

画像処理実験システムと 画像処理用多重プロセッサ・システム 棟上昭男 内田俊一 藤村是明 (電子技術総合研究所・情報システム研究室)

1. はじめに

画像認識や、これを含めた画像処理の実験研究は、現在の計算機システムの機能を極限的に利用することを必要とする応用分野の一つであるが、これがシステムに対して要求する性能とか使い勝手といったものの実現をはかり、また技術開発を促すことは、計算機技術そのものの発展に少なからぬ寄与をすることになるといえるだろう。このような視点にたつて、我々は主として画像処理の実験に用いる対話型実験システムの開発を行ない、またこれを実際に利用して画像処理の研究を行っている。2値画像の解析を目的として開発された並列演算システム(AIPU)の制御のために、NEAC-3200/50(当初主記憶8KW)が導入されたのは1969年であるが、実験システムの開発は、まずその周辺機器(ディスプレイ装置類からファイル機器まで)の開発から始められ、簡易オペレーティング・システム、対話型オペレーティング・システムさらにテキストエディタや画像実験プログラムなどのユーティリティ・プログラムの開発へと進められた。また処理能力を増強するため、1973年にはより規模の大きなシステムが導入され、現在はこの2つのシステムを併用して実験が行われている。ここでは、このシステムの中心的部分と、現在開発が進められている高精度濃淡色彩画像表示システムおよびこれらを含む多重プロセッサ・システムなどについて報告する。

2. ハードウェア・システム

2.1 現在のシステム構成

現在用いられているシステムは図2.1に示すように、NEAC-3200/50とPDP-11/45より構成されている。後者の周辺機器の大部分は既成のものであり、オペレーティング・システムにも既成のものを使用しているが、前者に

関しては、前述のようにその大部分が新たに開発されたものであって、オペレーティング・システムにも新規に開発されたシステムGOLEXが使用されている。両システムはともにEPICS

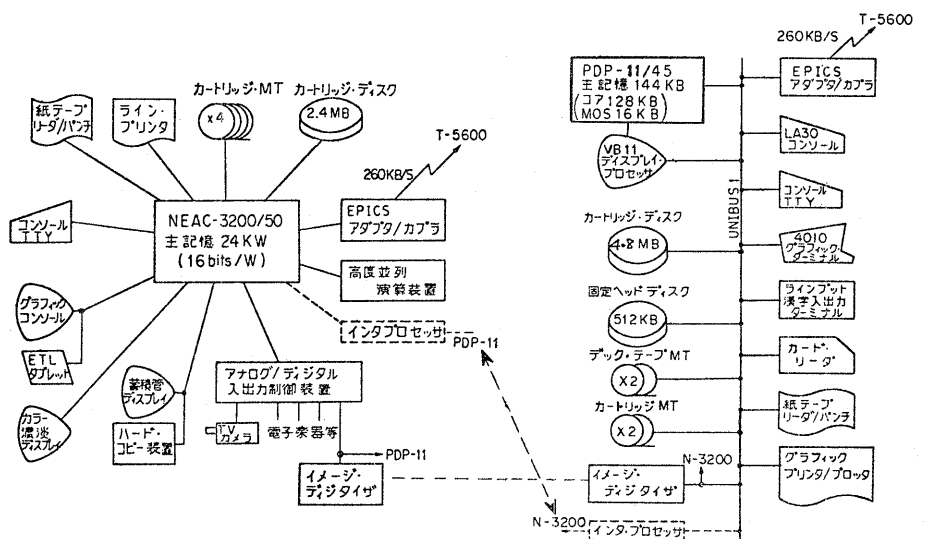


図2.1 画像処理実験システムのハードウェア構成

の主システムである *TOSBAC-5600* のバッチシステムにチャンネルレベルで接続されているが、⁽³⁾ *TS* モニタへの直接結合の要求もあるため、近々回線レベルでの接続も行われる予定である。両者の間の情報交換は、現在のところこの *EPICS* 機能によるか、カートリッジテープなどのオフライン的な手段によって行われているが、後述の多重プロセッサシステムが完成すれば、より直接的なアクセスが可能となるはずである。

画像データのは、イメージディジタイザ (*Dicomed* 社) が *TV* カメラを用いて行われる。前者はダイセクタ管式の装置で最高 $1/2000$ の分解能が得られる。後者の画素数は最大 256×256 で、 16 点おきまたは 8 点おきのを 16 回または 8 回繰返すことにより、 1 画面のを行っている。将来は後述の共用画像記憶システムへの直接書込みを可能にすることにより、 512×512 程度の画像を 1 フレーム時間内にできるようにする予定である。

濃淡画像の表示には、応用例にも示すように *TV* ディスプレイ、蓄積管ディスプレイ、ラスタモード付きリフレッシュディスプレイ、ドットプロッタなどが用いられる。*TV* ディスプレイはかなり初期に開発されたものであるため、⁽⁴⁾ 次節に述べるような機能のものを新たに開発しつつある。

