

日本語非定型文キーストローク認証におけるプロフィール生成手法

New Profile Generating Methods on Keystroke Dynamics for Japanese Free Text Typing

松原 慶朋[†]
Yoshitomo MATSUBARA

佐村 敏治[‡]
Toshiharu SAMURA

西村 治彦[§]
Haruhiko NISHIMURA

1. はじめに

近年のコンピュータの普及による情報化社会の発展に伴い、パスワードの盗難やファイル改竄、ウイルスによる遠隔操作などのコンピュータへの不正アクセスが急増している中で、新しい認証技術として生体認証(バイオメトリクス)が注目を集めつつある。生体認証は人間が保有する身体的および行動的特徴を利用した認証技術であり、指紋、虹彩、声紋、キーストロークなどがある。他の認証技術と比べ、忘失、盗難、偽造などが起こりにくい。

キーストローク認証とは行動的生体認証の一種であり、キーストロークデータに各人固有のパターンが含まれているという性質を利用した生体認証である[1]。キーストローク認証の研究の多くは、利用者がログイン時に入力するパスワード(定型語)に対して、文字列だけでなく、その入力時のキーストロークも認証に考慮しようというものである[2-5, 19]。一方で最近では、非定型な異なる文書の入力からでも個人の特徴を抽出し、それによって認証に結び付けようとするキーストローク認証の研究が行われるようになってきた[6-18, 20-24]。本論文での研究は、この後者に属するものである。

我々は、5分間に700文字以上入力できる被験者に対しては高識別が可能であるが、5分間に500文字程度の被験者を含む場合は識別率が低下し、識別が困難になることをこれまでの実験と評価で経験してきた[12, 15, 16, 18]。

本研究では、このようなタイピングスキルが低い入力者を含む場合に対しても認証精度を向上させる手法について提案する。我々は識別率を向上される要因として、プロフィール文書数、入力文字数、入力期間が関係することを指摘してきた[17, 22, 23]。プロフィール文書の連結および更新という新しいプロフィール生成手法を用いることで、識別率を向上させる要因を利用することができる。本手法により、これまでの特徴量抽出や識別手法の改善とは独立に識別率の向上を図ることができ、より頑健性を持ったキーストローク認証が実現できることが期待される[24, 25]。

2. キーストローク認証システム

図1は、本論文で提案するキーストローク認証システムのアーキテクチャである。本システムには、2つの

モードが存在する。1つはプロフィール登録モードであり、もう1つが認証モードである。

プロフィール登録モードは、図1の実線で示す流れである。キーボードからの入力データをキーストロークデータとして収集し、それが日本語文であるかどうかを判定する[17]。日本語文であると判定されれば、キーストロークデータから特徴量を抽出し、本論文で扱うプロフィール生成手法を用いて生成したプロフィールを登録(教師)プロフィールとしてデータベースに格納する。

認証モードは、図1の破線で示す流れである。プロフィール登録モードと同様に、収集したキーストロークデータから特徴量を抽出し、認証対象のプロフィールを生成する(本論文ではこれをテストプロフィールとよぶ)。このテストプロフィールと、事前にデータベースに登録されている登録プロフィール群とを比較することにより、入力者の識別を行う。そして、入力者が登録者であると認証された場合は、入力者のテストプロフィールを登録プロフィールとして新たにデータベースに追加する。登録者に該当しないと判定されれば、システム管理者へ通報し、当該入力者を強制的にログアウトさせるなどの措置を行う。以下、節2.1~節2.4でシステムの各機能と手法について説明する。

2.1. キーストロークデータ収集

キーボードからの入力から、3種のキーストロークデータを生成する。キーストロークデータの例を図2に示す。第1フィールドのデータは、入力されたキーの種類である。第2フィールドのデータは、キーが押されたのか(press)、それとも離されたのか(release)を表す情報である。第3フィールドのデータは、キーストロークイベントが発生したときの時刻である。これは、システム時間(UNIX時間)を用いてミリ秒の単位で取得する。

2.2. 特徴量抽出

キーストロークデータからどのような特徴量を抽出するのかについて説明する。キーストローク認証では、あるキーを押す(press)、あるいは離す(release)というキーイベントが発生したとき、それらの間の時間を特徴量として用いる。図3左に示すように、1文字打鍵(1文字のキーストローク)の場合は、ある1つのキーを押してから離すまでの時間を特徴量とする。この時間を押下時間($1pr$)と言い、その平均値($1pr.ave$)と標準偏差($1pr.sd$)が1文字打鍵における特徴量となる。特徴量抽出の対象となるキーはすべてのアルファベットキーである。

2文字打鍵(2文字のキーストローク)の場合は、連続する2つのキーを押し離しするときのキーイベント間の

[†]明石工業高等専門学校 専攻科 機械・電子システム工学専攻
Advanced Course of Mechanical and Electronic System Engineering, Akashi National College of Technology

[‡]明石工業高等専門学校 電気情報工学科
Department of Electrical and Computer Engineering, Akashi National College of Technology

[§]兵庫県立大学 大学院 応用情報科学研究科
Graduate School of Applied Informatics, University of Hyogo

