

論文

低品質指紋同定*

浅井 紘** 平塚 誠一** 星野 幸夫**

Abstract

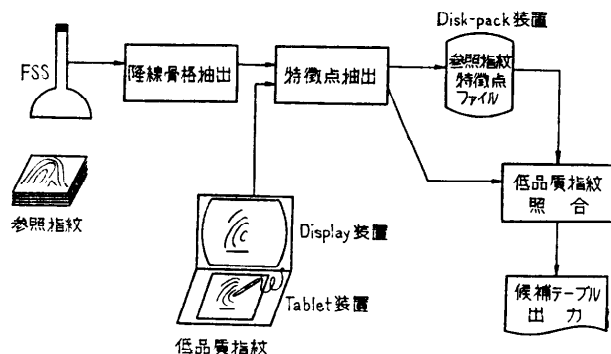
We present an automatic algorithm and the related experiments for an identification of poor-quality fingerprint, which plays an important role for law enforcement, with the aid of a technique of pattern recognition. Given 121 reference fingerprints in file with one of which a test fingerprint is to be identified, an accomplishment has been made that twenty-three out of twenty-four test fingerprints, whose printed area available for identification is only 9 to 59% of the full area of fingerprint in each case, in completely identified out of the 121 reference fingerprints.

1. ま え が き

我々は、指紋の「終生不変」、「万人不同」という二大特性を利用した個人同定という問題を、パターン認識技術の立場から研究し、鮮明な押捺指紋同志に対する同定に関しては、すでにいくつかの報告を行った^{1)~5)}。諸外国でも指紋同定の機械化についての報告は、活発になされており、特に米国 FBI と NBS(National Bureau of Standards)はすでに自動指紋読取装置を試作し、現在は実用化試験を行っている^{6)~8)}。しかし、これらの研究、開発はいずれも押捺指紋同定を目的としたものであった。

本論文では、従来の押捺指紋の同定を発展させて、前もって氏名の判っている人の鮮明に押捺した指紋(以下参照指紋と呼ぶ)と犯罪捜査などで問題となる低品質指紋とを照合する低品質指紋同定について研究成果を報告する。

低品質指紋の同定に関する研究は、汎用コンピュータ・システムを中心として、Fig. 1 にそのブロック図を示すソフトウェア・シミュレーションによって行われた。このシミュレーション・システムについてその概略を述べておく。



Display, Tablet 装置からなるマン・マシン装置を用いて、拡大された写真上の判読できる隆線を人手でトレース入力し、このトレース結果を隆線骨格として上述の特徴点抽出処理の入力とする。抽出された低品質指紋の特徴点は、直ちに低品質指紋照合を行う処理プログラムに入力され、既に登録されている参照指紋特徴点ファイルを順次読み出し、同定照合が行われる。全参照指紋と照合が完了した時点で、入力された低品質指紋に該当する候補参照指紋のファイル番号と照合スコアが候補テーブルとして出力される。

以下に、シミュレーションの内容に関して、章を追って詳述する。

2. 低品質指紋

低品質指紋として、本論文で取り扱う対象は、Fig. 2 に例示されるような指紋で、これは筆者らの一人の指紋を自身の机から採取したものである。鮮明な押捺指紋と比較して低品質指紋は、

