

阪大基礎工学部における画像情報処理等の研究紹介

I 画像情報処理とパターン識別の研究

田中幸吉, 田村進一, 北橋忠宏
(阪大基礎工学部 情報工学科)

1. まえがき

阪大基礎工学部におけるパターン認識関連の研究は、主として2グループにおいて行なわれている。すなわち、一般的パターン認識理論、文字認識、医用画像情報処理を行なっているグループ(田中研究室と志村助教授)と、3次元パターンを対象としロボット技術との関連において物体、光景等の認識及び画像のテクニチャー解析を行なっているグループ(辻研究室)とである。その他主として、電子機器開発の立場から計算機入力装置として *magnetic tablet* 等の研究も行なわれている(井口助教授)。

以下では田中研究室におけるパターン認識(一般的パターン認識理論と文字認識)の研究経過と医学部第一内科との協同研究による医用画像情報処理の現状を紹介する。

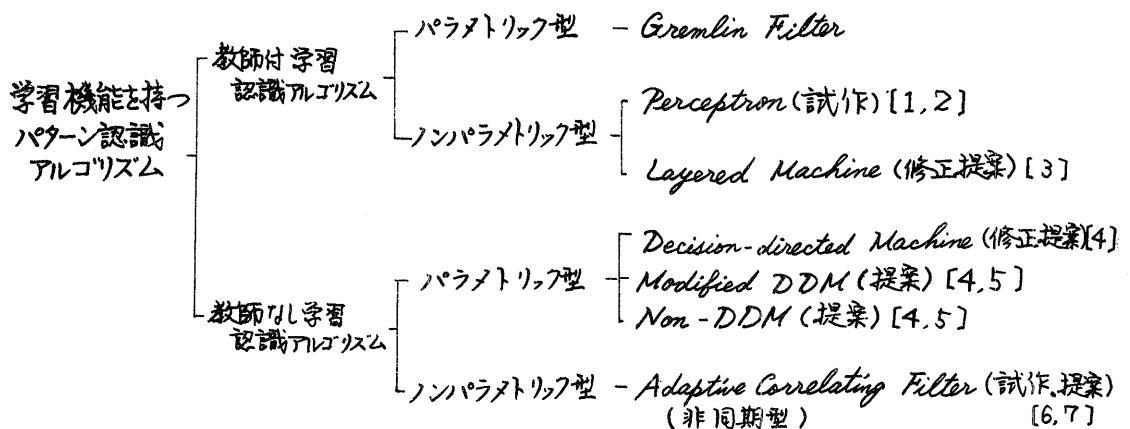
2. パターン認識理論関係の研究

パターン認識には音声波、地震波、EEG、EKG等の時間的パターン(*Temporal Pattern*)と文字、景色、航空写真、レントゲン写真等の空間パターン(*Spatial Pattern*)とがある。何れにしてもパターンを認識するためには、パラメータの集合論的、位相論的記述(*syntactic or linguistic description*)か、あるいは統計量とかある関数による写像値をもって数量化記述(*hypergeometrical description*)するかによってパターンの抽象化された構造記述(いわゆる前処理、特徴抽出)を行ない、どのテンプレートあるいはシンボルとか概念または概念のカテゴリーに該当するかを識別、決定する必要がある。

前者の特徴抽出はパターン認識の最重要問題である。(これについては次章以降に述べる研究の随所に現われてくる。)

後者は比較的系統立った理論の構成が可能である。当研究室では学習機能を伴ったパターン認識について古くから行なってきた。その概要を以下に述べる。

2.1 パターンの学習認識アルゴリズム



[1] 志村, 田中: パーセプトロン形認識装置. 電子通信オートマトン・インホメーション研.
 $\hat{A}_T 67-14$ (1967-06)

[2] 岩井, 志村, 田中: 4層パーセプトロン. 同上 $\hat{A}_T 67-13$ (1967-06)

[3] 志村, 田中: 自己組織化機能をもつ層状学習認識機械. *IECE Trans.* 54-C,
8 (1971-08)

[4] 田中, 田村: 教師なし学習機能をもつパターン識別機械. *IECE Trans.*
52-C, 2 (1969-02)

[5] 田中: *Some Considerations on A Type of Pattern Recognition Using
Nonsupervised Learning Procedure*, Proc. Hawaii Int'l Conf. on
System Sciences, pp. 546~549 (Jan. 1968)

田中: *Some Studies on Pattern Recognition with Nonsupervised Learning
Procedures*, Pattern Recognition & Machine Learning (ed. K.S. Fu) pp. 1-17,
Plenum Press (1971)

[6] 田中他: *An Identification Methods of System Characteristics Using A
New Type of Adaptive Correlating Filter*. Proc. IFAC Tokyo Sym.
pp. 245-254 (Aug. 1965)

[7] 樋口, 田中: 未知波形の適応同定. 計測自動制御論文誌, 5, 2 (1969-06)

注-1. Adaptive Correlating Filter は時系列パターン¹の継続時間長が未知の場合でも
自動的にその終端を見出す動作をすることは興味深い [7]. このアルゴリズムは
Chromatograph, EEG の K-wave, EKG の QRS 波, Reflection Seismograph 等に
適用可能である. (See B. Widrow: *The Rubber Mask Technique*, Pattern Measurement
& Analysis, Learning Systems & Intelligent Robots (ed. K.S. Fu & J.T. Tou) Plenum
Press, 1974)

注-2. 時変パターン¹の教師付き学習認識アルゴリズム: [8] 田村, 田中: *On the Recognition
of Time-varying Pattern Using Learning Procedure*. *IEEE Trans.* II-17, 4 (
April 1971)

注-3. 識別結果を入力側に帰還することにより誤認識率を改善する方法: [9] 田中, 田村:
*Optimal Learning Recognizer for Unknown Signal Sets in A Channel with Feedback
Line*, Learning Systems & Intelligent Robot (ed. Fu & Fou), Plenum Press (1974)

このアルゴリズムは画像強調処理等におけるスライスレベルの自動設定として応用できる.

注-4. 学習機能により同期もとりながら認識するアルゴリズム: [10] 田中: *A New
Method of Pattern Recognition and Synchronization for Unknown Signal Sequen-
ces*, Commission III. 6, U.R.S.I XVII-th General Assembly, Warsaw (Aug. 21-29, 1972)

注-5. Syntactic または linguistic な記述のなされている場合についても学習認識アルゴリ
ズムを組立てることができる. [11]: 田村, 田中: *Learning of Fuzzy Formal Lanqu-
age*, *IEEE Trans.* SMC-3, 1 (Jan. 1973)

注-6. 分布関数をポテンシャル関数法を用いて学習推定するアルゴリズムは Purdue 大学の LARS
において用いられた.

2.2 ウェブ文法とウェブ・オートマトン — 線図形認識オートマトン —

ウェブ¹というのはラベルのついた vertex と arc をもつ Directed Graph
であり, string はグラフの特例である. 普通の PDL は String Grammar で
あり, その二次元への一般化が Web Grammar である.

ウェブ文法は句構造文法とよく似ているが, 書き換え規則がより複雑である.
当研究室では Web Grammar について多少研究してきた.