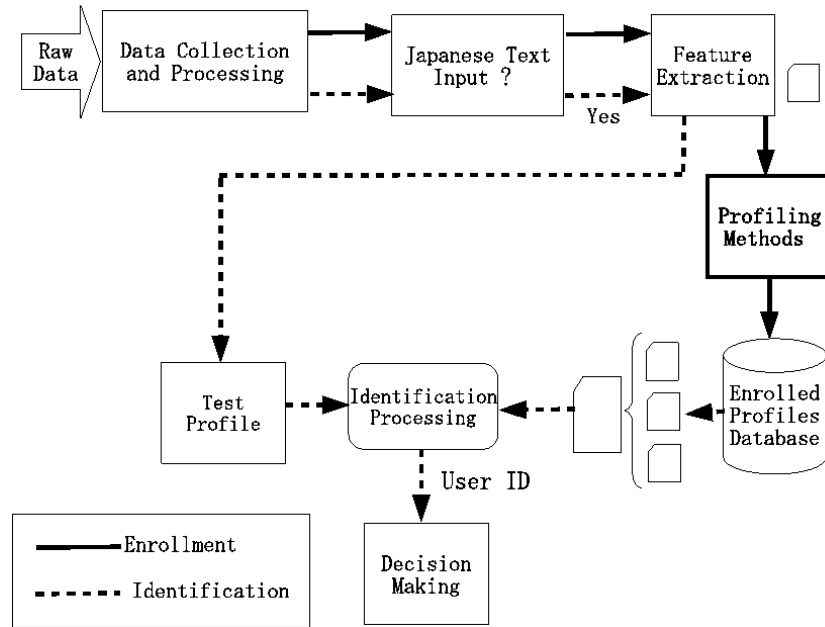


図1 キーストローク認証システムのアーキテクチャ

b, p,	1197417770648
a, p,	1197417770733
b, r,	1197417770791
i, p,	1197417770816
a, r,	1197417770823
i, r,	1197417770872
k, p,	1197417770972
k, r,	1197417771039
i, p,	1197417771112
i, r,	1197417771167

図2 キーストロークデータの例

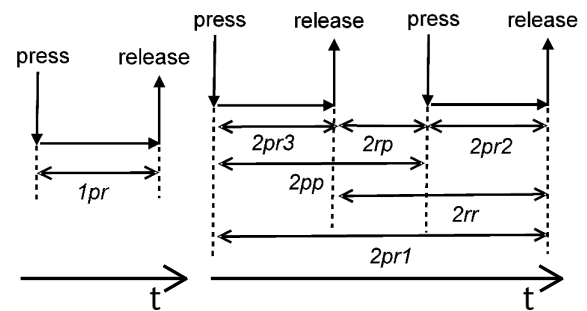


図3 1文字(左)および2文字(右)の打鍵測度

時間を考える。図3右に示すように、キーイベント間の時間には6種類があるが、これらの時間の平均値 ($2xx.ave$) を2文字打鍵における特徴量とする。1文字打鍵の場合と同様に標準偏差についても特徴量の候補として考えられるが、標準偏差を特徴量とすると識別率を低下させてしまうことが、先行研究 [12, 15, 16, 18] により示されているため、本研究では扱わない。また特徴量抽出の対象となる2つのキーは、日本語文の特徴である子音・母音ペアと $nn(n)$ とする。1文字や2文字の出現回数下限閾値 N_{TH} を3回と設定し ($N_{TH} = 3$)、 $2pr1$ 以外の打鍵時間 T は $300[\text{ms}]$ 以内と設定する ($T \leq T_{TH} = 300$) [12]。

さらに、ある特徴量を x とすると、式(1)を用いて $0 \sim 1$ の範囲に標準化する。 x' が標準化された特徴量であり、 x_{\min} と x_{\max} は全てのプロファイル文書から得られた x の最小値と最大値である。

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

2.3. プロファイル生成手法

本論文では2タイプのプロファイル生成手法を提案する。

まず、特徴量抽出の対象となるプロファイル用キーストロークデータ文書 (original docs) の2文書分を連結して新たなプロファイル用データ文書 (combined docs) を生成する。図4に original docs の5文書を連結した例を示す。プロファイル用文書を連結すると1文書の入力文字数が増加する。入力文字数が増加すると、比較文字種数が増加する。比較文字種数が増加すると識別率が向上する [17]。

次は、登録プロファイル群とテストプロファイルとの識別で本人と確認されたら、そのテストプロファイルを新たに登録プロファイル群に追加し、一番古い登録プロファイルを外していく手法である (図5)。本手法は、登録プロファイル用文書とテストプロファイル用文書との入力時期が開くと識別率が低下するという研究結果から有効だと考えられる [23]。

