

# 高速ディスプレイ装置

Dynamic Display System

山口 楠 雄\*

Kusuo YAMAGUCHI

情報処理機械—人間系において、高速で変更できる直視イメージを媒介として情報伝達を行なう装置がディスプレイ装置である。高速ディスプレイの中にも字の表示中心のキャラクタ・ディスプレイから図形、文字など広範囲のボタン表示のためのグラフィック・ディスプレイまで種々のものがあり、構成内容とか使用方法にはかなり異なった点がある。ここではおもにディスプレイ装置のハードウェア面について述べる。

## 1. まえがき

情報処理工学の発展とともに情報処理機械—人間系のコミュニケーションの高能率化の要望が増大してきた。この要望にこたえるために、高速で表示内容を変更できる直視的な情報伝達のためのディスプレイ装置が開発され急速に使用されるようになった。プロッタあるいはプリンタなどもディスプレイ装置の一種であるが、これらのスタティック・ディスプレイについてはここではふれず CRT を中心とした表示デバイスの高速ディスプレイあるいはダイナミック・ディスプレイと呼ばれる装置について述べたい。

計算機出力の高速ディスプレイの研究は非常に早く、電子計算機の実用化とほぼ同じ時期にはじまっており、1949年にMITにおいてCRTを表示に使用したのが最初と言われている。その後、1950年代のはじめにSAGEシステムなどの開発に当たって表示装置として研究され、軍用あるいは民間の航空路制御システムの一部として開発されてきた。しかし、一般の計算機に使用するための研究が広く行なわれはじめたのは1960年代になってからであり、広い意味での実用化は最近3、4年のことであって、むしろ1970年代の計算機システムの一つの重要な部分と考えられる。このことは、ディスプレイ装置の実用化がTSS、大規模オンライン・システム、MIS、CADあるいはCAIなどと密接な関連のあることを示している。

高速ディスプレイには大別して各種の図形および文字などのイメージを表示あるいは入力できるグラフィック・ディスプレイと文字イメージのみを扱うキャラクタ・ディスプレイの両者があり、構成、使用目的、価格などに大きな差がある。さらに、イメージを通じて入力できるものとイメージの表示のみを行なう出力専用装置がある。これらの各システムはきわめて多様であり簡単にはとても述べきれない。また、とくにグラフィック・ディスプレイについてはソフトウェアがきわめて重

要であるが、ここでは現在までの技術を中心としておもなものについてハードウェアを主として述べたい。

## 2. 高速ディスプレイ装置の概要

ディスプレイ・ハードウェアのおもなデバイス、各部分の方式および全体のシステムなどについて順次述べる前にディスプレイ装置の概略をまず説明したい。ディスプレイ・ハードウェアは計算機と切り放して考え難く、また計算機を含んだシステムにも各種の構成のものがあるが一般的に考えるとたとえば図1の(a)、(b)、(c)に示すような構成がある。

図1の各構成について説明すると、まず出力デバイスとして表示デバイスがあり、ほとんどの装置で cathode ray tube (CRT) が用いられている。入力デバイスとしてはキーボード、ライトペンなどのほかに各種のものが用いられる。

つぎに表示動作と入力インタラプトを処理するディスプレイ制御装置がある。これは、通常の I/O 制御装置

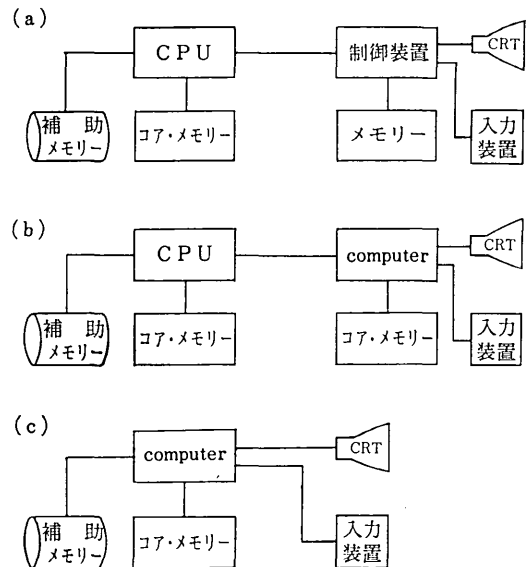


図1 高速ディスプレイ装置の各種の基本構成

\* 東京大学生産技術研究所 第3部

と類似の機能を持っているが図形、文字の発生および再生を行なう display generator としての機能も持たなくてはならない。この制御装置には通常バッファ・メモリーが付属している。このメモリーは主として画面の再生のために使用されるが CPU とのコミュニケーションなどのバッファ、プログラムのためのメモリーとして使われる場合もある。小形計算機をこのメモリーおよび制御装置として使う場合とか、専用機を置く場合および CPU がこれらを兼用する場合などいろいろのシステムがある。いずれにしても CPU とのインターフェースが必要となりディスプレイ装置が CPU から離れている場合にはデータ伝送のための装置が必要になる。

