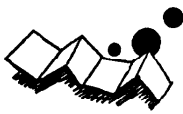


解説



指紋と掌紋による個人識別技術†

河嶋 操^{††} 木地 和夫^{†††}

1. まえがき

科学的な個人識別方法として、最も優れた特性をもっている指紋法は、今日では世界のほとんどの国で実用化され、刑事警察の分野を中心として大きな役割りを果たしている。

従来は人手のみに頼っていた指紋照合も、コンピュータ技術の進歩によって、自動化が可能となってきた。入出門管理や、IDカード等での個人識別への適用も検討されたが^{1), 2)}、まず実用化されたのは警察向けシステムである。

ここでは警察庁で現在稼動しているシステムに焦点をしばって、指紋自動識別システムを概説することにする。

2. 指紋および掌紋による個人識別

指紋法の根底をなす考え方は、「皮膚紋理」(指紋、掌紋および足紋を総称して皮膚紋理とっている)。についての解剖学的研究に端を発し、幾多の研究の積み重ねによって確立され、さらに実際の応用の段階を経て今日の指紋法として大成された。

指紋を文書などに押捺する習慣は古くから中国や我が国にあったし、捺印や指印は今日でもなお印鑑の代りとして用いられることがあるが、古い時代におけるこれらの習慣が、指紋や掌紋の個人的差異に着目して行われていたかどうかについては大きな疑問があり、これを証明する記録がない。

指紋に関する最初の研究発表は、1684年、英国王室医科大学の N. Grew が英国学士院に提出したもので指掌にある表皮の隆線や汗腺口についてのべたものである³⁾。彼は当時発明された顕微鏡によって、指掌における隆線の存在を研究したが、まだ皮膚紋理の特性

を発見するまでには至らなかった。

指頭の隆線に種々の変わった形があることを知り、これを形状別に一定の法則にしたがって分類したのは、チェコスロバキア人の J. E. Purkinje で 1823 年のことである。このときに、指紋は初めて九種類に分類され、これを契機として飛躍することとなった。

現代指紋法の曙光は、明治初期に東京築地病院に勤務していた英国人医師 H. Faulds の研究になる「皮膚の皺の研究」とインドのベンガル州の収税吏であった英国人 W. J. Herschel が指紋を実際的に利用した結果をまとめた論文「手の隆線について」がともに 1880 年の Nature に発表したことによってもたらされたものである³⁾。

Faulds と Herschel 等が開拓した指紋の研究は 1888 年から 1891 年にかけて英国人 F. Galton によって、指紋の永久不変性と万人不同の事実が確認され、かつ分類整理方式の基礎が確立された。

この Galton の研究成果にさらに改良を加え、現代の指紋法を確立したのは英国人 E. R. Henry である。現在、世界の多くの国で採用されている分類整理法のヘンリー・システムは彼の研究になるものである。

掌紋も指紋と同様に個人の識別に利用されているが、掌紋は印象範囲が広いこと、指紋に比べて分類整理に適した紋様の発現が少ないことなどから、指紋ほど積極的に利用されていないのが現状である。

3. 十指指紋制度と一指指紋制度

警察が指紋を個人識別に利用している主な目的は次の二つである。

その一は、逮捕した被疑者の身元や、犯罪歴を確認することである。被疑者が氏名を詐称したり、黙秘したりしても、指紋法を利用すれば、速やかにそれらの事実を明らかにすることができる。

その二は、犯罪現場から採取した指紋(遺留指紋)によって、その事件の犯人を割り出すことである。

前者の場合は、図-1 のように一枚のカードに十指

† Personal Identification by Fingerprint or Palm-Print by Misao KAWASHIMA (National Police Agency) and Kazuo KIJII (NEC Corporation).

