

打鍵署名の経時変化と個人認証性

角田博保 浅井有希 粕川正充

電気通信大学 情報工学科

打鍵時間データに基づく個人認証手法で使われる打鍵署名が、練習によってどのように変化していくかを実験をもとに分析した。

被験者 15 人が同一打鍵列をそれぞれ 1000 回繰り返し打鍵する実験に基づいて打鍵署名の変化を分析したところ、交互打鍵の方が打鍵時間減少率が大きいこと、同手打鍵は安定していること、熟練者の中には同手異指打鍵が高速化する場合があること、2 つ以上離れた打鍵間の打鍵時間の分散が小さくなる場合があること、および、打鍵時間の増減パターンがいくつかに分類できることが明らかになった。また、打鍵署名を用いて個人認証をする手法の認証精度が 1000 回実験を通して向上したことから、良く慣れた打鍵列を打鍵署名に選べば、個人の認証がより確実になることが分かった。

A Refinement Process of Keystroke Signatures

Hiroyasu Kakuda Yuki Asai Masaatsu Kasukawa

Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

We study the user authentication method using the keystroke latencies, named 'Keystroke Signatures'. To test the effect of the practice for certain keystroke patterns and its refinement process of the inter-keystroke timing, we made an experiment with 15 subjects in 4 word signatures for 1,000 exercises. In this paper, some results of this experiment are reported, such as an acceleration of inter-hand keystrokes, a stability of same-hand keystrokes and the required word characteristics suitable for keystroke signatures. The degree of improvement of the authentication after the experiment is also reported.

1 はじめに

現在、ワークステーションのように資源やデータを共有して使用する計算機では、利用する個人を識別する手段が必要である。ログイン時にユーザ名とパスワードを入力し、登録してあるものと一致するかどうかで本人を判定するのが一般的である。この方法は、簡単はあるが、安全面では劣るといえよう。ところで、欧米社会では個人認証に手による署名（サイン）が広く用いられる。つまり、動作の個人的特徴を利用して個人を認証するわけである。打鍵も個人の動作であるから、打鍵にかかる時間を署名として使うことが考えられる。

打鍵時間データにもとづいて、個人認証をするシステムについてはいくつかが提案されている[1][2]。その方式は、個人ごとにある打鍵列を定め、あらかじめ本人の打鍵時間データを打鍵署名として登録しておき、その署名と照合するというものである。照合に際しては全く同じ打鍵間時間列であることは要求せず、ある許容範囲に入っているかどうかを調べることになる。

署名として使う打鍵列には、ユーザ名、パスワード、姓、名など本人なら何度となく打鍵しているものを連結して使う方法がとられる[1]。本人を本人と認定するためには、本人の特徴が現れる打鍵列、つまり、何度も打鍵して充分慣れていて打鍵間時間列の変動が少ない打鍵列を使う必要がある。ところで、同じ打鍵列を他人が何度となく練習して慣れてくると、同じ打鍵署名になるかもしれないという疑問がでてくる。あるいは、身体的特徴によって同じ打鍵署名とはならないのかかもしれない。

そこで、本研究では、15人の被験者に対して同じ打鍵列を1000回繰り返し打鍵するという実験を行なった。得られたデータをもとにして、習熟の結果到達する打鍵署名について、比較検討した。

以下、2節で実験の説明をし、3節で結果の分析をおこなう。4節では認証手法について検討する。

2 1000回打鍵実験

4種類の名前をそれぞれ1000回正しく打鍵する実験をおこなった。

2.1 実験装置

実験には、日本電気製パーソナルコンピュータPC-9801VXを用いた。データ採取の実験システムはひとつつの部屋を借りきって、被験者が一人で実験に取り組めるようにした。

2.2 データ採取とプログラム

データ採取プログラムは、C言語で記述され、MS-DOS環境で動作する。

被験者はまず自分の名前を入力する。つづいて、画面左上に示された打鍵列を打鍵し、returnキーを打つ。このとき、被験者の打鍵が正しければ右上の数字が増え、次の打鍵へと移る。正しくなければ、“ピッ”と発信音となり、右上の数字は変わらずに、次の打鍵へと移る。

正しく50回打鍵し終ると、左上の打鍵列は2つの打鍵列にかかる。同様に実験を続け、正しく50回打鍵すると1ラウンド終了である。

2.3 被験者

被験者は筆者らの研究室の教官、大学院学生、および学部学生の15人をボランティアとして募った。被験者は、この実験の目的(1000回打鍵することによって打鍵パターンがあるパターンに収束するかどうか)と方法(セッション数や打鍵順序)についての説明を受け、各自で実験を行なった。

2.4 打鍵列

“kitamura”、“rokunohe”、“akaike”、“kakuda”的4打鍵列を入力させた。打鍵列を決めた理由は、交互打ちであってそれぞれの指をまんべんなく使い、6～8文字程度のものという観点に基づいて被験者の名前から選んだ。この4打鍵列を合わせたものが打鍵署名文字列となる。

