

## 小型ディスプレイ装置とその応用\*

石 田 晴 久\*\*

### Abstract

Using a basic PDP-9 computer equipped with an oscilloscope display, an inexpensive all-software display system was developed. The small display with no special display hardware permits only point-by-point plotting and all the special functions including lightpen tracking are performed through the software. As function keys, 18-bit accumulator switches are used.

While the system has limitations in that the display area is small and the plotting speed of lines and circles is slow, it does have many features not found in standard large displays. Together with ingenious programming, it offers such unique applications as control and monitoring of experiments, use of a computer as a probe and as an expensive taperecorder, and on-line class room.

The kind of inexpensive display systems as described here should receive more attention so that the whole possible display applications can be explored through their wide-spread use.

### 1. はじめに

現在、各方面で開発が進められているグラフィック・ディスプレイ装置のひとつの問題点は、その高価格である。大型計算機に連結するかどうかは別としてディスプレイ装置の制御には、通常高性能の小型計算機を必要とする。また、現在のディスプレイ装置は、おもに設計自動化への応用をめざして作られているため、高性能のブラウン管を使用し、線分・短線・文字・円弧・ライトボタンなどの発生器、端点検出機構、ズーム機構、ライトペン追跡機構などの高級なハードウェアを備えている。これらのことから、ディスプレイ装置はきわめて高価なものになっており、また、ソフトウェアの開発に手間がかかることもあって、広く一般に普及させることが実際上なかなか困難なのが現状である。

しかしながら、ディスプレイの応用は、設計自動化やコマンド・コントロール・システム (NHK の TO-PICS など) だけに限られるものではない。現在はむしろ人間対機械の強力な交信手段として、ほとんど無限に広いと思われる応用分野を探っていかなければならない段階であろう。このような発展段階では、豊富

なハードウェア機構を備えた、さらに性能の高い装置の開発と並んで、一方では、もっとソフトウェアに機能を分担させた形の低コストのディスプレイ装置を広く一般に普及させて、その応用のあらゆる可能性を探ることも考えられてよいのではなからうか。

これは、ちょうど初期の計算機や現在の小型計算機で、浮動小数点演算や乗除算さえもが、ソフトウェアで行なわれることによってコスト・ダウンがはかられその結果、一般への普及が可能になりつつあることに対比できるであろう。

このような見地から、われわれは小型計算機 PDP-9<sup>1)</sup>のオシロスコープを応用した小型ディスプレイ装置 (Digital Equipment 社製、ソフトウェアの提供なし) について、各種のサブルーチンよりなるディスプレイ用ソフトウェアを開発し、(精密設計などを除く) 数多くの応用研究・教育に十分使用できるようなシステムを作りあげた。このシステムでは前述の特殊ハードウェア機構はすべてソフトウェアで肩代わりして、低コスト化をはかった。そのためこのシステムには、画面の小さいことも含めて種々の制約はあるが、原理的には通常的大型ディスプレイ装置と同様な使い方ができるほか、後述のように大型装置にはない種々の特徴を生かしたさまざまな応用が可能である。

このシステムが可能になったのは、他方で、その制

\* A Small CRT Display and Its Applications, by Haruhisa Ishida (Denkitsu University, Tokyo)

\*\* 電気通信大学電気通信研究施設

御母体となる計算機自身が、ひとりのユーザーの独占使用が許される程度の低コストの計算機だということがあげられる。今後、一般にディスプレイの普及の前提条件として、低コストの小型高性能計算機の普及が必要であろう。また、プログラム開発のターン・アラウンド・タイムを短縮する上で、対話型アsembler DDT (Dynamic Debugging Technique) が大いに役立ったことをつけ加えたい。

## 2. 小型ディスプレイ装置

PDP-9(記憶容量=18 ビット×8,192 語, サイクル・タイム=1.0 $\mu$ s)の小型ディスプレイ装置は、X, Y 軸に同じ型の増幅器ははいっているオシロスコープを応用したもので、次の部分からなっている。

スコープ Tektronix RM 503 (帯域 450 kHz)  
ライトペン チップの差し替えて口径5種可変制御部

D/A 変換器 (2チャンネル, 変換時間 4 $\mu$ s)  
X-register (10 ビット, 1,024 点指定可能)  
Y-register (10 ビット, 1,024 点指定可能)  
Brightness register (2ビット, 輝度4レベル)  
Lightpen flip-flop (1ビット)

