

模倣筆跡に関する基礎的検討

古川諒^{*1}, 常盤公德^{*2}, 福江潔也^{*3}

Experimental analysis of imitated handwritings.

by

Ryo Furukawa, Kiminori Tokiwa and Kiyonari Fukue

(Received on Dec. 12, 2018 & Accepted on Dec. 26, 2018)

Abstract

Distinguishing imitated handwriting from genuine handwriting is required in forensic handwriting examination. This paper investigates within-writer variation and between-writer variation of imitated handwriting using pattern matching. As an experimental result, the following phenomena were observed. First, the individuality of imitator remained in imitated handwriting when the imitation was difficult. Second, the variation within-writer(within imitated handwriting) was abnormally small when the imitation was easy. These experimental results show that original handwriting and imitated handwriting can be distinguished by inspecting residual of pattern matching within unknown handwriting, or between unknown handwriting and genuine handwriting.

Keywords: handwriting examination, imitated handwriting, within-writer variation, between-writer variation

1. はじめに

科学捜査分野で行われている筆跡鑑定では、ある筆跡の筆者を特定することが要求されるが、筆者既知の筆跡を参照筆跡として、筆者未知筆跡と照合することで筆者を特定することがなされる。そのため、技術的には筆者照合とか筆者識別あるいは筆者異同識別とよばれる。この筆跡鑑定において、筆者未知筆跡が自然に筆記された自然筆跡なのか、模倣された模倣筆跡であるのかの検討が必要となる場合がある^{1),2)}。

模倣筆跡には、他人の筆跡の上に紙を重ねて透けた文字を写す透写や他人の筆跡を手本として字形をまねて筆記する臨書などがある^{1),2)}。いずれも字画の長さや文字全体の形が手本に似ているため、筆跡が模倣されたものか否かの識別が困難であると言われている^{1),2)}。

現在、筆跡鑑定は鑑定人とよばれる人によってなされており、模倣か否かの検査も基本的には鑑定人

が目で見えて行っている。すなわち、現在の筆跡鑑定では非客観的・非定量的な検査が行われており、その問題の改善が望まれている。そこで、我々はコンピュータによる筆者異同識別法を提案しているが^{3),4)}、模倣筆跡ではなく自然に筆記された筆跡を対象に研究を行ってきた。

模倣筆跡を含む作為筆跡については文献^{5)~10)}のように多くの研究がなされているが、署名に対するものやオンライン型筆者識別を前提としたものがほとんどである。オンライン型というのは、書字行動そのものを電子ペンなどによって観測する行動情報から筆者識別を行う方法を指す。これに対して、本研究が想定している書字行動の結果として得られる筆跡という静的情報を使用する筆者識別方式をオフライン型とよぶ。本報告では、提案済みのオフライン型のコンピュータによる筆者異同識別法について模倣か否かの検査への適用の可能性を透写筆跡に注目して検討したので報告する。

本論文では、2章において、提案済みの筆者異同識別法の概要について述べる。3章において、模倣筆跡に見られる書きムラや筆跡個性を実験的にあきらかにするとともに、筆者異同識別実験の結果を示

*1 工学研究科電気電子工学専攻 修士課程

*2 警視庁科学捜査研究所 東海大学客員研究員

*3 情報理工学部情報科学科 教授

す.最後に4章において,実験結果をまとめるとともに,今後の課題を整理する.

2. 使用した筆者異同識別法の概要

実験に使用した筆者異同識別法については文献3),4)に詳述されているので,ここではその概要を示す.筆者異同識別の目的は,ある2つの筆跡が与えられたとき,それらが同一人によって筆記されたかどうかを識別することである(図1参照).基本的には図1のように2つの筆跡を重ね合わせてそのパターンを照合を行う.同一人が筆記した場合,パターンがずれは小さくなり,別人が筆記した場合,ずれが大きくなると予想されるため,パターンのズレ量の大小で同一人か別人かを識別する.



図1 パターンマッチング

筆跡パターンのズレ量は,各筆跡の各字画をN等分する点を考えて,2つの筆跡間で対応する点同士の距離を測ることによって行う.この点を字形を特徴付ける点という意味で特徴点とよぶ.