2.2 共用画像記憶システムと高精度色彩画像表示装置

画像処理において常に問題となる点の一つは、外部記憶上に置かれたデータへのアクセス時間が処理時間全体の中でかなり大きな割合を占めることが多いことであろう。もちろんこれは同時に使用する画像ファイルの数が増えるほど増大し、さらにそれが依存するファイルシステムの論理的な機能が高くなるほど増大する傾向にある。処理すべき画像データ全体を主記憶内に保持できる場合には問題は無いが、このような条件が満たされないときには、主記憶とファイル記憶との中間的な色彩の記憶装置を持つことが望ましい。現在開発中の画像記憶システムは、このような要求を

満たすためのもので、同時に高精度濃淡色彩画像表示装置のリフレッシュメモリーおよび次節で述べる多重プロセッサシステムの共用メモリーとしても機能する。図 2.2 に示すようにこのシステムは 3 ポートの半導体メモリーで、 1 画素を 9 bits で表わすとき標準モードで 512×512 画素の画面を 4 枚、高精度モードで 1024×1024 画素の画面を 1 枚蓄えることができる。ここでモードとは *TV* ディスプレイのリフレッシュに用いられるときの走査線数に対応しており、高速ポートから読出され

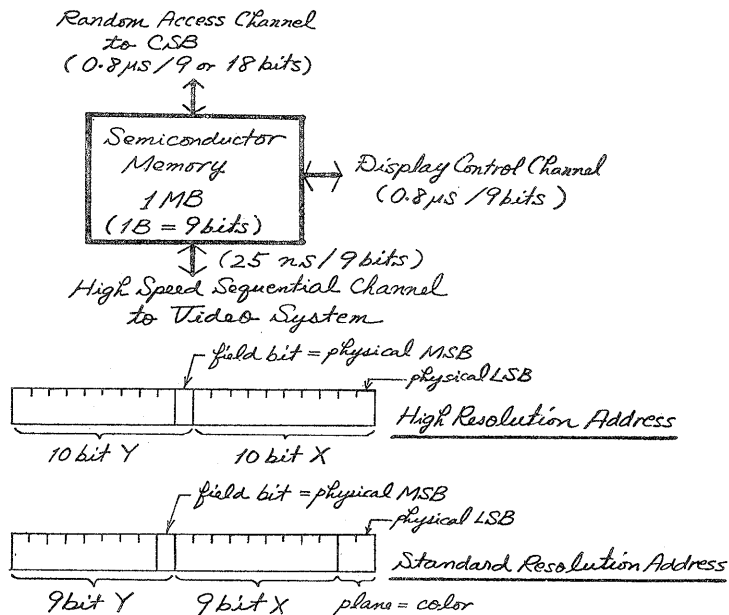


図 2.2 共用画像記憶装置の構成

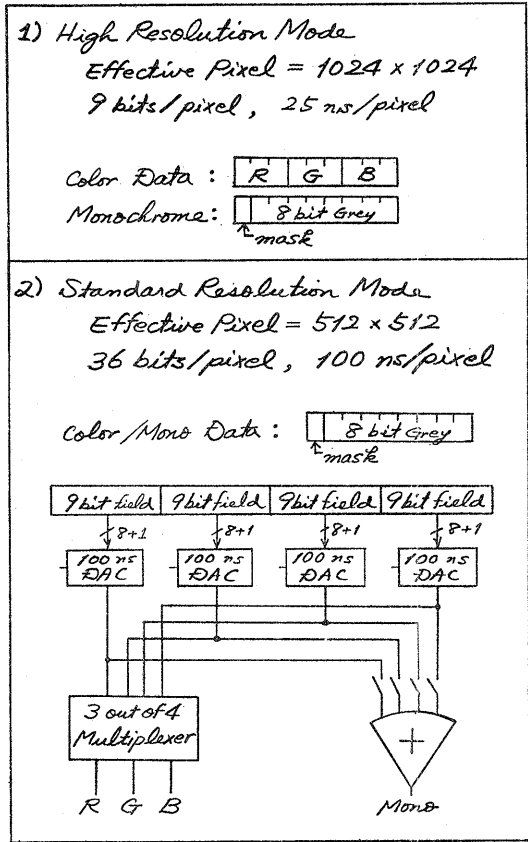


図2.3 Video System Data Format

ための各画素は4枚の画面の同一座標の値に対応する4 Bytes のデータから構成されており、カラーモニタ上ではその中の任意の3 Bytes がR, G, B に割付けられて表示される。また単色用にはこれらを重ね合せた信号が作られるので、先の mask bit と組合せて用いることにより、2つ以上の画面からの合成画像を表示することも可能となる。

