

画像情報処理用簡易入出力装置

Simple Input/Output Equipment for Digital Processing of Pictorial Information

尾上守夫*・高木幹雄*・増本武敏*・浜野亘男*

Morio ONOE, Mikio TAKAGI, Taketoshi MASUMOTO and Nobuo HAMANO

電子計算機による多次元画像情報処理は非常にフレキシブルな処理が可能であるが、その普及を妨げているものは画像入出力装置が非常に高価なことである。ここでは最近価格が急速に下りつつあるミニコンを利用して、できるだけ多くの機能をソフトウェアに負わせて、ハードウェアの簡易化をはかった機械走査型入力装置と通常の CRT を利用して階調表示能力をもたせた出力装置とを紹介する。

1. は し が き

さきに「電子計算機による多次元画像情報処理」について解説し、画像を細い画素の集合と考へて、各画素の位置、濃淡、色度、あるいはその時間変化などをデジタル信号に直して計算機で処理する方法が、非線型あるいは適応的な処理をふくめて非常にフレキシブルな処理を可能にすることを明らかにした¹⁾。このデジタル方式の欠点は画像の膨大な情報量を貯えるために大容量の記憶装置が必要なこと、またそれを直列に処理するために演算時間が長くかかることである。幸いにして IC をはじめとする部品、材料の進歩および高速フーリエ変換 (FFT) などの高速演算手法の発展にともなってデジタル処理のコストは大幅に低下しつつある。したがって従来月や火星などの宇宙観測像の処理のように経済性を度外視できる分野にかぎられていた計算機による画像処理が医用画像、非破壊検査画像、衛星観測像、航空写真など広い分野に実用される気運が高まってきた。しかしこれが現実のものとなるためには今一つ低価格の画像入出力装置の出現が是非必要である。通常の計算機の場合でも周辺機器が総価格でしめる割合は年々高まってきている。米国の例では 1955 年には 20% であったものが、1965 年には 50% になり、1975 年までには 80% になるだろうと予想されている。画像入出力装置は通常の周辺機器に比べてはるかに高価であり、この割合はさらに高まっていく。したがって入出力装置の価格を低下させることは全体の価格の低下に直につながってくるわけである。

入出力装置の性能として考へなければならぬ主な項目は分解能、位置精度、階調能力、走査速度および走査の自由度、安定度、雑音などである。これらの点で最も優れているのはフライング・スポット・スキャナであるが、 20μ 以下の輝点を安定に走査するための偏向系は非常に高価なものになる。低価格の入出力装置としてまず頭に浮かぶのはテレビジョン (TV) の利用であるが、TV

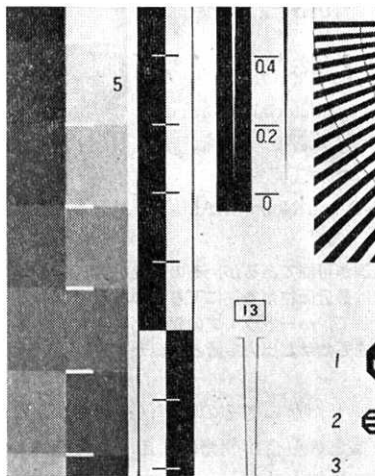
の走査速度、したがってその情報伝達速度がかなり早いために計算機との整合が問題になる。最近発達してきたビデオディスクやシリコン・ターゲット管は速度変換および一時記憶に便利なものであるが、まだ一般的でない。したがって 1 フレームにつき 1 画素を取り入れるといった方式がよく使われるが、通常のビジコンを使ったのでは分解能、シェーディング、偏向歪、安定度などに問題がある。以上のような電子的走査方式のものに対して回転円筒などを用いた機械的走査方式のものは速度は遅くなるが比較的簡単な装置で、フライング・スポット・スキャナに匹敵する分解能、階調能力等の性能が得られる特長がある。

出力装置にかぎってという以上他にもっとも簡便な方法としてライン・プリンタの利用がある。しかし階調能力が悪い上に、少し画素の数の多い画像では何枚ものラインプリンタ用紙をはり合せ、それを撮影して縮小するなどの手間をかけねばならない。また最近グラフィック・ディスプレイ装置がつく計算機がふえてきたが、高価な上に階調能力がほとんどないのが欠点である。

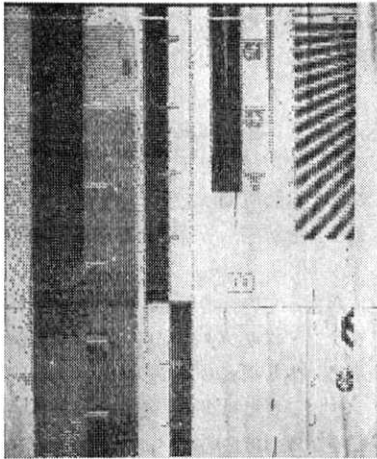
これらを勘案してわれわれは当初は入力として TV の 1 フレームにつき 1 画素をとり入れる方式、出力としてはライン・プリンタの 2 文字重ねうちによる方式を採用した。約 1 年間使用してみた結果、入力ではビジコンの明暗、コントラストの調整がむずかしいこと。偏向むずみのため、画面全体では 300×200 程度の画素数がえられるが、使えるのは中央の 144×144 程度になること、その程度にしても安定度が悪いためになかなか再現性のあるデータが得られないことなどがわかった。また出力は 2 文字重ねうちによる濃淡の範囲およびきざみが十分でないこと、上記の画素数でも 9 枚のラインプリンタ用紙をはり合せなければならず、つぎ目が目立つことなどで画質としては不満足のものしか得られなかった。