- (i) Line Graph は $nmcswg$ (normal monotone content sensitive web grammar) をもって間接的に記述生成し、識別できる。
- (ii) Binary Tree 状線図形も $nmcswg$ をもって記述し、識別できる。
- (iii) Ladder 状線図形を記述し、識別するウェブ文法のクラスは $nCSWG$ でありしたがって $nmCSWA$ で受理可能である。
- (iv) 完全グラフとなる線図形は $nmcswg$ で記述し、識別できる。
- (v) すべてのサイクルより成る分離可能な線図形は $nmcswg$ で記述し、識別できる。

- [1] 安部, 豊田, 田中: Web 文法と二, 三のグラフ, *IECE Trans.* 54-C, 12 (1971)
- [2] 安部, 豊田, 田中: 分離可能なグラフを生成するウェブ文法, *IECE Trans.* 55-D, 4 (1972)
- [3] 安部, 豊田, 田中: ウェブ文法によるグラフの表現, *情報処理* 13, 7 (1972)
- [4] 安部, 豊田, 田中: 非正規ウェブ文法, *IECE Trans.* 56-D, 2 (1973)
- [5] 江沢, 安部, 豊田, 田中: ウェブ文法とウェブオートマトン, *IECE Trans.* 56-A, 4 (1973)
- [6] 田中, 豊田, 安部: Some Studies on Web Grammars, *Proc. 1st Intl Joint Conf. on Pattern Recognition, Washington D.C. (Nov. 1973)*
- [7] 山本, 豊田, 田中: ウェブ文法によるデータ構造取扱いシステム, *情報処理* 16, 5 (1975)

3. 文字パターンの認識に関する研究

3.1 Coherent Optical System を用いた特徴抽出

- [1] 田中, 小沢: コヒーレント光を用いたパターンの特徴抽出, *IECE Trans.* 53-C, 5 (1970)
- [2] 小沢, 田中: 二次元回折パターンの並行発生法, *IECE Trans.* 52-C, 5 (1969)
- [3] 小沢, 田中: Φ -空間フィルタ法による文字図形の特徴抽出, *IECE Trans.* 54-C, 2 (1971)
- [4] 田中, 小沢: A New Type of Feature Extraction of Pattern Using Coherent Optical Systems, *Pattern Recognition*, 4, pp. 251-262 (1972)
- [5] 田中: Some Studies on Parallel Processing for Character Recognition, *Proc. 1st Intl Joint Conf. on Pattern Recognition, Washington D.C. (Nov. 1973)*
- [6] 田中, 田村, 三木, 小沢: Character Recognition System Using Φ -spatial Filter, *Optics Communications (to appear)*

3.2 その他の特徴抽出

- [1] 田中, 小沢, 田中: 文字識別のための変形ウォルシュパワースペクトル, *IECE Trans.* 56-D, 7 (1973)
- [2] 田中, 小沢, 田中: 変形ウォルシュパワースペクトルとフィルタによる情報処理, *IECE Trans.* 57-D, 1 (1974)
- [3] 田中, 小沢, 田中: 変形ウォルシュパワースペクトルとその文字識別への応用, *IECE Trans.* 58-D, 3 (1975)

3.3 空間周波数帯域におけるマッチング法

確率的に混入する雑音除去のための低域通過型空間フィルタと文字概念の差異に全く無関係な形で存在する情報成分の除去のため帯域通過型フィルタを考案した。

また空間周波数スペクトルの虚数部を利用して位置ずれの補正も行なった。

[1] 小沢・田中: Character Recognition Using Correlation Techniques on Spatial Complex-frequency Plane. Proc. 2nd Intl. Joint Conf. on Pattern Recognition, Copenhagen (Aug. 1974)

[2] 田中: パターン認識の理論的アプローチ, 数理科学, 特集パターン認識 13, 7 (1975)

[3] 小沢・田中: Band 相関法による印刷文字OCRの設計理論, 情報処理 17, 1 (1976)

3.4 OCRに関する特許出願状況

特開昭48-29326 (公開日昭48.4.18 出願日昭46.8.19)

特開昭48-45141 (公開日昭48.6.28 出願日昭46.8.19)

特開昭49-42363 (公開日昭49.4.20 出願日昭47.8.9)

特開昭49-47041 (公開日昭49.5.7 出願日昭47.9.13)

特開昭50-120220 (公開日昭50.9.20 出願日昭49.3.4)

他1件出願中(49.9.24)

4. イメージプロセッシングに関する研究

4.1 部分画面の貼合せ問題

観測機構は物理的制約によって

有限の範囲内しか観測できない。観測視野に比べて観測対象が大きい場合には、航空・衛星写真や胃カメラ写真・眼底写真などのように対象の部分を観測し、観測で得られた各部分画面から特徴抽出あるいは内容の認識を行なった後に、それらの認識結果を総合することにより観測対象全体を認識する手法がとられる。この認識結果を総合する過程に先立って、各観測によって得られた部分画面相互の隣接位置関係を

知る必要がある。航空・衛星写真などのように、観測が規則的に行なわれている場合にはその規則性を隣接位置関係の決定に利用できる。地方・胃カメラ写真・眼底写真などのように観測が正確に規則的でない場合には、観測における部分画面の位置情報が与えられなかったため、部分画面の持つ画像情報を手掛りにして部分画面相互の隣接位置関係を決定してゆく必要がある。これらは各種各様の方法で個別に作られた地図やデータベースを総合する際のモデルにもなっている。図4.1はこれらの処理過程を示すブロック図である。ここで図4.1のブロック図に示されている部分画面相互の隣接位置関係を決定する操作を“部分画面の貼合せ”と呼ぶことにする。

本研究では部分画面が位置的にランダムに行なわれた場合の部分画面の貼合せについて考察を行なっている。まず各部分画面の持つ特徴に注目した隣接候補画面の決定について、次に部分マッチングによる隣接関係の決定と差異グラフ G_d について、最後に部分画面の隣接関係および相対位置を決定する配置グラフ G_c とその性質について述べている。配置グラフ G_c を得るまでの手法は2枚の部分画面の隣接関係へと拡張してゆくところに特徴がある。なお配置グラフは画像データの

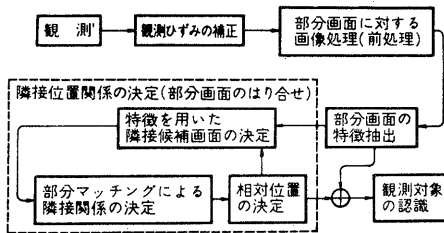


図4.1 部分観測対象の認識手順

論理構造を表わす一種のデータグラフである。

1) 記号・用語の説明

全画面: 観測対象全体を含む仮想的に考えられた画面。

この画面の持つ画像を2変数実数値関数(画像関数と呼ぶ) $g_0(x, y)$ で表わし、その定義域を

$$S_0 = \{ (x, y) \mid 0 \leq x \leq \alpha_1 \cdot L_1, 0 \leq y \leq \alpha_2 \cdot L_2, \alpha_1 > 1, \alpha_2 > 1 \}$$

とする。

S_0 : 全画面を表わす記号。

部分画面: 1回の観測で得られる画面で、観測対象の部分を含む。観測視野の形状が一定であると考えて各部分画面は $L_2 \times L_2$ ([長さ] \times [長さ]) の大きさを持ち、視野の回転はないものとする。

$S_i (i \in I \equiv \{1, 2, \dots, N\})$: N 枚ある部分画面のうち、第 i 番目の部分画面を表わす記号。混乱はないと思われるので、後に定義する各種のグラフの葉につけられたラベルにも同じ記号を使用する。

部分画面の画像関数: 部分画面 S_i を構成する葉 (x, y) の集合を $S_i = \{ (x, y) \mid \xi_i \leq x \leq \xi_i + L_1, \eta_i \leq y \leq \eta_i + L_2 \} \subset S_0$ とするとき、 S_i の画像関数 $g_i(x, y)$ ($i \in I$) は (4.1) で定まる。なお各部分画面が与えられた時葉では、各部分画面の原葉の位置 (ξ_i, η_i) は未知である。全画面における (ξ_i, η_i) の絶対的な値、あるいは他の部分画面 $S_j (j \in I, j \neq i)$ の原葉 (ξ_j, η_j) に対する相対的な値を決定するのが本節の目的の一つでもある。

$$g_i(x, y) = \begin{cases} g_0(x, y); & (x, y) \in S_i \\ 0 & ; (x, y) \in S_i, \in S_0 \end{cases} \quad (4.1a)$$

$$0 \quad ; (x, y) \in S_i, \in S_0 \quad (4.1b)$$

又、葉 (ξ_i, η_i) を原葉に定めた部分画面 S_i の画像関数を $\tilde{g}_i(x, y)$ とする。

特徴抽出関数: 部分画面から特徴を抽出する関数。

$F_l (l \in L \equiv \{1, 2, \dots, M\})$: 用意された M 種類の特徴抽出関数のうち第 l 番目のもの。簡単に“第 l 特徴”と呼ぶ。

$F_l(S_i)$: 部分画面 S_i における第 l 特徴の値。

b) 隣接候補画面

観測対象の位置的に近い部分を観測した部分画面は互いに類似した特徴を有すると考えられる。この節では特徴の持つこの性質を用いて、ある部分画面と隣接するであろうと考えられる部分画面の集合の決定について述べる。