2.3 多重プロセッサシステム POPS

NEAC-3200/50 はそれぞれ単独で動作し、共有画像記憶や各種周辺機器を用いて

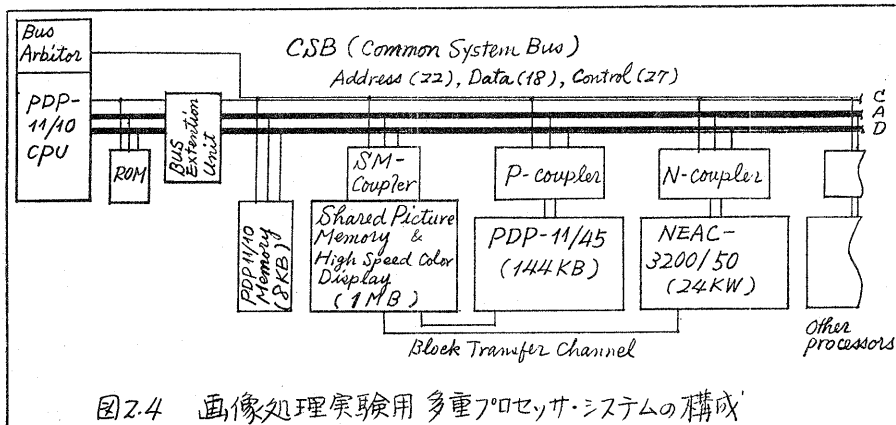


図2.4 画像処理実験用多重プロセッサシステムの構成

るデータはこのモードにしたがって解釈され表示される。またブロック転送ポート (Display Control Channel) から与える番地は図2.2 に示すように画面上の座標に対応している、やはりモードによってその解釈が変わる。各ポートには優先順位が割り当てられており、高速ポートは読出しの場合には最低順位に、書込みの場合には最高順位に割り当てられる。通常の状態では高速ポートは常に一定速度で読出し動作を行っており、他のポートにアクセスがあると一般に誤ったデータが読出される。

高速ポートの読出し速度は25 ns/9 bits で、標準フレーム速度で有効表示画素数 1024×1024 を達成することが可能である。高速ポートから読出されるデータの表示系での解釈は図2.3 に示す通りで、標準モードおよび高精度単色の場合、各データは濃淡8 bits + mask と解釈され、mask がセットされているときには、濃淡レベルの値の如何にかかわらず飽和レベルまたは零レベルのいずれかに等しいものとみなされる。標準モードでは図に示すように表示の

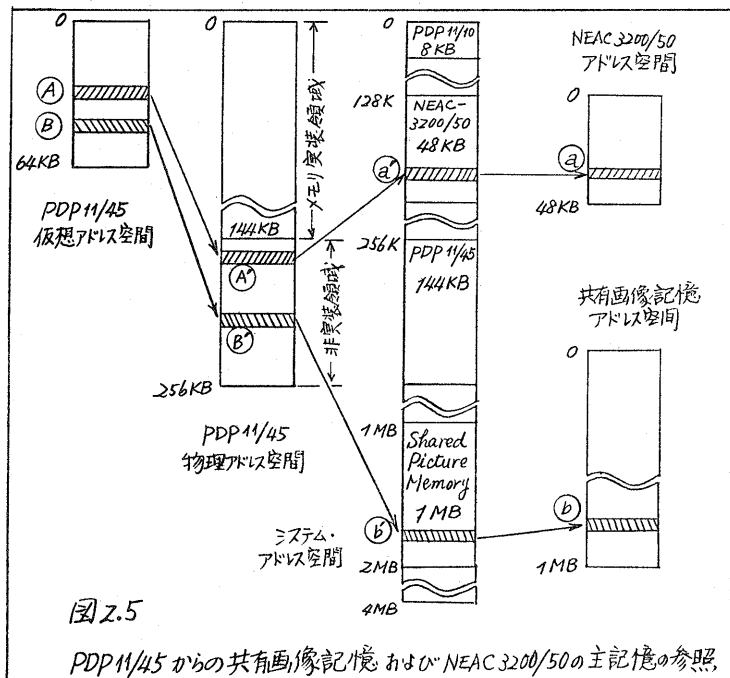
これまで述べた PDP-11/45 やいろいろな図形処理実験を行うことができる。しかし、研究の進展に伴い実験規模が拡大するにつれて、それ以外の計算機の特徴を生

かしの処理の分業、並列化や、図形データの共有、また、新しい計算機の導入による処理能力の増強等が必要となってくる。これまでに蓄積されたハードウェア、ソフトウェア資源を有効に生かす上で、このような要求に答へ、規模の大きな実験を能率よく行える環境を作り出すことを目的として開発しているものが、図形処理実験用の多重プロセッサシステム POPS (Picture processing Oriented Poly processor System) である。ここでは、POPS の構成と、特色ある番地変換機構について述べる。