2.5 実験手順

1回のデータ採取時には“kitamura”、“rokunohe”的2種、あるいは“akaike”、“kakuda”的2種を50回ずつ、正しく打って終了する(1ラウンド)。

少なくとも続けて100回は打つことになる。対象打鍵列を取り替えてもう1ラウンドすると、これで1セッションである。これを20セッションおこなう。

また、腕の疲れが影響を及ぼすことも考えられるので、ラウンドの間隔は1時間ほどあける。また、セッションの間隔は、2時間ほどあける。

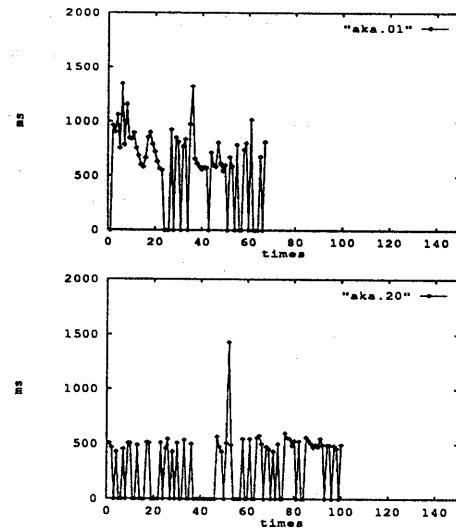


図1：誤打鍵を含む署名 ‘akaike’ の打鍵データ

3 実験データの分析

打鍵時間データは5ミリ秒の精度で計測し、誤打鍵もすべて記録した。

長さ n の打鍵間時間列を $k[1], k[2], \dots, k[n]$ と表すことにする。 $k[i]$ が i 番目の打鍵間時間、つまり、 i 番目の打鍵と $i+1$ 番目の打鍵の間の時間とする。また、4つの署名打鍵列 ‘akaike’、‘kakuda’、‘kitamura’、‘rokunohe’ に対応する打鍵間時間列を *akaike*、*kakuda*、*kitamura*、*rokunohe* で表す。*akaike*[1] は最初の打鍵間時間であり、最初の打鍵 ‘a’ までの時間はカウントしないので、 $a-k$ の打鍵間の時間を表す。*akaike*[5] は $k-e$ 、*akaike*[6] は $e-CR$ を表す。

3.1 1000回打鍵の生データ

正しく打たれた1000回の打鍵をえるためには、誤打鍵も相当数打たれている。被験者6の‘akaike’打鍵についての第1セッションと第20セッションの実際に採取されたデータ(誤打鍵を含む)を図1に示す。横軸に打鍵列を打った回数、縦軸に打鍵時間(ミリ秒)を示す。

誤打鍵は打鍵間時間0秒として描く。1セッション当たり50回署名を打鍵することになるが、150回以上打鍵した例もあった。

3.2 署名打鍵時間の経時変化

正しく打鍵された署名打鍵列の総打鍵時間の経時変化を図2に示す。これも被験者6による。

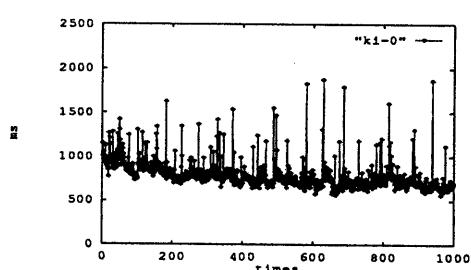


図2：署名 ‘kitamura’ の打鍵データ

横軸に打鍵回数、縦軸に打鍵時間（ミリ秒）を示す。経時変化が見やすいように、各打鍵を線で結んで示す。打鍵時間は打鍵列の第1文字を打ってから改行キーを打つまでの時間である。正打鍵列といつても極端に遅い打鍵列（例外打鍵列と呼ぶ）があることが分かる。練習によって速くなっていく状況がみてとれる。

本来練習による打鍵時間の減少は練習のベキ乗則[4]に従うので、両対数で描くのが自然であるが、例外打鍵列の影響を受けること、普段からキーボードを使っている被験者を選んだので、ある程度打鍵速度が安定していることから、そのままプロットした。

3.3 例外打鍵列の除去

図2からもわかるように、実験データには例外打鍵列の打鍵時間も含まれる。ある打鍵列のあるセッションでの打鍵時間の分布を調べると、例外打鍵列も合わせて平均、標準偏差を計算すると、とくに標準偏差が非常に大きくなり、例外打鍵列を除いた通常の打鍵列の安定度が判断できなくなってしまう。そこで、セッション内の総打鍵時間の平均から、標準偏差の3倍以上離れている打鍵列を例外打鍵列として除くことにした。以降のすべての表では例外打鍵列を除いたデータを扱うことにする。