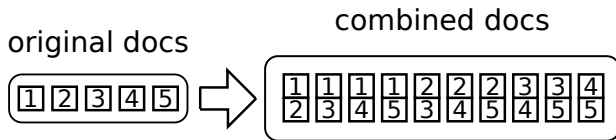


図4 プロファイル用データ文書の連結によるプロフィール用新データ文書の生成手法

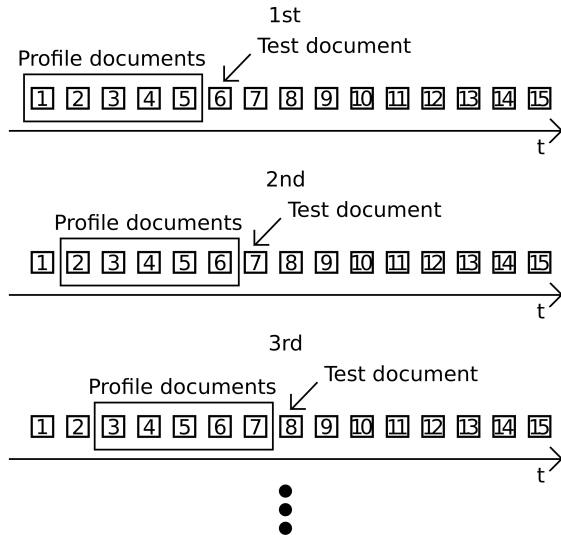


図5 登録プロフィール群の逐次更新手法

2.4. 識別手法

識別手法では、佐村と西村が提案している重みつきユークリッド距離 (WED) 法 [12, 16], Gunetti らが提案している Array Disorder (AD) 法 [7], これら 2 つの手法による距離を足しあわせた WED + AD 法 [18] の 3 つの手法について説明する。

2.4.1. 重みつきユークリッド距離 (WED) 法

重みつきユークリッド距離 (Weighted Euclidean Distance: WED) 法とは、テスト文書とプロフィール文書との重みつきユークリッド距離 (WED) を計算することにより、テスト文書の所有者を決定する識別手法である。テスト文書を $docIN$ 、登録者 A の 1 つ目のプロフィール文書を $docA1$ と表すと、 $docIN$ と $docA1$ との $WED(docIN, docA1)$ は式 (2) のようになる。

$$WED(docIN, docA1) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{\alpha=1}^m \frac{1}{n_{\alpha}} \sum_{i=1}^{n_{\alpha}} (k_{\alpha(i)} - r_{\alpha(i)})^2} \quad (2)$$

ただし、 α は特徴量を表し、 $1pr.ave$, $1pr.sd$, $2rr.ave$ などに対応する。 m は特徴量の種類数であり、本システムでは 8 種類である。次に $\alpha(i)$ は、 $docIN$ と $docA1$ のどちらにも存在する文字、すなわち比較する文字のうち、 i 番目の文字における特徴量 α の値を表し、 n_{α} はそ

の種類数である。また、 $k_{\alpha(i)}$ が $docIN$ における $\alpha(i)$ 、 $r_{\alpha(i)}$ が $docA1$ における $\alpha(i)$ を示す。ここで、 $docIN$ と $docA1$ のどちらかが持たない文字は欠損文字として扱い比較を行わない。なお、式 (2) の値は 0~1 の範囲に規格化される。最近傍決定則により最も距離が小さい文書の所有者とテスト文書の所有者が一致した場合を識別成功、一致しない場合は識別失敗とする。

2.4.2. Array Disorder (AD) 法

Array Disorder (AD) 法とは、テスト文書とプロフィール文書との不揃度を計算することにより、テスト文書の所有者を決定する識別手法である。不揃度とは、特徴量の値を昇順に並び替えて文字を順位づけしたとき、テスト文書とプロフィール文書との文字の並びがどれだけずれているかを表したものである。 $docIN$ と $docA1$ との不揃度 $AD(docIN, docA1)$ を式 (3) および式 (4) に示す。

$$AD(docIN, docA1) = \frac{1}{m} \sum_{\alpha=1}^m \frac{1}{\omega(n_{\alpha})} \sum_{i=1}^{n_{\alpha}} |rk_{\alpha(i)} - rr_{\alpha(i)}| \quad (3)$$

$$\omega(n_{\alpha}) = \begin{cases} \frac{n_{\alpha}^2}{2} & (n_{\alpha}: \text{偶数}) \\ \frac{n_{\alpha}^2 - 1}{2} & (n_{\alpha}: \text{奇数}) \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 α , m , n_{α} は前節で述べた変数である。 $rk_{\alpha(i)}$ は、 $docIN$ において特徴量 α での i 番目の文字の順位を示し、 $rr_{\alpha(i)}$ は $docA1$ における順位である。WED 法と同様に、 $docIN$ と $docA1$ のどちらかが持たない文字は欠損文字として扱う。また、式 (3) の値に対しても 0~1 の範囲に規格化される。最近傍決定則により識別を判定する。

2.4.3. WED+AD 法

WED 法は絶対的な距離を用いており、AD 法は相対的な距離を用いているため、これらは異なる性質を持つ識別手法である。そこで、2 つの手法を足し合わせることによって、さらなる識別率の向上を図るのが WED+AD 法である。本手法も最近傍決定則により識別する。

3. 実験

3.1. 実験方法

本研究では、15 文書以上持ち、全ての文書について 5 分間の入力文字数に応じて 500 文字以上である入力者 100 名に対して実験を行った。タイピングに馴染んでいない初心者から 10 年ほどタイピングを行っている中級者 (上級者) と様々なタイピングレベルの入力者が参加している。また年齢では 15 歳から 18 歳までの男女を対象としている。