画面の大きさは、約 10 cm×10 cm で、その上に、1,024×1,024 点が表示できる。Lightpen flip-flop はライトペンの先端スイッチが押されている間にその口径内に光がはいてくると1にセットされ、その際禁止されていなければ割込みが起こるようになっている。ファンクション・キーとしては特別なものはないが、計算機のコンソールについている 18 ビットの Acc (アキュムレーター)スイッチで代用させることができ

る。このシステムのブロック図を Fig. 1 に示す。

この小型ディスプレイ装置を制御するための命令は次の9種で、その実行時間はいずれも 4  $\mu$ s である。

DXC/DYC	Clear X/Y register
DXL/DYL	Clear and load X/Y register with Acc 8-17
DXS/DYS	Clear and load X/Y register and display
DLB	Load Brightness register with Acc 16-17
DCF	Clear Lightpen flip-flop
DSF	Skip if Lightpen flip-flop is 1

ここで注意したいのは、DXL, DYL, DXS, DYS が D/A 変換をせよという命令としても使えることでとくに DXS, DYS を使った場合は、画面上でビームの走るのが監視できる。これらの D/A 出力については、同軸ケーブルですぐ外へとり出せるような端子がついている。

このディスプレイ装置のおもな特徴としては、次のようなことがあげられよう。

- (a) オシロスコープとしても使える。
- (b) 縦横の縮尺がつまみで自由に変えられる。
- (c) X, Y 偏向電圧回路は独立に2チャンネルの D/A 変換器として使える。
- (d) D/A 変換器の監視装置になる。とくに Y 軸の D/A 出力は、オシロをスイープ・モードに切り替えることにより、実際の出力の時間変化波形が観測できる。
- (e) 理解しやすいので教育用によい。
- (f) 低コストのためのシステムの一部として、教育や各種実験などの制御やモニターなどに使える。
- (g) フライニング・スポット管としても使える。

さて、このシステムには、乗除算や浮動小数点演算のための機構もないので、図形を表示するのに、座標を計算しながら表示するのでは、非常に簡単な図形を除き、一般には時間的に間に合わない。そこで、座標の計算と図形の表示を全く切り離して行なうことにした。つまり、画面上に図形を表示しているときは、計算機は他のことは一切せずに、ひたすら「全速力で」表示を行ない、途中で新たな座標の計算が必要になったときは、表示を一瞬中断して、そのための計算を行なう。その際画面がチラツクことがあるのはやむえないものとする。

任意の図形を表示する場合、まず、その図形上の各 X, Y 点の、座標値を計算して、それらの値を Display File に格納する(後での読出しを早くするため、各 10 ビットの正数を1語に入れる)。この File の終わりには、目印として負数をひとつ入れておく。次に、以下のような PLOT プログラムで、この File の内容を

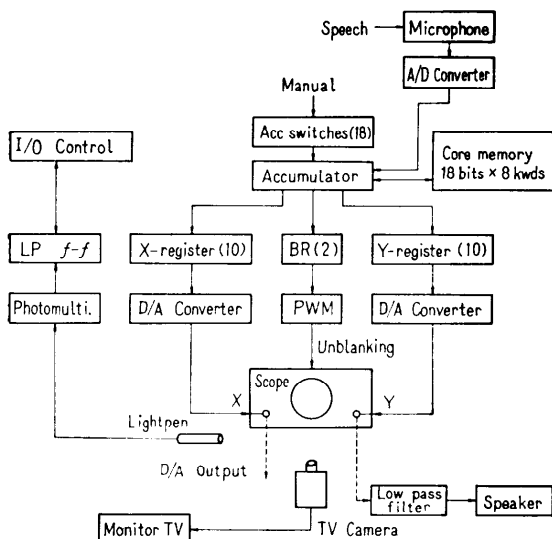


Fig. 1 Block diagram of the small display system

読み出ししながら、その図形の表示を行なう。

```

LONDON  LAC (FILE 0 /load Acc with file origin-1
          DAC 10 /deposit Acc in 10
PARIS   → LAC*10 /3μs
          SPA /1μs
          JMP LONDON
          DXL /4μs
          LAC*10 /3μs
          DYS /4μs
          JMP PARIS /1μs