表1には署名打鍵列 'kakuda' に対する被験者15人の打鍵結果を示す。（残りの3打鍵列については省略。）第1,2,19,20セッションのみを示す。単位はミリ秒である。平均値と標準偏差を載せる。欄は左から順に、被験者番号、セッション番号（括弧内は例外打鍵列を除いた打鍵回数）、総打鍵時間（左に平均値右に標準偏差、以下同様）、個別の打鍵間時間 ('kakuda[1]' から、'kakuda[6]'）を示す。行方向には被験者を順に示す。被験者ごとにまとめて、20セッション中の平均値の平均と標準偏差の平均を示す。

3.4 署名打鍵列の特徴

4つの署名打鍵列を交互打鍵になるところに縦棒を引いて表すと以下の通りである。

```
a | k | a | i k | e | CR
k | a | k u | d a | CR
k i | t a | m u | r a | CR
r | o k u n o h | e | CR
```

'akaike' はほぼ交互打鍵が続く。'ik' のところで同指打鍵となる。

'kakuda' はほぼ仮名文字単位で交互打鍵となる。同指打鍵はない。

'kitamura' は完全に仮名文字単位で交互打鍵となる。'ki' と'mu' が同指打鍵である。

'rokunohe' は同手打鍵が5打鍵も続く。

3.5 打鍵間時間の経時変化

4署名打鍵列それぞれについて、第1セッション、第20セッションの被験者全員の打鍵時間の平均値を求めた。以下に示す。

打鍵列 akaike

Sno.	Total	a-k	k-a	a-i	i-k	k-ee-CR
1	1125.6	196.1	169.1	199.2	212.3	126.8
20	619.4	95.5	101.9	83.0	143.6	65.2

打鍵列 kakuda

Sno.	Total	k-a	a-k	k-u	u-d	d-a-a-CR
1	1983.9	129.9	197.8	166.8	174.7	122.8
20	494.0	71.3	99.0	87.9	49.3	96.4

打鍵列 kitamura

Sno.	Total	k-i	i-t	t-a	a-m	m-u	u-r	r-a-a-CR
1	1425.0	184.3	200.0	109.0	208.6	221.2	190.4	97.1
20	847.5	153.4	75.7	92.1	79.5	194.2	60.9	79.1

打鍵列 rokunohe

Sno.	Total	r-o	o-k	k-u	u-n	n-o	o-h	h-ee-CR
1	1671.1	133.8	269.6	200.1	265.7	136.8	284.9	149.9
20	1037.7	86.3	167.6	131.3	215.1	84.6	105.4	96.4

(単位はミリ秒)

打鍵数で総打鍵時間を割った1打鍵当たりの平均打鍵時間を比較すると、「kakuda」、「akaike」、「kitamura」、「rokunohe」の順であった。同手打鍵が続く「rokunohe」が遅い。また、打鍵数が少ない方が平均打鍵時間も短い傾向がある。「akaike」が「kakuda」より遅いのは「i-k」のところに同指打鍵があるからである。

全体の打鍵時間をみると、1000回の練習でほぼ半分になっている。どの打鍵間が貢献しているかをみると、隣接打鍵間時間が半分以下になったところ

は、'akaike' で 3 箇所、'kakuda' で 3 箇所、'kitamura' で 3 箇所、'rokunohe' で 2 箇所である。1 つの例外 ('rokunohe' の 'o-h') を除いてすべて交互打鍵の打鍵間である。

同手打鍵でも練習によって打鍵時間は減少しているが、運動機能上の制約を受けるので交互打鍵に比べて劣っている。

個々の打鍵間について第 1 セッションと第 20 セッションでの打鍵時間を昇順にならべたものを以下に示す。

第 1 セッション 打鍵時間	第 20 セッション 打鍵時間
97.1 ★ r-a	49.3 u-d
109.0 ★ t-a	60.9 u-r
122.8 ★ d-a	65.2 k-e
126.8 k-e	71.3 k-e ²
129.9 k-a ²	75.7 i-t
133.8 r-o	79.1 ★ r-a
136.8 ★ n-o	79.5 a-m
149.9 h-e	83.0 a-i
166.8 ★ k-u ²	84.6 ★ n-o
169.1 k-a ¹	86.3 r-o
174.7 u-d	87.9 ★ k-u ²
184.3 ★ k-i	90.2 a-CR ²
190.4 u-r	92.1 ★ t-a
191.7 a-CR ²	95.5 a-k ¹
196.1 a-k ¹	96.4 ★ d-a
197.8 a-k ²	96.4 h-e
199.2 a-i	99.0 a-k ²
200.0 i-t	101.9 k-a ¹
200.1 ★ k-u ⁴	105.4 ★ o-h
208.6 a-m	112.7 a-CR ³
212.3 ★ i-k	130.1 e-CR ¹
214.4 a-CR ³	131.3 ★ k-u ⁴
221.2 ★ m-u	143.6 ★ i-k
222.1 e-CR ¹	151.0 e-CR ⁴
230.2 e-CR ⁴	153.4 ★ k-i
265.7 ★ u-n	167.6 ★ o-k
269.6 ★ o-k	194.2 ★ m-u
284.9 ★ o-h	215.1 ★ u-n

