

研究室紹介

早大, 大照研の画像処理

大照 完 (早大, 理工)

この数年間に当研究室で取り上げた画像処理関係のテーマは次の5つである。

1. 指紋自動分類機

米国FBIでは2年前既に4億、日本でその約1/10の指紋が保管されており、その分類、照合は人の限界を越え、自動処理は世界各国共、緊急の問題としてその開発が強く要望されている。また近年指紋と先天性異常児さらに染色体の数との相関が明らかになり、医学的にもその分類に大きな関心が寄せられている。か様な背景のもとに当研究室では、7年前に指紋自動分類機の開発に着手した。指紋自動処理には大別して照合と分類に分けられる。照合はマニユシヤ検出が殆んど唯一の方法で、分類は従来弓状紋、蹄状紋、渦状紋の3分類 (Fig. 1.1) を基本にしたものが警察、医学、人類学で広く用いられている。吾々の計画したのもこの3分類を基本にした10分類の自動化で、昨年度、一応完成をみた。装置、およびその動作の概要は当日映画で紹介される予定である。



Fig. 1.1 指紋の3つの基本形

システム構成

Fig. 1-2 に示すように指紋印象をフライングスポットスキャナーFSSにより1024×1024の2値電気信号として取り出し、これと前処理装置で24×24のメッシュ毎にノイズ除去し、線のキレをつなぎ、このメッシュ内の隆線の平均方向を決定し、Average Divergence (平均化した発散) を計算することにより、指紋の特長点であるポケット、コア、デルタを検出、ストレージモニター上にディスプレイし、これら特長点の数、相互間の距離、隆線の流れ方向などから渦状紋、蹄状紋、弓状紋の3種を中心とした10分類を行い、分類結果を出力する。

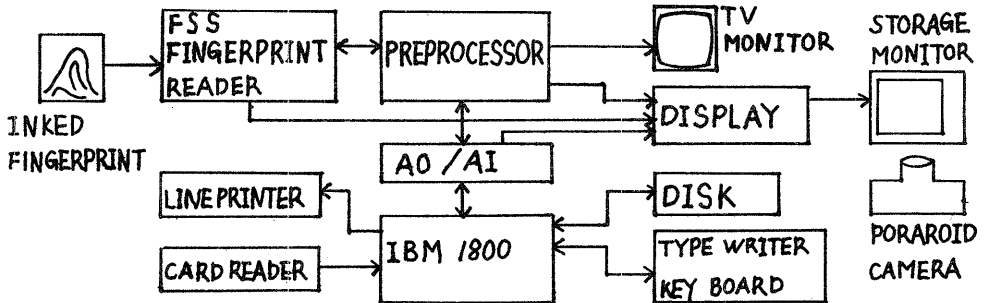


Fig. 1.2 Block diagram of automated fingerprint classifier

装置の性能

著しくよごれた指紋でない限り、一指処理所要時間3分類については70秒、10分類では100秒である。ランダムに選んだ100ヶの試料について実験した処理、3分類、10分類共に略80%の正確率をえた。昨年8月のパターン認識の国際会議に発表した処理、か様な例がないので、特に米国から大きな反響があった。

	False	Correct		Correct	False	Undetermined
Arch	2	32	Plain Arch	10	0	1
Loop	5	29	Tented Arch	10	2	0
Whorl	6	28	Right Loop(F)	9	1	1
TOTAL	13	89	Right Loop(N)	9	1	1
			Left Loop(F)	9	0	2
			Left Loop(N)	8	1	2
			Plain Whorl	9	0	2
			Double Loop(R)	10	0	1
			Double Loop(L)	9	1	1
			TOTAL	83	6	11

Table 1. Accuracy of Classification Results

Table 2. Accuracy of Classification

自動分類の困難性

指紋の自動処理はイメージプロセシングの好例題として従来多くの論文が発表されているが、その殆んどが、典型的な指紋パターンについての分類、照合のアルゴリズムに関するものである。これは人力で電算機に入力するには膨大なデータが必要であり、一方フライングスポットを通じて自動的に入力しようとするときノイズ除去が容易でない。実際の指紋印象は墨のよごれ、隆線の切れなど著しく、その前処理装置が大規模になる。電算機でこれをやらせると途方もない時間（IBM 1800.7オートランで約20時間）を要する。そこで如何に簡単なハードウェアでこの前処理装置を作るかが、一つのキーポイントになる。