数多くの筆跡対についてこのズレ量を幾何学的マッチング残差とよび,それを横軸に出現頻度を調べると図2に示すように2つの分布が出現する.原点寄りのすなわちズレ量が小さい左側の分布は,同一人が筆記したもので個人内変動分布とよばれ,ズレ量が大きい右側の分布は別人が筆記したもので個人間変動

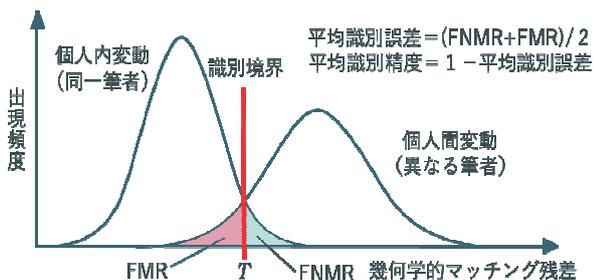


図2 識別の原理と識別精度

分布とよばれる.個人内変動分布は書きムラを表し,個人間変動分布は筆跡個性を表している.

これら2つの分布を正規分布で近似し,交差するTの位置を識別境界として(図2参照),幾何学的マッチング残差がTより小さければ同一人,Tより大きければ別人と判定する.この判定は, x を識別対象である筆跡対の幾何学的マッチング残差として,次式で表される個人内変動分布の確率密度 $p(x|1)$ と個人間変動分布の確率密度 $p(x|2)$ を求め, $p(x|1) > p(x|2)$ であれば同一人, $p(x|1) < p(x|2)$ であれば別人と判定することによってなされる.

$$p(x|c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi v_c}} \exp\left\{-\frac{(x-m_c)^2}{2v_c}\right\} \quad (1)$$

ただし,

m_c, v_c は筆跡サンプルの平均と分散である.

識別誤差は,一般にFNMR(false non-match rate,本人拒否率)とFMR(false match rate,他人受け入れ率)およびその平均である平均識別誤差で表される(図2参照).FNMRは,同一人の筆跡対であるにも拘わらず異なる筆者の筆跡であると判定された誤識別率であり,同一筆者の筆跡対の総数に対する誤識別した筆跡対の割合で与えられる.FMRは,異なる筆者による筆跡であるにもかかわらず同一筆者によるものであると判定された誤識別率であり,異なる筆者の筆跡対の総数に対する誤識別した筆跡対の割合で与えられる.FNMRとFMRの平均を平均識別誤差とよぶ.また,平均識別誤差を1から引いたものを平均識別精度とよぶ.

なお, n 個の文字(たとえば“横”と“浜”の2文字)を用いて筆者異同識別を行う場合,各文字の幾何学的マッチング残差を $x_i (i=1,2,\dots,n)$ とすれば,次式で表されるように,それらの和をあらたに x とする.

$$x = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

3. 筆者異同識別実験

3.1 筆跡サンプルの収集

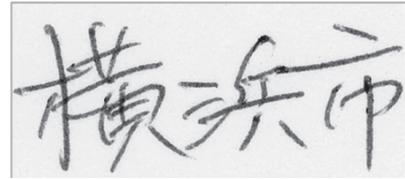
まず筆跡サンプルの収集を行った。実験対象文字は漢字の「横浜市」とした。被験者は、20代男性11人と20代女性2人の計13人である。これら13人の被験者に対して次の3種類の方法で筆記をお願いした。第一に、自分が普段書くように5回ずつ筆記してもらった。すなわち被験者13人から一人あたり5サンプルの自然筆跡を収集した。第二に、ある被験者1人のある1つの自然筆跡を原本筆跡とし、残りの12人にコピー用紙に透写して5回ずつ筆記してもらった。すなわち模倣筆者12人によるコピー用紙への透写筆跡を一人あたり5サンプル収集した。第三に、模倣筆者12人に原本筆跡をトレーシングペーパーに透写して5回ずつ筆記してもらった。すなわち、模倣筆者12人によるトレーシングペーパーへの透写筆跡を一人あたり5サンプル収集した。

模倣がなされる実際の現場では、多くの場合、一般の紙に透写されることが多く、トレーシングペーパーのような下に敷いた文字が透けてはっきりと見える紙への透写がなされることは少ない。しかし、トレーシングペーパーのような紙への透写は容易である。コピー用紙とトレーシングペーパーという2種類の紙への透写筆跡を収集した理由は、透写の難易度を変えた筆跡サンプルを収集するためである。