ここで類似度を $A_l(F_l(S_i), F_l(S_j)) (l \in L)$ のように定義し、 A_l がある閾値 $\theta_{l, l}$ より大きいとき $F_l(S_i) \simeq F_l(S_j)$ と表わす。全特徴によるグラフ G_0 を

$$G_0 = (V_0, X_0) \quad (4.2)$$

ただし、 $V_0 = \{ S_i \mid i \in I \}$

$$X_0 = \{ S_i S_j \mid F_l(S_i) \simeq F_l(S_j), i, j \in I, i \neq j, l \in L \}$$

で定義する。ここに $S_i S_j$ は葉 S_i と葉 S_j を結ぶ無向線分を表わす。

G_0 の無向線は必ず l の特徴が類似している部分画面の対を示している。

[定義] 部分画面 $S_i (i \in I)$ の隣接候補画面集合 $C(S_i)$ を (4.3) で定める。

$$C(S_i) = \{ S_j \mid S_i S_j \in X_0 \} \quad (4.3)$$

又、 $C(S_i)$ の要素を S_i の隣接候補画面という。

c) 差異グラフ

部分画面 S_i に対して $S_j \in C(S_i)$ を x 方向に Δx , y 方向に Δy だけずらし、 S_i と S_j の部分マッチングを取る。部分マッチングにおいて、 S_i と S_j の重なった領域

の画像関数が等しいときマッチングが取れたという。マッチングの取れた $(\Delta x, \Delta y)$ のうち、その重なり領域の面積 $S(\Delta x, \Delta y) = (L_1 - \Delta x)(L_2 - \Delta y)$ を最大にする $\Delta x, \Delta y$ を各々 $\Delta \xi, \Delta \eta$ とする。このとき差異グラフは次式で定義される。

$$r(S_i, S_j) \begin{cases} (\Delta \xi, \Delta \eta); S_j \in C(S_i), \Delta \xi \leq L_1, \Delta \eta \leq L_2 \\ S(\Delta \xi, \Delta \eta) \geq \varphi \end{cases} \quad (4.4)$$

未定義; その他の場合

なお φ は $\delta(\cdot, \cdot)$ が小さいとき偶然マッチングが取れることをふせぐ閾値である。つまり $r(S_i, S_j)$ の値とは言い換えると、部分マッチングでマッチングがとれ、重なりがある大きさ以上で最大であるときの位置的ずれと言える。マッチングが取れない場合は隣接しないときであり、値は未定義とする。又、重なりが小さい場合や S_j が S_i の隣接候補画面でない場合は、 S_i と S_j が隣接するかどうかが決まれないため、値を未定義とする。

d) 配置グラフ

各部分画面の相対位置および部分画面間の隣接関係とその差異を表わすのに適したグラフとして配置グラフを定義し、その幾つかの性質を述べる。配置グラフでは部分マッチングによって隣接関係を求めるのではなく、差異グラフ G_0 を用いて隣接関係を決定してゆくものである。

連結成分 $G_\alpha (\alpha \in A)$ の点に対応する部分画面の集合 $\{S_i | S_i \in \tilde{V}_\alpha\}$ において、 S_i の添字の集合を I_α , $m_\alpha \triangleq \min\{i | i \in I_\alpha\}$ とする。このとき部分画面 S_{m_α} に対する S_i の相対位置は

$$(\xi_i, \eta_i) = (r_x(S_{m_\alpha}, S_i), r_y(S_{m_\alpha}, S_i)) \quad (4.5)$$

となる。

[定義2] 配置グラフ G_0 の連結成分 $G_\alpha (\alpha \in A)$ を (4.6) で定める。

$$\hat{G}_\alpha = \tilde{V}_\alpha, \hat{X}_\alpha \quad (4.6a)$$

$\tilde{V}_\alpha = \tilde{V}_\alpha, S_i \in \tilde{V}_\alpha$ は (4.5) で定まる (ξ_i, η_i) をその値に持つ。 (4.6b)

$$\hat{X}_\alpha = \tilde{X}_\alpha \cup \{\overrightarrow{S_i S_j} | S_i, S_j \in \tilde{V}_\alpha, S_j \in \tilde{V}_\alpha, |\xi_j - \xi_i| < L_1, |\eta_j - \eta_i| < L_2\}$$

有向線 $\overrightarrow{S_i S_j} \in \hat{X}_\alpha$ は (4.7) で定まる $r(S_i, S_j)$ をその値に持つ。 (4.6c)

$$r(S_i, S_j) = (\xi_j - \xi_i, \eta_j - \eta_i) \quad (4.7)$$

[定理] G_0 が連結ならばすべての部分画面の相対位置が決定できる。

e) 実験例

"グラントジャットの日曜日(部分)" 及び "凱風快晴" を観測対象とし図4.2に示されるように 30×30 の部分画面を S_1, \dots, S_{20} とした場合の実験例について示す。それぞれの図柄はグレイレベルで領域に分割すると、前者は婦人、紳士、人物、背景の林、その他の領域からなり、後者は山頂、裾野、空の領域からなっている。

使用した特徴と類似度は以下の3通である。

F_1 : 平均グレイレベル

F_2 : ヒストグラム

F_3 : グレイレベルの分散

$$A_1 = A_3: 1 - |F_2(S_i) - F_2(S_j)| \quad (\ell = 1, 3)$$

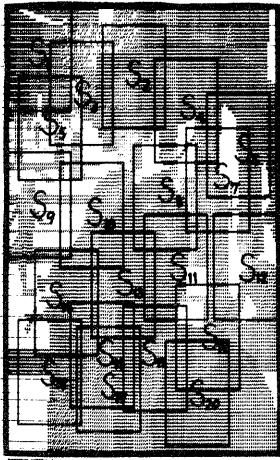
$$A_2: (F_2(S_i), F_2(S_j)) / \|F_2(S_i)\| \cdot \|F_2(S_j)\|^*$$

及び最小の重なり面積: $\varphi = 25$

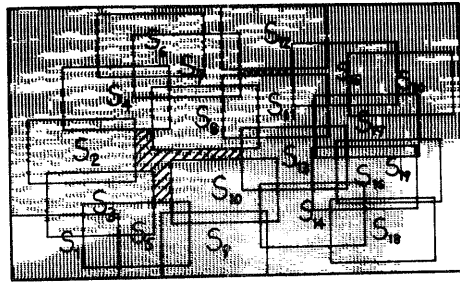
* $(F_2(S_i), F_2(S_j))$ は内積を表し、 $\|\cdot\|$ はノルムを表す。

図4.3はグラントジャットの日曜日について $\theta_l (l=1, 2, 3)$ を低下させていったときに得られたそれぞれの段階での配置グラフ G_0 の随伴無向グラフ \hat{G}_0 を示す。图中、実線は部分マッチングの結果決定された有向線に対応し、破線は論理的にすなわち定義2の式(4.6C)によって追加された有向線に対応している。

図4.3に現れているように、同一領域を持つ2枚の部分画面は高いしきい値 θ_l でも隣接位置関係は決定されているが、そうでない場合はしきい値 θ_l を低くしないと決定されていない。これは物理統計量を特徴としていることに起因する。



(a) “グラントジャットの日曜日(部分)”



(b) “凱風決晴”

図4.2 実験に用いた観測対象と部分画面の例

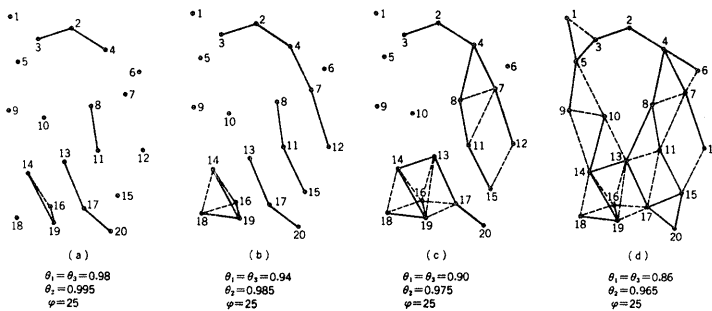


図4.3 しきい値 $\theta_l (l=1, 2, 3)$ の変化による配置グラフ G_0 の随伴無向グラフの様子

f) 今後の課題

位置的ランダムに観測対象を観測して得られる画面(部分画面)の貼合せの問題に関して (i)全特徴によるグラフ G_0 、(ii)部分マッチングで決定される差異グラフ \hat{G}_0 、及び(iii)部分画面相互の隣接関係とそのときの差異、各部分画面の相対位置を示している配置グラフ \tilde{G}_0 を提案し、それらを得るアルゴリズムについて述べた。更に、3種類のグラフ G_0 、 \hat{G}_0 、 \tilde{G}_0 について、幾つかの性質を示した。