本研究では、一回の実験で多くの被験者のキーボードデータを扱うことができる Web ベースの実験シ

システムを用いる。その際、入力には被験者が普段慣れ親しんでいるタイピング学習支援のためのソフトを採用し、不慣れや緊張による影響が出ないように配慮した。図 6 に本実験で用いたソフトの画面を示す。

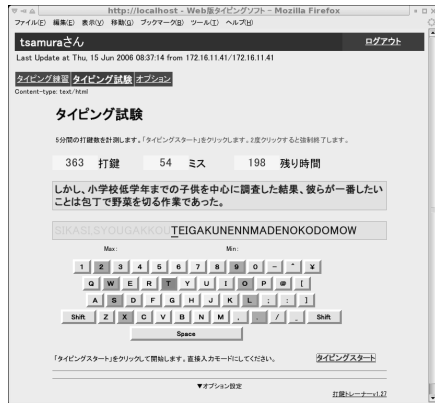


図 6 キーストロークデータ収集ソフト

入力文字表示画面はタイピングスキルが高い被験者は上段の日本語文を見ながら入力する。タイピングスキルが低い被験者は中段のローマ字を見ながら入力していく。また入力するとローマ字は消えていくので、入力ミスを行った場合にはここで確認できる。入力キーストローク数、ミス数、残り時間は画面上部に表示される。本実験では、アルファベット入力プロセスにのみ注目するために、ローマ字漢字変換操作は行わない設計にしている。

被験者は 5 分間の入力を行い、そのときブラウザでは JavaScript が動作し、入力文字、キー・プレス時間、キー・リリース時間を記録する。時間は UNIX 時間(ミリ秒)で計測する。Ajax 方式を利用して記録したデータをサーバに転送する。

取得された入力文書数は被験者によって異なるので、ここでは、図 7 に示すように設定し、 M 文書を超える被験者の場合はランダムに M 文書選択することで全被験者の文書数を揃え、 $M \times$ 被験者数を 1 セットとして解析を行った。選択文書の偏りの影響に配慮して、同様のセットを 5 セット用意して解析を行った。

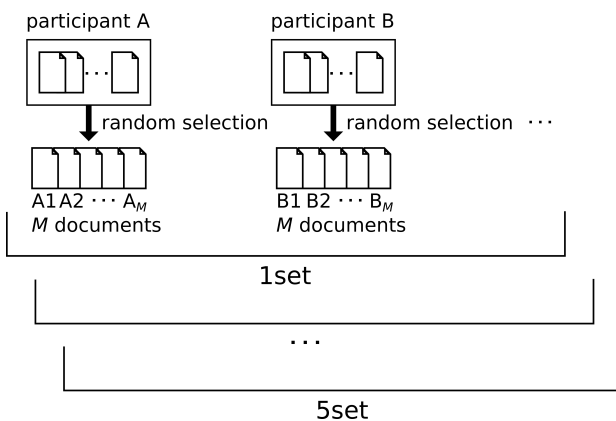


図 7 プロファイル文書の選択方法

テスト文書の所有者が、 N 人のプロファイル文書登録者のうち誰なのかを正しく識別できるかどうかで評価を行う。テスト文書は全てのプロファイル文書と比較し、最近傍決定則によりテスト文書の所有者を決定する。評価指標として識別率を用いる。識別率は(識別成功数/全テスト文書数) $\times 100$ [%]により求める。

3.2. プロファイル文書連結による実験

元となるプロファイル文書 (original docs) をランダムに 5 文書および 10 文書用意し、各 2 文書を連結して新たなプロファイル文書 (combined docs) を生成する。図 8 にプロファイル文書 5 文書を連結した場合を、図 9 にプロファイル文書 10 文書を連結した場合をそれぞれ示す。5 文書に対して全通りの組み合わせで 2 文書連結させると各被験者において 10 文書が生成され、10 文書を全通りの組み合わせで 2 文書連結すると 45 文書が生成される。他の被験者も同様に扱う。

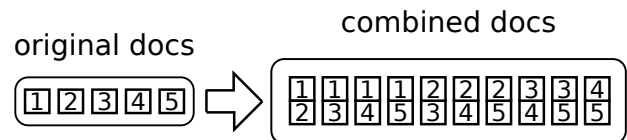


図 8 元となるプロファイル文書 (5 文書) を連結させた実験

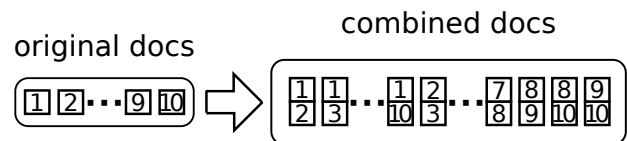


図 9 元となるプロファイル文書 (10 文書) を連結させた実験

また本実験では leave-one-out クロスバリデーション法を用いて識別率を算出する。まず全ての文書の中から 1 つの文書を取り出し、それをテスト文書とする。次にテスト文書と残り全ての文書との距離を各識別手法によって求め、この一連の操作を全ての文書がテスト文書となるまで行う。

3.3. プロファイル文書更新による実験

対象となる実験の文書を被験者ごとにランダムに 15 文書用意する。

最初の場合は、古い方から 5 文書をプロファイル文書として固定し、以降の 10 文書をテスト文書として 1 文書ごとにスライドさせて識別を行う (lag-widening case)。例えば、図 10 は文書 1 から文書 15 の全 15 文書数が用意され、数字の低い文書ほど過去に入力されたものとする。プロファイル文書を文書 1 から文書 5 に固定し、テスト文書を文書 6、文書 7、... とスライドさせて識別する。他の被験者のプロファイル文書も同様に扱う。