同一打鍵間がある場合は、'akaike'、'kakuda'、'kitamura'、'rokunohe' の順に 1,2,3,4 と添字をつける。★は同手打鍵。

練習をしない時は同手打鍵の中の打ちやすい組合せ (r-a, t-a, d-a) が打鍵間時間が短い。交互打鍵はタイミングをとるのに熟練を要するので、最初のうちは遅くなっている。第 20 セッションでは交互打鍵が上位を占める。比較的打ちやすい同手打鍵がそれに続く。交互打鍵であまり速くならないものに CR 打鍵があるが、これはある程度は打鍵署名を確認してから CR を打つくせのある被験者による影響と思われる。また、CR がキー ボードの右端にかな

り離れて位置していることも原因であろう。

また、初心者は最初の内は仮名文字単位で打鍵しようとする傾向がある。たとえば、表 1 の 'kakuda' の例をみると、'ku' と 'da' という単位で打とうとする。したがって、子音打鍵が母音打鍵より遅くなる。この場合母音打鍵は同手で、子音打鍵は交互であるにもかかわらず、同手の方が速くなる。しかし、練習をしていくうちに打鍵列を体が覚えていき、仮名文字単位という打ち方から変わっていく。最終的には速く打てる交互打ちの子音打鍵の方が速くなっている。しかし、母音打鍵の方が速い被験者も見かけられる（アルペジオ打鍵）。個人差が出ていると思える。

3.6 個々の打鍵間時間の標準偏差

各セッション内での個々の打鍵間時間の変動係数（標準偏差／平均値）によって、その打鍵がいつも同じ時間で打たれていたかどうか（安定性）を知ることができる。表 1 のセッション 20 から変動係数を計算すると、変動係数が 3 割以下の場合が、d-a 打鍵間で 9、a-CR 打鍵間で 8、k-u 打鍵間で 6、a-k 打鍵間で 5、k-a 打鍵間で 2 であった。このことから同手打鍵間は安定して打鍵されることがわかる。u-d 打鍵間は平均値は非常に小さい値を示すが、標準偏差は相対的に大きい。交互打鍵は高速に打てるが、いつも同じリズムで打てるわけではない。

打鍵列 'akaike' においては唯一の同手打鍵かつ同指打鍵の i-k 間で全被験者とも変動係数は 0.15 を割っており、非常に安定している。打鍵列 'kitamura' では k-i 間が 0.141 以下、m-u 間が 0.156 以下であるが、t-a 間は 0.313 以下、r-a 間は 0.5、0.37、0.30 の被験者以外は 0.2 以下となっている。同指打鍵の方が変動係数が小さくなっている。打鍵列 'rokunohe' では o-k、k-u、u-n が変動係数が小さい。同手打鍵が 5 つ続くので後半で息切れがする傾向がある。

3.7 アルペジオ打鍵

同手打鍵でもピアノのアルペジオを弾くように高速に打鍵できる打鍵組で実際に高速に打鍵された場合をアルペジオ打鍵と呼ぶことにする [3]。練習する

ことによってアルペジオ打鍵となる場合がある。たとえば、表1のk-u 打鍵間を見ると、被験者1、6、8、11、15 がアルペジオ打鍵となっている。d-a の方は顕著ではないが、被験者6、14、15 が高速に打鍵している。アルペジオ打鍵になるならないは個人差が大きいので、この特徴を個人認証に利用すると認証の性能が上がると思われる。

3.8 連続打鍵時間の増減パターン

打鍵列は連続する打鍵間時間がどのように増減するかによって類別することができる。各打鍵位置での増減をセッション単位（約50打鍵）で計数した結果（被験者1の打鍵列'kakuda'）を以下に示す。

Sno.	k-a	a-k	a-k	k-u	k-u	u-d	d-a	d-a	a-
1(50)	o31	17	5	o44	o45	5	22	26	29
2(50)	25	23	8	o40	o42	8	26	18	o28
3(50)	21	27	15	o32	o35	13	24	24	17 o32
4(50)	o30	17	9	o39	o41	6	7	o40	24
5(50)	26	22	19	28	o32	15	21	27	o31
6(50)	o34	12	6	o44	o47	3	3	o47	o36
7(50)	o34	15	15	o34	o40	9	7	o41	23
8(50)	19	29	21	24	o45	4	4	o44	30
9(49)	16	o29	o30	16	o38	11	4	o42	o38
10(50)	o32	17	15	o33	o33	12	2	o48	o42
11(50)	23	23	17	o30	o41	7	2	o47	o47
12(48)	23	25	25	22	22	21	10	o38	o43
13(48)	o34	13	17	26	27	19	6	o41	o46
14(50)	21	27	27	23	o44	4	1	o49	o50
15(48)	o34	9	11	o35	o44	4	0	o47	o44
16(50)	o32	14	28	21	o30	16	2	o48	o44
17(50)	30	20	27	21	26	23	2	o48	o48
18(50)	15	o34	o40	6	21	27	4	o46	o48
19(50)	29	19	o31	17	o29	15	0	o49	o48
20(49)	26	19	28	20	23	21	1	o46	o49