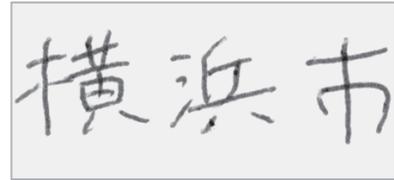
筆跡サンプル例を図3に示す。模倣の原本筆跡とした筆者Aの自然筆跡を同図(a)に、筆者Bの自然筆跡を同図(b)に、筆者Bが原本筆跡をコピー用紙に透写した模倣筆跡を同図(c)に、同様に筆者Bが原本筆跡をトレーシングペーパーに透写した模倣筆跡を同図(d)に示す。

筆者Aと筆者Bの自然筆跡は、それぞれの筆者の筆跡個性が異なっており、あきらかに別人が筆記したものであることがわかる(図3(a)と(b)参照)。筆者Bが原本筆跡をコピー用紙に透写した模倣筆跡は原本筆跡と比べてみると、全体は似ているが細部(横の字の田んぼの田や市の第二画など)は異なっていることがわかる(図3(c)参照)。一方、筆者Bが原本筆跡をトレーシングペーパーに透写した模倣筆跡は原本筆跡と比べてみると、全体はもちろん、前述した細部も似ていることがわかる(図3(d)参照)。

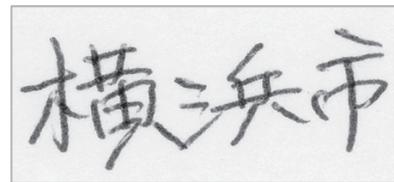
収集した自然筆跡と模倣筆跡のサンプルは、フラットベッド型スキャナを用いて解像度600dpi、256階調でデジタル化した。



(a) 筆者Aの自然筆跡(原本筆跡)



(b) 筆者Bの自然筆跡



(c) 筆者Bの模倣筆跡(コピー用紙)



(d) 筆者Bの模倣筆跡(トレーシングペーパー)

図3 筆跡サンプル例

3.2 個人内・間変動分布の計測結果

次の筆跡対についての幾何学的マッチング残差を計測した。

① 自然筆跡の個人内変動と個人間変動

まず、被験者13人の自然筆跡にどのような書きムラと筆跡個性が存在しているのかを調べるために、その個人内変動と個人間変動を計測した。

個人内変動はある一人の筆者の筆跡にみられる書きムラを表すが、ある筆者の5つの自然筆跡のうち2つの筆跡間(筆跡対)についての幾何学的マッチング残差を計測することで得られる。この標本対の数は、文字あたり130対(=10対/人×13人)であるが、「横浜市」3文字の場合ほどの筆跡対の組合せの和をとるかによって増加して13,000対(10対×10対×10対×13人)となる。

一方、個人間変動は異なる筆者による筆跡間にみられる筆跡個性を表すが、被験者 13 人によるそれぞれ 5 つの自然筆跡の中から1つずつを取り出した筆跡対について幾何学的マッチング残差を計測することで得られる。筆跡対の数は文字あたり 1,950 対(78 人対×5 標本×5 標本)であるが、「横浜市」3 文字の場合は同様に増加して 1,218,750 対(25 対×25 対×25 対×78 人対)となる。

②原本筆者の自然筆跡間(原本筆者の個人内変動)
 模倣元とした原本筆跡の筆者(これを原本筆者とよぶ)の書きムラを調べるために、原本筆者の 5 つの自然筆跡のうち2つの筆跡間(筆跡対)について幾何学的マッチング残差を計測した。筆跡対の数は、文字あたり 10 対、「横浜市」3 文字の場合は 1,000 対である。

③原本筆跡と模倣筆者の自然筆跡間(模倣前の個人間変動)
 模倣筆跡には模倣筆者の筆跡個性が低下しているはずである。どの程度低下するのかを明らかにするためには、低下する前の状態を把握しておく必要がある。そこで、原本筆跡と 12 人の模倣筆者 12 人それぞれの 5 つの自然筆跡間(筆跡対)について幾何学的マッチング残差を計測した。筆跡対の数は、文字あたり 60 対(5 対×12 人)、「横浜市」3 文字の場合は 1,500 対(5 対×5 対×5 対×12 人)である。