†† 警察庁

††† 日本電気(株)

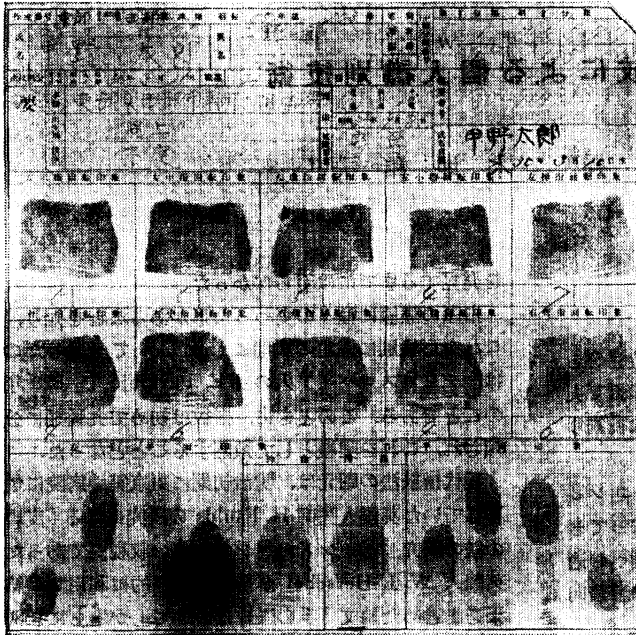


図-1 十指指紋票

の指紋が押捺された指紋原紙(指紋票)が基礎資料となり、これを運用するシステムを十指指紋制度という。後者の場合は犯罪現場から採集される指紋は通常一指ないし数指であり、これと照合する指紋も一指単位に整理保管する一指指紋を基礎資料としていることから、これを運用するシステムを一指指紋制度とっている。

3.1 十指指紋制度

十指指紋票に押捺されている十個の指紋の紋様の種類を利用して分類整理する。ヘンリー方式による分類法、ロシュル方式による分類法、あるいは FBI が採用している NCIC 分類法等がある。

しかし、十指指紋制度に使用されている分類方法はあくまでも指紋票を分類整理するためのもので、指紋を同定するには、分類されている指紋票の中から、さらに詳細な特徴を調べる必要がある。

警察署で被疑者を検挙すると、その指紋を採取して、十指指紋票を作成し、警察庁鑑識課指紋センタと都道府県の鑑識課へ送付する。鑑識課では十指指紋分類に基づいて、同一分類内の指紋票と対照して被疑者の身元を確認する。この業務は本年 10 月以降は自動識別システムによって処理されることになっている。

3.2 一指指紋制度

強盗、窃盗など一定の罪種に該当する被疑者を検挙したときには、十指指紋票のほか一指指紋票を作成し、鑑識課へ送付し、分類整理をすることによって、遺留指紋からの犯人割り出しに備えていた。しかし、昭和 58 年 10 月から警察庁で指紋自動識別システムが導入され遺留指紋の照会業務が自動化システムに移した。このシステムによれば、十指指紋票を自動的に読み取って、十指指紋制度を運用するファイルを作成すると同時に、一指指紋制度運用のための一指ファイルを作成することができるので、警察庁では従来的一指指紋票の受付を停止した。