部分画面の相対位置は差異グラフ G_0 でも決定できるが、配置グラフ G_0 を用いれば部分画面の相対位置の決定のほか、次のような問題も解決できる。

a) 観測もれの領域 (空白領域と呼ぶ) の検出と、空白領域を囲む部分画面の決定。

b) 重複した観測 (冗長部分画面と呼ぶ) の検出。

c) 観測対象を覆うのに必要な最小な部分画面の集合の決定。

これらの問題については、文献を参考にされたい。

今後、部分画面の貼合せ問題に関して、(1)部分画面の持つ物理統計量を特徴とした貼合せの結果、(2)部分画面の集まりが幾何学的特徴を持つようになること、幾何学的特徴を用いた貼合せを行ない、更に(3)部分画面の集まりが(パターン認識の結果)意味的特徴を持つようになること、これを用いた貼合せを行ない、といった段階的な貼合せ操作についての検討が必要であろう。

- [1] 田中, 田村, 田中: 部分画面の貼合せに関するグラフ理論的考察, *IECE Trans.* 58-D, 3 (1975)
- [2] ———: 部分画面の貼合せにおける隣接位置関係の決定, *IECE Trans.* 58-D, 9 (1975)
- [3] ———: 部分画面の貼合せにおける空白領域冗長画面の検出, *IECE Trans.* 59-D (採録決定)
- [4] ———: *An Assembling Subpictures into a Mosaic Picture*, *IEEE Trans. on SMC* (投稿中)

4.2 意味情報を用いた部分画面の貼合せ問題

配置グラフを利用した全画面の貼合せのための部分画面の大きな位置関係の決定に、観測画面の Assertion Model (全画面に関する予備知識を表わす関係グラフ、いわば一種の Semantic Memory) を利用する方法について述べる。

a) 処理手順とその結果

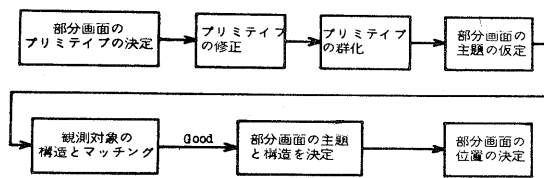


図4.4 部分画面の位置決定の手順

処理手順の詳細を図4.7の実験例について以下に述べる。

(i) プリミティブの決定: 部分画面を 8×8 画素より成る小領域に分割し、各小領域に対し、その濃度レベルの平均値、標準偏差の値から図4.5に従い "1" ~ "5" および "0" のプリミティブを割当てる。

(ii) プリミティブの修正: 点 (i, j) のプリミティブ P_{ij} をその4つの近傍 $P_{i-1, j}, P_{i+1, j}, P_{i, j-1}, P_{i, j+1}$ の状況によって "0" でない近傍のプリミティブに置きかえる。

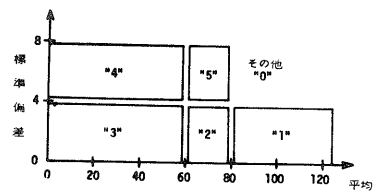


図4.5 プリミティブの決定

0	5	5	5	5	5	0	0	4	
0	5	5	5	5	5	0	0	4	
0	5	5	5	5	5	0	0	0	
0	5	5	5	5	0	4	0	0	
2	5	5	5	0	0	0	0	0	
2	2	5	5	2	2	2	2	5	5
2	2	2	2	2	2	5	0	0	0
2	2	5	5	2	5	5	4	4	4
2	2	5	5	5	5	4	4	4	4
2	5	5	5	0	4	4	4	4	4

図4.6 修正後のプリミティブの配列 (816)

[状況] (i) 4つの近傍が同一 ($\neq "0"$)

(ii) 3つの近傍が同一 ($\neq "0"$) で他の1つの近傍 = "0".

(iii) $P_{ij} = "0"$ で3つの近傍が同一 ($\neq "0"$)

(iv) $P_{ij} = "0"$ で2つの近傍が同一 ($\neq "0"$)、他の2つの近傍 = "0"

部分画面 S_{16} についてプリミティブを修正した結果を図4.6に示す.

(iii) プリミティブの群化: ある主題に対応する領域は同一のテキストチュアを持っている. したがって(ii)で決定された各プリミティブは同一のものは固まって存在する. 各プリミティブ群ごとに異なった番号を割当てる. この操作は4連結な同一プリミティブを辿ることで実行されている. ここで唯1個のプリミティブより成る群は"0"として再び(ii)によってプリミティブに修正を施す. その結果を図4.9に示す.

(iv) 構造のマッチング: 各プリミティブ群の重心を求め上方から順にそれらを順位づける. また図4.10に従って各プリミティブ群に主題を対応させる. ただし, 4個以下のプリミティブより成る群は無視している. "2", "3"については2種の主題が対応するが, 可能なすべての主題の組みとマッチングを取る. ここで図4.8の各ノートにはセルフループの存在を許している.

(v) 部分画面の意味地図と構造の決定: 部分画面の各プリミティブを(iv)で対応つけられた主題に置き換えることにより, 部分画面の意味構造が得られる(図4.11上). また(iv)で決定された主題のうち連続する同一の主題を統合することにより部分画面の構造を決定する(図4.11下).

(vi) 部分画面の大きな位置の決定: 観測対象の主題に対し, それぞれの位置を示す値を与える(図4.8参照). 各部分画面についてそれを構成する主題の位置の値の平均値を求め, それを部分画面の大きな位置とする. 図4.12においてある部分画面に対し位置が複数個決定されているのは, 1つの部分画面に複数の構造の解釈が存在したり, また1つの構造に対して複数の位置が対応することによる.

(b) 今後の課題

部分画面の正確な位置決定は前節の隣接位置関係決定のアルゴリズムによって行なえる. 本研究の結果はその際の隣接候補画面の決定に利用できる.

SEMANTIC MAP

A A A A A A A A
A A A A A A A A
A A A A A A A A
A A A A A A A A

FROM TOP TO BOTTOM
A T

図4.11 意味構造 (S_{16})

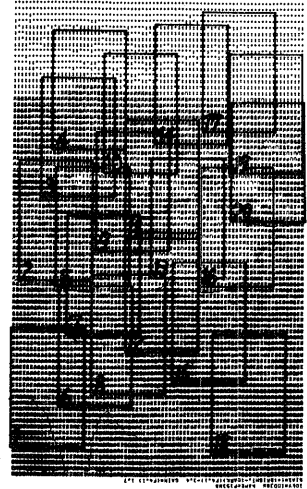


図4.7 観測対象と部分画面

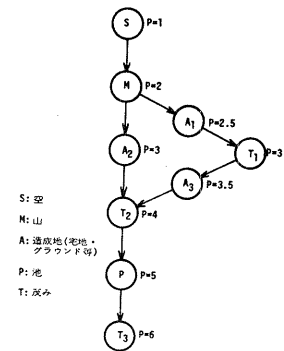


図4.8 観測対象の構造(上下関係)と主題の大きな位置

NO. OF SUBPICTURE = 16

0	51	51	51	51	51	51	0	0	41	
0	51	51	51	51	51	51	0	0	41	
0	51	51	51	51	51	51	0	0	0	
0	51	51	51	51	51	0	42	42	0	0
21	51	51	51	51	0	0	0	0	0	0
21	21	51	51	21	21	21	21	52	52	0
21	21	21	21	21	21	53	0	0	0	0
21	21	53	53	21	53	53	53	43	43	43
21	21	53	53	53	53	43	43	43	43	43

図4.9 プリミティブの群化 (S_{16})

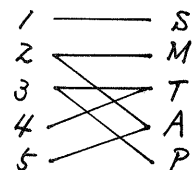


図4.10 プリミティブと主題の対応

本研究では上下関係に注目して部分画面の構造を解析しているため、部分画面の位置も上下方向における位置となった。画像は2次元元的広がりを持つものであるから、その構造も2次元情報を持つものが必要である。また、1つの部分画面に複数の構造が解釈された場合の対策についても検討が残されている。