④原本筆跡とコピー用紙に透写された模倣筆跡間
 原本筆跡とコピー用紙に透写された模倣筆跡間の幾何学的マッチング残差を計測することによって、コピー用紙に透写した場合にどの程度筆跡個性が低下したのかを明らかにすることができる。計測する筆跡対の数は③の場合と同じである。

⑤原本筆跡とトレーシングペーパーに透写された模倣筆跡間
 原本筆跡とトレーシングペーパーに透写された模倣筆跡間の幾何学的マッチング残差を計測することによって、トレーシングペーパーに透写した場合にどの程度筆跡個性が低下したのかを明らかにすることができる。計測する筆跡対の数は③や④の場合と同じである。

「横浜市」3 文字の場合について、以上の幾何学的マッチング残差の計測結果を図 4 に示す。また、それ

らの統計量を表 1 に示す。

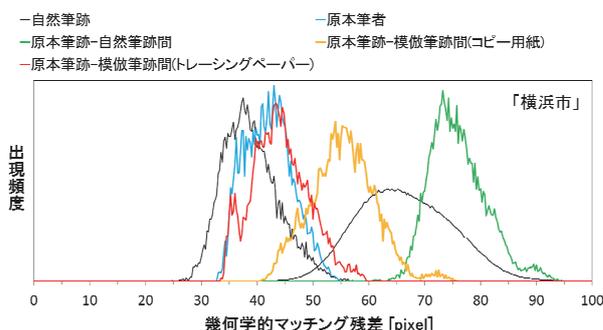


図4 「横浜市」の個人内・間変動分布

表1 「横浜市」の個人内・間変動分布の統計量 [pixel]

	最小値	最大値	平均	標準偏差
自然筆跡：13人の個人内変動	24.76	57.01	38.96	4.91
自然筆跡：13人の個人間変動	39.58	102.28	66.54	8.20
自然筆跡：原本筆者の個人内変動	33.01	54.72	42.21	4.25
自然筆跡：原本筆跡と12人の自然筆跡間	60.99	94.62	76.09	5.04
原本筆跡とコピー用紙への模倣筆跡間	40.85	75.65	55.45	5.68
原本筆跡とトレーシングペーパーへの模倣筆跡間	33.66	59.64	44.20	5.05

図4および表1より次のことがわかる。まず、実験対象とした筆跡サンプルのうち自然筆跡についてであるが、被験者13人の自然筆跡は平均的には約39 pixelと約67 pixelの書きムラ(個人内変動)と筆跡個性(個人間変動)がみられる。原本筆者の個人内変動は平均で約42 pixelであるので、13人の中ではやや大きめの書きムラで筆記されている筆者であることがわかる。

次に本研究において注目する模倣筆跡についてであるが、図4においてオレンジ色で示すコピー用紙に透写した模倣筆跡と原本筆跡間の幾何学的マッチング残差の分布は、緑色で示す原本筆跡と被験者12人の自然筆跡間の幾何学的マッチング残差の分布

よりも、平均が76pixelから55pixelへ約30%小さく、左寄りになっていることから筆跡個性が約30%減少していることがわかる。しかし、それでも図4において青色で示す原本筆者の個人内変動分布の平均42pixelより30%も大きいことがわかる。つまり、コピー用紙に透写された模倣筆跡には模倣筆者の筆跡個性が大きく残存していることがわかる。このため、原本筆跡とコピー用紙に透写された模倣筆跡間の幾何学的マッチング残差の分布と原本筆者の個人内変動分布とは比較的高い精度で異同識別できそうなことが予想される。

一方、原本筆跡と図4において赤色で示すトレーシングペーパーに透写された模倣筆跡間の幾何学的マッチング残差の分布は、原本筆跡とコピー用紙に透写された模倣筆跡間の幾何学的マッチング残差の分布よりも、平均が55pixelから44pixelへさらに左寄り、かつ、原本筆者の個人内変動分布にほとんど重なっていることがわかる。つまり、トレーシングペーパーに透写された模倣筆跡には模倣筆者の筆跡個性がほとんど残存しておらず、原本筆者の筆跡とはほとんど識別できそうにない状態になっている。