図 1 はファクシミルのテスト・チャートをこの方法で入出力した結果を示したもので (a) が原画、(b) が出力である。図 2 も同じテスト・チャートの顔の部分を入出力したもので、(a) が原画、(b) が出力である。鼻の下あたりが乱れているのは入力の際の同期外れによる

* 東京大学生産技術研究所 第 3 部



(a)



(b)

図1 ビジコン入力+ライン・プリンタ出力方式による出力画像(b)と原画(a)との比較

ものである。なお比較のため、後述の方式による出力を(c)に示した。画質が格段に改善されていることが明らかであろう。

以上の経験から入力については安定度、再現性の向上が、また出力については階調能力の向上が是非必要であり、その上で分解能を上げて画素数を増すことが望ましいことがわかった。それに対処するために新たに機械走査方式の入力装置と CRT を用いた出力装置とを開発してほぼ所期の性能が得られたのでその内容を解説する。その特長とするところは、ミニコンを入出力の制御に用いて、できるだけ多くの機能をソフトウェアに托することにより、ハードウェアに対する要求を最小にとどめて価格の低下をはかったことにある。表1は本入出力装置の諸元を示すものである。

2. 入力装置²⁾

(1) 構成

入力として安定度、再現性を重視したため、機械走査



(a) 原画



(b) ビジコン入力+ライン・プリンタ出力方式



(c) 本論文の方式

図2 女性顔写真とその出力画像との比較

方式を採用した。図3に示すように画像を円筒にまきつけて回転させ、別に軸方向に移動する台にのせた光学系によって光点を投影し、その反射光量を光電子増倍管で測定するようになっている。この方式はファクシミリ(白黒2値)、電送写真(連続階調)などに広く使われており、とくに日本では孔版原紙用ファックスが普及しているため、回転および送り機構が入手しやすい。ここでもそれを用いた。

計算機用画像入力装置としてもこの方式のものはすで

表1

I. 入力装置

I A. 機械部

- (1) 孔版原紙用ファックス SH-600 (東京航空計器) 改造
 - 軸回転数 550 rpm
 - 円筒直径 132mm
 - 横方向送りギヤ比 1:2, 1:5
 - 横方向送りネジピッチ 0.75mm
 - 光電子増倍管 931A (浜松テレビ)
- (2) ロータリエンコーダ MRE 11-5400 (オリンパス)
 - モアレ縞方式
 - 出力パルス数 5400 (A, B 相) …チャンネル #1
1 (A, B 相) …チャンネル #2
(A, B 各相は位相がおのおの90°異なる)
 - 応答周波数 42 Hz 以上 (500 rpm)
 - 入力軸トルク 1,000 g·cm 以下
- (3) パルスモータ EPM-109 (富士通)
 - 1回転当りパルス数 160
 - 回転角精度 (累積精度) 40 (分) 以下
 - 最高追従パルス速度 8,000 pps
 - 出力トルク 3.4 kg·cm at 500 pps
 - 出力馬力 0.05 (HP) at 8,000 pps
 - ドライブユニット FANUC 613 N (富士通)

I B. 電気部

- (4) A/D 変換器 5,610 A (HP)
 - 出力データ 9 ビット+符号
 - 変換速度 10 μsec
 - 入力電圧 ±1 V
 - 分解能 2 mV
- (5) インターフェイス (自作)
 - 用途 HITAC-10 高速データ転送
 - 方式 メモリサイクルの盗用による, Direct Memory Access
 - 転送データ 16 ビット並列
 - 転送速度, 最大 7 μsec/語

II. 出力装置

- (6) オシロスコープ VP-525 A (松下通信)
 - ブラウン管 130 AWB 31
 - 有効域 8×10 cm
 - 周波数特性 DC~10 MHz (X, Y 軸)
DC~1 MHz (Z 軸)
 - 感度 2 mV/cm (X, Y 軸)
5 V で輝度変調可能 (Z 軸)
- (7) ポラロイド・カメラ

III. ミニコンピュータ

III A. 本体

- (8) ミニコンピュータ HITAC-10 (日立)
 - 語長 16 ビット
 - 記憶容量 8,000 語
 - サイクルタイム 1.4 μsec
 - 付加命令機構付き

III B. 付属装置

- (9) アナログデータ処理装置 H-1613-3 (日立)
 - A-D 変換器 10 ビット+符号 (ここでは使用していない)
 - 入力電圧 ±10 V
 - 変換速度 35 μsec
 - チャンネル数 8
 - D-A 変換器 (出力装置に使用)
 - 入力データ 10 ビット+符号
 - 出力電圧 ±9.99 V
 - 設定時間 20 μsec
 - チャンネル数 2
 - デジタル入力 (入力装置に使用)
 - 16 ビット並列, 1 チャンネル
 - デジタル出力
 - 16 ビット並列, 2 チャンネル (内 1 チャンネルを出力装置に使用)
- (10) 紙テープリーダーおよびパンチ
- (11) データ・タイプライタ