なお前述の例に見られる Assertion Model を利用する認識方法を拡張した手法として、NASA 等で実用されている Hypothesis Generation & Verification Paradigm という手法が、認識・理解システムに有効である。この方法は、与えられた予備知識をもとに入力情報を与えて更に具体的・詳細な拡張された知識を構成してゆく方法である。

入力情報のメモリの役割を果たす World Model を考え、この World Model を2つの部分に分けて考える。その一つは Assertion Model であり関心ある対象に関する仮説を関係グラフ(情報構造)を用いて表現する。いわば Semantic Memory の働きをする部分である。他の一つは Assignment Model とよばれる。与えられた入力情報のグラフ的構造記述の働きをする部分である。この解析法は bottom-up と top-down programming を併用する。いわば global analysis と reorientation を繰返しながら究極の goal を探索してゆく方法である。それを支える理論面として、推論、連想、学習機能あるいは人間の Heuristics を利用した対話的技法等の究明が必要となる。

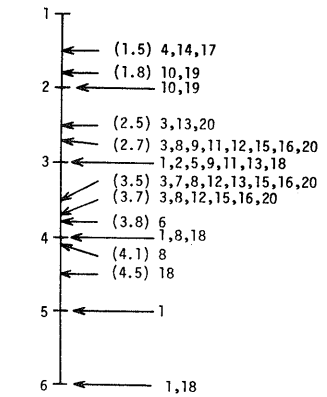


図4.12 部分画面の大きな位置

- [1] 田中,田村,田中: 観測対象の構造を利用した部分画面の構造の解析、昭50 電気関係学会関西支部連合大会(1975-11)
- [2] ———: 観測対象の構造を利用した部分画面の大きな位置決め、昭50 情報処理学会第16回全国大会(1975-11)

4.3 眼底写真の情報処理

更に複雑な画像の例として、眼底写真の血管情報の抽出について述べよう。眼底血管は人体内で唯一の外界よりはっきりと見ることのできる血管である。さらに個人の Identification に使える程、その走行状態が個人個人によって異なり、各種の重要な情報を与える。

まず眼底写真解析の基礎となる主要血管の走行状態のデータを求める。解析結果が各眼底写真相互の貼合せ問題および眼底写真の総合的解析などの基礎データとして利用できるよう、入力画像の撮影条件等に影響されず均一な結果が出されるように考慮し処理を進めた。

4.3.1 眼底血管の構造解析

(i) 処理システム及び入力データ

35mm 白黒蛍光眼底フィルムを、F.S.S (コフコス701) と CEC 555H を用いて、136×136 濃淡 128 レベルで出力させた。データを FACOM 230-45S を使い解析した。

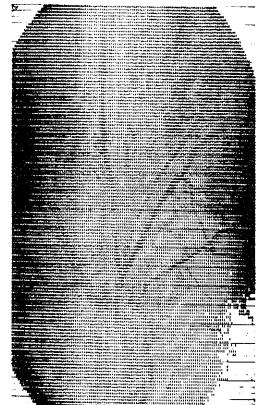


図4.14 入力画像

処理手順は図4.13に示す通りである。各操作を以下に簡単に説明する。

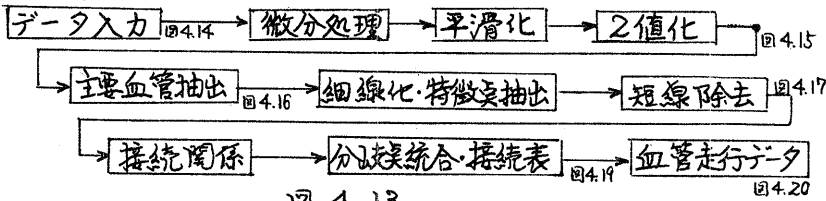


図 4.13

(a)微分処理：各種マスクを比較検討の結果以後の処理との関連から、次のような 3×3 のマスクを用いた。中央E点での出力 f_E は

$$f_E = E - \text{MIN}(A, B, C, D, F, G, H, I)$$

A	B	C
D	E	F
G	H	I

この際、視野の境界線上では微分値が大となり、血管以外に境界線まで抽出されることになる。このため、視野外の明るさが視野内に比べて十分大きいことを利用して、境界線は抽出されぬようにした。

b)平滑化：微分処理後、新たにE点での出力 g_E として、

$$g_E = (k \times f_E + f_A + f_B + f_C + f_D + f_F + f_G + f_H + f_I) / (8 + k)$$

本実験では、 $k=4$ としたが、平滑化の効果として、ノイズの軽減、血管抽出能力の向上があげられる。

c)2値化：全画面を4つの部分画面に分割し、各画面ごとに g_E のヒストグラムをとり、累積度数が全体の80%を初めて越える点を、その部分画面中央での閾値とした。画面内の任意の点は、この4つの閾値の荷重平均により算出される局所閾値に基づき、2値化される。

d)主要血管の抽出：各血管の幅を算出し、幅が3以上のものを主要血管とする。部分的に血管幅が減少し、主要血管の連結性が失われるのを防ぐため、主要血管相互を連結する幅3以下の血管も抽出した。

e)細線化・特徴点抽出：抽出された主要血管について、簡単な穴埋め処理をした後、8連結の細線化を行い、特徴点として、血管が1方向に伸びている点を端点、3方向以上に伸びている点を分岐点として取り出した。

f)短線除去・接続関係：端点から端点、および端点から分岐点までの距離が9以下のものは、ノイズまたは主要血管外とみなし、除去した。その後、曲線追跡を行い、残っ

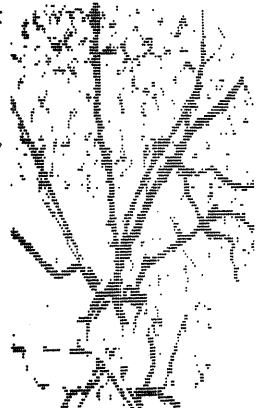


図4.15 微分平滑化処理

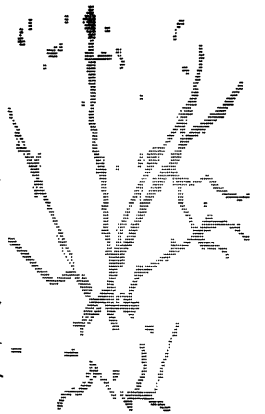


図4.16 主要血管の抽出

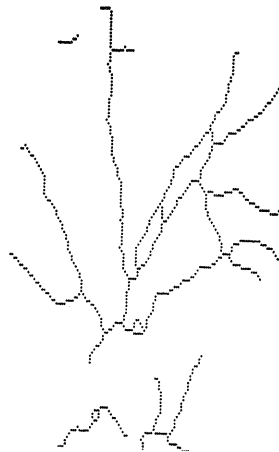


図4.17 短線除去

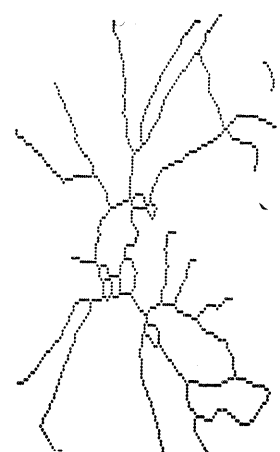


図4.18 短線除去

たすべての分枝英、端英相互の接続関係を調べた。

g) 分枝英統合・接続表：分枝英の中には隣接しているものが数多くあり、主要血管の走行状態を認識する上では、不必要であって、その後の解析を複雑にする。そのため分枝英同志で連結し、かつその距離が以下のものは、中央の位置に新たに分枝英を設定し、この英に統合される分枝英の接続関係を移行させた。この結果、分枝英数はほぼ半減し、一画面について10~25となり、最終的な接続関係も接続表の形で出力させた。

h) 血管走行データ：作成された接続表から、血管の走行状態を明らかにするため、各分枝英ごとに、血管の分枝の数、長さ、方向を導出した。

(ii) 結果と今後の課題

本来、正常な血管は動脈、静脈において考えると各々が木構造をなしており、ループは存在しない。現在のところ、動・静脈の自動識別は困難であるので区別できず、動・静脈の入り混った網目構造が抽出され、リスト表現された。主要血管の抽出に関しては、ほぼ満足のものであって画面が異なっても安定した出力が得られる(図4.17、図4.18)。多数の眼底写真が与えられた場合、上記のアルゴリズムによって多数の主要血管走行データが得られる。現在、これらのデータのマッチングを取るにより、それぞれの眼底写真の隣接位置関係の決定を行なう手法および、血管走行データを統合することによって、より広範囲にわたる血管の走行状態を知る手法について検討中である。