3.3 特徴点法による一指指紋の同定

指紋の降線は図-2 に示すように、各所

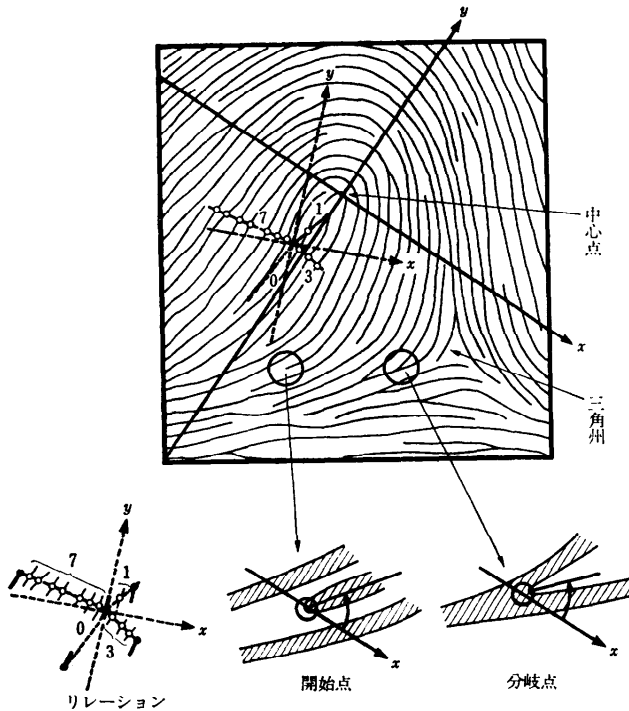


図-2 指紋の特徴点とリレーション

で開始点(終了点)や分岐点をもっている。これらを指紋の特徴(minutiae)と呼び、一指当たり平均100個あるといわれている。そして、二つの指紋を比較して特徴点、12個が合致していると認められれば、二つの指紋は同一人の同一指から得られたものであると断定できる。これを特徴点法による指紋の同定(鑑定)といい、広く世界各国で採用されている。

4. 指紋の自動照合

指紋の自動照合には、大別して光学系による画像処理によるもの、電気的デジタル信号処理によるものがある⁴⁾。後者の方法のうち、特に特徴点法によるものの研究開発が先行しており、警察庁で実用されているもの⁵⁾、この方法に属する。この方法によれば、十指指紋制度と一指指紋制度とは統合されて運用できるようになる。

4.1 指紋の読取り方式⁶⁾

紙上にインクで押捺された指紋から、デジタル信号処理によって特徴を抽出する過程をのべよう。

押捺指紋はインクの濃淡むらや、指先の皮膚の荒れなどのために、一般には“ノイズ”なパターンである。そこで、特徴抽出をする前に種々の画像補正を施す必要がある。図-3は処理フローの概略である。

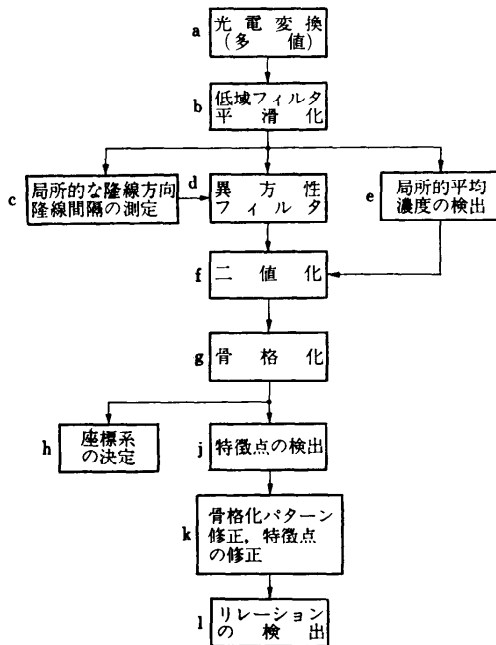


図-3 指紋の処理フローの概略

(1) 光学的走査

指紋を形成している隆線の幅や間隔(ピッチ)は、大人と子供、男性と女性、指の種類などによって異なるが、20本/mmの走査で十分である。また、一指当たりのピクセル数は640×512とし、4ビット/ピクセルの濃淡パターンとして取り扱っている。

(2) 隆線の方向の検出と異方性フィルタ

指紋の隆線は指紋の中心部や三角部を除けば、局所的には、ほぼ同一の方向に流れている。しかも、隆線の間隔も大概一定である。この事実は指紋のパターン処理を非常にやりやすくする。

すなわち、隆線の流れ方向には低域フィルタ処理を、そして隆線の法線方向には帯域フィルタ処理を施すことによって、画像補正ができる。

図-3のc段階で8×8ピクセルの領域内の隆線の平均的な流れ方向を検出する。同時に隆線の間隔を測定する。これらをパラメータとした上述の異方性空間フィルタにより画像補正をする。

(3) 二値化

押捺指紋はインクの付着具合によって濃度値に大きな変化があるので、単一のしきい値で二値化することが困難である。そこで8×8のピクセルの平均濃度を測定して、これをしきい値のパラメータに与えて、異方性空間フィルタの出力画像(4ビット/ピクセル)を二値化する。