POPS の構成は、図2.4 に示すように、CSBを中心とする単一バス方式であり、現在のところ、ここに PDP-11/10, PDP-11/45, NEAC-3200/50 の3台の計算機と、共有画像記憶が接続されている。CSBは、PDP-11/10の UNIBUS を拡張したもので 22 bits のアドレス線を持ち、4MB のシステム・アドレス空間を形成している。このアドレス空間中、共有画像記憶や計算機の主記憶が、図2.5 に示すように配置されている。CSBを作り出しているバス拡張装置は、PDP-11/10 の番地変換を行い、この計算機がシステム・アドレス空間中を、直接参照することを可能とするほか、後述する図形処理に適した二次元番地変換機構を備えている。

PDP-11/45 は、Pカプラを介して、CSBに接続されており、共有画像記憶や NEACの主記憶等を、命令のオペランドとして直接参照することができる⁽⁵⁾。また、Pカプラは、内部にマイクロプロセッサを含み、CPUと並列動作するフロック転送機能を持ち、転送の際、非線形の番地変換を行うことができる。これにより、共有画像記憶からの部分マトリクスの切出しや、データの並べ換えを行うことができる。PDP-11/45 から共有画像記憶および NEACの主記憶を参照する場合を示すと、図2.5 のようになる。まず、オペランドとして参照される番地 A は、PDP-11/45 の Memory Management Hardware により、物理番地空間中の番地 A' に変換される。物理番地空間中で、記憶が実装されているのは 144KB のみであり、A' のような非実装領域が参照される場合には Pカプラが動作し、前もって設定されているマッピング・レジスタの値により、システム・アドレス空間中の番地 a' に変換する。a' はこの場合 NEAC の主記憶の領域なので、Nカプラが動作し、NEAC の主記憶の番地 a に変換する。こうして、NEAC 中のデータが PDP-11/45 により参照される。

このようにして、PDP-11/45 では、自分の主記憶の延長上に共有画像記憶や NEAC の主記憶があるものとしてプログラムを書くことができ、データの共有や計算機間の通信が



容易に行える。さらに、この方式によれば、既存のOSをほとんどそのまま用いることができ、新たなソフトウェアの開発を簡略化することができる。

NEAC-3200/50からの外部参照は、そのアーキテクチャの相違から、オペランドとしての参照はできず、DMAによるブロック転送のみとなっている。

以上述べたような番地変換法は、ページングやセグメンテーションと呼ばれ、最近の計算機に多用されている方法である。しかし、この方法では、論理アドレス空間と物理アドレス空間の対応が一次元的であるため、図形のような二次データには適しておらず、POPSでは、これを改善するために二次元番地変換機構をバス拡張装置中に試験的に実装した。次にこの機能について述べる。

一般のページングでは、論理アドレス空間を8KB程度のページに分割し、ページごとマッピングレジスタを準備する。このページは、物理アドレス空間を見る「窓」のようなもので、マッピングレジスタの内容を変更することで、この「窓」の位置を移動させ、物理アドレス空間中の目的とするデータが参照できると考えられる。通常、二次データを記憶へ格納すると、まず列方向に順に格納され、一列が終ると次の列へと順に格納される。このため、図2.6に示すような $N \times N$ のマトリクスAでは、行方向に隣合うデータは、N個おきに並ぶことになる。今、A中の一点 A_{kl} を参照するためにマッピングレジスタを設定すると、そのページの対応する領域は、A中の点線で示した範囲 W_a のようになり、 A_{kl} の近傍を行方向に参照していくと、すぐにそのページの外へはみおしてしまい、マッピングレジスタの設定変更が必要となる。この範囲 W_a は、Nと共に変るため、このための「窓」の移動は面倒なものとなり、プログラムの複雑化とマッピングレジスタの変更回数の増大をまねく。この問題を改善するために、POPSでは、次のような機能を付加した。すなわち、処理の開始に先立ち、二次元番地変換機構に対し、Aの大きさN、その先頭番地 A_0 、参照したい位置 A_{ij} を指定することにより、ページが対応する領域を実線で囲んだ範囲 W_b となるように番地変換を行なうようにした。これにより、プログラム中ではマトリクスBのようなアレイをとり、その b_{ij} が対応する位置 A_{ij} を指定することで、Aの部分マトリクスが参照でき、

A_{kl} の近傍を調べる演算が能率よく実行できると共に、直観的にプログラムできるようにした。実装に際しては、マトリクスの大きさを2の中乗に限ることによって乗算器等を省き回路の簡略化と高速化をはかっている。PDP-11/45では、Pコア中のマイクロプロセッサが、ブロック転送時にこのような操作を行うため、より複雑な番地変換も容易に実現できる。

このほか、POPSでは、計算機間の割込みにかかる通信機能等が備えられており、複数の計算機による並列処理実験などが、能率よく行えるような工夫や、将来の拡張に対応する配慮が為されている。