特徴英号(座標)	接続番号(奇数:端英, 偶数:分枝英)						
11(6, 43)	12	0	0	0	0	0	0
12(18, 49)	40	17	11	9	0	0	0
13(14, 32)	15	0	0	0	0	0	0
14(40, 97)	22	19	16	0	0	0	0
15(16, 23)	13	0	0	0	0	0	0
16(44, 99)	21	18	14	0	0	0	0
17(18, 59)	12	0	0	0	0	0	0
18(55, 92)	24	20	16	0	0	0	0
19(18, 109)	14	0	0	0	0	0	0
20(59, 96)	26	25	18	0	0	0	0
21(27, 130)	16	0	0	0	0	0	0
22(62, 74)	34	24	14	0	0	0	0

図4.19 接続関係表(部分)

分枝英番号(座標)	分枝数	
12(18, 49)	3	←角度 -180°~180°
	77	
	10	
	18	
14(40, 97)	3	←角度 -180°~180°
	45	
	34	
	6	

図4.20 血管走行データ(部分)

4.3.2 螢光眼底写真における色素漏出現象の解析

糖尿病性網膜症における螢光色素漏出の時間的変化を計測するシステムについて述べる。

(i) 処理手順

本処理の目的は診断の基準となる漏出量の何らかの指標を測定することである。指標としては臨床的に取り扱い易い漏出面積を乳頭面積で正規化したものを用いた。

まず、入力された時系列画像の処理対象領域を同じにするため、レジストレーションおよびトリミングを行なう。つぎに各画像の最低および最高インテンシティレベル(雑音を除くため、ある値以上の頻度をそれぞれ持つ)の間の75%以上のインテンシティを持つ英を"1"に持つ2値画像をつくる。図4.21左下が2値化された螢光眼底写真である。螢光色素漏出面積の測定には血管部分を取り除く必要がある。そこで血管および漏出色素混合領域をその幅が急激な変化をすることで区切り、区切られた各領域の縦横比が6以上のものを血管と判定し、消去した。この結果を図4.21右下に示す。この血管の識別はパターン認識の一種であるが、その特徴は、血管の走行方向は不定である、漏出部分も不定形である。

ということである。この識別には当然のことながら誤りも多いので、処理図形に入為的な修正を加える。修正はジョイスティックにより行ない、a) 区別された各領域の消去・復活、b) 指定正方形内の図形の消去・復活、が行なえる。図上左が中間結果、右が結果である。

(ii) 結果と今後の問題点

今後の問題点として、漏出面積は比較的捕え易いが指標として十分かどうかは今後の一層の検討が必要である。またびまん性漏出に対してはしき所からや、またあらゆる所から漏出するというような場合があり、計測領域をどこにするか、面積ではなくて体積として捕える必要はないか等の問題がある。

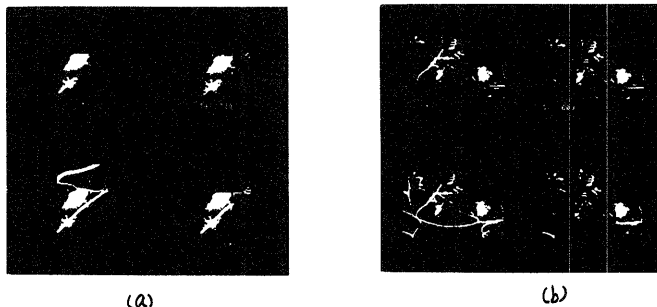


図4.21 処理結果(左下:原図形、右下:血管自動消去、左上:修正中間結果、右上:修正結果、各国の下に面積が表示されている)

- [1] 田村,田中 他:糖尿病性進行性網膜症における蛍光眼底検査時の漏出現象の解析—フライングスポットスキャナーを利用した自動診断への試み、昭49 糖尿病学会近畿地方会(1974-11)
- [2] ———: 糖尿病性網膜症における蛍光色素漏出現象の解析とその経年観察—Flying Spot Scannerの自動診断への応用(第2報)、第18回日本糖尿病学会総会(1975-5)
- [3] ———: 蛍光眼底写真における色素漏出現象の解析(I)、昭50 電気関係学会関西支部連大シンポジウム、信学会画像工学研究会 IE75-81(1975-11)
- [4] ———: 糖尿病性網膜症における蛍光色素漏出現象の解析とその経年観察—Flying Spot Scannerによる自動計測と臨床的所見との関連性—(第3報)、第19回日本糖尿病学会総会(1976-5)

4.4 超音波断層像の立体表示

生体情報は本来空間的なものである。従来、この生体情報の観測は1次元ないし2次元の側面でしかとらえることが出来ず、情報としては不完全であった。超音波断層法においても、断層像は容易に得られるが、その断層像から立体像への再構成は人間の頭の中で行なわれてきた。

今回構成した断層像3次元表示システムは、両眼写真の手法導入により断層像から立体像への再構成の自動化を可能とした。本システムは心臓の形態異常の診断を容易とし、他の3次元情報の表示にも役立つものである。

(i) 処理手順

(a) 入力: 心臓を5mm間隔で走査し得られた複数の超音波断層像写真(図4.22)をFSSのフィルムリーダーより入力し、400×300 標本点の濃淡データを128



図4.22 超音波断層像

段階に量子化する。

(b)前処理：入力された画像データには雑音が含まれているので平滑化を行ない、同時に1/4に縮小する。

(c)境界線の検出：断層像に微分処理を行ない境界線を検出する。図4.24は境界線の検出を行なった結果である。

(d)線画化：(c)で求めた境界線に対応する点を以後の表示のため、近傍の点どうしを線で結び線画化する。

(e)两眼画像の発生：図4.26は(d)で得られた複数の線画(図4.25)と与えられた两眼視差により左眼画像と右眼画像とも表示して两眼画像を発生した結果である。

(f)立体像への再構成：(e)で得られた两眼画像をステレオビューアなどを用いて立体視することによって断層像から立体像への再構成が行なわれる。

(ii)機能と今後の課題

(a)部分の表示：複雑な領域にある注目すべき部分を取り出すためにジョイスティックにより位置を指定し(図4.27)、指定された領域のみを表示する。

(b)写真の位置ずれの修正：断層写真間の位置のずれをジョイスティックによって対応点を示し修正する。なお、断層像撮影の時点でマークを入れておき、このマークを自動認識することにより修正を行なうことを計画している。

(iii)任意方向の断層像の作成法

心臓超音波断層像より任意方向の断層像作成までの処理を以下に述べる。

(a)入力：超音波心臓断層装置を使って、心臓長軸方向に沿って5mm間隔で記録し複数枚の断層像を、フライングスポットスキャナーより入力する。入力された断層像の濃淡情報を128段階に量子化して磁気ディスクに記録する。

(b)断層面の指定：CRT上に断層像(境界線)を表示し、ジョイスティックで希望の断層面 S の方向と傾きを入力する。(図4.28)

(c)断層像の作成：断層面 S の方向と傾きの値より、ディスクに記憶されているデータファイルから断層面 S に対応するデータもとりだし S 面内の断層像を作成する。

(d)断層像の表示：CRT上に(c)で作成した断層像を任意のスライスレベルで表示することができる。(図4.29)