- 印象がぼやけていたり、部分的であるため鮮明な印象部が少ない。
- 鮮明な印象であっても歪みが大きい。

等の性質があり、印象自体が保持しているパターン特徴が極めて少なく、パターン認識技術による指紋同定

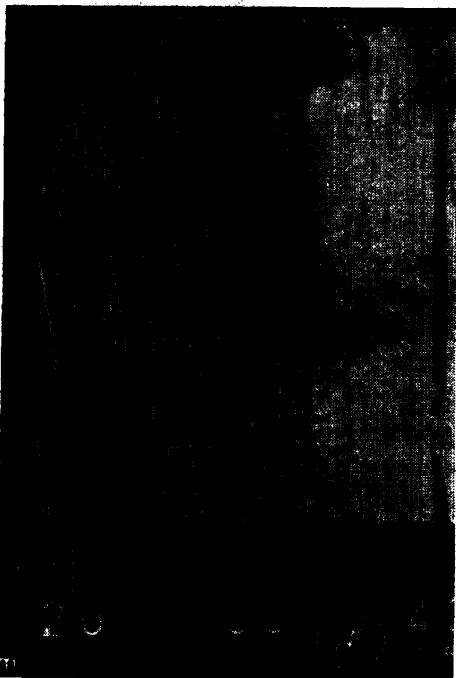


Fig. 2 Poor-quality fingerprint image

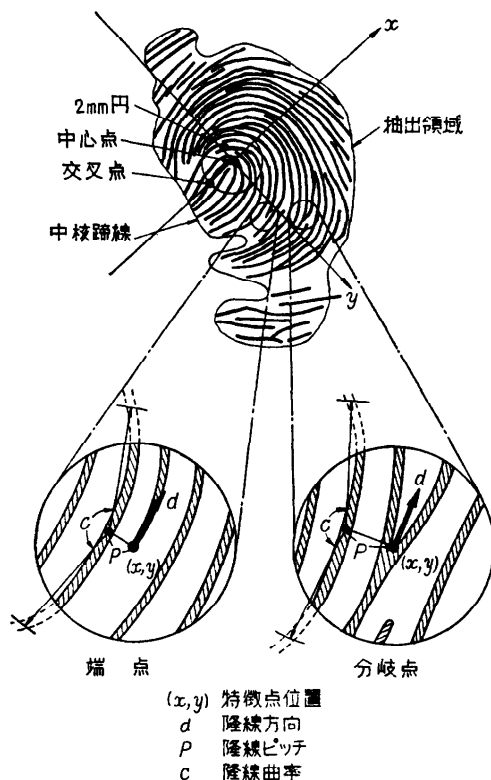


Fig. 3 Fingerprint minutiae.

が格段に困難となることは容易に想像される。

我々は、上述のような低品質指紋の同定を行うために、その基本的要件を次のように考えた。

指紋同定を、コンピュータによって自動的に行うために押捺指紋同定で用いた指紋紋様を構成する隆線の途切れる点（端点）、及び隆線の分岐する点（分岐点）からなる Fig. 3 で示されるような特徴点 (x, y) 及び隆線方向 d は、低品質指紋同定でも基本的な特徴となる。さらに新たな特徴として、上述の特徴点近傍における隆線ピッチ p 及び隆線曲率 c を個々の特徴点ごとに抽出することにより、指紋特徴情報量を向上させる。また、印象が採取できなかった部分では特徴点抽出が本来できないため、低品質指紋では特徴抽出できる印象領域を明示する目的で、抽出領域指定を行う。

採取された低品質指紋が、ファイルに登録されている参照指紋と同定されるか否かを決定する照合アルゴリズムは、低品質指紋の特徴点と参照指紋の特徴点とが、上述の位置 (x, y) 及び隆線方向 d 、ピッチ p 、

曲率 c が一致して「対」を形成するか否かを判定することにあるが、この判定領域を低品質指紋の抽出領域内に限定することは勿論である。さらに低品質指紋では隆線の歪みが大きいので、Fig. 3 で示される中核跡線と2 mm 円で特徴付けられる中心点、交叉点の二点から決定される座標系 (x, y) が、中核跡線の歪みのためにしばしば回転や平行移動を伴い、これが特徴点の「対」をその許容範囲から逸脱させる原因となる。したがって、特徴点を定義する座標系を、照合に際して、多少の浮動があると仮定し、逆に仮の「対」特徴点によって適当な範囲内で座標系を整合させた後、実際の「対」特徴点を検出するのが効果的である。この座標系の整合は、低品質指紋の中央印象部が不鮮明であっても、中核跡線の推定によって座標系がほぼ決定できれば、照合の可能性があるという意味で極めて重要な結果が現われる。