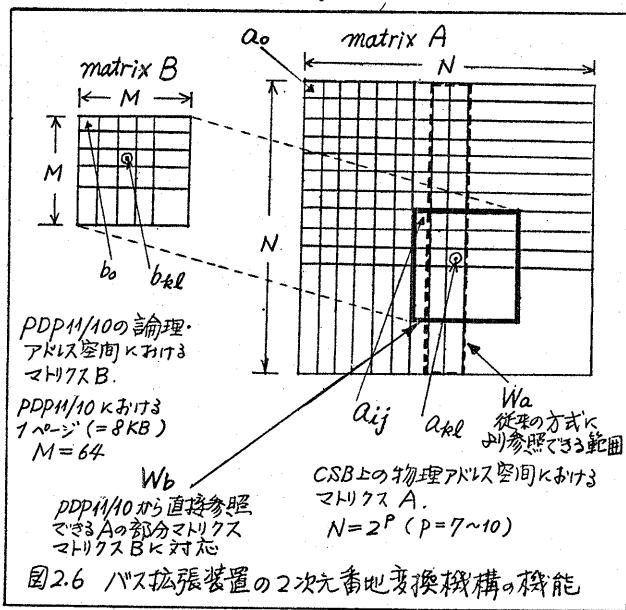


図2.6 バス拡張装置の二次元番地変換機構の機能

3. ソフトウェアシステム

3.1 図形処理向きオペレーティングシステム GOLEX

研究用の実験シ

ステムにおいても、他の場合と同様システムの有するハードウェア機能は、できるだけ使用者の負担の少ない形で提供できることが重要である。また頻繁に行われるプログラムやパラメータ等の変更にかいしても、できるだけ単純な手続きでその要求が受け入れられるものであることが望ましい。このような点を考慮に入れて、NEAC-3200上に各種の応用プログラムの土台となりうる対話型オペレーティングシステム GOLEX (Graphics Oriented On-Line Executive for On-Line Experiments) の開発が行われた⁽⁴⁾。このシステムでは使用者は図3.1に示すようなプログラム作成サイクルのいずれの段階でも、グラフィックディスプレイから操作を行うことができる。テキストの入出力に関する限り、プログラムはタイプライタ・コンソールとディスプレイを区別することなく使用することが可能で、いずれが使われるかはその実行時に定められる。また絵の表示を同時に行う場合には、スクリーン上のコンソール領域を再定義することによって同一画面を容易に分割使用することができるようになっている。

このようなコンソール機能の重視は GOLEX の最も重要な特徴の一つで、上述のページコントロール機能のほかに、ラインエディタ、コマンドスタック、マルチコンソール等の機能が備えられている。図3.2はこれらの論理構造を示すもので、ここに示されるようにプログラムはテキストの単純な表示の他に、これをラインエディタ・バッファやコマンドスタックに直接出力することができる。キーボードからの入力を含め、ラインバッファ中のテキストはカレントラインと呼ばれ、常にラインエディタによる編集、修正の対象となっており、どのようなプログラムの実行中にも20種類強のラインエディタ・コマンドが使用可能である。このような機能を用いて編集プログラムにおけるテキストデータの修正、次節に見られるようなパラメータ変更にかいしてのデフォルト値の表示、あるいはJOB間のメッセージ交換やキューニング等が行われており、使いやすい対話型システムの実現に役立っている。

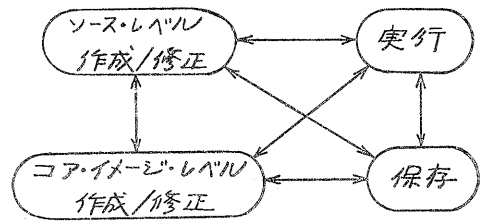


図3.1 プログラム作成サイクル

GOLEX のもう一つの特徴は、デバッグ機能を重視した点にある。使用者はプログラム制御やコンソール操作によって、プログラムを随時中断し、その中間状態を検査、修正したり、ディスク上に格納した後、処理を続行できる。図3.3に示されるコアエディタは常駐モニタの一部を占め、アセンブラと