図4.23 入力画像



図4.24 境界線

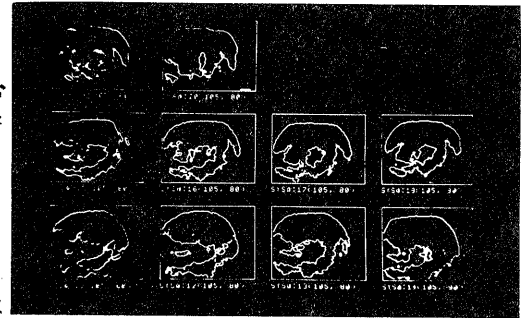


図4.25 境界線

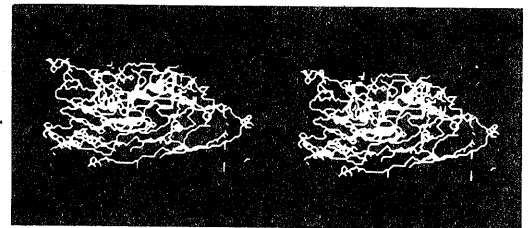


図4.26 两眼画像

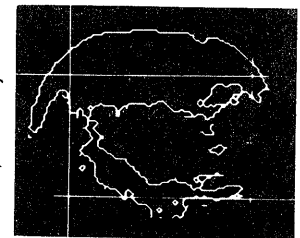


図4.27 部分の表示

[1] 田中、他：超音波断層像3次元表示システム、日本ME

- ※ 学会関西支部例会 (1975-9)
- [2] ———: 超音波断層像3次元表示システム、昭50電気関係学会関西支部連大、信学会画像工系研究会 (1975-11)
- [3] ———: 超音波画像情報処理-3次元表示システムの開発、日本超音波医学会総会 (1975-11)
- [4] ———: 計算機による任意方向の心臓断層像の作成、第15回日本ME学会大会 (1976-4)
- [5] ———: 超音波画像情報処理-任意平面の心臓断層像の作成、日本超音波医学会総会 (1976-5)

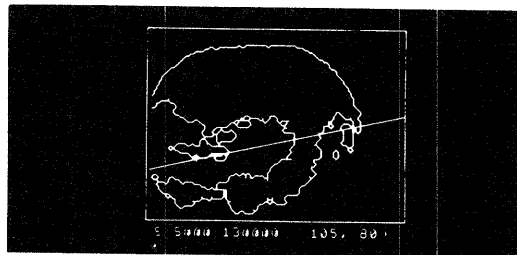


図4.28 断層面の指定

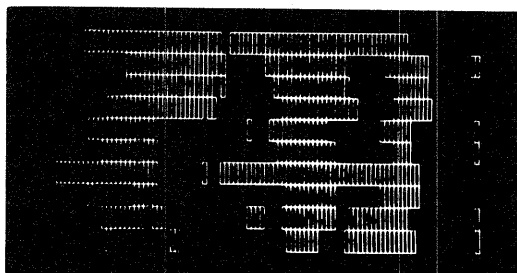


図4.29 断層像

4.5 両眼視に基づく距離情報の抽出
 計算機による物体認識においては距離情報が重要である。人間の距離認識を考えると、両眼の網膜上に生じた像の左右でのずれ(視野)を検出することによる認識—両眼立体視—、物体の大小関係による相対的な距離の認識、経験に基づく“知識”からの推論による認識などの総合的な結合によって成り立っている。そして両眼視を利用した種々の研究がなされてきたが、左右画像内の物体の対応づけをいかにして決定するかは問題がある。従来は主として相関係数による決定法が採用されてきた。この相関法は非常に多くの処理時間を要する。本法においては、画像内の領域に注目した領域端により対応づけをする方法を提案し、簡単なデータ表現により、処理時間を大幅に短縮した。

(i) 両眼視におけるカメラモデル: 基線(2台のカメラのレンズの焦点を結ぶ直線)に対して垂直な光軸をもつ平行に設置された2台の等価なカメラよりなるモデルを考える。基線の長さを l 、カメラレンズの焦点距離を f 、基線から物体までの奥行きを d とする。そして、光軸に沿って焦点から f の距離に画像平面がある。このとき、3次元空間内の点 P を左右画像平面に投影した図を図4.30に示す。

$$y_L = y_R$$

$$d = \frac{l \cdot f}{x_L - x_R}$$

すなわち、 d は画像平面内における Y 座標には関係なく、 X 座標のずれ(視野)に反比例する。このことから本モデルを用いた場合の領域対応づけは X 方向(行方向)のみを考慮すればよい。

(ii) 対応決定手続きに必要な関数の定義: 左右画像関数 G^L, G^R を用いていくつかの領域関数を定義する。ただし画像関数の定義域は $\{(x, y) | -M \leq x \leq M, -N \leq y \leq N\}$ 。

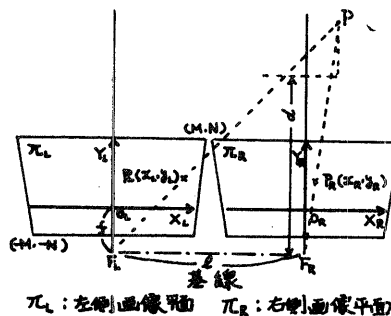


図4.30 両眼視カメラモデル

また値域は $\{g \mid 0 \leq g \leq p-1\}$ である。

定義1. 対応づけを行なった領域に関して、 z 値の領域関数 $G_{ij}^z, G_{ij}^{\alpha}$ を次のように定義する。

$$G_{ij}^z(x, y) = \begin{cases} z & ; 0 \leq i \leq G^z(x, y) \leq j \leq p-1 \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases}$$

$$G_{ij}^{\alpha}(x, y) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq i \leq G^{\alpha}(x, y) \leq j \leq p-1 \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases}$$

画像の第 n 行に関して、この領域関数を求めたときの様子を図4.31に示す。この図で G_{ij}^z に対しては $\alpha=2$ 。また G_{ij}^{α} に対しては $\alpha=1$ である。

定義2. 領域の対応づけ手続きにおいて使用する合成領域関数 G_{ij} を次のように定義する。

$$G_{ij}(x, y) = G_{ij}^z(x, y) + G_{ij}^{\alpha}(x, y)$$

(iii) 対応決定手続き：領域 G_{ij}^z と G_{ij}^{α} の領域端の対応決定を考える。(i) で述べた理由によって、合成領域関数 $G_{ij}(x, y)$ に対して、 y を固定し x 方向での変化の特徴に注目して対応づけを行なう。ただし、ここでは画像を左端から右方向に走査した場合について述べる。点 (x, y) に関して $G_{ij}(x, y) \neq G_{ij}(x+1, y)$ のときこの点は変化点であるといい、変化点の型を $(G_{ij}(x, y) \rightarrow G_{ij}(x+1, y))$ なる記法によって表現する。変化点は12種存在するが、この変化点の型を要素とする4つの集合を次の式によって定める。

$$C_1 = \{(0 \rightarrow 1), (2 \rightarrow 3), (2 \rightarrow 1), (0 \rightarrow 3)\}$$

$$C_2 = \{(1 \rightarrow 3), (0 \rightarrow 2), (1 \rightarrow 2), (0 \rightarrow 3)\}$$

$$C_3 = \{(1 \rightarrow 0), (3 \rightarrow 2), (1 \rightarrow 2), (3 \rightarrow 0)\}$$

$$C_4 = \{(3 \rightarrow 1), (2 \rightarrow 0), (2 \rightarrow 1), (3 \rightarrow 0)\}$$

C_1 の要素である変化点と C_2 の要素である変化点が左右画像において対応する領域左端であり、この対応を左端対応と呼ぶ。同様に C_3 の要素と C_4 の要素との対応を右端対応と呼ぶ。

(iv) 実験内容および結果：両眼画像をフライングスポット・スキャナ(FSS)を介して計算機に728レベル($p=728$)の濃淡情報として入力する。入力された画像は、写真の現象、焼付段階で生じる微妙な差異があり、また入力の際のFSSの特性による画像ひずみがあるため、雑音除去と画像修正を行なわなければならない。画像入力後のプログラムの概要を図4.32に示す。使用したFSSはKOWA-OS701、計算機はCEC-555Hであり、プログラムは入力段階ではアセンブリ言語SABR それ以後はFORTRANで書かれている。図4.33の入力画像に対する視差抽出点を図4.34に、また視差から得られる奥行き像を図4.35に示す。このときの処理時間はファイル処理を含めて約74分であった。

ここで提案した対応決定手続きでは、従来の方法に較べて個々の特徴点に対す

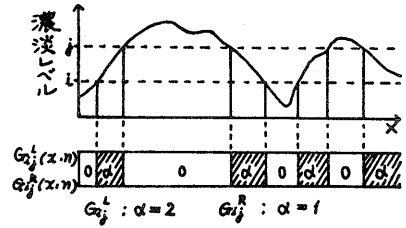


図4.31 領域関数(第 n 行)