3.3 筆者異同識別精度

「横」、「浜」、「市」の各1文字および「横浜市」の3文字に対して得られた筆者異同識別の平均識別精度を図5および表2に示す。

図5において緑色は自然筆跡に対する平均識別精度であり、漢字「横浜市」の3文字に対しては100%となった。これに対し、オレンジ色で示すコピー用紙に透写された模倣筆跡は、平均識別精度89.82%で原本筆跡と識別できている。しかし、赤色で示すト

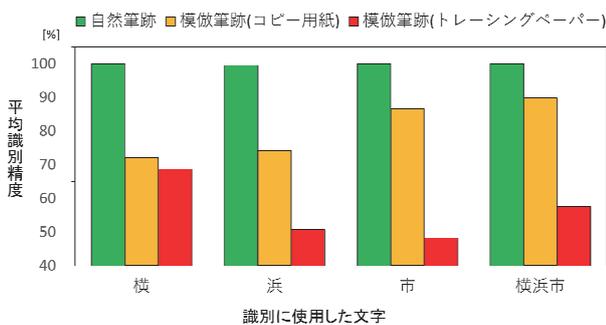


図5 「横」、「浜」、「市」、「横浜市」の平均識別精度

表2 「横」、「浜」、「市」、「横浜市」の平均識別精度 [%]

平均識別精度	自然筆跡	模倣筆跡(コピー用紙)	模倣筆跡(トレーシングペーパー)
横	100	72.08	68.75
浜	99.58	74.17	50.83
市	100	86.67	48.33
横浜市	100	89.82	57.64

レーシングペーパーに透写された模倣筆跡は、平均識別精度57.64%でしか原本筆跡と識別できていない。2つの分布がぴったりと重なった場合、すなわち、まったく識別できない場合の理論的平均識別精度は50%であるので多少は正しく異同識別されている模倣筆跡も存在してはいるが、ほとんど原本筆者の筆跡と識別できていないことがわかる。

なお、「横」1文字の場合、トレーシングペーパーに透写されても、コピー用紙に透写された場合の72.08%から68.75%と約3%しか低下しておらず、ある程度の識別ができていたことがわかった。これは、「横」文字の画数が多く、模倣する際に筆記する文字の大きさにその画数を納めるのが難しかったためと考えられる。

3.4 原本筆者と模倣筆者の個人内変動分布の比較

原本筆者の自然筆跡の個人内変動分布、被験者12人がコピー用紙に原本筆跡を透写した模倣筆跡の個人内変動分布および同じく被験者12人がトレーシングペーパーに原本筆跡を透写した模倣筆跡の個人内変動分布を図6に示す。また、それらの統計量を表3に示す。

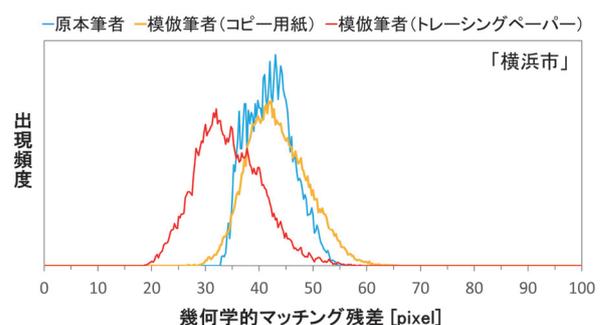


図6 「横浜市」の個人内変動分布

表3 「横浜市」の個人内変動分布の統計量
[pixel]

	最小値	最大値	平均	標準偏差
自然筆跡：原本筆者の個人内変動	33.01	54.72	42.21	4.25
コピー用紙使用時の模倣筆者の個人内変動	26.79	66.05	43.55	5.58
トレーシングペーパー使用時の模倣筆者の個人内変動	18.87	59.04	34.45	6.15

図6においてオレンジ色で示すコピー用紙に透写した模倣筆者の個人内変動分布は、青色で示す原本筆者の個人内変動分布とほとんど重なっており、平均でも1pixel程度の違いしかない。これに対して、図6において赤色で示すトレーシングペーパーに透写した模倣筆者の個人内変動分布は、原本筆者の個人内変動分布よりも、平均が42.21pixelから34.45pixelへ約20%小さく、左寄りになっていることがわかる。