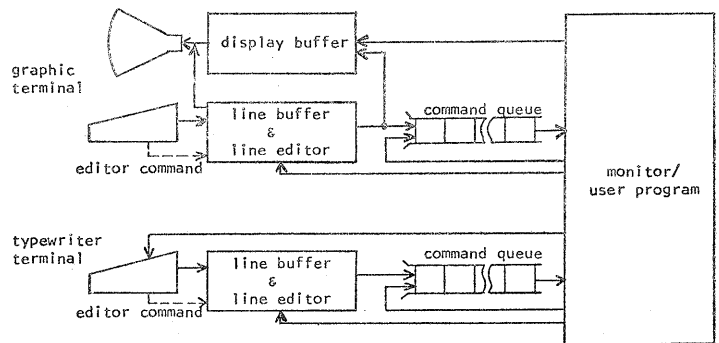


図3.2 GOLEX コンソール機能の論理構造

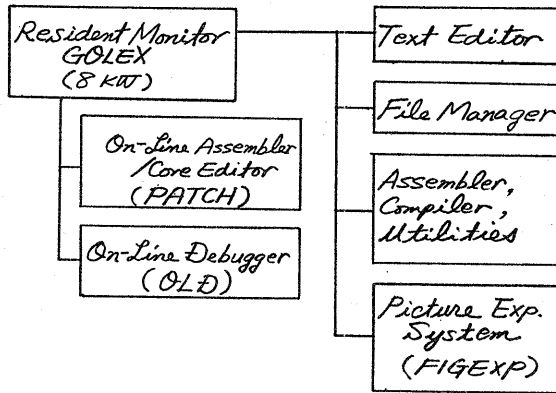


図3.3 GOLEXのもとにおけるソフトウェア構成

能は全面的に利用することが出来る。

3.2 画像実験システム FIGEXP

前節で並べた GOLEX の下でその機能を生かして対話型の画像処理実験を行うのが FIGEXP システムである。現在のところこのシステムでは、多様な図形データについての基礎的処理を一様局所演算で行う可能性を明らかにすることに主眼をおいている。システムは表 3.1 に示すように一般的なデータの変換、表示およびパラメータの変換等を行う主プログラムと、主プログラムからチェーンジョブの形で起動され、特殊な表示、および解析や処理を行うサブプログラム群から構成されている。

画像処理の実験においては、演算自体の手間と比べ、演算結果を直観的に把握可能な形で表示するために払う労力がかかなり大きい。このため FIGEXP の主プログラムではカレント・データという概念を設けた(表参照)。すなわちタイセクタ管(DS)によってオンラインで入力されるフィルム上のデータ、DS または TV カメラから入力されたディスク上に記憶されたデータ、あるいはディスク上に記録された処理結果、の

一つがカレント・データの原データとして指定される。原データから、指定された部分領域を切り出し、各画素の値に一様な変換を施したものがカレント・データとして、各種ディスプレイに表示され、統計量が計算される。このように計算結果等を書き直すことなく適宜パラメータを変更し、変換して表示することにより、実験結果の詳細な検討が対話型システム



図3.4 条件確率法による濃淡画像の表示

(画素当りの表示領域の大きさ:

1x1, 2x2, 3x3, 5x5)

カレントデータ指定	
<u>KIN, m</u>	原データは $m=0$ ならば SD, $m \neq 0$ ならば DK m 番からとることにする。
<u>NPX</u>	= 64: 8, 0 カレントデータの大きさを 64×64 画素、原点(1,1)を原データの(8,0)にとる。
<u>AMP</u>	原データの各点の値をこのままカレントデータの点の値とする。
<u>AMP, m</u>	($m=1 \sim 4$) = -128(256) 原データの各点の値を基準-128中256のm番様式で変換し、カレントデータとする。
<u>POS, 1</u>	= 1024, 1024, 8 原データをSDとし、原点座標を(1024,1024)に、サンプル間隔を8にする。
<u>POS, 2</u>	= 4: 2, 3 原データをSDとし、全面を 4×4 に7ドット分けしたときの(2,3)7ドットをサンプリングする。
<u>POS, n</u>	($m=3, 4$) = 8 原データをSDとし、サンプル間隔を8にし、原点座標はカーヤル操作で決定する。
<u>ADC</u>	= 4: 11 (2-7) 原データをSDとし、サンプル間隔を4、照明レベルを11、AD変換域は2-7とする。
カレントデータ表示等	
<u>FSD, m</u>	($m=1, 2$) SD上にカレントデータを表示する。 $m=1$ ならば濃淡様式、 $m=2$ ならばパターン様式とする。
<u>FCB, m</u>	($m=1, 2$) CD上にカレントデータを表示する。 m についてはFSDと同様。
<u>FLP, m</u>	($m=1 \sim 4$) LP上にカレントデータを表示する。 m はフォーマット指定である。
<u>FKB, m</u>	($m=1 \sim 4$) KB上にカレントデータを表示する。フォーマット指定はFLPに同じ。
<u>SEC, m</u>	($m=1 \sim 2$) SD上にカレントデータの水平($m=1$)または垂直($m=2$)断面図を表示する。
<u>SEC, 3</u>	= n: 224 SD上にカレントデータの断面図を表示する。 n は水平/垂直指定で224は断面位置である。
<u>DST, m</u>	($m=1 \sim 3$) カレントデータの最小値、最大値、平均、分散をKB上に、ヒストグラムをSD上に様式 m で表示する。
<u>SAV, m</u>	($m=1 \sim$) カレントデータをDK m 番に書き込む。
その他	
<u>CMO, m</u>	以後のコマンドにエントリから受付けず。(現在と $m=1$ でKB, $m=2$ でPTRが可能である。)
<u>RUN</u>	NAME=ED9EO1 = 11<13 @ "A3 @1000 ----- / ED9EO1という名のプログラムを起動する。主入力データはDK13番で処理結果は11番に書き込まれる。 このプログラムで使用するパラメータは文字定数A3 十進数1000 ... である。
<u>DEV, n</u>	($m=0 \sim 4$) SDに表示するエリの位置を指定する $m=0$ -大画面, $m=1 \sim 4$ -小画面(1/4)
<u>PAT</u>	KIND=3: @0 @4 @2 パターン様式表示のさいにパターン数パターンを指定する
<u>PAR, m</u>	@11 プログラム間通信領域 m 番の値の表示修正
<u>CRS</u>	カーヤル動作開始
<u>SDC, m</u>	SDのコントロール $m=1$ で重ね書きモード入り、その他で通常に復帰
<u>CDC, m</u>	CDのコントロール
<u>DSC</u>	DSを初期状態にもどす
<u>LPC, m</u>	LPの紙送りコントロール
<u>BZR</u>	ブザー。(コマンドでPTRがリキ中の補助)
<u>REM</u>	コメント。(同E)
表3.1 FIGEXPのコマンド一覧 (DS=ディジタイサ, DK=ディスク, SD=蓄積管ディスプレイ, CD=カラーディスプレイ, LP=プリンタ, KB=コンソールキーボード, PTR=紙テープ)	