グラフィック・ディスプレイ装置には図 1 の (a) または (b) の構成が一般的であるが、どのレベルまでのコントロールを CPU が行なうかが問題である。キャラクタ・ディスプレイあるいは出力のみのグラフィック・ディスプレイの場合には従来の入出力機器とほとんど同様に考えられる。ただし、いずれの場合にもアナログ・デバイスである CRT を使うにはディスプレイ情報を CRT へのアナログ信号に変換する D/A 変換器あるいはラスタ信号への変換器が必要である。

### 3. ディスプレイ・デバイス

#### (1) CRT

ディスプレイ装置の中で表示部分は、人間にイメージによる情報を伝える最終の位置を占めているのできわめて重要なデバイスである。もちろん、ディスプレイのみでなくイメージによる入力デバイスとして人間から機械に情報を伝えるために用いられる場合もある。

ほとんどすべてのディスプレイ装置には表示デバイスとして CRT (cathode ray tube) が用いられている。ディスプレイに用いられる CRT には各種のものがあるが一般的に構造上 3 個の主要部分に分けられる。すなわち、(1) 電子銃、(2) 偏向装置、(3) スクリーンである。電子銃は、高速の電子ビームを作りスクリーンに鋭い焦点を結ぶようにこれを集束する。偏向装置は、電子ビームの方向を変え、スクリーンは、電子ビームの衝突により光を発する蛍光物質で作られている。

CRT にも用途に応じいろいろの程度のものが用いられるが、グラフィック・ディスプレイ用としては一般に大表示面積、高解像度、高精度などが要求され、普通の TV 用あるいは観測用ブラウン管などに比べてきびしい条件を満足させねばならない。

グラフィック・ディスプレイ用の CRT のスクリーンには普通 20 インチ程度以上の直径が必要であるが、明かるいスポットを得るため高電圧で加速された電子ビームを大面積のスクリーン上に高速で偏向するため偏向装置には技術的にかなり工夫がなされている。

CRT の偏向方法にはよく知られているように静電偏向と電磁偏向の 2 種類があるが、電子ビームの偏向角を  $\phi_e$ ,  $\phi_m$  としたとき静電および電磁偏向について偏向電圧を  $V_d$ , 偏向磁束密度を  $B$  とし偏向装置の長さを  $l$  としたとき (1) および (2) 式に示すような関係がある。

$$\tan \phi_e = \frac{l \cdot V_d}{2d \cdot E_a} \quad (1)$$

$$\tan \phi_m = \sqrt{\frac{e}{2m} \cdot \frac{B \cdot l}{V E_a}} \quad (2)$$

ただし  $d$  は静電偏向板の間隔、 $e$  および  $m$  は電子の電荷および質量、 $E_a$  は電子銃の電子ビーム加速電圧である。

スクリーン上のスポットの変位  $h$  は偏向装置からスクリーンまでの距離を  $L$  とし、 $h = L \tan \phi_e$  または  $h = L \tan \phi_m$  であるが (1), (2) 式からわかるように  $h$  は静電偏向方式では電子銃の加速電圧  $E_a$  に逆比例し、電磁偏向方式では  $\sqrt{E_a}$  に逆比例する。このことから高輝度、高  $E_a$ , かつ小歪の CRT にとって電磁偏向方式が有利であるが、一方電磁偏向コイルがかなりのインダクタンスを持つので高速の偏向を行なわせることが静電偏向方式より難かしい。

グラフィック・ディスプレイ用 CRT では、スポットのシャープさと高精度、高直線性が要求される点から偏向角  $\phi$  をあまり大きくとることは難かしいが、大直径の CRT で偏向装置からスクリーンまでの距離  $L$  を大にすると CRT がきわめて大形となりディスプレイ装置も大きくなり取扱い不便になるので偏向感度を良くし、 $\tan \phi$  を大きくする必要がある。偏向感度と偏向周波数の相反する条件を満たすために二重偏向装置を持つ CRT も多い。これらの偏向方式を図 2 (a), (b), (c), (d) に示す。単一の静電偏向方式は、比較的小形の CRT に多く、単一電磁偏向方式は偏向周波数を上げるのが難かしいにもかかわらず比較的多く用いられている。二重偏向方式はグラフィック・ディスプレイ用として一般的で、これは文字あるいは小ベクトルのイメージ用の補助的な静電偏向装置あるいは小インダクタンスの偏向コイルと位置ぎめ用の主偏向コイルの組合せを用いており、小偏向を