すなわち、トレーシングペーパーに透写された模倣筆跡には模倣筆者の筆跡個性がほとんど消失してしまっており、模倣か否かの識別がほとんどできなかったが、模倣筆跡にみられる書きムラ(個人内変動)が原本筆者のそれと比べて異常に小さくなっており、この情報を利用すれば模倣か否かを識別できることを示唆している。

4. おわりに

模倣筆跡の中でも模倣か否かの識別が困難な透写筆跡に注目し、模倣か否かの識別をコンピュータによってどの程度実現可能なのか、あるいは不可能なのかを探る基礎的な実験を試みた。その結果、コピー用紙に透写された場合、模倣筆跡には模倣筆者の筆跡個性が相当残存し、そのため約90%の精度で模倣か否かの識別が可能であるが、トレーシングペーパーに透写されると、模倣筆跡には模倣筆者の筆跡個性がほとんど消失してしまっており、模倣か否かの識別はほとんど不可能であることがわかった。

しかし、「横」のように、画数が多く透写しにくい字については、トレーシングペーパーに透写しても筆跡個

性がやや残存し、約69%の精度で模倣か否かを識別できることがわかった。すなわち、紙や文字など模倣のし易さやしにくさといった状況に応じて、模倣か否かの識別精度は識別が不可能である50%から約90%まで変化することがわかった。

さらに、透写が容易なトレーシングペーパーを使用して透写されると模倣筆者の筆跡個性がほとんど消失してしまい、筆跡個性に基づく模倣か否かの識別がほとんど不可能になってしまうが、書きムラが原本筆者のそれと比べ異常に小さくなるという現象が発見された。このことから、筆跡個性だけでなく書きムラの程度も筆者異同識別に利用するようにすれば、模倣が容易な場合であっても模倣か否かの識別がある程度は可能であろうという見通しが得られた。

今後はこの見通しに沿って、筆跡個性と書きムラの両面から異常性を検出するように筆者異同識別システムを改善したい。また、今回実験対象とした漢字「横浜市」3文字以外の文字に対しても同様な現象が観察されるかどうかについて実験を拡張するとともに、被験者数を増やすことで実験結果の信頼度を向上させたい。

[参考文献]

- 1) 吉田公一:「ポイント解説筆跡・印章鑑定の実務」, 東京法令出版, 2004, p.118,142,143.
- 2) 森圭美, 常盤公德, 福江潔也: "敷き写し筆跡に関する研究", 日本法科学技術学会誌, Vol.22, Supplement, p.143 (2017)
- 3) 常盤公德, 福江潔也, 松前義昭: "個人内変動を抑制した字画の配置パターンのみに基づく筆者異同識別", 画像電子学会誌, Vol.40, No.4, pp.660-670 (2011)
- 4) 常盤公德, 福江潔也, 曾根光男, 長幸平, 松前義昭: "日本語全般を対象とする字形のみに基づく筆者異同識別法の提案とその識別特性", 画像電子学会誌, Vol.40, No.4, pp.660-670 (2011)
- 5) 石川正彰, 神宮英夫: "感性評価による筆跡の作為度に関する研究", 日本感性工学会研究論文集, Vol.7, No.1, pp.95-100 (2007)
- 6) 石川正彰, 須川幸治, 神宮英夫: "書字における自動化処理-模倣書字について-", 日本心理学

会第 70 回大会, DOI: https://doi.org/10.4992/pacjpa.70.0_1AM096 (2006)

- 7) 中村善一, 木戸出正継: “筆跡鑑定の知見に基づく特性値を用いたオンライン筆者照合”, システム制御情報学会論文誌, Vol. 22, No. 1, pp. 37-47 (2009)
- 8) Jing Wang : “A comparison of the Identifying Features of Imitated Handwriting and Elderly Handwriting”, J. of Forensic Science and Medicine, Vol.3, Issue 1, pp.38-41 (2017)
- 9) Sung-Hyuk Cha¹, Charles C. Tappert¹, Michael Gibbons¹, and Yi-Min Chee^{2E}:” Automatic Detection of Handwriting Forgery Using a Fractal Number Estimate of Wrinkliness”, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol. 18, No. 07, pp. 1361-1371 (2004)
- 10) Sung-Hyuk Cha and Charles C. Tappert:” Automatic Detection of Handwriting Forgery”, Proceedings Eighth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, DOI: 10.1109/IWFHR.2002.1030920 (2002)