次の場合が本論文の提案手法である。プロファイル文書とテスト文書との識別で本人と確認されたら、そのテスト文書を新たにプロファイル文書として更新し、一番古いプロファイル文書を削除する (lag-keeping case)。

ただし、識別失敗した場合はテスト文書はプロフィール文書に格納しない。例えば図 11 は、最初は文書 1 から文書 5 までがプロフィール文書であるが、文書 6 との識別により成功すれば文書 6 をプロフィール文書として取り込み、文書 1 はプロフィール文書から外す。次は文書 2 から文書 6 までがプロフィール文書として扱い、文書 7 との識別を行い、順次プロフィール文書とテスト文書をスライドさせる。

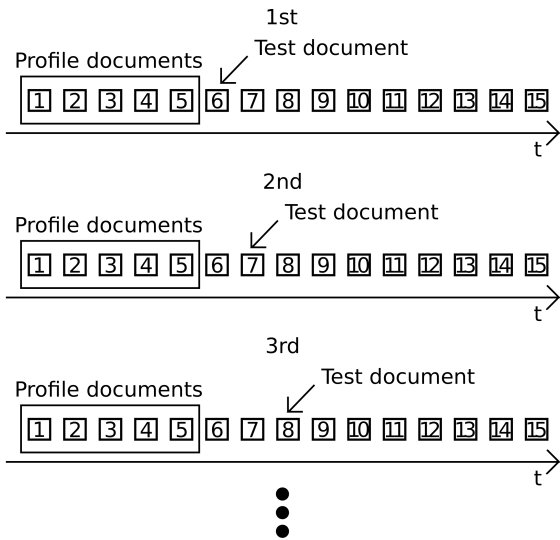


図 10 プロファイル文書を固定させた実験 (lag-widening case)

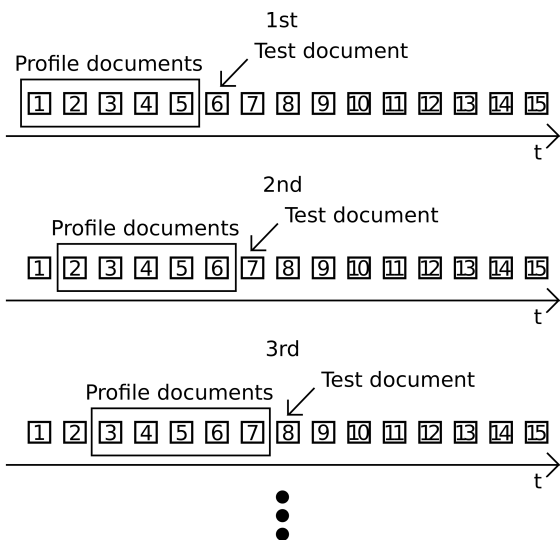


図 11 プロファイル文書の更新による実験 (lag-keeping case)

3.4. 両手法を組み合わせた実験

プロフィール文書連結および更新による手法を組み合わせることにより、識別率がどれくらい向上するかについて実験を行う。図 11 で述べた更新の手法に対してプロフィール文書を連結させる。図 12 に例を示す。まず文書 1 から文書 15 の全 15 文書を用意する。最初は文書 1 から文書 5 までをプロフィール文書、文書 6 を

テスト文書とする。プロフィール文書は 2 文書ごとに連結させて 10 文書にし、テスト文書との識別を行う。識別に成功したら、文書 6 をプロフィール文書として更新し、文書 1 をプロフィール文書として外す。再び文書 2 から文書 6 を連結させて、テスト文書である文書 7 と識別を行う。これを文書 15 まで繰り返す。他の被験者のプロフィール文書も同様に扱う。

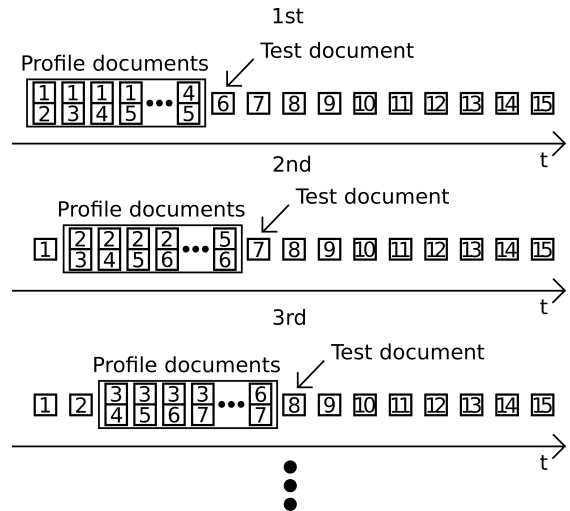


図 12 プロファイル文書連結および更新を組み合わせた実験

4. 実験結果

節 2.4 で述べた識別手法では WED+AD 法が最も高識別率を得ることが示されているので [15, 18]、以下、WED+AD 法の結果についてのみ示す。

まず、節 3.2 で述べたプロフィール文書連結による結果を図 13 に示す。プロフィール文書連結により識別率が向上することが確認できる。プロフィール数も 10 文書のほうが高識別率である。