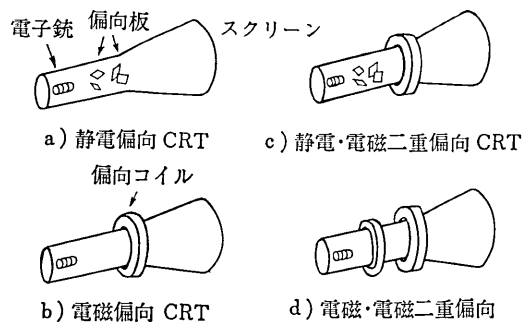


図 2 ディスプレイ用 CRT の各種偏向方式

高速の補助偏向装置により行なう。偏向歪を小さくするため補償方式も工夫されている。

CRT スクリーンは使用上からは平らなことが望ましいが強度上および歪などの点で難かしさがある。スクリーンにはメタルバックが使用されるが、蛍光物質そのものの発光能率が高いことが表示量を増すためにきわめて重要である。ライトペンを使用する装置では発光持続時間が短いことが必要であるが、発光時間が長いものの発光スペクトルの時間的変化を利用した例もある。

航空路管制のための表示用などのように比較的変更する頻度の低いイメージを背景用として表示する必要のある場合に用いる CRT として図3のようにプロジェクタ用の窓をそなえた特殊管があり、これによりディスプレイ情報量を増大させることができる。多色表示のできるディスプレイ用 CRT も開発されている。精度を要さないキャラクタ・ディスプレイ用にはカラー TV 用 CRT も使われている。

CRT の原理を用いて特殊目的に使用できるきわめて多様なデバイスが開発されているがあまり一般的でないので説明を省略する。ただし、これらの中で比較的良好に使用される beam shaping CRT (charactron), character generating CRT (monoscope) について説明する。

charactron は、文字の形をした孔をマトリックス状に配列した板を電子ビームの通路にそなえた CRT である。ある文字の位置を選択してその位置に電子ビームを通すことによりその文字の形に成形された断面の電子ビームが得られるのでこの電子ビームを蛍光スクリーン

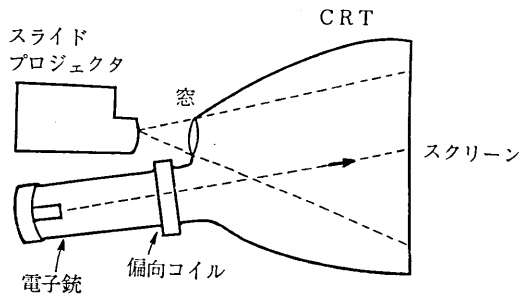


図3 投影用の窓付の CRT

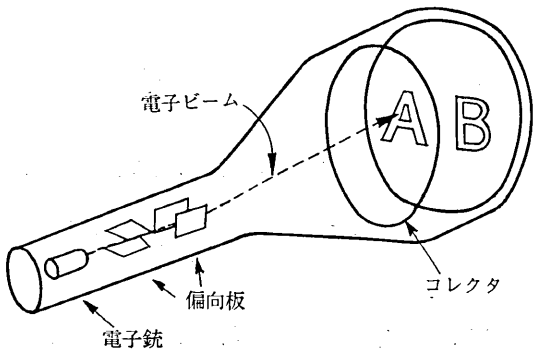


図4 monoscope の構造模形図

上の適当な位置に偏向することにより選択された文字イメージをスクリーン上に得ることができる。グラフィック・ディスプレイ用の電子銃を同時にそなえる構造のものもあり、きわめて良質の文字イメージが得られる。

monoscope は図4に示すような構造の CRT で、ある文字を選択してその字形の範囲のみをラスタ状に電子ビームで走査すると字形上に電子ビームが当たった時のみ2次電子が放射されてコレクタ・リングから信号としてとり出される。表示用の CRT 上の任意の位置を monoscope の走査と同期して走査することにより字形イメージが得られる。monoscope と類似のものとして flying spot scanner と光学的メモリーを用いた文字発生装置もある。