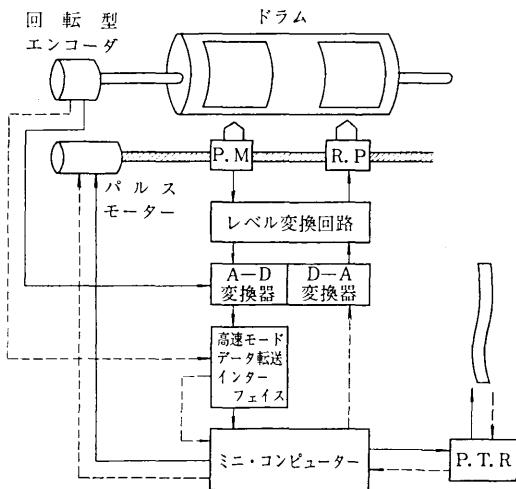


図3 入力装置の構成

に使われており、二三の市販品もみられる。しかし従来のものは回転と軸方向の送りは運動しており、また走査の開始点、終了点、画素の粗密などはハードウェアで制御している。これに対して本装置では軸方向の送りを回転からきりはなしてミニコンにより独立に制御できるよ

うにし、また上記の機能はすべてソフトウェアで行なうようにした。

円周方向の画素の分解のためには回転円筒と同軸に回転型光学エンコーダを取付けた。これは1回転毎に1ケのパルスを発生する出力 #2 と 5,400 コのパルスを発生する出力 #1 とがある。前者を基準にして後者を計数すれば円周上の走査の開始と終了が制御できるわけであるが、それでは外部にカウンタ等が必要になるので、ミニコン内でプログラムで行なうようにした。すなわち #2 の出力でミニコンに割込みをかけ、#1 の出力をサンプリング・クロックにして光電子増倍管の出力を A/D 変換し、その結果をミニコンの高速データ転送モードによりコアメモリに直接送りこむ。したがって円周を 5,400 等分した画素の階調がコアに貯えられるわけである。回転円筒の直径は 132mm であるので分解能は約 13本/mm である。#1 の出力は実は A 相、B 相の 2 相出力になっているのでこの 4 倍の密度でサンプリングすることも可能である。しかし光学系が元来孔版原紙用であるので後述の MTF からわかるように 20 本/mm 位が限度であり、サンプリング密度のみをむやみに上げてみても意味がない。

円筒の回転速度は 550 rpm であるので、1 ラインの読み込みは $6/55 \text{ s} = 109 \text{ ms}$ で終る。ミニコンの記憶容量が限られているため、現在は紙テープに打出している。この際プログラムにより開始点、終了点、および間隔を指定し、必要な点のデータのみをパンチするようになっている。パンチ速度は 110 字/s であるので、読み込みよりパンチにはるかに時間がかかっている。これは近い将来紙テープにかえてカセット型磁気テープ装置を付加することにより改善する予定である。

送りはパルスモータを付加し、ミニコンの出力によって前後に任意のステップで行なえるようにした。1 パルス当たりのステップは 2μ または 0.8μ であるが、ギャップの不整やバックラッシュ等のため、実際の位置精度は 1 桁以上悪くなる。このように送りをミニコンの制御の下におくことにより、フレキシブルな走査が可能である。すなわち普通の場合は 1 ラインの読み込みとパンチが終了するまで送りが停止される。パンチ終了後送りステップに相当する数のパルスをプログラムにより発生させ、ミニコンのデジタル出力チャンネルを通じてパルスモータに加える。送りが完了したら再び 1 ラインの読み込みがはじまる。これをくりかえしてプログラムで指定された数だけのラインを読み込んだら走査は完了する。以上のプログラムはアセンブラで約 130 ステップを要した。

特別な使用法としては送りをとめたまま同じラインを何回も読んで、くり返し加算による S/N の向上がはかれる。これは光電子増倍管のショット雑音を除くのに有効である。また逆送りもできるので一度読み込んだ部分のプログラムで指定された範囲を再び読み込むことができる。この機能によって染色体の自動分類のように同じデータを数回のパスによって処理する場合に、計算機には抽出した特徴パラメータのみを貯えておいて、必要の都度入力画像を参照するというプログラムを組むことが可能になる。ミニコンのように記憶容量のかぎられた計算機にはとくに便利である。また逆送りができるために輪郭にそった走査も可能である。

