スマートフォン上で同様の主観評価実験を行って認証用画像を分類した結果と，発表文献[2]の客観評価尺度で認証用ハイブリッド画像を選定した結果を Confusion Matrix

形式で比較したもの表 2 に示す. 表中の TP および TN は主観評価と客観評価が一致している区分である．一方，FN は，主観評価では認証に適していると判断されたが客観評価では適していないと判断されたことを示している. 本来は認証に用いても問題がない画像であるが，客観評価値が過剰に選別を行ってしまうため, FN に分類される画像は認証用から除外される．しかし，背景画像データベースが十分に大きければ，ここに分類される画像を利用せずとも認証には十分な種類の画像が確保されると考えられる．これとは逆に，FP は，主観評価で認証に適していないと判断されたハイブリッド画像が，客観評価では適していると判断されたことを示している. この場合，認証に適していない画像が実際の認証画面で用いられることとなるため好ましくない．表 2 より, 画像 Tree は良好に分類されているが，画像 Man, Clock, Cameraman は FP に分類されるものが存在していることが分かる．これらの画像は, 画像中のエッジが極端に強いため，今後はエッジの強さも考慮して客観評価値の改良を進めていく必要がある.

表2　画像選定結果の Confusion Matrix

		客観評価	
		OK	NG
主観評価	OK	True Positive (TP) Tree 1,3,5,8 Man 5,8	False Negative (FN) Tree 2 Man 2,4
	NG	False Positive (FP) Man 1,3 Clock 2,3,5,8 Cameraman 1,2,3,5,8	True Negative (TN) Tree 4,6,7 Man 6,7 Clock 1,4,6,7 Cameraman 4,6,7

また，よりシンプルな認証方式として，加算型 PIN 方式および重畳文字ボタン方式(発表文献[9])も考案した. 加算型 PIN 方式はユーザ本人にしかわからないようにランダムな数字を提示し，入力したい PIN との加算結果を入力することで認証を行う方式である．重畳文字ボタン方式は，ユーザ本人のみが認識可能な数字が重畳された 10 枚の画像をテンキーのように配置し，画像を選択することで PIN の入力を行う方式である．この 2 方式と通常の PIN 方式についてユーザ実験を行った結果, 提案方式は通常の PIN と比較して，認証に時間を要するものの，覗き見に耐性を有することが明らかとなった.

加えて，画像の縮小時に生じる画質劣化を軽減する手法に関する検討(発表文献[8])を行うとともに，認証に使用する画像が第三者から編集や改ざんを受けることの抑止, および, 画像が破損した場合の修復を目的として，電子透かしの手法を用いて画像に改ざん検知と修復のための情報を付加する手法についても検討を行った(発表文献[1],[3],[6],[7]). 特に，発表文献[1]では，画像を矩形ブロックに分割して考えた場合，各ブロックの類似領域が画像内に散在していることを利用し，類似領域の座標などを，電子透かしを用いて埋め込んでいる．これにより，画像にバースト状の破損が生じた場合でも，破損領域を 7 割程度修復できた．さらに，発表文献[3]では，電子透かしとして埋め込む情報の作成法の検討を進め，画像の上位ビットプレーンに対して画像圧縮を施すことで情報記号数を削減し，そののちに誤り訂正符号化を施すことで，誤り訂正能力の向上を図ることができた.

(2) 空中筆記時の行動特徴による個人認証方式に関する検討

この方式では，加速度センサを搭載した携帯端末をユーザが手に持ち，端末を動かす速さや向きを加速度データとして取得し，あらかじめ登録されたデータと照合することで認証を行う．ユーザの動作的特徴を用いた認証では，個人の特徴を他人が再現するのは難しく，なりすましが困難であるという特徴がある．しかし，本人自身が認証動作を完全に再現できずに認証に失敗する場合もある．また他人が行った動作を誤って受け入れてしまう場合もある.

既存の方式では動作の加速度データを比較するときに，データを 3 次元のベクトルの時系列データとみなし，ベクトル間のユークリッド距離に着目して 2 つの動作の間の相違度を求めていた．本研究では認証精度向上を目指して，従来では加速度データ間の相違度の計算に加速度ベクトル間のユークリッド距離のみを用いていた点を改良し，加速度ベクトル間のユークリッド距離と誤差角の両方に着目して相違度を計算する方式を考案した.

この方式では，まず前処理として，加速度データの振幅の正規化とノイズ除去のための平滑化を行う．次に，加速度データ U における i 番目の加速度ベクトルと, 加速度データ V における j 番目の加速度ベクトル間の誤差角を求め，加速度データ U と V の間の誤差角を用いた相違度 $D_\theta(U,V)$を求め，これを利用して DP マッチングを行う. また, ユーザ本人以外が認証動作を行った場合，動作時間に差が生じると考えられるため，この動作時間長に応じたペナルティを相違度の算出時に付加し, 他人受け入れ率の低下を図った.

スマートフォン上で動作するプロトタイプを作成し, 本人認証実験, 及び, なりすまし実験を行った. 例として, 動作 shake のときの実験結果を図 2 に示す．実験の結果，ユークリッド距離のみや誤差角のみを使用していた従来の方式と比較して，等誤り率(Equal Error Rate: EER)を最大 4.42%改善でき，2.42%となった．今回の検討では，しきい値とペナルティを決定するパラメータは手動で決定した．今後は，マスタデータなどをもとにして，ユーザごとに適切な値を自動的に決定する手法の検討を進める必要がある.