(4) 骨格化と特徴点の抽出

つぎに、二値化パターンを骨格化する。そして骨格化パターンに3×3のマトリクスを重ねることにより特徴点の位置を検出する(図-4参照)。

同時に特徴点の近傍の隆線の流れ方向を $2\pi/256$ (1.4°)単位で計測する。これを特徴点の方向と呼ぶ。

(5) 骨格化パターンの修正

前述のような画像補正処理を施しても、押捺時のインクの付着具合や皮膚上の皺のために擬似の特徴点が発生する。しかし、これらの多くは近傍の特徴点や隆線を観察することによって、真の特徴点と区別することができる。

例えば、インクの部分的な欠除や、皮膚の皺によって生じた骨格化パターンの切れに起因する擬似特徴点は、位置が接近しており、かつ隆線を局部的に延長した所に存在している。このような性格をもつ特徴点は削除し、骨格化パターンを修正する。また、インクの余分な付着によって骨格化パターンに派生している小突起の付根および先端に生じている擬似特徴も比較的

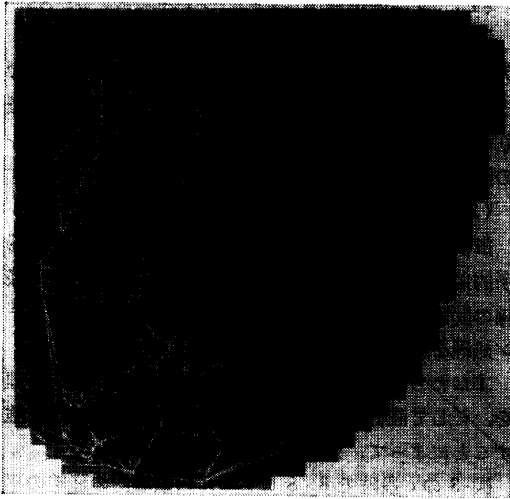


図-4 特徴点の検出

容易に削除できる。

かくして、ad hoc 的に骨格化パターンを修正する。なお、特徴点の座標を決定するための指紋の座標軸は次のようにして決定している。すなわち、原点としては指紋の中心部分の一番内側の隆線の曲率が最大となる点、また座標軸の $-Y$ 方向としては、上記原点の下方近傍の隆線の平均的な流れ方向を採用している(図-2 参照)。

(6) リレーションの検出

指紋は柔らかい皮膚上に形成されているパターンであるので、押捺の具合によっては、かなり変形する。したがって特徴点の位置も方向も変化する。

このような変形に対して不変の量として、特徴点間に存在する隆線数を数数することにした。すなわち、図-2に示すように、ある特徴点(これを親特徴点と呼ぶ)を原点として、その特徴点の方向を Y 軸とする局所座標系を定義する。そして、各象限内で、一番原点に近い特徴点を一個ずつ、合計四個の子特徴を選び、これらの特徴点との間に存在する隆線数 R_1, R_2, R_3, R_4 を親特徴に付随する特徴とした。これをリレーションと名付けた。

したがって、指紋の特徴点は、特徴点の位置: x, y , 方向: d , リレーション: R_1, R_2, R_3, R_4 すなわち, $(x, y, d, R_1, R_2, R_3, R_4)$ で表わされる。

4.2 照合方式⁷⁾

ここでのべる照合方式は遺留指紋の照合に適するようになっているが、もちろんのこと、押捺指紋の照合にもそのまま適用できる。

いま、照合しようとしている指紋をサーチ指紋と呼び、 F_s で表わす。また、これに対して、すでにファイルされている指紋をファイル指紋と呼び F_f で表わす。 F_s と、 F_f が共に前節でのべた特徴点群であらわされている。すなわち、

$$F_s = (x'_i, y'_i, d'_i, R'_{i1}, R'_{i2}, R'_{i3}, R'_{i4})$$

$$F_f = (x'_j, y'_j, d'_j, R'_{j1}, R'_{j2}, R'_{j3}, R'_{j4})$$

ここで、 $i=1, 2, 3, \dots, N$ (特徴点数)

$t=1, 2, 3, \dots, M$ (特徴点数)