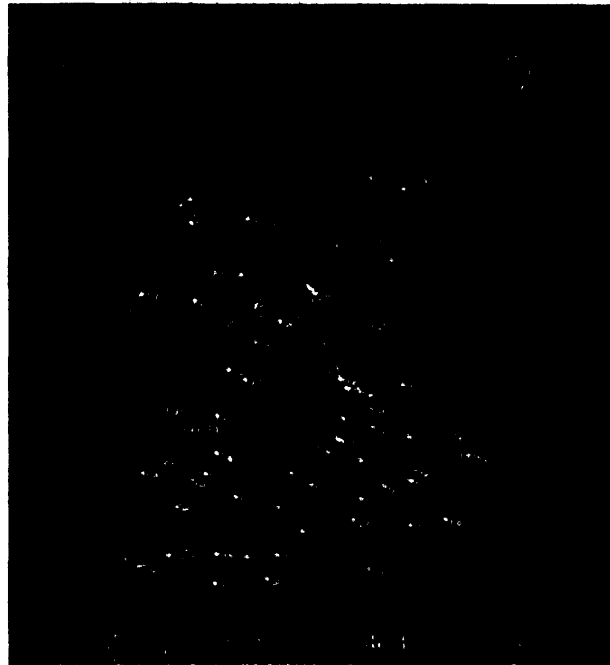
3. 低品質指紋同定における特徴抽出

低品質指紋の照合を行うためには、2. で述べられた特徴点位置 (x, y) 及び、その特徴点位置における隆線方向 d 、ピッチ p 、曲率 c を低品質指紋及び参照指紋について、それぞれ抽出する。さらに低品質指紋については、その鮮明な印象部である抽出領域を抽出する必要がある。これらの抽出は、コンピュータによる自動抽出またはマン・マシン装置を利用して人手によって行われた。

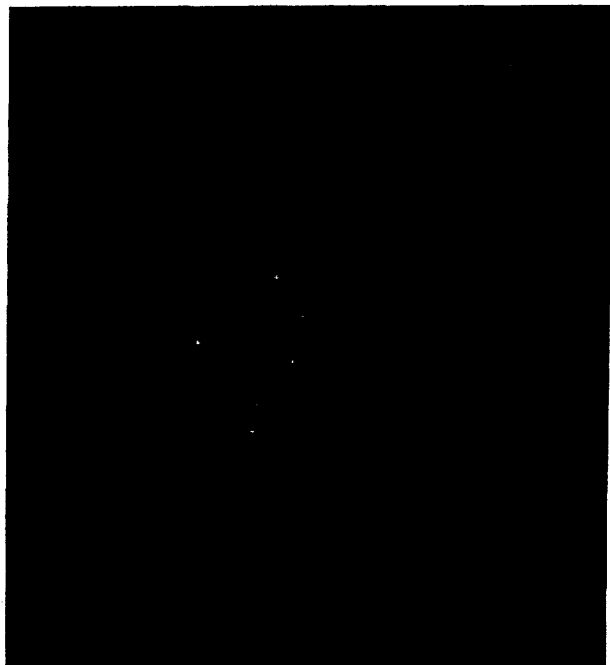
3.1 隆線骨格の抽出

指紋の照合における既述の特徴は、全て隆線の中心線である隆線骨格から全て導出されるので、指紋画像からの特徴抽出は、まず隆線骨格の抽出にある。

参照指紋の隆線骨格抽出は、FSSによる量子化濃淡画像走査入力から画像前処理、2値化隆線抽出及び2値化隆線の細め処理によって、コンピュータによる自動抽出がなされるが、この詳細については押捺指紋同定の特徴点抽出の場合と同様ですでに報告した。ただし、低品質指紋同定を目的とするため画像処理領域を 512×400 画素($30.72 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$)に拡大した。



(a) Reference fingerprint



(b) Poor-quality fingerprint

Fig. 4 Ridge skeleton patterns and their minutiae

一方、低品質指紋に関する隆線骨格は、採取される指紋印象の画像品質が極端に悪く、参照指紋のような自動抽出は期待できないので、Display と Tablet 装置を用いて人手によってトレースした。