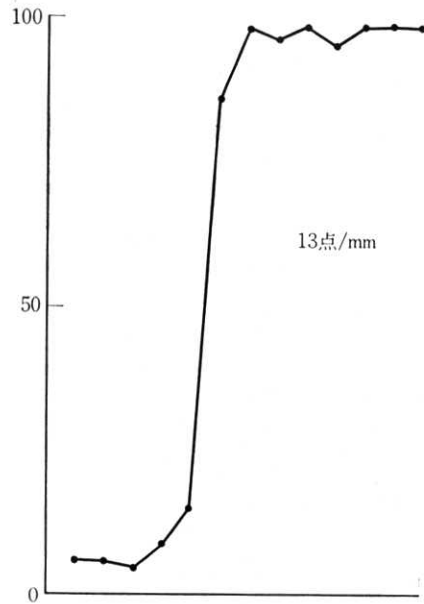


図4 入力装置のステップ応答

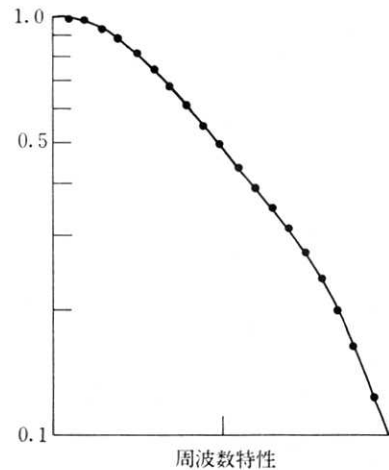


図5 入力装置の空間周波数特性

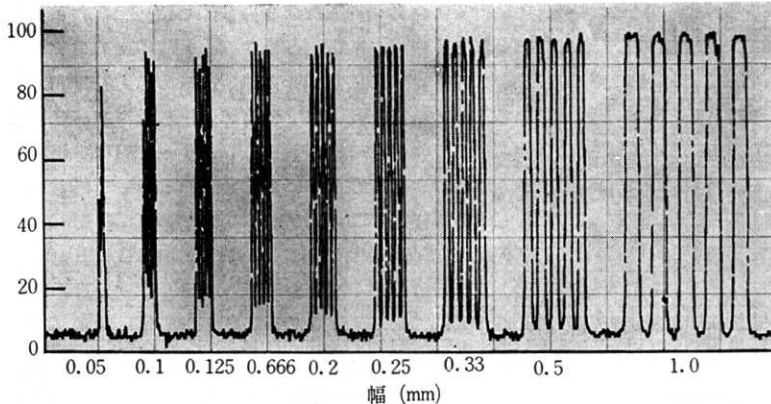


図6 主走査方向分解能 (5本組)

なお孔版原紙用ファックスの機構を利用しているために、読み取り用光学ヘッドの他に、書き込み用の放電針も備わっている。したがって階調は十分でないが、数レベル程度の出力画像が得られる。これを再び読み込むこともできるので一時記憶にも一応使える。このような使い方についてはまた改めて報告したい。

(2) 実験結果

ファクシミリ用のテスト・チャートを用いて試作した入力装置の特性を調べた。図4は白から黒に変る縁を使ってステップ応答を見た

ものである。これをフーリエ変換して MTF (modulation transfer function) に相当する空間周波数特性を求めると図5のようになる。

さらに分解能を調べるために、テスト・チャートの中にある種々の線幅の5本組の黒白の縞をそれと垂直方向に走査した。図6がその結果であって、0.1 mm の幅までは十分識別できる。

テスト・チャートの白の部分を、3,000 点サンプルして、白レベルの変動を調べたものが図7である。これには光電子増倍管の雑音など入力装置に起因する変動に外に紙のむらや傷などに起因する変動も加っている。全体の標準偏差は $\sigma=2.38$ である。

同じラインを何回も走査して、その出力を加算平均すると光電子増倍管の雑音のように走査ごとに変るものは打消されるので S/N が向上する。走査回数 N をパラメータにして、その効果を見たものが図8である。演算を簡単にするため N は2の冪乗にえらび、白レベル1,000点について、測定した結果が示してある。回数をまして平均していくとたしかに変動は少なくなるが、紙のむらや傷などに起因する、場所に固有な変動がかなり大きくのこっていることがわかる。なおとところどころに線状の非常に大きい変動が現われているが、これは後日検討の結果プログラムの不備によるものであることがわかり、本来除いて考えるべきものである。すなわち階調出力は常に同符号(この場合は正值)であるべきだが、白レベル(この場合零レベルに近い)では雑音により負値になることがあり、これが計算機中では2の補数として表わされるために非常に大きな値として示されたわけである。

図9は場所に固有な変動は予め差引いておいてから加算平均の効果を見たものである。すなわち図8の $N=128$ のデータを全て場所に固有な変動と見なして $N=1\sim 64$ のデータから差引いたものである。加算平均による S/N の向上が図8の場合よりはっきりあらわれている。

以上のデータを加算回数に対する変動の標準偏差の変化であらわしたものが図10である。白丸が図8のデータ、×印が図9のデータを示している。後者は理論的には図中点線で示したように $1/\sqrt{N}$ に逆比例して減少する