```

} 16μs

ここで/の後はコメントで、LAC\*10 は、10 番地の内容を1だけふやして、それを間接番地として使う (auto-indexing) 置数命令を示す。また、SPA は skip if Acc is positive である。これでわかるように、1点の表示に 16μs というのが一般的なランダム・プロットングの最高速度であり、この速度自体 (1点あたり 10μs までは、ハードウェアが追従できる) は、必ずしも大型システムに劣らない。ただ、この小型システムでは、直線上の各点も含めて、いかなる場合でもひとつの点を表示するのに、上述の PLOT を使えば 16μs かかるということになる。そこで、フリッカーを少なくするため、毎秒 30 画面程度くり返して表示することにすれば、一画面上に表示できるのは、約 2,000 点になる。したがって、これに必要な Display File の容量は約 4,000 語ということになる。この File のデータ構造は、単に X, Y 座標値を並べただけの簡単なものである。ここではひとつの Display File に適当な名前をつけて、それをひとつの subpicture として扱い、これらがいくつか集ってひとつの画面 (picture) を構成すると考える。

### 3. ディスプレイ用サブルーチン

ディスプレイ用に作成したサブルーチン群は、直線・円・だ円・円弧上の各点の座標を計算して Display File にしまうもの、あらかじめ座標の集合として記憶されている英数字や漢字をとってきて File に入れるもの、回転を含むダイナミックな変形のための座標変換を行なうもの、ライトペンによる入力図形を処理するもの、18ビットの Acc スイッチの内容を解読して、必要な処理をするものなどからなっている。Table 1 におもなサブルーチンとそのパラメータを示す。

図形のダイナミックな変形を容易にするために、すべての座標は、ある座標 (TX, TY) に相対的に、となり合う点と点の間の最小距離 (スケール) を表わす SX, SY を単位として計算する。すなわち、座標 (X, Y) は実は (TX+SX\*X, TY+SY\*Y) という形で表わされる。通常 TX=TY=0, SX=SY=1 である

Table 1 List of display subroutines

INIT	/initialize; set BR to 3, DCF, set file origin
POINT	/set a point in an absolute location
X	/0 ≤ X ≤ 1023
Y	/0 ≤ Y ≤ 1023
PLACE	/set a point in a relative location
X	/-1023 ≤ X ≤ 1023
Y	/-1023 ≤ Y ≤ 1023
LINE	/draw a line starting from a set point (X, Y)
DX	/-1023 ≤ DX ≤ 1023
DY	/-1023 ≤ DY ≤ 1023
CIRCLE	/draw a circle, an ellipse or an arc centered on (X, Y)
RX	/radius in X direction
RY	/Y radius; if no RY is given, a circle is assumed
*P1	/larger angle; if not given, is 360 assumed
*P2	/smaller angle; if not given, 0 is assumed
ROTATE	/rotate points in file around a set point (X, Y)
P	/rotation angle in degrees
TEXT	/display character strings in 5×7 matrices
FST	/first location of character string
KANJI	/display a kanji in an 18×18 matrix
N	/N-th kanji
CLOSE	/close a display file by inserting -1 at its end
PLOT	/plot a subpicture with points in display file
FDX	/first location of display file
TRANS	/move a subpicture according to a dynamic file
FDY	/first location of a display file
FDY	/first location of a dynamic file
INPUT	/graphical input by means of lightpen
FDX	/first location of a display file to enter data
M	/M=1, free hand; M=2, free line; M=3, free circle /M=4, grid; M=5, grid line; M=6, grid circle

(注1) LINE で、たとえば始点が (0, 0) で DX=5, DY=3 (TX=TY=0, SX=SY=1 とする) のときは、座標点として、(0, 0), (1, 1), (2, 1), (3, 2), (4, 2), (5, 3) が Display File に格納される。

(注2) CIRCLE と ROTATE では、座標計算を早く簡単にするために、 $1,024 \times \sin \theta$  の整数値の表 ( $\theta$  は 1 度きざみで、 $0 < \theta < 90$ ) を使う。したがって、円・だ円は最大 360 点で構成されるが、半径が小さい場合、それらの点は適当に間引かれる。

(注3) CIRCLE では、必要がなければパラメーターのうち、RY, \*P1, \*P2 は省略してつめてしまってもよい。ここで \* は間接番地指定で目印として用いている。

(注4) 各サブルーチン使用后、最後に指定された点の座標は X 番地 Y 番地にはいつている。また、Display のあいている部分の先頭番地マイナス 1 は、常に 10 番地 (8 個の auto-index のひとつ) に毎回更新されてはいつている。

(注5) first location は正確には先頭番地マイナス 1 をさす。

が、これらの値を変えて再計算を行なった後プロットすれば、図形の大きさを整数倍 (または整数分の 1) に変えたり、前後左右に移動させたりすることができるわけである。