先にも述べたように、グラフィック・ディスプレイ用の CRT は大形、高精能のものが要求されるので必然的にきわめて高価になるがキャラクタ・ディスプレイ用 CRT としては一般にかなり低コストのものが使用されており、目的により TV 用 CRT なども用いられている。

(2) 蓄積形 CRT

CRT の中に、表示イメージをアナログ的に記憶することができ、一回イメージ信号を与えればかなり長時間、たとえば数10分以上そのイメージを表示し続ける直視形蓄積管 (direct view storage tube) がある。これは、もともと単現象観測用のオツシログラフに用いられていたが、ディスプレイ装置に用いた場合かなり高価な再生用メモリー (refresh memory) および再生 (refresh) のための制御が不要になるので低価格の出力用としてこれを用いたグラフィック・ディスプレイ装置 (キャラクタ・ディスプレイ装置も含む) が多い。

直視蓄積管は、図5の構造をもっており、普通の CRT に用いられるものと同様の電子銃と静電偏向装置を書き込み用としてそなえ、このほかにスクリーン全面に一樣の密度の電子流 (flood beam) を与える電子銃を再生用

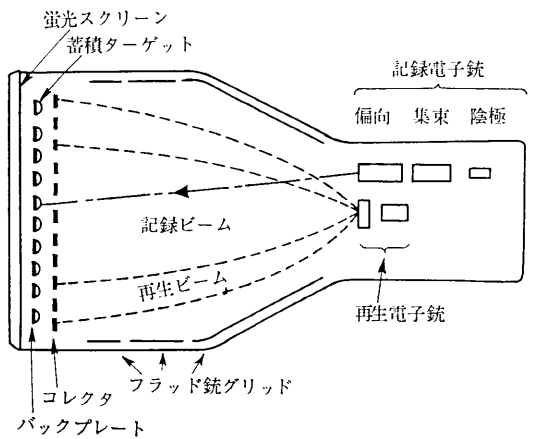


図5 直視形蓄積管の構造模形

として持っている。スクリーンの内側にメッシュ状の蓄積ターゲットとコレクタメッシュがあり、はじめに蓄積ターゲットはバックプレートを通じて負に充電される。この状態では再生用のフラッド・ビームは、高抵抗の蓄積ターゲットのコレクタ側に蓄積された負の電荷のためにさざりられて蛍光面に到達できない。書き込み用の記録ビームが蓄積ターゲットをトレースすると、その部分の蓄積ターゲットから2次電子が放射されコレクタメッシュに流れる。適当な電位を各部分に与えることにより1以上の2次電子放射比が得られ、記録ビームが当たった蓄積ターゲットは正に充電される。フラッド・ビームは正に充電された蓄積ターゲットの部分を通り、蛍光スクリーンに直視イメージを発生させる。フラッド・ビームは連続的に放射されるので普通の CRT と異なり直視形蓄積管ではきわめて明かるい画像が得られる。

蓄積管はキャラクタ・ディスプレイにもグラフィック・ディスプレイにも用いることができ、大きな特徴を持っているが部分的消去ができず、またライトペンなどのイメージ入力装置が使用できない。これらの欠点をおぎなうための方式も考えられてはいるが一般的とはいえない。蓄積管は低コストの出力用ディスプレイとして考えるべきであって、従来プロッタあるいはプリンタが用いられていた分野でハードコピーの不要の場合の高速ディスプレイとして広範囲に使用されつつある。蓄積管そのものの価格は数十万円の程度で、あまり大面積のものは見受られない。

### (3) その他のディスプレイ・デバイス

現在のディスプレイ・デバイスには、大形ディスプレイなど特殊なものを除きほとんど CRT が使用されている。しかし、CRT には大形になること、高圧電源を必要とすること、蓄積管を除き再生操作と再生用記憶装置が必要なこと、再生の一周期内に表示できるイメージの量が限られること、平らな表示面が得難く明るさ精度に限度があり、安定性もあまり高くはないことなどの欠点がある。これらの CRT ディスプレイの欠点をおぎない、低コスト、小形、記憶作用などの特徴を持ったディスプレイ・デバイスの開発、研究が盛んに行なわれている。

これらのデバイスの一例としてプラズマ・ディスプレイがある。これは、図6に示すようにマトリックス状に小孔のあいたガラス板とXおよびY方向の透明な選択用導体を付けたガラス板のサンドイッチ状の構造をもっている。選択用導体にはあらかじめ発光を開始するには不十分であるが発光を持続させ得るだけの高周波電圧(sustaining signal)を与えておく、XおよびYのいずれか1組の導体にパルスを与えることによりその交点の小孔を発光させることができる。全面の同時消去の他に交点に逆極性の signal を与えることにより任意の点の消去ができる。プラズマ・ディスプレイは、任意にイメー