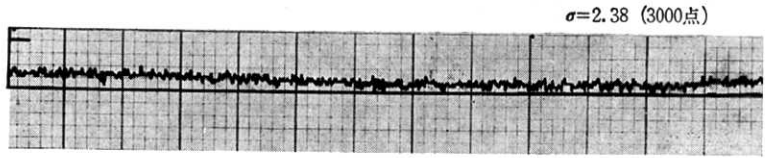


図7 白レベルの変動

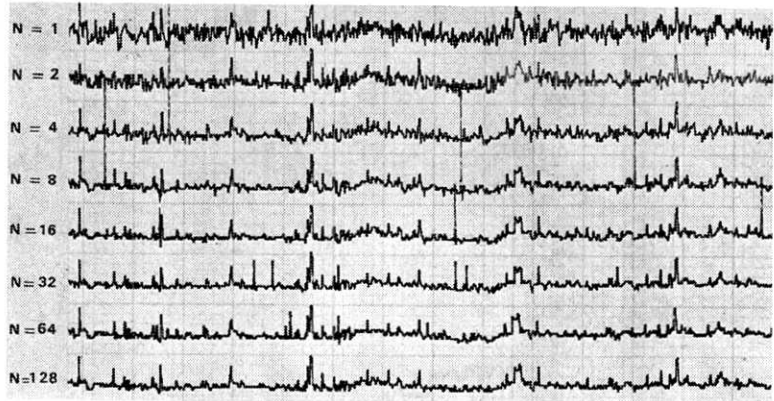


図8 白レベルの変動の加算平均による変化

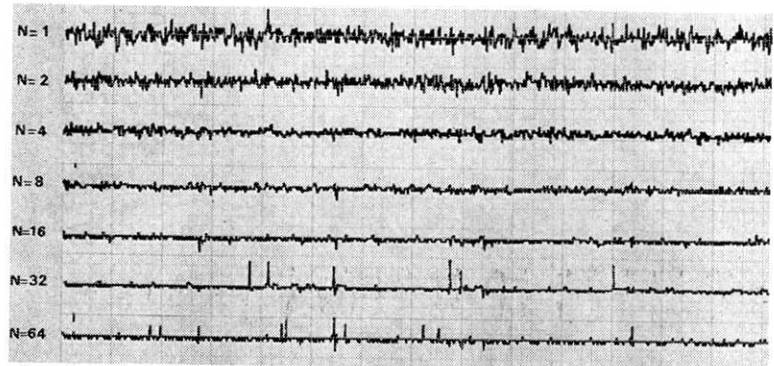


図9 場所に固有な変動を差引いた後の加算平均による変化

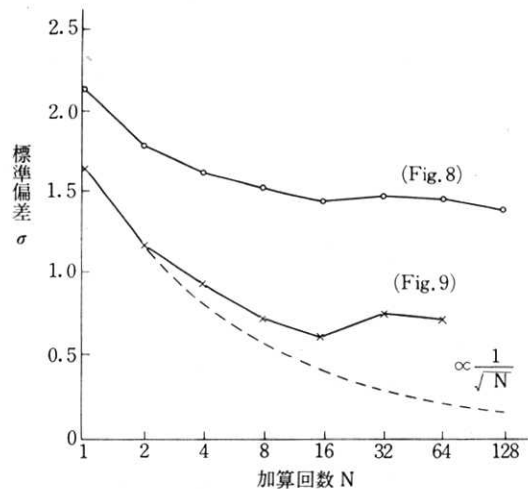
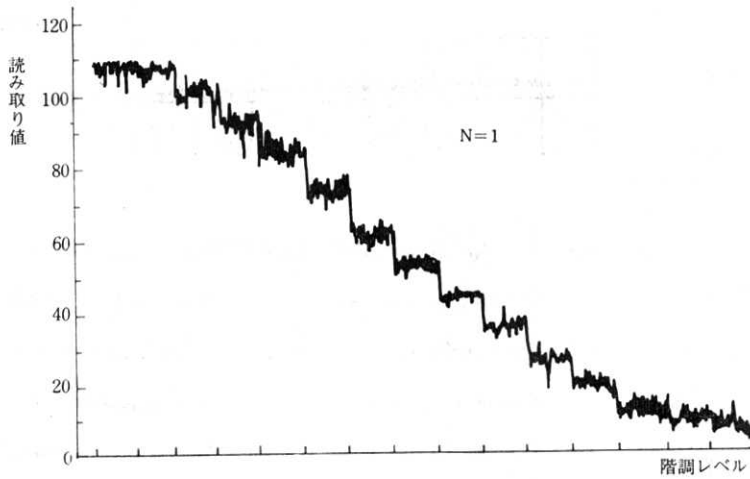
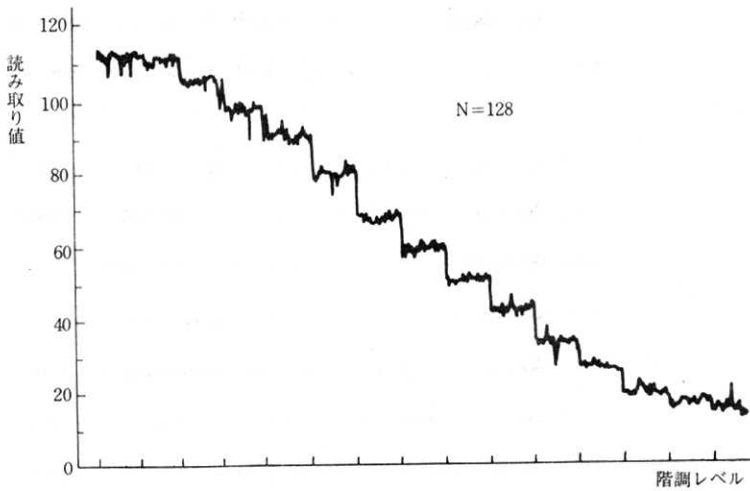