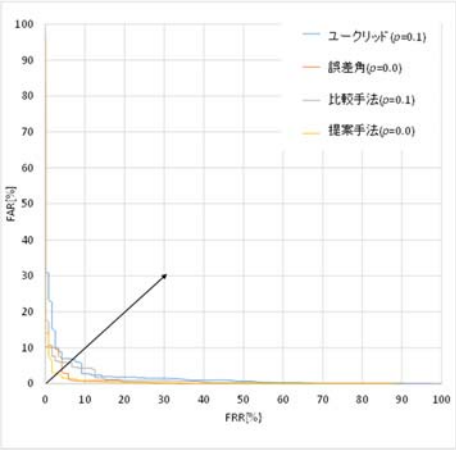

図 2　動作 shake の ROC

＜引用文献＞
① Rachna Dhamija and Adrian Perrig, “Déjà Vu: A User Study Using Images for Authentication,” 9th USENIX Security Symposium, Aug. 2000.
② 高田哲司, 小池英樹:あわせ絵: 画像登録と利用通知を用いた正候補選択方式による画像認証方式の強化法, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp.2002-2012, Aug. 2003.
③ 原田篤史, 漁田武雄, 水野忠則, 西垣正勝, “画像記憶のスキーマを利用したユーザ認証システム,” 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.8, pp.1997-2013, Aug. 2005.
④ Eiji Hayashi, Nicolas Christin, Rachna Dhamija and Adrian Perrig, “Use Your Illusion: Secure Authentication Usable Anywhere,” SOUPS 2008, July 2008.
⑤ Madoka Hasegawa, Nicolas Christin, Eiji Hayashi, "New Directions in Multisensory Authentication," Pervasive 2009 Adjunct Proceedings, pp.103-106, May 2009.

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計　1 件）
① 山登 一輝, 長谷川 まどか, 篠田 一馬, 加藤 茂夫, 田中 雄一, "類似領域情報の画像内埋め込みに基づく画像修復法," 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J97-D, No.4, pp.857-867, 2014. (査読有)

〔学会発表〕（計　9 件）
② 小野瀬 伸彦, 篠田 一馬, 長谷川 まどか, "重畳画像選択型認証用画像の自動選定支援のための画像重畳度の客観評価法の検討," 画像電子学会第 280 回研究会, Mar. 2017. (発表日 2017/3/9, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎県)
③ 青森 祐人, 篠田 一馬, 長谷川 まどか, "誤り訂正符号利用型電子透かしによる改ざん画像修復法," 第 15 回情報科学技術フォーラム, pp.471-472, Sept. 2016. (発表日 2016/9/8, 富山大学 五福キャンパス, 富山県)
④ 小野瀬 伸彦, 篠田 一馬, 長谷川 まどか, "画像選択型認証に適した重畳画像選定のための客観評価値に関する研究," 第 15 回情報科学技術フォーラム, Sept. 2016. (発表日 2016/9/9, 富山大学 五福キャンパス, 富山県)
⑤ 武井 勇樹, 篠田一馬, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "携帯端末の加速度センサを用いた個人認証方式に関する研究," 第 14 回情報科学技術フォーラム, Sep. 2015. (発表日 2015/9/16, 愛媛大学, 愛媛県)
⑥ 山登 一輝, 篠田 一馬, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "可逆データハイディングのための 2 次元変換係数ヒストグラム拡張手法," 信学技報, EMM2014-96, pp.113-118, Mar. 2015. (発表日 2015/ 3/13, 大濱信泉記念館, 沖縄県)
⑦ 青森 祐人, 山登 一輝, 篠田 一馬, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "電子透かしによる静止画像への類似領域情報埋め込みを利用した画像の改ざん検知と修復に関する一検討," 信学技報, EMM2014-86, pp.55-60, Mar. 2015. (発表日 2015/ 3/12, 大濱信泉記念館, 沖縄県)
⑧ Yuichiro Suzuki, Kazuma Shinoda, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Halftone Image Resizing Using Seam Carving,” IEVC2014, 1P-9, 査読有, Koh Samui, Thailand, Oct. 2014. (発表日 2014/10/8, Centara Grand Beach Resort Samui, Thailand)
⑨ 磯貝 尚明, 長谷川 まどか, 篠田 一馬, 加藤 茂夫, "覗き見攻撃耐性を考慮した加算型 PIN 認証方式に関する一検討," 情報処理学会研究報告, Vol.2013-SPT-6, No.1, pp.1-6, July 2013. (発表日 2013/7/18, 札幌コンベンションセンター, 北海道)
⑩ Madoka Hasegawa, Keita Takahashi, and Shigeo Kato, "Similarity Assessment Metrics of Hybrid Images for Graphical Password," SOUPS2013, 査読有, Newcastle, UK, July, 2013. (発表日 2013/7/24, Northumbria University, UK)

〔図書〕（計　0 件）
〔産業財産権〕
○出願状況（計　0 件）
○取得状況（計　0 件）

〔その他〕
ホームページ等
http://www.is.utsunomiya-u.ac.jp/icl/

６．研究組織
(1)研究代表者
長谷川　まどか（HASEGAWA, Madoka）
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：80322014

(2)研究分担者
加藤　茂夫（KATO, Shigeo）
宇都宮大学・大学院工学研究科・名誉教授
研究者番号：00143529

(3)連携研究者
篠田　一馬（SHINODA, Kazuma）
宇都宮大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：50639200