その問題はコア、デルタなどの特長点の描出である。これらの特長点は本質的に局所的なサンプリング点の性質からだけでは判定できず、隣接点を考慮せねばならぬ事である。このため一つの特長点の決定にも、かなり広った領域のデータを取り扱わねばならずノイズの入る可能性が大きいばかりでなく、パターン構造によっては判定が困難な場合が生ずる。例えば墨のよごれ、切れなどを充分除去した後でもなお、デルタとコアが接近している場合、デルタ附近にわずかの隆線の乱れがある場合、あるいは生のままの指紋の問題等々である。

2. 鱗紋パターンの自動処理

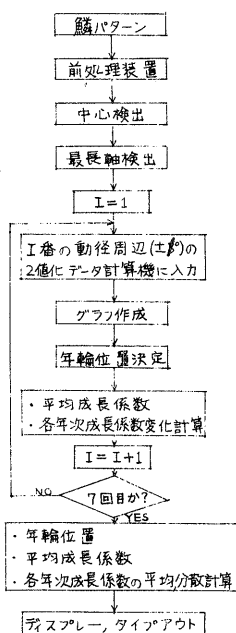
鱗紋パターンの構造すなわち隆起線の数、線間間隔、年輪などは魚類の系群や生理状態および成長との関係を示す指標として重要視されている。一方、近年魚類の資源量調査のため多量の鱗紋試料の迅速な自動処理測定が必要となった。鱗紋の自動計測についてはプレスカードを光学系で拡大し、光導電子を機械的に走査することにより、隆起線数をペン書きオシロに記録する勝れた研究が既に発表されている。然し当時は未だ計算機導入の機運になく、従って鱗紋の中心、最大

半径などの決定も目視手動によっている。当研究室では指紋パターン入出力装置を利用して鱗紋パターンの自動処理も行っている。

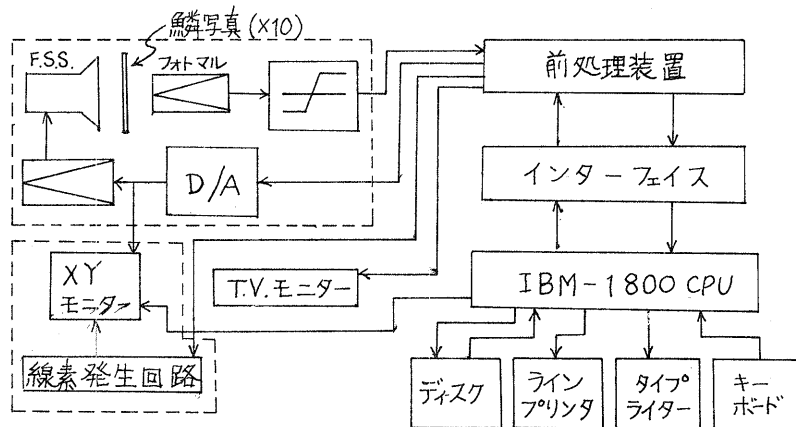
装置の概要

試料にはコノシロ、ヒラメ、ハマチなども試みたが、主としてサケ、マスのプレスカードの鱗紋顕微鏡写真(10倍拡大)を用いた。装置はオ2.2図のように鱗紋パターンがフライングスポットスキャナーFSSで1024×1024点の2値電気信号に変換、前処理装置を経て、IBM-1800に入力される。次にオ2.1図に示すように指紋の中心決定に用いたと同じ原理で鱗紋中心を検出し、ここから隆線の存在する最も長い動径を決定する。これを中心に20°おきに動径をひき、中心点からの距離を横軸に各動径に交わる隆起線の総数、および線間間隔のグラフが計算、タイプアウトおよびディスプレイされる。これより年輪、平均成長係数、年次成長係数変化などの平均値、および分散などの所要のデータを得る。

以上非常に鮮明な画像に対しては、現在ほぼ予期の結果を得たが、隆線のぼけ、切れなどの乱れの部分に対しては、スムージングを検討中である。またプレスカードのパターンを直接入力するには、これが本来3次元構造を有することを考え、現在走査型電子顕微鏡を用いて、深さなど微細構造を調査している段階である。