図10 加算平均による標準偏差の低下

ことが予想される。 N が大きいところでそうならないのは前述のプログラム・ミスによる変動分が大きく残っている



(a) $N=1$



(b) $N=128$

図 11 グレイスケールの走査結果

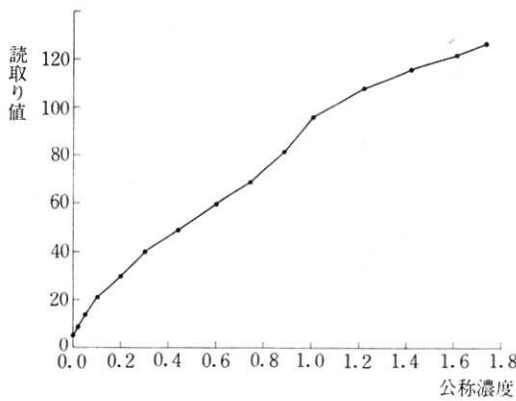


図 12 階調特性

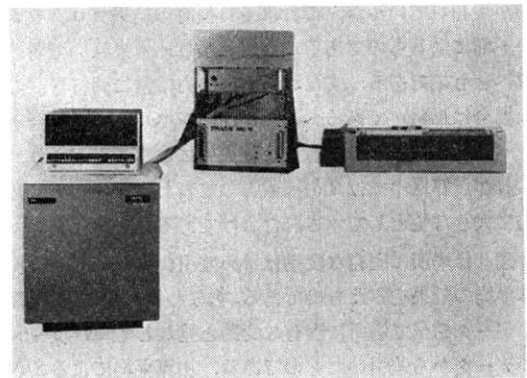


図 13 入力装置の全景

きたためと思われる、この点は改めて検討する予定である。
階調特性をみるためにテスト・チャートのグレイ・スケールの部分を走査した結果が図 11 である。これも 1 回走査した場合 (a) と、128 回加算平均した場合 (b)

とが示してあるが、やはり場所に固有な変動が若干あることがわかる。テスト・チャートに示されている公称の濃度と読取り値との関係を図 12 に示す。利用した孔版原紙用ファックスには 3 本の折線近似による出力補正回路

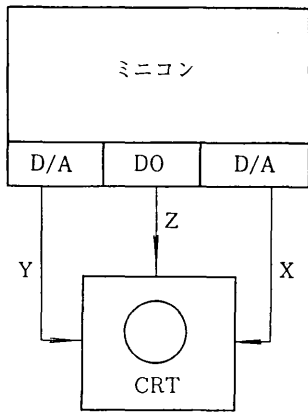


図 14 出力装置の構成

がついており、その痕跡があらわれている。プログラムによりこの特性を直線化するなど任意の補正を行なうことももちろん可能である。

以上述べてきたように、この入力装置によって分解能 13本/mm、階調 64~128 レベルの走査が行なえ、当面の目的には十分用いることがわかった。図 13 はその全景であって、右端が改造したファックス、中央が高速 A/D 変換器、インターフェース、パルス・モータの駆動源、左端がミニコンである。

3. 出力装置³⁾

(1) 構成

出力としては市販のオッシロスコープを X-Y 走査し輝度変調により濃淡を表現することにした。この際、残光性 CRT もしくは蓄積型 CRT を用いれば直視も可能であるが、これらの CRT は階調特性が非常に悪い。ここでは階調特性を重視したので通常の CRT を用い、その代りポラロイド・カメラで撮影して出力画像を記録するようにした。その構成を図 14 に示す。X 軸、Y 軸の位置信号はミニコンの 2 台の D/A 変換器から与えられ、ランダム走査が可能である。Z 軸の輝度変調は次の 3 種の方式を検討して、結局最後の方式を採用した。

(a) 振幅輝度変調方式

D/A 変換したアナログ信号によって輝度変調を行なう方式である。輝点の移動の間ブランキングを行なうとパルス振幅変調を行なっていることになる。D/A 変換器が 1 台余計にいる他、CRT の輝度変調特性の直線性が直接きいてくるのが欠点で、ここでは採用しなかった。

(b) 輝点の滞在時間を制御する方式

白黒 2 値の輝度を使い、輝点の滞在時間を制御することにより濃淡を表現しようとするもので、パルス幅変調を行なっていることになる。これを試みたところ、画面の階調が一樣な部分にモアレのような縞が目についた。