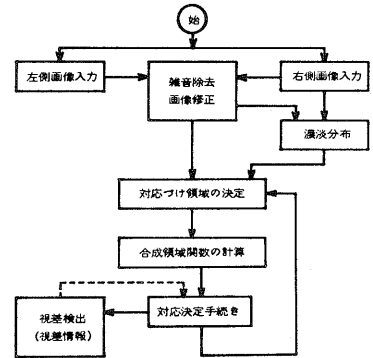


図4.32 視野抽出プログラムの概要

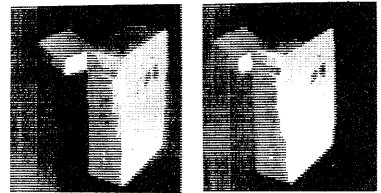


図4.33 入力画像

る計算回数が減少している。得られた視差情報によって、重ねて見える物体のセグメンテーションが可能であり、また、この情報は意味論を用いた高次の物体認識において、領域の属性として推論過程に取り入れることができる。

- [1] 横矢,北橋,田中: 両眼立体視機構を利用した3次元情報の抽出, 電子通信学会全国大会予稿集 (1975-03)
- [2] 北橋,横矢,田中: 両眼立体視に伴う2,3の問題について, 情報処理学会第16回大会講演予稿集 (1975-10)
- [3] 横矢,北橋,田中: 簡単なデータ表現を用いた両眼視差に基づく距離情報の抽出, 電子通信学会, パターン認識と学習研究会資料 PRL 75-78 (1976-01)

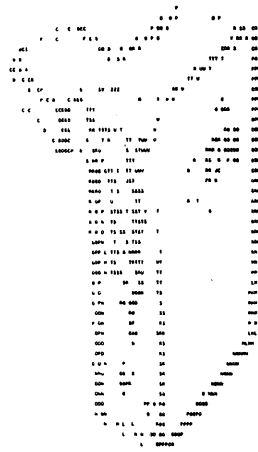


図4.34 視差抽出結果



図4.35 実行き像

4.6 インハウス・ミニコンピュータ・リンクの設計方針

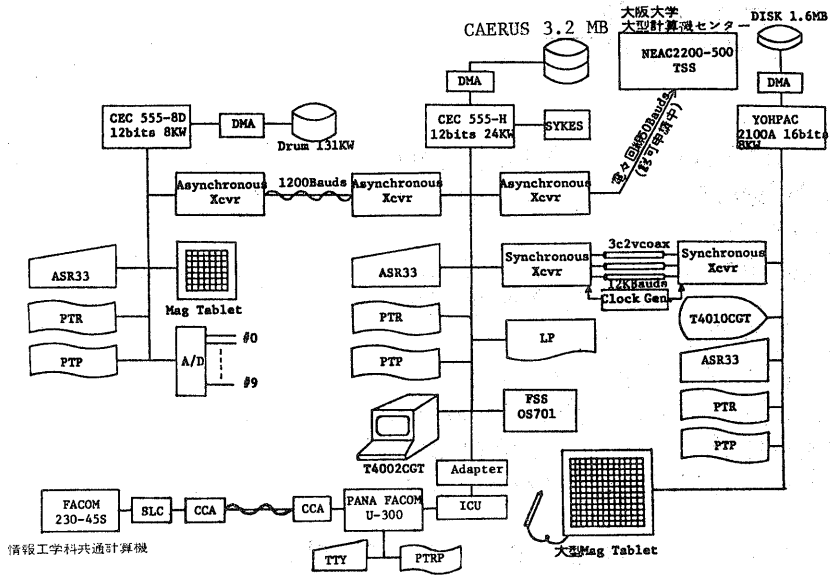
ミニコンピュータによるリンクを構成する方法は必ずしも大型計算機ネットワークと同一方針である必要はない。当研究室で構成したシステムの設計方針、したがって機能は以下のようである。

- (i) *non-network mode (stand-alone use)* も可能であること。(すなわち同一システムで密と粗の結合が行なえるようネットワークを構成する)
- (ii) コンピュータ間において、相手側 OS の下で相手側の制御が可能なこと。
- (iii) *buffer-to-buffer* のデータ転送が可能なこと(したがって一つの計算機でメモリ容量不足を来たした時には、他の計算機の外部記憶上にファイルを構成することができる。)
- (iv) 自分側のデバイス同様、相手側のデバイスを用いて、リアルタイムのデータ収集ができること。
- (v) 保守あるいはジョブ設定および終了時のために、交信プログラムが用意されていること。

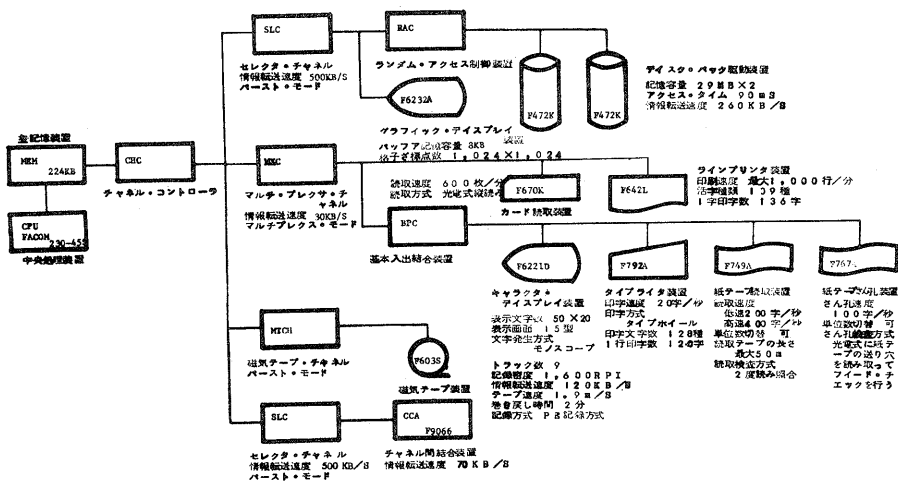
要するに、このネットワークの特徴は、それぞれ参加しているミニコンは独立して動作するモードと、通信線により制御され相手と共に動作するモードを有するモード下において運用される。そしてこのモードは自組織の現在の運用モードに照し合わせ、コンソールタイプライタあるいは通信線を介しての指令により切り換えられ、独立運用とネットワークとしての運用を行なうものである。

5. 研究設備の概略図

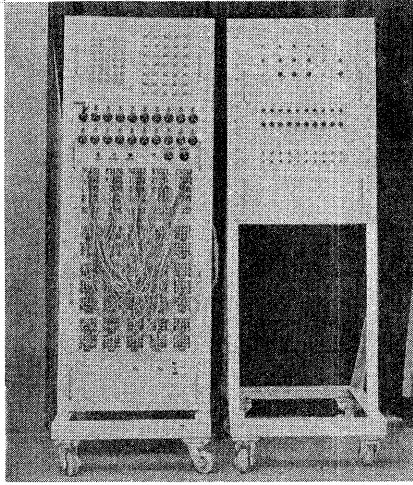
田中研究室に關係する研究設備の概略図を示す。



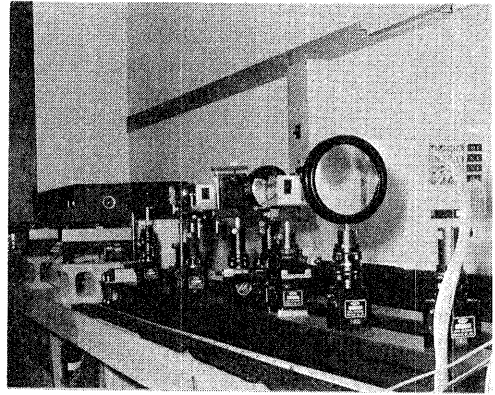
インハウス コンピュータリンク (Σリンク) 構成図



情報工学科共通計算機 FACOM 230-45S システム構成図



試作4層パーセプトロン



レーザー光学情報処理装置



画像情報処理システム

謝辞：これらのシステム、装置の設置には文部省科学研究費(特定、一般試験)、新技術開発事業田調査費、関西電子工業振興センター(情報処理研究会)、その他の助成を受けた。これらに対し厚く感謝する次第である。