低品質指紋における抽出領域指定は、上述の隆線トレースに際して、同時に Tablet 装置によって隆線トレース部分を閉曲線で指示することにより入力した。

さらに、参照指紋の隆線骨格は、Display 装置に表示され、参照指紋ファイルの正確性を期するため検査し、必要であれば、Tablet 装置を用いて修正を行った。

3.2 特徴点抽出

隆線骨格を基にして、Fig. 3 に示された特徴点の位置 (x, y) 及びその特徴点位置における隆線方向 d 、ピッチ p 、曲率 c を抽出することは、コンピュータの記憶装置内に保持された 2 値の隆線骨格データを個々の特徴点近傍においてトレースするプログラムで、全て自動的に行われた。即ち、隆線方向 d は、特徴点から出発し、その特徴点が存在する隆線骨格を一定距離トレースして到達した点とを結ぶベクトルの方向の算出をすることにより決定され、隆線ピッチ p は、特徴点から出発して、既に得られている隆線方向と直角の方向に進み、はじめて交叉する隣りの隆線骨格との距離により、また曲率 c はこの隣りの隆線骨格との交叉点から両方向に隆線骨格上を一定距離トレースし到達した 2 点と上述交叉点の 3 点がなす角の 180° より小さい角を曲率 c の代りの量として決定する。

最後に、Display と Tablet 装置を用いて人手によって入力される座標系 (x, y) によって上述の特徴点の諸元が変換されて、特徴点記述量 (x, y, d, p, c) が決定される。Fig. 4 (前頁参照) は、抽出された隆線骨格とその特徴点を Display 画面上に表示した例で、(a) は参照指紋、(b) はそれと同定されるべき低品質指紋である。(b) で示される低品質指紋の座標軸は、抽出領域外の不鮮明な印象部からではあるが、中核跡線を推定して設定したものである。

4. 低品質指紋照合方式

人物の判明していない探索されるべき低品質指紋 (以後探索指紋と呼ぶ) と、これと同定されるべき参照指紋との照合は、それぞれの特徴点記述量 (x, y, d, p, c) 及び探索指紋の抽出領域指定を基にし、2. で述べられた探索指紋の歪みを考慮して行われる。この照合方式のブロック図を Fig. 5 に示す。即ち、探索

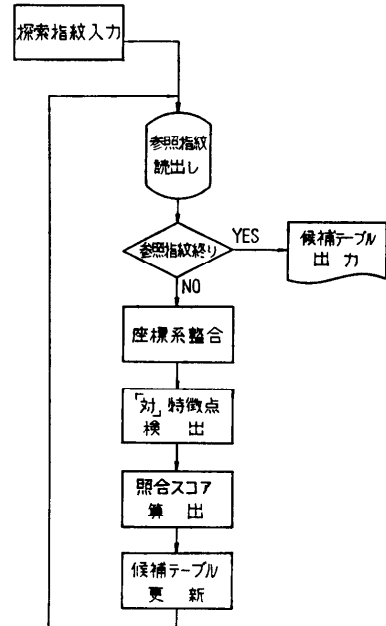


Fig. 5 Identification blockdiagram

指紋の特徴情報が照合プログラムに入力されると、予めファイルされている参照指紋の特徴情報が一指ずつ読み出され、まず探索指紋の座標系が浮動していることを考慮して、参照指紋の座標系との整合を行うための整合量が算出される。この整合量によって探索指紋の特徴記述量が座標変換される。整合された座標系で探索指紋と参照指紋の特徴点の「対」が検出され、さらに、低品質指紋の抽出領域を照合領域として、照合領域での「対」特徴点の個数による照合スコアが算出される。このようにして、ファイルから読み出された参照指紋ごとの照合スコアは、その時の参照指紋のファイル番号とともに、10 指分の同定候補を格納する候補テーブルに、その照合スコアの大小比較によって更新登録される。

全ての参照指紋がファイルから読み出され、照合されると候補テーブルが出力され、そのファイル番号によって同定の確認が行われることとなる。以下に上述の処理過程の内の座標系の整合、「対」特徴点の検出及び照合スコアの算出について、そのアルゴリズムを詳述する。