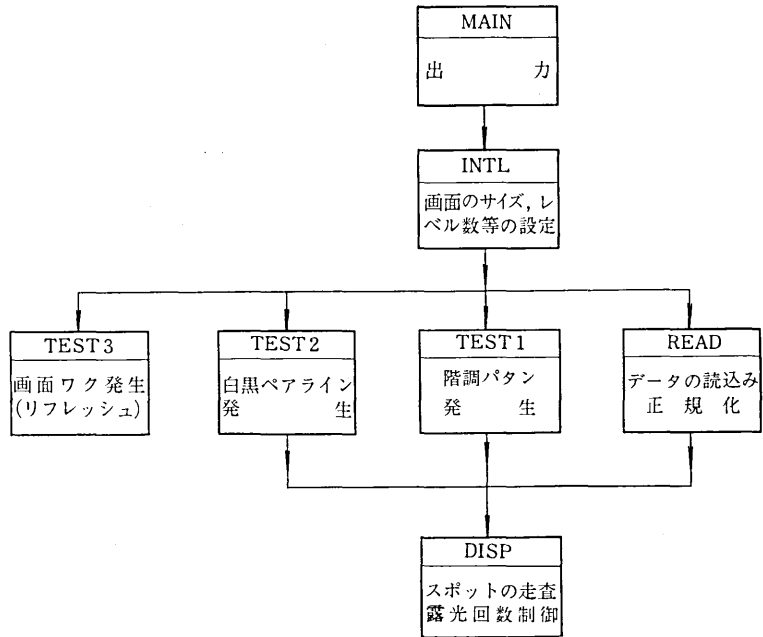


図 15 出力用ソフトウェアシステム

その原因をしらべたところ、オッシロスコープの各軸にわずかではあるが（波形観測用の仕様は十分満足している程度の）電源周波数のハムがのっており、しかも順次走査で 1 ラインの走査時間が電源周期の数倍以上になっているためとわかった。ハムによって線もその輝度も同期してゆらぐからである。この縞をなくすためにはハムをおさえることが一番であるが、容易ではない。そこで次の方式で走査時間が電源周期以下になるようにして目立たぬようにした。

(c) 露光回数を制御する方式

白黒 2 値の輝度を使うことは (b) と同じであるが、その時間幅は一定とし、その代り同一ラインを多数回走査して、その中の露光回数を制御する。時間幅としてはミニコンの 3 メモリ・サイクル ($1.4\mu s \times 3 = 4.2\mu s$) をとったので、1 ラインの走査時間は 1 ms 以下になり、また電源周波数と同期しないので上記の縞が現われなくなる。この方式で 256×256 程度の画像までは全面を一樣の輝度でだしても、濃淡の変動は感知できない。しかし一樣な輝度で 512×512 にすると今度は 1 フレームの走査時間が電源周期以上になるので再び縞が生じる。これをさけるためには 1 ラインを 4 分割し、各分割毎に多重走査を行なうようにすればよい。