プロフィール文書連結により識別率が向上した原因について考察する。

まずプロフィール数は連結により、original docs が 5 文書に対して combined docs は 10 文書生成され、original docs が 10 文書に対しては combined docs は 45 文書生成される。この文書数の増加が識別率を向上させていると考えられる。プロフィール文書数を 3 文書、5 文書、7 文書、10 文書として解析した識別率の結果を図 14 に示す。プロフィール文書数の増加により識別率が向上することが確認できる。

もうひとつは連結により入力文字種数 (式 (2) の n_α) が増加し、それが識別率を向上させていると考えられる。original docs が 5 文書と 10 文書の場合の 1 文書あたりの平均比較文字種数と combined docs の場合とを解析した結果を図 15 に示す。連結を行うことで平均比較文字種数は増加していることがわかる。文献 [17] では入力文字数が識別率に依存することを述べている (図 16)。そして入力文字数が増加すると比較文字種数も増加することを解析している (図 17)。これは入力文字数の増加により識別率が向上することを示している。

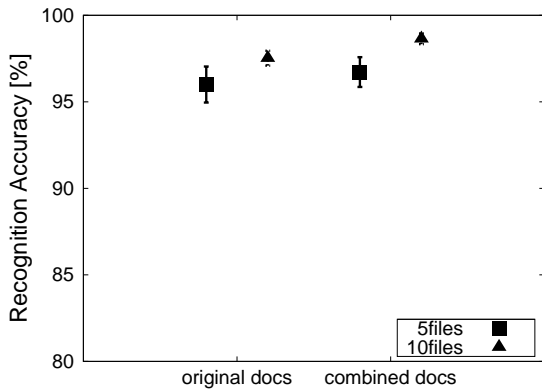


図 13 プロファイル文書連結 (5 文書と 10 文書) による識別率 . original docs は連結を行わない場合 , combined docs は連結を行った場合の結果を表す

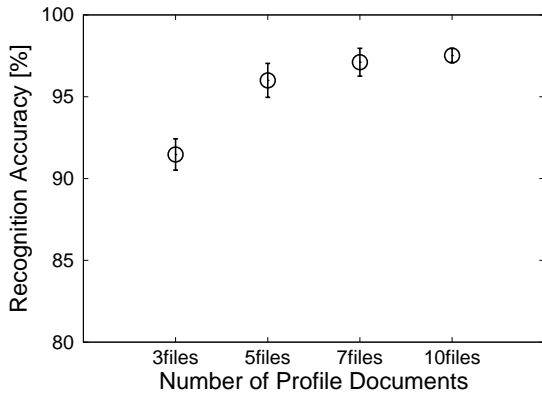


図 14 識別率のプロファイル文書数依存性

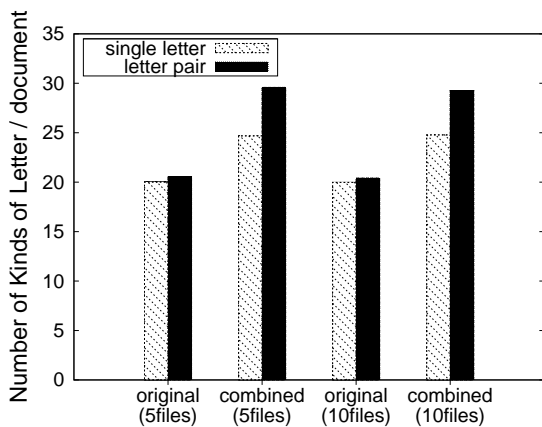


図 15 original docs と combined docs との 1 文書あたりの平均比較文字種数 (5 文書 , 10 文書) . single letter は 1 文字特徴量 , letter pair は 2 文字特徴量を示す

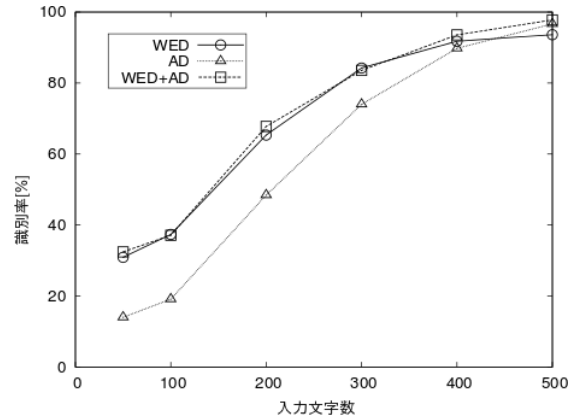


図 16 識別率の入力文字数依存性 [17]

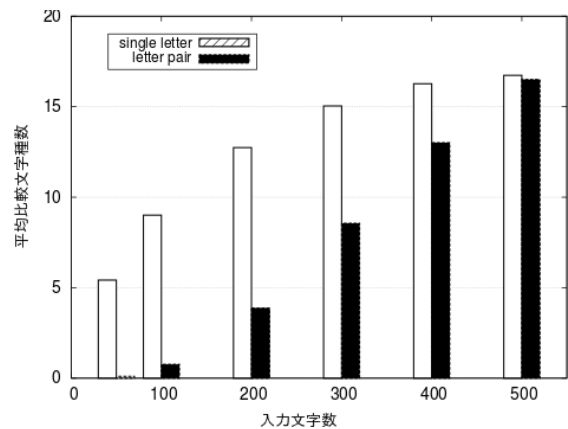


図 17 識別率の比較文字種数依存性 [17]