以下、図-5 に従って概説する。

(1) “対” 特徴点の決定

サーチ指紋 F_s のある特徴点に対応する特徴点がファイル指紋 F_f にあるかどうかを調べる。 F_s の親特徴点をファイル指紋 F_f のある親特徴点にちょうど重ね合わせたときに、それらの特徴点の方向差は

$$|d'_i - d'_j| < \epsilon_d \quad (\epsilon_d \text{ は差の許容値})$$

で、かつ対応する四組の子特徴点の x, y 座標の差、方向 d の差、リレーションの差がある許容値以内にあれば、“対” 特徴点の候補とする(図-6 参照)。そして、これらの差が小さければ小さい程、“対” の可能性 W が大であると定義する。

“対” 特徴候補を検定する範囲は F_s の親特徴が座

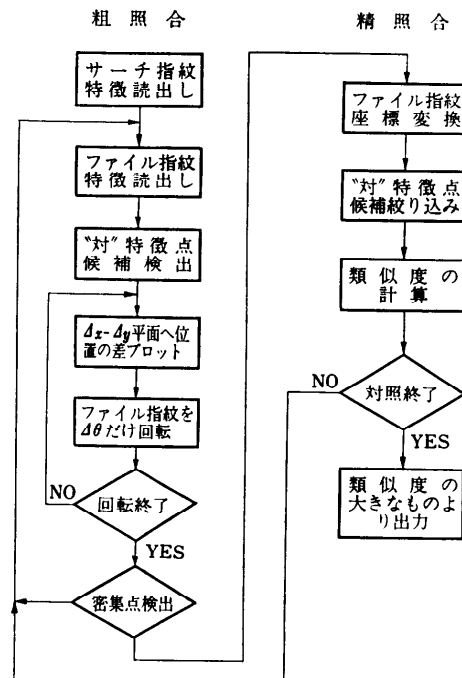


図-5 照合フローの概略

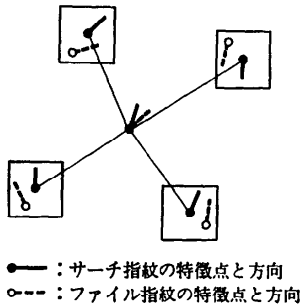


図-6 “対” 特徴点の検定

標系の中心より離れていけばいほど程広くとる。最外辺部では指紋領域 (32 mm×21.2 mm) の 1/4 の領域を対象とする。

(2) 粗照合と座標系の設定差の検出

まず、 F_s と F_f の二つの座標系を重ね合わせる。そして、すべての“対”候補の特徴点について、

$$|x_s - x_f| = \Delta x$$

$$|y_s - y_f| = \Delta y$$

を求め、 $\Delta x - \Delta y$ 平面上に、“対”候補の確からしさを表わす W に応じた密度のプロットをする。

ついで、 F_f の座標系を $\Delta\theta$ だけ回転して上記と同じように“対”候補をプロットする。実際には $\Delta\theta = \pi/32$ とし、正負7回すなわち $\pm 39.4^\circ$ 座標軸を回転して 15 枚の差平面にプロットする。

このようにすると、もしもサーチ指紋とファイル指紋とが同一の指から得られたものであるならば、ある回転角 $\Delta\theta$ のときに差平面の $(\Delta X, \Delta Y)$ の点を中心として、プロットが密集するという現象が起こる。このプロセスは粗照合であり、ここで得られた上記の $(\Delta X, \Delta Y)$ 及び $\Delta\theta$ はサーチ指紋とファイル指紋の座標系の差すなわちオフセットということになる。

(3) 精照合

差平面上で密度の大きいプロットが見出されれば、二つの指紋が同一人の同一指から得られた可能性があるので、さらに詳細な検定を行うプロセスへと進む。

すなわち、上記の座標差だけ一方の指紋の座標を変換して、座標系を一致させる。そして、“対”候補の再検定を行って絞り込みをし、併せて“対”の確からしさのウェイト W を修正する。

また、二つの座標系の差を補正したのだから、子特徴点の“子特徴”、すなわち、親特徴点からみると、“孫”に相当する特徴点の“リレーション”も対応関係にあるかどうかを調べる。このようにして、絞り込