中で可能となった。

システム中での原始データは0~255の8ビットで得られるので、濃淡表示、断面表示などもこの範囲内の数値を想定している。縁強度検出などの処理結果は適当な変換を施してこの範囲内に収めて濃淡表示するか、変換の特殊な場合である2値化表示によってその直観的把握が可能である。一方各異を領域分けしたよ

うなレーベルとしての意味しかないデータはこのような形では把握しにくい。そこでこのシステムでは濃淡表示ではなくパターン表示という機能を導入し、レーベル的なデータについても容易に各ディスプレイ上に直観的表示が行えるような配慮をしている。

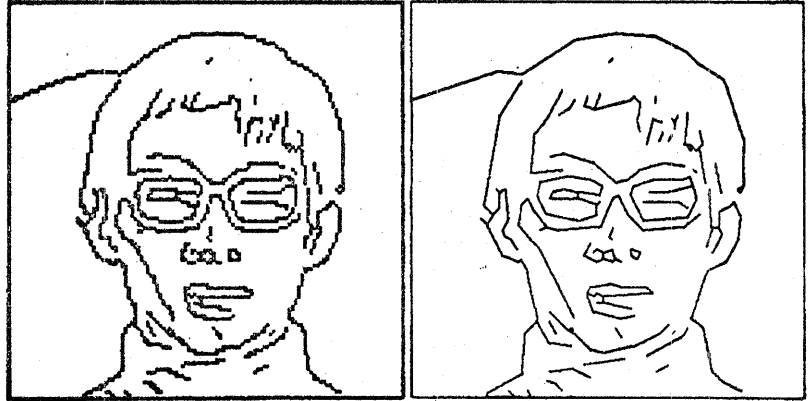


図3.5 濃淡画像の縁の線画化

パラメータ指定法の設計は対話型システム開発の鍵である。このシステムでは、操作の簡潔性を最重要視した上で、必要熟練度を低下させた。たとえばタイセクタ管入力 of A/D変換特性を指定するADCコマンドを入力すると、システムは=4:11(0-8)という文字列をラインエディタバッファに出力し、カレントラインとして表示する。これはA/D変換の速度(1~4)、照明量(0~63)、下限(0~7)、上限(0~8)の現在値を表わしている。このデータをたとえば=3:9(2-7)と修正し入力すればA/D変換特性の変更がなされる。このような関連パラメータの一括表示と、ラインエディタによる修正がパラメータ指定の基本となっている。

画像データは、水平走査線単位でディスク上に記録される。画面サイズは可変で、256×256画素まで取扱可能であるが、各種ディスプレイの精度などから128×128画素程度が実際上の限界となっている。複合演算を行う場合、サブプログラムのチェーンで実行するのでは時間がかかりすぎるので、このシステムでは各演算のライン単位の実行を複合化に適した形でサブルーチン化している。

このようなシステムを用いて濃淡画像の縁の線画化実験を行った結果、基本的設計の有効性が確かめられた。今後はサブプログラム起動の対話方式の改良、コマンドのマクロ化、ファイル化、ディスク上のデータ配置の変更による高速化を行い、より強力なものとしてゆく予定である。

4. 応用

次にこれまでに述べた実験システムや、関連するプログラムを用いて行った実験結果の例をいくつか示す。図3.4は黑白2レベルの表示機能しかない装置で濃淡を表現するために開発された方法の表示能力を示すものであるが、FIGEXPを用いるオンライン実験等では速度の真から蓄積管ディスプレイとハードコピー装置の組合せの方が多く用いられる⁽⁶⁾。図3.5は局所一様演算によって濃淡画像の線画化を行