オ2.1 図



オ2.2 図

3. 手中に光センサを持つロボットの眼

2台のビデオカメラを用いて5m離れた物体を捜し出し、計算機制御で60cmまで近づき、5本指の手でつかむ足歩行のロボットの眼のシステムについては一応2年前に完成したが、物体をつかむための手の誘導にビデオを使用すると、視野内にロボットの手が入り、物体とロボット自身の手との区別を認識する必要を生じ、眼の機構が複雑になる。このため前回は至近距離からの物体検出は専ら

タクトイルセンサに頼ったが、これでは物体の位置決定に不十分なばかりでなく、物体が背の高い円筒形に限定される。この欠点を補うため手の中に4個の光センサを配置し、物体検出の基礎実験を行った。

原理

2次元平面の座標系で原点から r_i の所に、重み m_i の質点が n 個ある時、この質点群の重心座標 r_G は

$$r_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.1)$$

となる。この座標系の原点を重心座標に移すには $r_G = 0$ 即ち

$$\sum_{i=1}^n m_i r_i = 0 \quad (3.2)$$

とすればよい。この事を利用して16エレメントのリネアレチコンを図3.1のように、手のひらに十字型に4個配列し、レンズを用いて物体をレチコン面上に結像させる。物体の像の映るフォトダイオードの個数を m_i ($i=1\sim 4$)とすると、 r_i は近似的に一定と考えられるので、X・Y両方向の2個のレチコンを組にして、 $m_1 - m_3$ 、 $m_2 - m_4$ が0になるように物体を追従する。また、物体でレチコンを $2\pi/K$ (K はレチコンの数)回転することによりレチコンに映る物体の像の変化、即ち m_i の値の変化から簡単な形状を認識することもできる。

回路構成

装置のブロックダイアグラムを図3.2に示す。レチコンは駆動用クロックによりビデオ信号を出力する。これは適当な閾値で2値化され、レチコン駆動用クロックと同期して作られるカウント用クロックで、閾値以上に信号のあるフォトダイオードの数をカウントする。これが m_i の値である。一方、タイミングパルス発生回路ではレチコンから出る同期信号の2周期をひとまとめとし、1周期目では m_i のカウントを、2周期目ではこの値のホールド及び演算を行う。4個のレチコンは以上の事が並列に行われる。ホールドされた m_i の値は直ちに減算され、差が0でない時は、差を減らすように可逆カウンタが変わり、X-Yレコーダ上の物体が動く。差がX・Y両方向とも0の時、重心の位置に手の中心がくる。次いで物体の形状認識を行う。円形、四角形、六角形程度の形状区別は可能であった。

なお実験は目標物に対してセンサのついた手を動かす代わりに手を固定し、X-Yレコーダのペンの位置において物体を入力電圧により動かして行った。従って手と物体との距離(Z方向)は一定にして実験を行ったが、ほぼ5cm~15cmの間で追従できた。

また、手は物体と極めて接近するため外部の照明による手の影が入る。これをなくし、光が均等に分布するよう手の周辺に光源を配置した。

以上手の中に放射状に小型の光センサと光源をつけた手は、手自身のパターン認識の要なく、あるいは手の影の影響を受けることなく、至近距離で、物体をつかむ場合に、一つの簡単有効な方法であるとの結論がえられた。

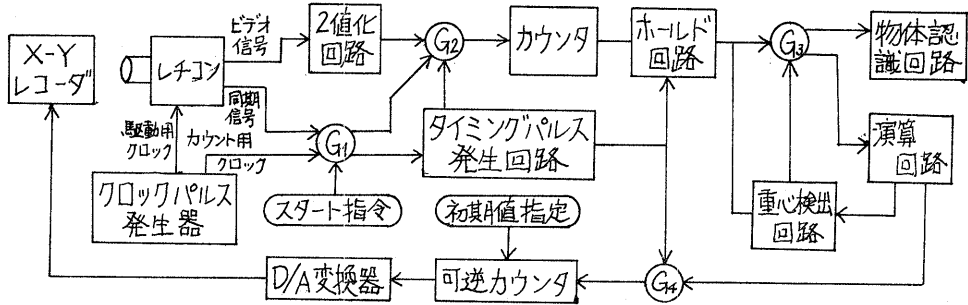


図 3.2. ブロックダイヤグラム

4. 磁気バブルを用いた光学スキャナー

フライングスポットスキャナーは画像処理の入力装置として欠かせないものであるが、当研究室では磁気バブルを用いて、固体のフライングスポットスキャナーともいふべきものを開発中である。