4.1 座標系の整合

低品質指紋である探索指紋の座標系が、その中核跡線の歪みによって浮動することを考慮して、座標系の整合を行うアルゴリズムは、Fig. 6 (次頁参照) を参

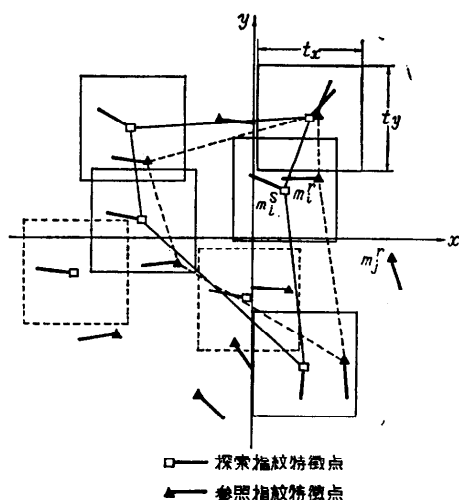


Fig. 6 Pair minutiae polygons for coordinate system adjustment

照して次のようになる。

探索指紋の特徴点 $\{m_i'; i=1, 2, \dots, S\}$ の x 座標値を x_i' , y 座標値を y_i' , 隆線方向を d_i' , 隆線ピッチを p_i' , 隆線曲率を c_i' とし, 参照指紋の特徴点 $\{m_j''; j=1, 2, \dots, R\}$ の記述量をそれぞれ $x_j'', y_j'', d_j'', p_j''$ 及び c_j'' とする。このとき, 探索指紋の座標系が参照指紋の座標系から浮動していることを考慮して大きめに設定した閾値 t_x, t_y, t_d, t_p, t_c によって,

$$\left\{ \begin{array}{l} |x_j'' - x_i'| \leq t_x, |y_j'' - y_i'| \leq t_y, |d_j'' - d_i'| \leq t_d, \\ |p_j'' - p_i'| \leq t_p, |c_j'' - c_i'| \leq t_c \end{array} \right\} \quad (4.1)$$

を満足する「対」特徴点 ($m_i'; m_j''$) を決定する。この「対」特徴点の一つの探索指紋特徴点 m_i' に対して複数の参照指紋特徴点 m_j'' が式(4.1)を満足する場合があるが, このときは, 座標原点に近いものから, まず1対1に決定する「対」を検出し, 既に「対」となった特徴点が再び「他」の対になる重複を禁止し, 多くても最大 N 個以下の「対」が決定される。

Fig. 6 において, 「対」特徴点 (m_i', m_j'') が $2 \leq n \leq N$ 個決定された場合, これら「対」特徴点を頂点とする二つの多角形を基に座標系の整合量が次のように算出される。即ち, 平行移動量は, 多角形の重心の移動量 $(\Delta x, \Delta y)$ として

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x = (1/n) \sum_{i=1}^n (x_i' - x_i'') \\ \Delta y = (1/n) \sum_{i=1}^n (y_i' - y_i'') \end{array} \right\} \quad (4.2)$$

と計算され, 回転量 θ は二つの多角形の対応辺の回転角の平均として

$$\theta = (1/n) \sum_{i=1}^{n+1} \left\{ \tan^{-1} \left\{ (y_i' - y_{i-1}') / (x_i' - x_{i-1}') \right\} - \tan^{-1} \left\{ (y_i'' - y_{i-1}'') / (x_i'' - x_{i-1}'') \right\} \right\} \quad (4.3)$$

ただし, $m_{n+1}' = m_1'$, $m_{n+1}'' = m_1''$ として算出される。

この整合量 $(\Delta x, \Delta y, \theta)$ によって, 探索指紋の座標系を変換して, 整合された座標系における探索指紋特徴点 M_i' の記述量 $(X_i', Y_i', D_i', P_i', C_i')$ は

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{pmatrix} X_i' \\ Y_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i' - \Delta x \\ y_i' - \Delta y \end{pmatrix}, \\ D_i' = d_i' + \theta, \\ P_i' = p_i', C_i' = c_i' \quad (i=1, 2, \dots, S) \end{array} \right\} \quad (4.4)$$