露光回数はフィルムの特性もからんでくるので、現在は経験的にきめている。表 2 は 16 レベルの階調に対して使用している露光回数である。

(2) プログラム

出力の場合はオッシロスコープの初期調整のため種々のテスト・パターンを発生する必要がある。全体のソフ

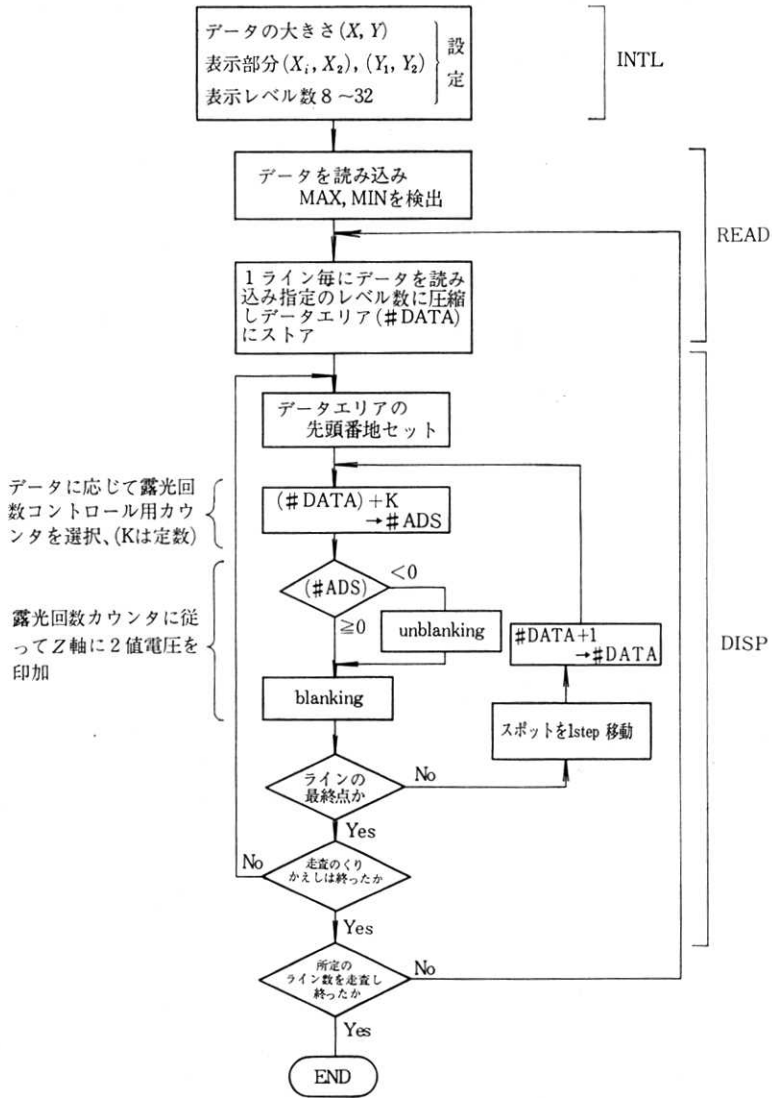


図 16 出力プログラムの流れ図

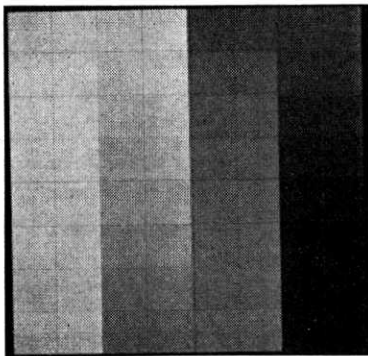


図 17 TEST-1 の出力結果

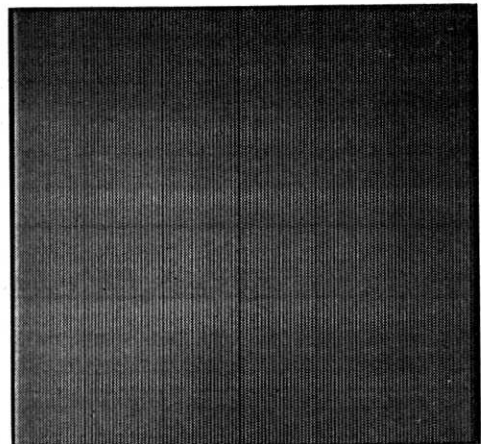


図 18 TEST-2 の出力結果

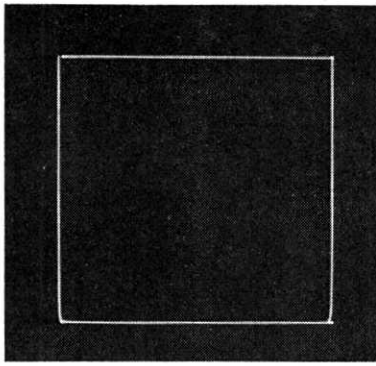


図 19 TEST-3 の出力結果

表 2 レベルと露光回数の関係

レベル	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
繰り返し回数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	19	23	30

1 回露光時間=4.2 μsec

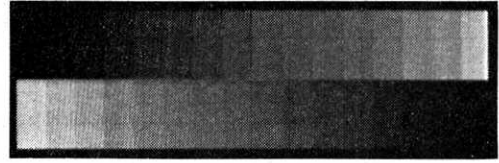


図 20 階調出力結果 16 レベル 60×240 点

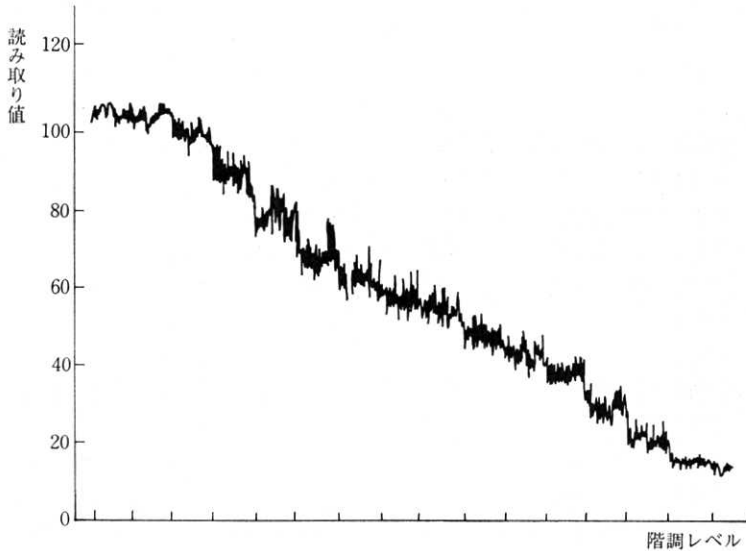


図 21 入出力の総合階調特性

トウェア・システムを図 15 に示す。データを読み込んで画像を出力する場合は INTL, READ, DISP の各プログラムを MAIN のプログラムの制御の下に働かせる。この場合の流れ図を図 16 に示す。

テスト・パターンは 3 種あり、いずれも計算機内部でデータを発生する。TEST 1 は階調パターン発生用プログラムであって、画面を 8×4 の部分に分割し、その各部分に任意の階調を与えるものである。TEST 2 は解像度を調べられるように黒白のたて縞をかくプログラムである。TEST 3 は CRT 上に方形の枠を表示し、画面の位置、大きさを調節するためのもので、この場合はリフレッシュしているの、カメラによらず肉眼で直視できる。図 17~19 は各テスト・パターンを撮影したものである。

図 20 は計算機内で 16 レベルの階調を発生して、表 2 に従って出力したもので、画素数は 60×240 である。これを前章の入力装置で再び読み込んで、その読み取り値と元のレベルとの関係を示したものが図 21 で、ほぼ直

線的関係が得られている。

またファクシミルのテスト・チャートの女性の顔を入力装置で読み込み、階調 16 レベル、画素数 200×200 で出力したものはすでに図 2 (c) に示した。

以上述べてきたようにこの出力装置は階調 16~32 レベル、画素数 512×512 までの画像を出すのに一応使えることがわかった。(1972年2月7日受理)

文 献

- 1) 尾上・高木：電子計算機による多次元画像情報処理について、生産研究, 23, 1, p. 2-18 (1971)
- 2) 尾上・高木・山田・増本：画像情報処理用簡易入力装置、第7回テレビジョン学会全国大会 No. 10-5 (1971.6)
- 3) 高木・浜野：画像情報処理用簡易出力装置、昭47電子通信学会大会 No. 1772