原理

オルソフェライトなどの単結晶薄板中に発生するバブルドメインは、ファラデー効果を用いてバブルの存在する場所だけの光を透過させることができる。

このバブルの大きさは数 10μ あるいは 1μ 以下のものも容易に得られ、これを走査用光学スポットとして利用できる。一方この磁気バブルは、外部磁界または電流で結晶中の任意の場所へ高速に移動させる事ができる。従って、印加磁界により光スポットの走査位置が決定でき光学スキャナーとして使用できる事が分る。

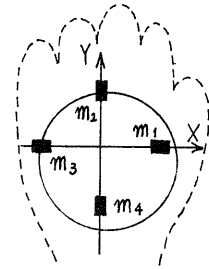


図 3.1 原理図

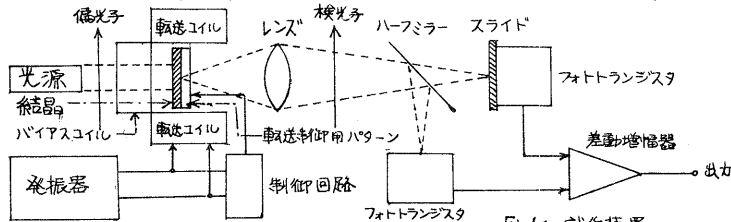


Fig.4.1 試作装置

基礎実験

直径 7mm 、厚さ 80μ の YFeO_3 を用い基礎実験を行った。装置の概要をFig. 4-1に示す。バブル転送用パターンは 32×8 ビットのパーマロイ製TIバーを用い、転送には磁界を使用した。またバブル発生には、回転磁界によるバブル分割法にバイアス磁界制御用の電流ループを併用した。バブル径、ビット間隔共に 80μ である。光源はバブル材の波長透過特性、偏光子の特性などの理由でHe-Neレーザーにビームエキスパンダを用いてビームの径を約10倍に拡大して使用した。光源から出た光は偏光子を通り直線偏光となり結晶中でその偏光面が回転しレンズにより集光する。さらに像面とレンズの間に検光子を置き像面にバブルのスポットを結像させている。この像面に画像読み出し用のスライドを置き、その透過光をフォトランジスタで観測すれば、スポットの当たっている位置のスライド

の透過率に比例した出力が得られる。本実験では、バブルドメインの転送に磁界を使用したため i) バブルドメインの一部が T I パターンに隠れる。 ii) 光源自身の光量変動および面内の照射むらが生じる。などによる出力変動を避けるため、ハーフミラーを用い参照光を導き、差動増幅器を通して出力を得る。ここでバブル以外の部分の輝度はすべて出力信号の零点変位となるが、出力 1 mW のレーザーを用いた場合の輝度は、バブルの部分 1.97 Lux、バブル以外の部分 $8.1 \times 10^2 \text{ Lux}$ となり、単位面積あたり 97% のコントラストを得、光学スキャナーとして十分な特性が認められた。

本装置の特徴

本装置は顕微鏡パターンあるいは E V R の画像読取などに利用でき、以下の様な特徴がある。

- 1) 磁気バブルは転送パターンにより完全に位置がディジタルに制御できるため、スポットの安定度が高く、高密度記録の読み出しに利用できる。
- 2) スポットサイズはバブル材の材質により $1 \mu\text{m}$ 以下の小さいものも得られ、その大きさは材料固有で安定である。
- 3) 多点スポットの同時走査が可能のため、相関などの演算が高速にできる。
- 4) 不揮発メモリの特性があり、二次元マッチドフィルターなどに有効に利用できる。
- 5) 以上は画像の読み出しについてであるが書き込みも可能でこれには a) 光源を変調してバブルスポットの位置に書き込む。 b) 映像信号によりバブル発生を制御する。
- 6) a) と同様な方法でディスプレイができ、テレビ受像器も原理的には可能である。

5. ストカスティック計算機を用いた眼球運動のシミュレーション

ストカスティック計算機 (S.C.) は 1968 年以來、当研究室の主要テーマの一つであるが、最近これを用い、眼球の確率的な運動のシミュレーションを行っている。これは画像処理とも多少関係があるので紹介する。実験に使用している S.C. は当研究室の試作 2 号機で I.C. 数約 700 で構成され、電算機で制御されるハイブリッド型になっている。