となる。

4.2 「対」特徴点の検出

座標系整合が行われた後の探索指紋の特徴点 M_i' ($X_i', Y_i', D_i', P_i', C_i'$) と参照指紋の特徴点 m_j'' ($x_j'', y_j'', d_j'', p_j'', c_j''$) とから照合スコア算出のための「対」特徴点の検出は, 原理的には, 座標系整合の際に検出した「対」特徴点の条件式(4.1)と同じであって,

$$\left\{ \begin{array}{l} |x_j'' - X_i'| \leq t_x, |y_j'' - Y_i'| \leq t_y, |d_j'' - D_i'| \leq t_d, \\ |p_j'' - P_i'| \leq t_p, |c_j'' - C_i'| \leq t_c \end{array} \right\} \quad (4.5)$$

を満足する特徴点を「対」($M_i'; m_j''$) とする。ただし, ここで閾値 t_x, t_y, t_d, t_p, t_c は式(4.1)の閾値 t_x, t_y, t_d, t_p, t_c より全て小さい値が設定されるべきである。なぜなら, 探索指紋の座標系の浮動が座標系整合

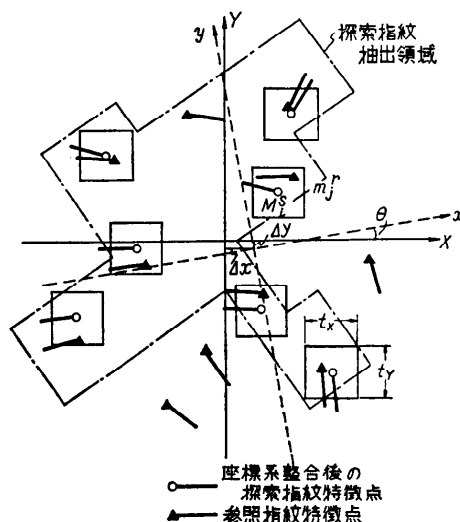


Fig. 7 Minutiae matching after coordinate transformation

で補償されているため、「対」特徴点の探索指紋及び参照指紋における記述量の偏差は、Fig. 7 (前頁参照) で図示される如く、座標系整合前に比較して、はるかに小さくなるはずだからである。

4.3 照合スコアの算出

探索指紋と参照指紋の同定可能性を表示する量として、4.2 で決定した「対」特徴点と、探索指紋の抽出領域を考慮して次のように計算される。

「対」特徴点の個数を N_p 、座標系整合後の参照指紋特徴点 $\{m_j; j=1, 2, \dots, R\}$ の内で探索指紋の抽出領域中に存在する特徴点数を R_p とするとき、その照合値 K は

$$K = (N_p)^2 / (S \cdot R_p) \quad (4.6)$$

で与えられる。たとえば Fig. 6 の例では、 $S=7$ 、 $R_p=8$ 、 $N_p=7$ であるから、 $K=0.875$ となる。

5. 照合実験

4. で詳述した低品質指紋の照合方式を用いて、実際の実験シミュレーションを行った。実験された低品質探索指紋は 24 指で、同定すべき参照指紋を含めた参照指紋ファイルは 121 指である。

照合結果は、Table 1 にまとめた如くである。探索指紋の抽出領域は、処理全領域の 9%~59% の間にあり平均 22.2 個の特徴点を有していた。Table 1 に示した如く、探索指紋の座標系が判定、または推定できる 24 指の内、23 指が同定順位 1 位即ち、4. で述べた候補テーブルの最上位に出力された。また残り 1 指も 3 位には順位されていた。この結果は、低品質指紋であっても、その印象が部分的にでも採取でき、座標系が決定または推定可能であれば、本論文で述べた照合方式によって十分指紋同定の可能性を示している。

Fig. 8 は、Table 1 の内の座標系推定可能だった一つの探索指紋とその同定されるべき参照指紋の照合状態を XY-プロットに出力したもので、その隆線骨格及び特徴点は Fig. 4 に示したものである。

シミュレーションは、NEAC 2200-M200 ($2 \mu\text{sec/cycle}$; 65 kchrs) コンピュータ・システムによって実行され、探索指紋 1 指と参照指紋 1 指の照合時間は、平均 2.56 秒であった。

Table 1 Results of identification simulation

低品質指紋			同定順位			
座標系	印象部面積比	指紋数	1 位	2 位	3 位	4 位以下
決定可能	59~50%	1	1			
	49~40	3	3			
	39~30	1	1			
	29~20	8	8			
	19~10	9	8		1	
推定可能	49~40	1	1			
	0~9	1	1			
合 計		24	23		1	