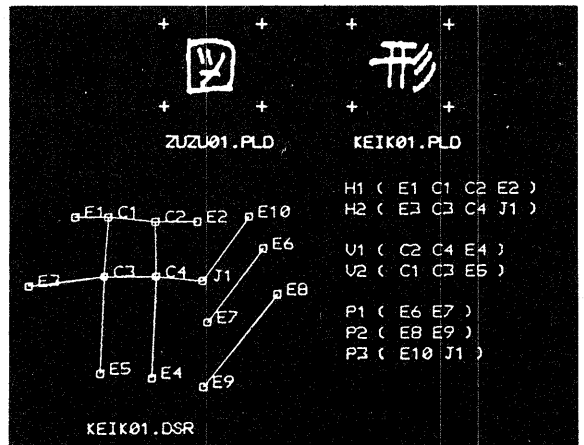


図4.1 AIPUによる2値画像の解析

った例である⁽⁷⁾。

前に述べたAIPUは並列演算の組合せのみで、2値画像の解析を行う特殊目的のプロセッサであるが、図4.1はそのシュミレーションプログラムによって与えられた画像の構造の解析を行った例を示している⁽⁹⁾。また図4.2は領域4分割法による特徴抽出の例で⁽¹⁰⁾、表示にはラスタモード付きディスプレイを用いている。図4.3には筆圧を利用して座標入力を行うETLタブレットを用いた手書文字認識プログラムの認識結果が示されている⁽¹¹⁾。この表示はGOLEX主コンソール上に出カされたものである。

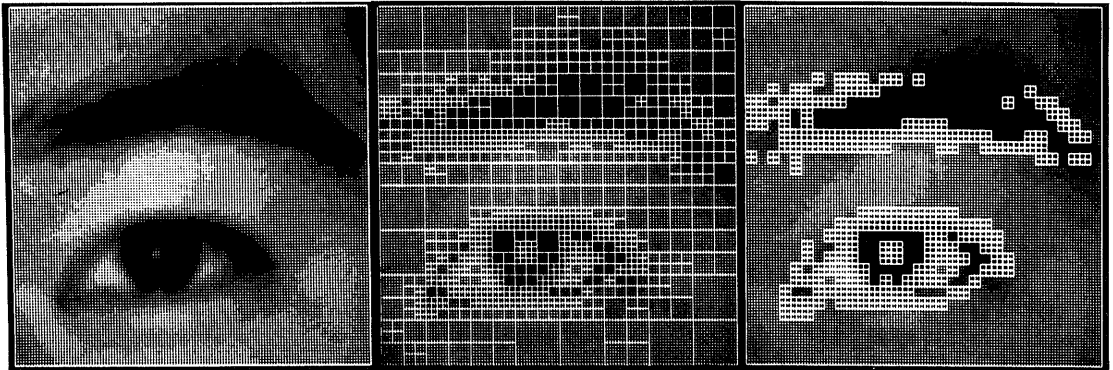


図4.2 領域4分割法による画像の特徴抽出

5. むすび

以上に見られるように、本実験システムは基本機能の開発をほぼ完了し、現在はその機能をより高度のものとする努力が続けられている。このシステムの利用によって画像処理の実験を能率よく行うことが可能になったが、さらにこのシステムを用いる対話型編曲の実験なども試みられようとしており、グラフィクス機能の利用や、楽譜読取りプログラムの開発などによる相集的な成果が期待されている。

終りに本システムの開発に御協力いただいた情報システム研究室の方々、とくに山口、佐藤、青山の各技官、および須賀(現三菱電機)、伊東(現明治乳業)、金田(現日立製作所)、野島、天野君等慶応大学の学生諸氏、さらに管理工学研究所の方々に厚く感謝します。また基本システムの導入から現在にいたるまで本プロジェクトを支援していただいた野田元電子計算機部長(現松下技研)、西野パターン情報部長、石井ソフトウェア部長、および桜井電波電子部長に紙上を借り感謝します。

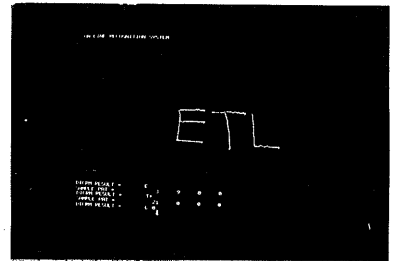


図4.3 ETLタブレットを用いた手書文字認識

<参考文献> (1)棟上他、情報処理、Vol.11, No.2, 70-78, 1970. (2)棟上他、昭46情報処理学会大会 #139. (3)PIPS-R-No.7, 昭49年, 電総研. (4)内田他、情報処理、Vol.14, No.5, 320-327, 1973. (5)内田他、昭49情報処理学会大会 #79. (6)棟上他、昭49電子通信学会全国大会 #1672. (7)藤村、昭50情報処理学会大会 #303, およびお6回本会資料. (8)藤村、情報処理、Vol.15, No.7, 503-509, 1974. (9)棟上、昭49電子通信学会全国大会 #1629. (10)棟上、昭50情報処理学会大会 #302. (11)大石、電総研彙報、Vol.37, No.1-2, 50-59, 1973.