第*i*欄には *kakuda*[*i*] と *kakuda*[*i*+1] を比較して、*kakuda*[*i*] が多い場合の数を左側に、少ない場合の数を右側に書いてある。場合の割れ方を符合検定し、95%で有意の場合に○をつけてある。たとえば、右側に○があればあの打鍵の打鍵時間が長いことをあらわす。

k-a と a-k、a-k と k-u、k-u と u-d の間には増減の有意差がない。セッションごとに増減が変わる場合は本人がいつも決まってこのように打つということをいえないで、増減差がないとみなす。u-d と d-a の間は増加、d-a と a-CR の間は減少といえる。このようにして、被験者それぞれについて、それぞれの打鍵列に対する増減を調べてみた。打鍵列'akaike'では8パターン、'kakuda'では13パターン、'kitamura'

では12パターンに分かれた。'rokunohe'ではすべて違うパターンであった。改行キーを除いて類別化すると、打鍵列'akaike'では6パターン、「kakuda」では11パターン、「kitamura」では7パターン、「rokunohe」では14パターンになった。

'akaike'と'kitamura'について、増減を↖、↘であらわした類別化の状況を以下に示す。

a	k	a	i	k	e	被験者番号
-	-	-	↖			6
-	-	↗	↘			3, 5, 7, 8, 9, 10, 14
-	↗	↗	↘			13
↖	↖	↗	↘			1, 2, 12, 15
↖	↖	↗	↘			4
↘	↘	↗	↘			11

k	i	t	a	m	u	r	a	l	被験者番号
-	-	↖		↗	↖	↘	↗		4
↖	↖	↖	-	↗	↖	↘	-		3
↖	-	-	↗	↖	↖	↘	-		1, 7, 9, 12, 13
↖	-	↗	↗	↖	↖	↗	↗		6, 11
↖	↗	-	↗	↖	↖	↘	-		8, 15
↖	↗	↗	↗	↖	↖	↗	↗		2, 5, 10
↖	↖	↖	-	↗	↖	↘	-		14

誰もが一致する増減パターン（たとえば、'akaike'の k-e 間）は個人認証には役に立たない。人によって増減が異なる部分は個人認証に利用すると効果がある。

3.9 2つ以上離れた打鍵間の分散

複数打鍵間時間を次のように書くことにする。 $k[i, j] = k[i] + k[i+1] + \dots + k[j]$ 。第1と第20セッションでの $k[i, j]$ の分散と i, j 間の打鍵間時間の分散の和との比をとって、F値を求めた。F値が大きい場合、その複数打鍵間は個別の打鍵間よりより安定して打鍵されていることになる。95%で有意となる（つまり特別にその複数打鍵間が安定して打たれている）複数打鍵間を調べると、第1セッションでは署名打鍵列と同じ名前の被験者に見られる位でほとんど有意とはならなかった。

第20セッションでは有意な複数打鍵間が増えた。総数を数えると 'rokunohe' が少なく打ちにくさを反映していた。特に目だった複数打鍵間は、'akaike[0, 1]'、'akaike[1, 2]'、'kakuda[0, 1]'、'kakuda[3, 5]'、'kitamura[1, 3]'などであった。それぞれ、a-k-a、k-a-i、k-a-k、u-d-a-CR、i-t-a-m に対応している。つまり、同手の飛び打鍵間でタイミングを合わせているといえ

よう。

精密な分析の途中ではあるが、分析が進めばさらに得るところがあると期待される。

3.10まとめ

以上をまとめると、(1) 交互打鍵の方が打鍵時間減少率が大きいこと、(2) 同手打鍵は変動が小さい(安定している)こと、(3) 熟練者の中には同手異指打鍵が高速化(アルペジオ化)する場合があること、(4) 打鍵時間の増減パターンのいくつかに分類できること、(5) 2つ以上離れた打鍵間の分散が小さくなる場合(チャンク化)があること、が明らかになった。

4 個人認証手法の評価

各被験者に対して、第1セッションと第20セッションのそれぞれの署名打鍵結果から、セッションごとに16個の打鍵間時間列を2組無作為にとりだし、一方を参照署名集合、他方を検査署名集合とした仮想的な認証実験をおこなった。

打鍵署名を用いて個人認証をする手法として、JG手法[1]と新JG手法[2]をとりあげた。

両認証手法とも以下のようにして個人を認証する。

まず、本人の署名打鍵時間列を既定の組数用意する。これを参照署名集合とする。各打鍵間ごとに平均をとることによって平均的な署名打鍵時間列(参照署名と呼ぶ)を計算する。ついで、参照署名集合に含まれる署名打鍵時間列と参照署名とのノルムを計算する。ノルムは個々の打鍵間から計算されたそれぞれのノルムから、平均と標準偏差を求める。これより認証閾値を定める。これで前準備は完了である。検査署名を本人と認定するには、検査署名と参照署名とのノルムを計算し、それが認証閾値内におさまるかどうかによっておこなう。