(参照指紋ファイル 121 指)

6. むすび

犯罪捜査で重要と考えられる低品質指紋と、それと同定されるべき鮮明な押捺指紋とを照合するための低品質指紋同定に対する、抽出されるべき指紋特徴及び、これを用いた照合方式についての研究結果を報告した。

本論文では、低品質指紋の同定に際して、従来より押捺指紋同志の照合に用いられた特徴点位置及び隆線方向に、さらに新しい特徴として隆線ピッチ及び曲率を導入すること、また照合の際、低品質指紋の隆線の歪みに起因する座標系の浮動を「対」特徴点によって整合した後に、照合のための「対」特徴点を検出する

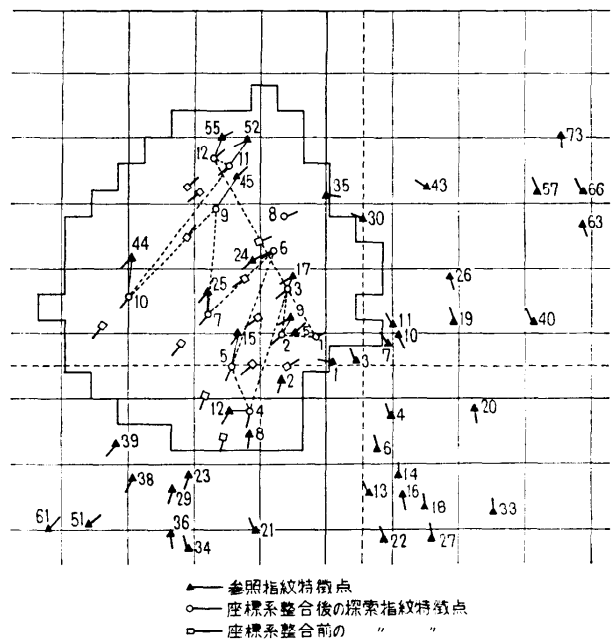


Fig. 8 An example of minutiae matching

ことを提案した。

実験の結果、低品質指紋の座標系が決定または推定できる場合には、印象面積が全押捺面積の 9%~59%しか採取されない 24 指についても、23 指が最高照合スコアで同定され、残り 1 指は 3 位で同定されることが確かめられた。

今後は、本論文の成果をもとに、さらに実験指紋数を増加して、同定の信頼性を確かめるとともに、座標系の推定できない低品質指紋同定まで発展させたいと考えている。

最後に、本研究推進に際し、御指導、御鞭達を頂いた木地部長、橋本部長、三田部長代理、後藤副参事、木村主任、並びにシミュレーションに多大の労力を提供された山下氏、石倉氏に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 星野, 浅井, 山下, 平塚: 指紋同定システム, 情報処理第 15 大会論文誌, p. 297 (1974).

- 2) 浅井, 荒川, 山下, 星野: 押捺指紋特徴抽出方式, 昭 50 全信会全大論文集, p. 1084 (1975).
- 3) 平塚, 星野, 永井, 浅井: 押捺指紋の照合方式, 同上, p. 1085 (1975).
- 4) 山下, 平塚, 浅井, 星野: 押捺指紋照合の実験, 同上, p. 1086 (1975).
- 5) K. ASAI, Y. HOSHINO, N. YAMASHITA, S. HIRATSUKA: Fingerprint Identification System, 2nd USA-JAPAN Computer Conference Proceedings, pp. 30~35 (1975).
- 6) R.M. Stock: Automatic Fingerprint Reading, Proceedings of 1972 Carnahan Conference on Electronic Crime Countermeasure, (1972).
- 7) J.H. Wegstein: A Computer Oriented Single-fingerprint Identification System, NBS Technical Note 443 (1968).
- 8) J.H. Wegstein & J.F. Rafferty: Matching Fingerprint by Computer, NBS Technical Note 466 (1968).

(昭和 51 年 2 月 20 日受付)

(昭和 51 年 4 月 7 日再受付)