これらのプログラムは、アセンブラー言語または DDT 言語で書くが、たとえば、LINE 1 のサブルーチン・ジャンプは

LINE = JMS LINE 1

と定義しておけば、Table 1 のようにただ LINE と書いてよく、また、そのパラメーター DX, DY は、Tab で区切って

## LINE DX DY

のように書けるのでかなり見やすい形になっている。

## 4. 図形入力の方法

簡単な数式で表現できないような一般図形の入力には、次のような方法をとる。

(a) 図形を方眼紙に書いて、必要な座標をそれから読み取り、データとして入力する。これは非常に手間がかかるので実際上あまり使わない。

(b) ライトペンによる手書き入力。これは簡便ではあるが、手のふるえなどのために正確な図形が書けないし、計算機の方では入力図形に対して、何らかのパターン認識を必要とするので、限られた応用でのみ有効であろう。このようなフリーハンドで書いた図形上の座標を格納するには、INPUT サブルーチンの free hand モードで発生させたトラッキング・クロスを使い、ペンをただ移動させる (PLACE に対応) のか、実際書いているのかの区別は、Acc スイッチで指示する。ここで注意しなければならないのは、ペンの動かし方が遅いときに、同じ点の座標がくり返してとり込まれるのを防ぐことである。このため直前の点との座標の差がある数(たとえば 2)以下の座標をもつ新しい点は、次の点として採用せず無視することにした。

(c) 画面上にあらかじめグリッド状に、 $18 \times 18$  点を表示しておいて、ライトペンでさわると各点が消えて、同時に、その点の座標が格納されるようにする。これを行なうのが、INPUT の grid モードである。

同じやり方を使って別個に作ったわれわれの漢字パターン作成プログラムでは、まず、 $18 \times 18$  点を画面いっぱいに出しておき、その上にライトペンで漢字を書く。次に簡単なライトボタンの使用により、書き終えた字を反転させたり(光っている点が消え、消えていた点が光る)、全体を書直しのため消したり、番号をつけた上でできた漢字を、1, 0 のマトリクス・パターンとして 18 語に格納させたりする。このプログラムでは、あとで各漢字を表示するときには 1 文字を 1 cm 角程度の大きさにして表示するようになっている。

(d) 始点・終点・半径・中心点などをフリーハンド、またはグリッド上の点で指示することによる図形入力。INPUT サブルーチンの free line, free circle モードは前者に、grid line, grid circle モード ( $18 \times 18$  点)は後者に相当する直線の入力用である。簡単な図形の場合、グリッド状の点をあらかじめ表示して

おく方法は、ライトペンによるトラッキングの必要がないので簡便である。

## 5. 図形表示のダイナミックス

表示された図形を時間的に(ダイナミックに)動かすことのできるのには、計算機ディスプレイの大きな特徴である。図形を動かすには、画面の中のどの部分(subpicture)をどんな図形あるいは式に従って、どれくらいの速さ(時間間隔)で動かすのかを指定しなければならない。

われわれの小型ディスプレイでは、図形を上下左右に移動させたり、整数比で縮尺を変えたり(ズーム)する簡単なダイナミックスは、Acc スイッチで指示できるようにしてある。このスイッチの符号桁がゼロの場合は、同じ画面のプロットがくり返されるだけであるが、符号桁を 1 にセットした瞬間、下位ビットにセットされた値によって、前述の  $TX, TY, SX, SY$  の値を置き換えて、座標計算を改めて行ない、Display File を更新してそれに基づいてプロットを続行する。

図形のある式、あるいは図形に従ってプログラムで内部的に動かす場合には、まず、時刻  $t_1, t_2, t_3, \dots$  などに対応するその式、あるいは図形の  $X, Y$  座標を計算して別のファイル(Dynamic File と呼ぼう)にしまっておく。次に、プログラムで時間間隔(変数 TIME で指定されるが、Acc スイッチで自由に変えられる)をはかり、各時刻に、TRANS サブルーチンでそれに対応する一対の  $X, Y$  座標を Dynamic File からとってきて、それを Display File のすべの点に加えたあと、プロットを続行する。Dynamic File が長くなりすぎそうな場合は、途中でその再計算と更新が必要であろう。また、図形の回転には、ROTATE サブルーチンが使える。上記 2 種のファイルが複数個あれば、いくつかの subpicture を独立に動かすことが可能なのもちろんである。

## 6. 小型ディスプレイの応用

## (a) パラメトリックな図形表示

画面上にただ静止図形を表示すること自体は、 $X$ - $Y$  プロットと同じことであるが、ライトペン、Acc スイッチ、テレタイプ(キャラクタ・ディスプレイとして使う場合)などにより、図形の大きさや位置などのパラメータが瞬間的に変えられる、つまり、パラメトリックな表示ができる点で、(教育上その他)プロットより興味ある応用がいろいろ考えられる。