JG手法ではノルムとして個々の打鍵間時間の差の絶対値を使う。新JG手法では、差の絶対値を個々の打鍵間時間に対応する参照署名の標準偏差で割った値を使う。こうすることによって、打鍵の変動による影響を小さく抑えている。

なお、利用者本人の入力を誤りと判定してしまう場合を認証失敗(false alarm)、他人の入力を本人だと間違って認証してしまう場合を誤認(impostor pass)と呼ぶ。認証失敗、誤認とも少ない方がよい。

第1セッションと第20セッションから取り出された参照署名集合と、検査署名集合から認証した結果を以下に示す(単位は%)。

	第1セッション		第20セッション	
	誤認	認証失敗	誤認	認証失敗
JG手法	1.6	42.9	0.44	16.3
新JG手法	1.0	50.8	0.33	11.3

第1セッションの打鍵データからは、個人を認証するのがかなり難しい。本来、本人は慣れているという仮定があるので、この場合本人も慣れていないので、こういう悪い結果となった。

第20セッションの打鍵データでは、かなり良い成績となっている。新JG手法の方が若干良く見える有意差はなかろう。

練習開始前よりも練習終了時の方が、認証の精度が向上していることから、良く慣れた打鍵列を使えば、個人の認識がより確実になることが分かる。また、同じ打鍵列を何度も練習して慣れたからといって、同一の打鍵間時間列に収束するということではなく、かえって個人の特徴がより明確にあらわれることがわかった。

5 おわりに

1000回打鍵実験の結果の分析から、いくつかの打鍵の特徴が見いだされた。この特徴をうまく利用して、個人認証をする手法を考えることが今後の課題である。

参考文献

- [1] Joyce,R.,and Gupta,G.: Identity Authentication Based on keystroke Latencies, *Commun.ACM* 33,2 (Feb 1990), 168-176.
- [2] 森 裕子, 小松 賢嗣, 赤池 英夫, 柏川 正充, 角田 博保:打鍵データに基づく個人認証システムの作成と評価, 情報処理学会研究報告(ヒューマンインタフェース研究会),91-HI-34,34-6.
- [3] 角田 博保, 柏川 正充:連続打鍵列の打鍵時間に対する分析と考察, 情報処理学会研究報告(ヒューマンインタフェース研究会),91-HI-35, 35-8.
- [4] Card,S.K.,Moran,T.P.,and Newell,A.:The Psychology of Human-Computer Interaction.,Lawrence Erlbaum Associates,Inc.(1983)