次に、節 3.3 で述べたプロファイル文書更新による結果を図 18 に示す。プロファイル文書を固定した場合より更新したほうが識別率が向上することが確認できる。

識別率が向上する原因として 2 点が考えられる。ひとつは節 2.3 でも述べたが、プロファイル文書とテスト文書の入力時期が開くと識別率が低下するからである [23]。もうひとつは、識別率を低下させている要因がタイピングスキルの低い被験者がいるからであるが、その被験者のタイピングスキルが 15 回の入力により上がったことが考えられる。図 19 に平均入力文字数の入力回数依存性を示す。全被験者において平均入力数は時間と共に増加していることがわかる。図 20 に 500 文字以上、700 文字以上、900 文字以上と入力文字数閾値を設定した時の被験者数を示す。500 文字以上の被験者を対象としているので、500 文字以上の被験者数は変化がないが、700 文字以上や 900 文字以上の被験者は入力回数を増やすごとに増加していることがわかる。つまり入力回数が増えるごとにタイピングスキルが向上し、それが識別率を向上させていると考えられる。

最後に、図 19 で得られた結果に対して、プロファイル文書を連結させる (節 3.4)。実験結果を図 21 に示す。両手法を組み合わせることで更に識別率が向上できることを確認できる。本論文ではプロファイル文書を 5 文書に設定したが、節 3.2 の実験からプロファイル数は多ければ多いほど高識別率になることが期待できる。

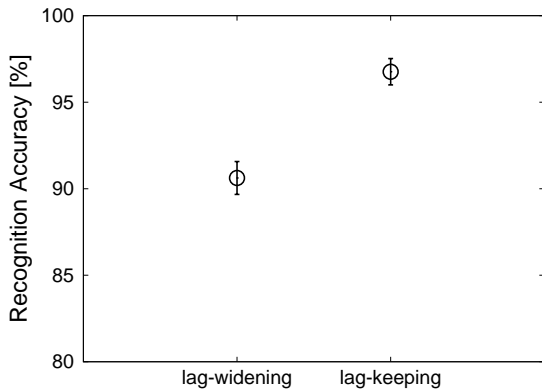


図 18 プロファイル文書を固定した場合 (lag-widening case) と更新した場合 (lag-keeping case) との識別率

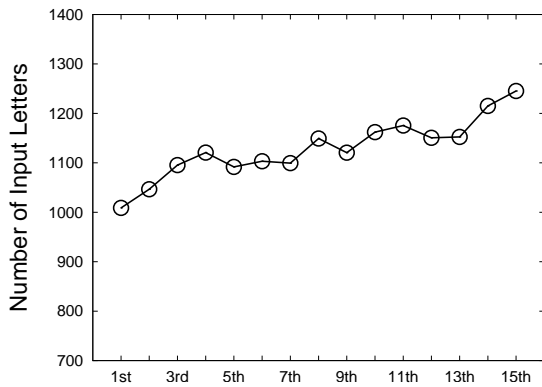


図 19 平均入力文字数の入力回数依存性

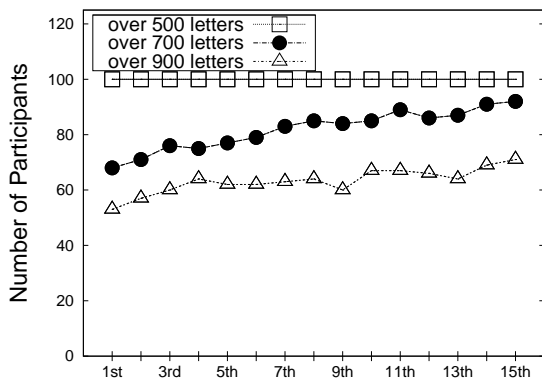


図 20 入力文字数閾値 (500 文字, 700 文字, 900 文字以上) による被験者数

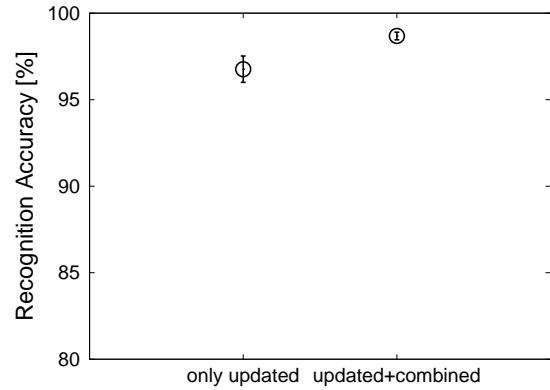


図 21 プロファイル文書連結と更新の組み合わせによる効果

5. おわりに

本研究では、プロフィール生成手法としてプロフィール用文書の連結および更新を導入したキーストローク認証システムを提案し、両手法を組み合わせることで識別率が従来手法より持続的に向上することが確認できた。