まれた“対”特徴の確からしさを正の得点とし、“非対”の特徴を負の得点とするスコアリングを行い、照合出力とする。

4.3 自動化システム

開発したシステムは図-7に示すように、入力サブシステムと照合サブシステムに分かれる。

4.3.1 入力サブシステム

入力サブシステムは十指指紋票を読み取る押捺指紋読取装置、遺留指紋読取装置、ディスプレイ、および制御部よりなっている。

(1) 押捺指紋読取装置

図-8に示す押捺指紋読取装置は4.1でのべた読取原理をパイプライン処理方式で実現したものである。

一指当たり1.5秒、十指指紋票一枚当たり約15秒で処理できる。この装置は押捺指紋照会用マスターファイル(従来の十指指紋制度運用のファイル)、および、遺留指紋照会用マスターファイル(従来の一指指紋制度運用のファイル)の作成と、被疑者のサーチ指紋の入力に使用される。

(2) 遺留指紋読取装置

遺留指紋については、5倍大の拡大写真を作成し、トレーシングペーパーに写し取ったものを遺留指紋読取

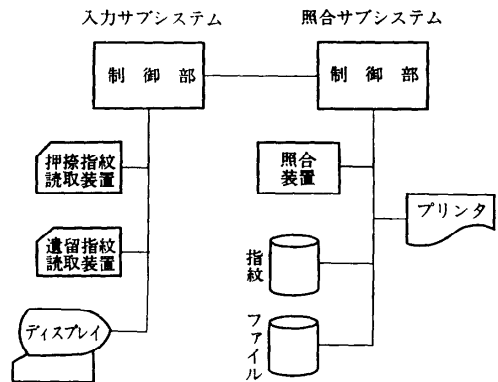


図-7 システム構成

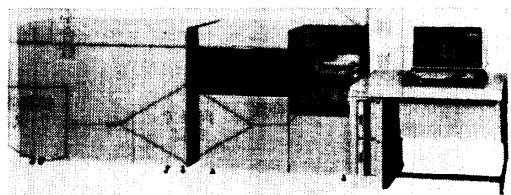


図-8 押捺指紋読取装置

装置によって入力する。読み取りのプロセスは押捺指紋読取装置と同じである。

トレースする理由は、遺留指紋の場合は、汚れがついていたり、印刷文字の上に印象されていたりして、指紋の隆線を自動的に判別することが困難だからである。

(3) イメージディスプレイ

鍵盤、タブレット付のグレイレベル表示可能なカラーディスプレイである。指紋に付随する照会番号、性別、生年月日、指種や指紋の紋様分類コードなどを入力するのに使用する。また、指紋パターンを読み取り結果を確認し、必要に応じて、タブレットを使って、骨格化パターンや座標軸を修正することができるようになっている。

4.3.2 照会サブシステム

照会サブシステムは押捺指紋照会用の指紋マスタファイル（一人二指）と遺留指紋照会用のマスタファイル（一人十指）等の指紋データベース、照会装置および制御装置よりなっている⁹⁾。

照会装置は4.2でのべた照会処理を実行するために開発した専用装置である。高速処理を実現するために、超大型コンピュータと同じ論理素子を使い、並列プロセッサ方式を採用している。この装置は約1,000 MIPS 相当の演算速度を有し、一指対一指の照会を平均1.3 ms で実行する⁹⁾ (図-9)。

4.4 システムの運用

警察庁指紋センタにおける遺留指紋の処理フローについてみると、次のとおりである (図-10 参照)。

都道府県警察から遺留指紋の照会を受理すると、前

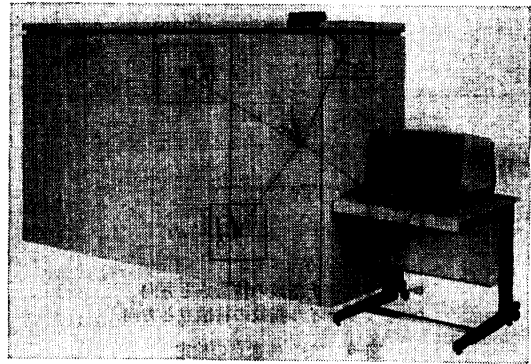


図-9 照会装置

述のように5倍大の拡大写真を作り、トレースして遺留指紋読取装置で入力する。また、遺留指紋を入力する際は、その遺留指紋を特定するための照会番号のほか、指種、紋様等の付加情報も同時に入力して、照会範囲の絞り等を利用している。