表 1: 打鍵列 'kakuda' に対する実験結果

被験者	Sno.	Total	(sd)	k-	a-	k	k-	u	u-	d	d-	a	a-	CR
1	1(50)	498.3	38.5	79.6	24.3	71.1	28.9	120.8	24.3	77.9	22.9	80.8	19.3	68.1 23.6
	2(50)	457.9	35.2	73.3	21.8	68.8	23.6	98.4	28.6	78.8	21.9	75.5	16.4	63.1 19.0
	19(50)	390.1	20.9	76.1	28.9	67.5	30.1	50.7	19.1	43.2	16.8	104.4	18.2	48.2 16.5
	20(49)	382.3	20.9	72.9	23.1	64.2	26.7	56.0	22.5	53.3	18.0	96.0	15.8	40.0 12.1
	ave.	405.8	23.1	70.8	23.7	64.7	25.0	72.0	21.2	50.6	20.3	89.4	18.5	58.2 18.1
2	1(47)	670.3	37.6	92.1	26.0	161.8	22.9	120.3	19.0	72.8	33.6	152.6	16.4	70.7 29.3
	2(45)	654.1	52.3	94.1	41.4	156.7	29.8	102.7	23.7	77.2	28.5	155.8	19.8	67.7 34.7
	19(50)	497.7	36.6	83.0	28.8	112.4	30.5	75.6	22.9	35.9	16.2	154.2	20.0	36.6 16.7
	20(50)	511.5	31.4	98.0	21.6	98.6	23.0	91.8	19.7	37.2	18.0	155.5	15.9	30.4 15.4
	ave.	581.0	36.3	91.1	27.2	136.2	27.0	95.2	20.2	45.8	20.6	156.7	17.0	56.1 24.1
3	1(46)	1054.0	127.7	156.8	32.2	193.6	55.9	203.0	25.0	149.7	46.5	174.0	21.5	176.8 23.4
	2(47)	1152.6	115.9	156.4	55.3	155.6	18.8	196.5	21.7	225.6	52.4	179.0	67.7	239.4 42.5
	19(45)	674.6	41.2	74.9	41.4	152.8	36.4	204.2	10.9	76.6	29.9	120.0	33.7	46.1 22.4
	20(43)	658.1	79.3	77.1	47.4	140.9	29.3	192.6	16.9	74.7	38.6	126.0	28.3	46.9 33.8
	ave.	794.1	85.3	113.2	40.6	150.6	40.5	188.7	14.9	108.4	36.7	117.0	33.0	116.3 34.2
4	1(48)	676.2	65.6	57.8	16.0	199.1	31.6	150.0	32.0	77.3	38.5	90.1	20.0	102.0 34.9
	2(45)	692.6	47.9	54.6	15.9	182.7	35.1	152.6	37.8	93.7	49.0	104.9	21.8	104.2 42.9
	19(48)	415.9	37.1	40.0	18.7	135.9	21.2	32.2	17.0	31.7	15.5	81.1	17.4	95.0 21.4
	20(50)	426.7	36.5	23.4	15.2	152.8	22.1	35.9	20.2	32.9	17.9	96.3	15.9	85.4 23.8
	ave.	528.1	42.4	39.5	17.6	156.7	29.1	76.9	28.2	57.0	29.8	91.5	20.7	106.5 31.3
5	1(49)	1025.4	320.4	150.0	69.3	259.5	249.7	134.5	29.6	102.0	100.9	157.1	24.6	222.2 118.0
	2(49)	1030.3	324.6	177.1	102.6	214.2	191.2	164.2	51.6	91.2	51.9	159.5	22.6	224.1 172.2
	19(46)	565.3	55.0	107.0	30.8	86.6	31.5	101.7	45.8	52.9	30.9	105.2	27.7	111.8 31.9
	20(46)	490.8	30.0	79.6	35.8	99.3	39.6	62.9	27.1	43.6	21.4	129.3	19.9	76.0 22.6
	ave.	676.4	93.8	110.3	40.7	114.1	61.6	116.3	40.4	60.4	37.3	141.3	24.0	134.1 54.0
6	1(49)	427.1	30.5	73.3	21.1	101.8	20.3	41.5	13.0	65.2	22.7	40.6	25.8	104.7 22.8
	2(49)	440.9	28.9	73.7	19.2	111.7	16.2	57.4	16.7	50.0	24.2	40.5	21.9	107.6 23.9
	19(48)	396.8	28.6	79.4	22.4	94.2	26.8	46.2	11.4	34.0	23.2	43.6	17.9	99.4 25.9
	20(48)	386.0	27.7	78.0	21.8	96.2	27.0	41.4	15.0	31.0	16.7	44.7	15.7	94.7 25.3
	ave.	419.8	26.8	74.9	20.4	110.0	21.5	48.9	13.7	37.4	20.2	41.1	18.2	107.4 24.4
7	1(46)	727.7	83.0	113.7	21.6	115.8	25.5	209.6	27.5	95.0	42.5	68.8	13.5	124.9 19.5
	2(46)	660.8	71.2	107.8	27.5	105.9	24.9	190.0	18.5	69.2	37.8	82.1	24.9	105.8 27.8
	19(48)	549.8	26.7	90.5	24.9	66.2	23.1	190.5	12.8	38.1	21.5	80.1	18.0	84.3 17.1
	20(49)	546.1	24.3	78.4	25.4	87.6	25.7	178.2	11.7	31.6	20.4	83.7	18.8	86.7 17.0
	ave.	609.2	47.0	94.3	23.0	89.2	30.9	198.8	17.7	50.2	29.0	78.2	17.8	98.5 18.9
8	1(49)	1122.3	156.4	182.2	42.3	214.1	69.2	162.3	32.5	200.3	52.5	160.2	32.2	203.2 60.3
	2(48)	903.8	116.7	151.2	57.9	148.5	28.1	142.9	33.0	160.6	30.8	111.6	38.5	188.9 48.1