眼球運動の確率的モデル

人間の眼球が 1 定点を見ている時、こまかくランダムウォークしていることはよく知られている。この微小運動は i) microsaccades: 平均角度 6 分程度のステップ状の運動 ii) Tremor: 高周波のランダムウォーク iii) drift: 1 秒間に角度 1 分ほどのゆっくりした運動などに分類されており、R. Vasudervan 等は、この i) と ii) について外部からのノイズを仮定して、眼球運動の Stochastic Model を考えた。そこでは運動全体を 1 次系で近似し、Tremor の原因として白色ノイズをまた、microsaccades の原因として Poisson インパルス列を入力に加えたものであり Fokker-Planck eq. は、時刻 t における眼球の角度 θ についての密度関数を $\pi(\theta, t)$ とすると、次のようになる。

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = \beta \frac{\partial}{\partial \theta} \{ \theta \pi \} + \frac{D}{2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \pi - \lambda \pi + \lambda \int_{-\infty}^{\infty} \pi(\theta - \theta', t) \varphi(\theta') d\theta' \quad (5.1)$$

ここで右辺第 1 項、第 2 項が Tremor の項であり第 3 項、第 4 項が平均数 λt 振冲

の分布が $\varphi(\theta)$ であるポアソンインパルスによる microsaccades の項である。

S.C.によるシミュレーション

上述したモデルは、S.C.を用いてシミュレーションできる。Fig.5.1は全体のブロック図である。眼球はX-Y方向それぞれ2個のフォトランジスタによりX-Y2方向のgradientを検出し、そのアナログ信号がアナログストカスティック変換器A/Sによりランダムパルス列に変換され、Stochastic積分器へ入力される。

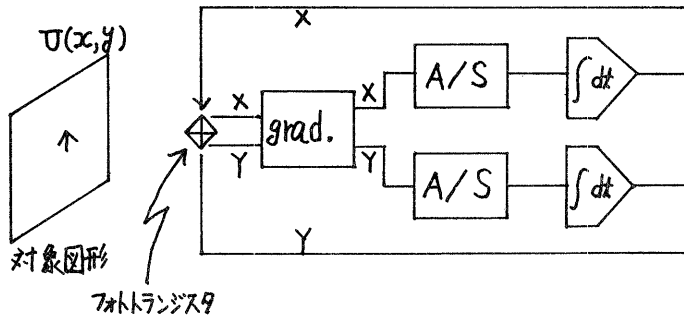


Fig.5.1 ブロック図

X-Yの各積分器の出力は、フィードバックされて眼球(フォトランジスタ)をX-Yの各方向に動かし、図形のgradientが0になる点へ移動させる。この系では、S.C.の積分器の内容が視点を表わしていると考えてよいが、ランダムパルス列を用いているため、時刻tに視点が(x, y)にある密度関数 $\pi(x, y, t)$ は次のFokker-Planck eq.に従うことがわかる。

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = \beta_1 \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial U}{\partial x} \cdot \pi \right\} + \beta_2 \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\partial U}{\partial y} \cdot \pi \right\} + \frac{D_1}{2} \frac{\partial^2 \pi}{\partial x^2} + \frac{D_2}{2} \frac{\partial^2 \pi}{\partial y^2} \quad (5.2)$$

ここで図形関数 $U(x, y)$ を x^2 とすれば R. Vasudevan の tremor に対する項と同じになることがわかる。しかし、この式は R. Vasudevan のように、外部から原因の明らかでない白色ノイズを特に仮定せず情報伝達にランダムパルス列を用いた結果であり、より実物の系に近いと考えられる。また、microsaccades については平均 λt のポアソンインパルスを積分器の値に加えれば(上位ビットにポアソンインパルス列を直接入力する)可能となる。現在 Fig. 5.1 に従い実験中であるが、簡単のために図形はシンクロスコープに描かせ、フォトランジスタを動かす代わりにシンクロスコープ上の図形を移動させるようにフィードバックをかけている。パターンとしては i) $\text{grad } U = 0$ とする注視点が1点だけの場合、ii) 注視点が移動する場合、iii) 複数の注視点がある場合、iv) 画面の背景にノイズが混入した場合等を計画中である。このモデルとほとんど同じモデル化がハエの眼と首の回転トルクの場合にも行なわれているが、Fig. 5.1 の積分器をさらに複数にして筋肉系をふくめたシミュレーションも考えられる。