**(b) ダイナミックな図形表示**

たとえば、画面上に太陽・水星・金星・地球・月などを軌道とともに示しておいて、その中で各惑星および月をダイナミックに動かすことができ、しかもその回転速度は Acc スイッチで自由に変えられる。これは自転と公転の関係を示す上できわめて教育的である。

**(c) 実験の制御とモニター**

われわれがこのシステムを導入した主目的は、X線のマイクロ・ビームを用いて、人間の発声時の舌（の上にはりつけられた数個の鉛の玉）の位置の動きを追跡して調べることにある<sup>2)</sup>。この実験では、X線ビームの位置ぎめは小型ディスプレイ装置の X, Y 軸 D/A 出力をもとに行なうが、同時にその間、安全性確保のため、X線ビームがどこに照射されているかを、ディスプレイ画面上で常時モニターする。この種のオンライン・リアルタイム実験にとって、ディスプレイは不可欠である。

**(d) 万能テープレコーダとしての計算機**

マイクロホン→A/D 変換器→計算機→ディスプレイ→D/A 変換器→低域フィルタ→スピーカというシステム構成 (Fig. 1 参照) を使い、われわれは音声をサンプルして、コア・メモリーに格納し、次にその波形をディスプレイに出して（どの部分を出すかは、Acc スイッチで自由に指定）、適当な編集を行なった上で、D/A 変換器を通してくり返し再生するプログラム (SPEECH と呼ぶ) を作った。これは電子計算機を、音声の任意の編集、任意スピード・任意ビット数の再生などができる一種の万能テープレコーダとして使うことに相当するが、それを可能にするのがディスプレイ装置である。

この「テープレコーダ」の記録媒体は、コア・メモリーでメカニカルな可動部分が全くないという特徴があるが、記録容量は当然のことながら、きわめて小さい。実際これに「録音」できる音声の長さは 6 ビット・6 kHz サンプルングのとき約 4 秒、9 ビット・10 kHz サンプルングのとき約 1.6 秒である。

**(e) プロープとしての計算機**

人間の発声時に、口蓋に舌がどの程度触れるかを調べる目的で、われわれは 64 個程度の電極のついたパラトグラフを使用している。

舌が電極に触れたときに、このパラトグラフから出る信号をもとに、舌の触れている電極の位置をディスプレイ画面上にリアルタイムで出せば、人間の目では直接観察できない運動の目視が可能になる。前述の X

線実験も含めて、この種の応用は、直接目に見えない部分の運動を、目視可能にするための一種のプロープ (探針) として、電子計算機を使うことに相当するといっているであろう。

**(f) A/D 変換器のモニター**

アナログ量を扱う実験の制御に計算機を使う場合、予期どおりに変換が行なわれたかどうかを見るには、A/D 変換された波形をディスプレイ上に出して見られれば便利である。上述 (d) もその一例であるが、それとは別に、われわれは A/D 変換された原波形、それを数値積分した波形、および原波形を数値微分した波形を並べて、同時に表示できるようなプログラムを用意している。

**(g) オンライン・クラスルーム**

前にも述べたとおり、ディスプレイ上に図形を表示して、それをダイナミックに変形して学生に見せるのは、いろいろな科目の教育にきわめて有用である。われわれはテレビカメラ (図形入力用としても使われる) とモニター用テレビを小型ディスプレイの一種の遠隔拡大装置 (Fig. 1 参照) として当初大学院学生の教育用に応用することを計画している。この場合授業は電子計算機と、いわばオンラインで直結されたクラスルームで進められることになる。この種の応用は将来のティーチング・マシンでも重要になると思われる。

以上の応用例のうち、(a)、(b)、(g) は前述のディスプレイ・ソフトウェアに含まれるが、その他は別々のプログラムで行なわれ、異なった表示方法がとられている。

**7. おわりに**

本稿で述べたプログラムの一部は、電通大大学院の戸田尚三君 (現在富士通) と古川茂雄君 (日本電気) に作ってもらった。また、東大医学部の藤村靖教授をはじめ同研究室の方々には PDP-9 の使用について、いろいろ協力していただいた。ここにしるして謝意を表する次第である。

**参考文献**

- 1) 石田晴久: 実験室用計算機 PDP-9, 電子通信学会電算機研究会資料, 1968. 9. 24.
- 2) O. Fujimura, H. Ishida, S. Kiritani: Computer Controlled Dynamic Cineradiography. Proc. of DECUS Spring 1969 Symposium, May 1969

(昭和 44 年 2 月 3 日受付)