	19(49)	673.5	49.9	69.9	31.5	79.3	40.2	71.4	28.6	42.6	37.5	123.3	18.2	287.0 57.6
	20(50)	605.6	37.1	64.4	21.2	99.4	24.1	60.4	16.8	33.9	18.0	126.7	28.3	220.8 43.8
	ave.	747.7	72.8	94.3	28.7	116.1	34.3	96.6	30.3	63.8	30.9	130.8	27.0	246.1 67.4
9	1(50)	980.8	201.2	140.6	25.2	151.9	27.7	163.3	29.7	161.5	38.2	159.6	70.1	203.9 136.9
	2(49)	718.2	154.8	96.6	31.6	121.3	17.6	143.9	22.4	110.2	57.9	119.0	55.5	127.1 48.0
	19(49)	538.4	48.4	53.0	27.1	88.1	30.0	150.2	27.9	49.3	30.5	104.8	30.8	91.3 21.2
	20(45)	449.7	51.4	55.4	25.5	79.2	26.6	101.7	30.5	59.1	32.4	73.8	30.4	80.4 24.6
	ave.	593.2	71.7	72.0	25.6	102.6	22.4	141.1	23.1	76.3	35.7	103.7	34.3	97.5 40.2
10	1(50)	1950.0	385.0	124.4	116.2	488.1	216.8	229.4	39.4	388.7	168.2	150.6	106.8	568.8 133.0
	2(48)	1517.7	196.3	108.4	41.1	303.3	148.2	223.9	84.7	220.1	113.0	128.3	76.2	533.6 73.2
	19(50)	722.4	58.7	74.5	35.8	132.0	36.6	97.1	51.8	80.9	33.2	81.6	25.9	256.3 30.1
	20(47)	662.8	48.4	55.1	37.1	138.7	41.1	90.2	35.6	59.6	28.4	91.8	27.6	227.3 30.4
	ave.	962.3	95.6	86.9	38.1	180.2	55.1	159.5	38.1	93.4	51.1	112.1	41.0	330.3 59.0
11	1(50)	1472.6	274.8	179.8	39.5	277.1	86.1	247.9	58.3	332.4	166.3	175.7	53.4	259.7 125.7
	2(48)	1165.2	234.2	171.2	53.9	215.8	89.7	214.8	29.4	182.3	122.4	191.7	54.5	189.4 90.5
	19(46)	545.9	26.3	108.5	21.7	97.9	19.8	43.4	20.9	62.6	31.4	102.9	28.5	130.5 30.0
	20(45)	511.3	25.8	94.9	22.3	90.7	20.0	46.6	19.4	66.6	26.4	110.0	37.9	102.7 30.0
	ave.	776.3	99.5	127.4	30.8	142.3	31.0	113.8	33.4	94.0	50.7	135.0	44.2	163.6 54.0
12	1(50)	871.5	203.6	140.5	97.2	178.8	93.2	135.7	61.8	151.8	50.6	97.9	40.5	166.8 50.9
	2(47)	701.8	75.5	130.1	27.7	129.1	33.1	102.8	33.3	145.5	39.5	53.8	21.1	140.4 36.9
	19(49)	433.5	25.3	86.2	21.3	60.7	21.8	96.6	18.0	29.7	20.2	108.4	25.2	51.8 25.0
	20(49)	413.6	22.6	87.9	20.3	49.4	23.6	88.4	25.5	45.9	24.8	92.3	17.8	49.7 24.9
	ave.	506.8	52.1	95.7	25.0	81.1	27.4	99.1	28.4	69.6	34.0	73.8	27.5	87.6 34.2
13	1(48)	790.5	180.5	93.3	17.0	162.8	76.5	127.9	30.2	145.0	106.6	119.8	22.1	141.7 34.7
	2(44)	645.1	60.1	90.9	16.6	112.8	15.4	130.5	19.4	71.0	39.9	128.0	26.4	111.9 28.8
	19(50)	617.5	58.9	72.8	27.5	99.8	26.8	115.0	19.1	108.5	38.2	113.6	28.5	107.8 30.5
	20(48)	528.9	25.5	63.9	27.2	87.0	26.4	107.2	15.5	88.8	43.7	93.2	33.1	88.9 20.1
	ave.	661.8	93.6	86.4	27.5	107.0	39.1	130.8	27.1	108.2	45.0	120.9	27.6	108.5 35.6
14	1(49)	1556.5	268.2	239.6	114.4	216.5	85.0	271.8	117.3	442.1	140.7	96.2	27.2	290.2 83.9
	2(50)	1265.2	243.0	166.5	43.5	183.7	114.5	195.5	33.8	272.2	123.6	150.8	125.9	296.5 138.4
	19(49)	608.4	303.0	102.6	97.0	100.8	34.2	182.1	209.2	77.3	117.7	66.5	15.7	79.0 96.2
	20(50)	549.6	249.7	92.4	84.7	118.3	115.8	147.9	120.4	58.2	53.7	67.2	27.4	65.6 76.0
	ave.	741.0	166.1	112.8	51.8	122.8	61.1	161.1	66.1	105.7	65.3	87.9	38.8	150.8 70.2
15	1(50)	884.8	177.4	121.9	28.9	164.1	67.3	184.8	82.1	142.0	71.4	117.8	34.0	154.2 43.5
	2(48)	729.1	71.9	112.5	16.8	143.9	34.7	126.0	36.0	81.1	36.1	122.4	29.7	143.1 35.3
	19(50)	389.6	35.4	67.5	28.8	117.7	36.1	43.0	28.3	38.0	22.8	68.7	24.2	54.7 24.3
	20(49)	307.7	13.2	48.8	22.8	84.9	27.3	26.6	13.6	30.1	13.4	61.3	24.6	55.9 18.4
	ave.	488.2	50.1	77.8	22.4	115.7	30.5	63.5	26.1	50.4	29.9	91.6	27.9	89.2 31.3