今後の課題としては、更にプロフィール用文書の連結数を増やすことや新しいプロフィール生成手法の提案を行なっていく。

参考文献

- [1] S. Banerjee and D. Woodard, "Biometric authentication and identification using keystroke dynamics: A survey," *Journal of Pattern Recognition Research*, 7, pp. 116-139 (2012)
- [2] R. Joyce and G. Gupta: Identity authentication based on keystroke latencies, *Communication of the ACM*, 33-2, pp.168-176(1990)
- [3] 粕川, 森, 小松, 赤池, 角田: 打鍵データに基づく個人認証システムと改良, *情報処理学会論文誌*, 33-5, pp.728-735 (1992)
- [4] 佐村, 高岡, 柴田, 西野, 小高, 小倉: 打鍵データの特徴を生かした個人認証システム, *福井工業大学研究紀要*, 第二部, No. 29, pp.305-312 (1999)
- [5] 小谷, 法岡, 堀井: テンキーパネルを用いた打鍵認証システムの構築と評価, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 7-1, pp.149-156 (2005)
- [6] F. Monrose and A. Rubin: Keystroke dynamics as a biometric for authentication, *Future Generation Computer Systems*, 16, pp.351-359 (2000)
- [7] D. Gunetti and C. Picardi: Keystroke Analysis of Free Text, *ACM Trans. Inf. Syst. Secur.*, 8-3, pp.312-347 (2005)

- [8] 倉橋, 田中, 小松: スコアの累積値を用いたキーストロークダイナミクスによる個人認証手段, 電子情報通信学会技術研究報告, IE, 106-244, pp.35-40 (2006)
- [9] 佐村, 西村: キー押下時間に着目したキーストロークダイナミクス解析, 第5回情報科学技術フォーラム (FIT2006) 講演論文集, pp.459-462 (2006)
- [10] 片岡, 宮本, 青木, 泉: キーストロークの統計情報を利用した個人認証手法の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, SEC, 107-140, pp.23-30 (2007)
- [11] 宮崎, 赤堀: 異種特徴量複合型キーボード・ダイナミクスによる個人認証, 日本 e-Learning 学会論文誌, 44-2, pp.80-89 (2008)
- [12] 佐村, 西村: 非定型な日本語文入力におけるキーストロークダイナミクス識別, システム制御情報学会論文誌, 22-4, pp.145-153 (2009)
- [13] C.C. Tappert, M. Villani, and S. Cha: Keystroke Biometric Identification and Authentication on Long-Text Input, Behavioral Biometrics for Human Identification: Intelligent Applications, IGI global, pp.342-367 (2009)
- [14] 櫻井, 宮本, 青木, 岩田, 汐崎: 日本語非定型文のキーストローク特性に着目した個人識別, 電気学会研究会資料. IS, 情報システム研究会, 2010(21), pp. 19-24 (2010)
- [15] 佐村, 西村: 日本語非定型文入力のキーストロークデータに基づく個人識別ハイブリッドモデル, 計測自動制御学会論文集, Vol.46, No.11. pp.676-684 (2010)
- [16] T. Samura and H. Nishimura: Keystroke Dynamics for Individual Identification in Japanese Free Text Typing, SICE JCMSI, Vol. 4, No. 2, pp.172-176 (2011)
- [17] 平岡, 佐村, 西村: 日本語自由文書入力におけるキーストローク認証, 第10回情報科学技術フォーラム (FIT2011), 第4分冊, RL-005, pp.19-24(2011)
- [18] T. Samura and H. Nishimura: Personal Identification and Authentication Based on Keystroke Dynamics in Japanese Long-Text, in Continuous Authentication based on Biometrics: Data, Models, and Metrics, I. Traore et al.(Eds.), IGI Global, pp.212-231 (2011)
- [19] 金子: ハミング距離似のフィルタリングを用いたキーストロークダイナミクスによるパスワード強化, 電子情報通信学会技術研究報告, CAS, 回路とシステム 111(242), pp.43-48(2011)
- [20] 木又, 小林: ニューラルネットワークを用いたキーストロークダイナミクスによる個人認証, 電子情報通信学会技術研究報告, IN, 情報ネットワーク 111(245), pp.49-52(2011)
- [21] 櫻井, 宮本, 青木, 岩田, 汐崎: ニューラルネットワークを用いたキーストローク特徴によるユーザ認証, 電子情報通信学会技術研究報告, IT, 情報理論 110(442), pp.213-220(2011)
- [22] 松原, 佐村, 西村: 非定型文キーストローク認証への入力・認証状況変化の影響, 第11回情報科学技術フォーラム (FIT2012), 第4分冊, L-005, pp.103-106(2012)
- [23] Y. Matsubara, T. Samura and H. Nishimura: Robustness of Keystroke Dynamics against Changing in Input and Recognition Conditions for Japanese Atypical Text, Proc. of ISTS2012, pp.103-106(2012)
- [24] 松原, 八木, 佐村, 西村: 非定型文キーストローク生体認証へのプロファイル生成における頑健性, 平成24年電気関係学会関西連合大会, pp.109-110 (2012)
- [25] 松原, 佐村, 西村: 非定型文キーストローク認証におけるプロファイルの頑健性, 2013年電子情報通信学会 総合大会, p.211 (2013)