照会の結果は照会指紋と類似の指紋が候補指紋として出力される。候補指紋と遺留指紋とが合致するかどうかの最終的な確認は肉眼によって行われる。

肉眼による確認の結果、候補指紋に合致しない遺留指紋については、未発見遺留指紋ファイルに登録し、遺留指紋相互の照会による同一犯人による犯行の確認に利用する。

本システムによって、これまでの人手によるシステムでは処理が不可能であった遺留指紋から犯人を割り出すことに成功しているなど所期の性能を十分に発揮しており、治安の維持に大きく貢献している。

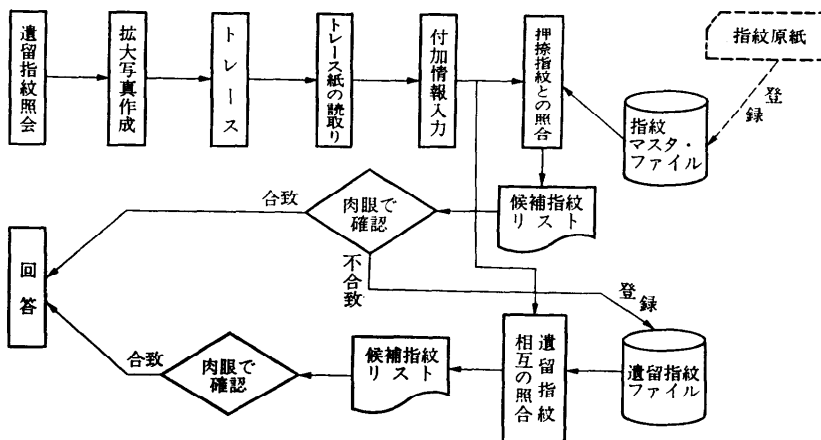


図-10 一指指紋業務フロー

5. あとがき

指紋による個人識別は、我が国では刑事警察などに限定されて利用されているが、外国においては、指紋は身分証明書、就職時の身元証明書、各種の免許証等に押捺されている場合もある。いずれにしても、指紋による個人識別の自動化は緒についたばかりである。

しかし、コンピュータ技術の進歩は日進月歩で、この複雑な指紋処理も近い将来は刑事警察以外の分野の利用においても経済的に実現できよう。この時には、個人識別の有力な手段として、社会の中に定着することも十分考えられる。

参 考 文 献

- 1) 河越, 棟上: 指紋パターンの自動分類, コンピュータビジョン, Vol. 18, No. 2 (1982. 5. 20).
- 2) 古村, 山縣他: 個人認識用指紋照合システム, 電気学会全国大会, 1341 (昭和 58 年).
- 3) 警察庁刑事局鑑識課編: 警察指紋制度のあゆみ (昭和 36 年 4 月).
- 4) Eleccion, M.: Automatic Fingerprint Identification, IEEE Spectrum (Sep. 1973).
- 5) 河嶋他: 指紋自動識別システム, 電子通信学会全国大会, 1514 (昭和 58 年).
- 6) 光沢他: 指紋画像処理及び特徴抽出高速化ハードウェア, 電子通信学会全国大会, 1513 (昭和 58 年).
- 7) 月村他: 指紋照合原理, 電子通信学会全国大会, 1515 (昭和 58 年).
- 8) 高島他: 指紋照合のためのファイル構造, 電子通信学会全国大会, 1507 (昭和 58 年).
- 9) 甲斐他: 並列処理を採用した指紋照合方式, 電子通信学会全国大会, 1511 (昭和 58 年).

(昭和 59 年 2 月 2 日受付)