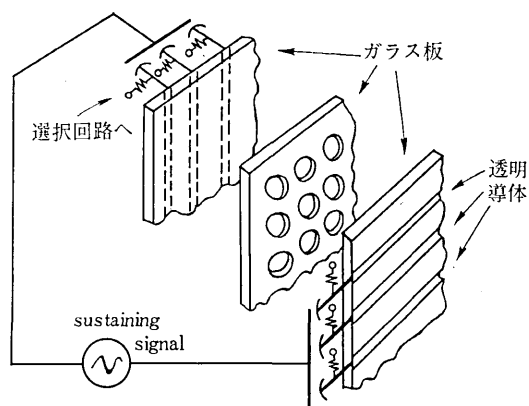


図6 プラズマ・ディスプレイ構造模型図

ジの発生、消去ができ、記憶作用があり、平面状の構造であるなどの特徴があり、また多色のものの開発も行なわれている。また図からわかるように孔は互いに気密である必要はなく、また電極による放電ではない。現在はまだ小面積のものの試作が行なわれている段階であるが、マトリックスの選択回路も LSIC により安価に実現できるので低価格のグラフィック・ディスプレイ装置が実現されるかも知れない。

このほかにエレクトロ・ルミネッセンスと先半導体による固体化された平板状マトリックスのディスプレイ・デバイスが研究されている。これらは記憶作用がなく必要な個所には電源を供給し続けなければならないので選択回路にコストがかかる。また寿命の点とか大きなマトリックスの様なものが製造できないなどの問題があるので CRT に代る大形の表示デバイスとしては実用化されていない。

以上の外に、レーザー光を電子ビームのように直接偏向し、同時に輝度変調して光学的スクリーンに投写し、大面積のディスプレイを得る試みがなされているが、光の偏向能率が低いなどの点から実用化していない。

CRT ディスプレイのもう一つの欠点として蛍光スクリーンがあまり大きくないので大勢の人間を対象としたイメージ情報伝達に不適当なことがある。大面積ディスプレイとして高輝度 CRT からの光学レンズによるスクリーンへの拡大投影があるが明るさの点で限度がある。これを改善するために、オンラインでかなりの高速でスライドを作りながらプロジェクタにかける方式などがあるがこれはもはや高速ディスプレイと言えるかどうか疑問である。

## 4. 入力デバイス

### (1) ライトペン

ディスプレイ装置にはイメージを媒介として人間から機械系へ入出する機能をもつシステムが多い。ディスプレイ装置へ与える入力には、1) 表示面上の特定のイ

メージの指示, 2) 表示面上の位置, 3) 図形の形状, 4) 記号, 数値あるいは文字, 5) ファンクションの指定などがある。これらの中で 4), 5) はキーボードにより与えてもあまり不便でなく, 特定の文字の指定などにはカーソルの移動, blinking などの方法が用いられている。しかし, 1), 2), 3) は, 表示面上で指示する方が人間にとってはるかに便利であり, ディスプレイ装置による人間—機械系の両方向情報伝達に必要な機能である。

これらの目的に用いられるデバイスとしてまずライトペンがあげられる。ライトペンは, CRT スクリーン上にディスプレイされたイメージを検出する photodetector であって, 鉛筆程度の大きさのペンにコードの付いた形が普通である。構成は, ペンの中にフォトダイオードを持ったもの, またはファイバオプティクスでペンから光電子増倍管まで光を導くものが用いられ, 使用したいときのみ動作させるためのスイッチが付属している。CRT 上のディスプレイは, 蓄積管にはよらない場合には時間的に逐時表示されており, とくにランダム・トレースの場合には特定のイメージは—再生周期中の特定の時点に対応している。ライトペンは, これを利用して CRT 上の小面積 (直径数 mm) の光を時間的信号として検出し, 時間一致によりそのイメージを identify する。

ライトペンの機能は, もともと上の 1) の目的のためのもので, イメージなしに表示面上を指示することはできない。そこで, 2), 3) の目的のためにトラッキング・パターンが利用される。これは, たとえば十字形をしたトラッキング・クロスなどのイメージで, ライトペンの視野がクロスを中心からずれたことをイメージの X, Y 軸の各時間信号の時間的なずれから検出し, ディスプレイ制御装置の機能によりクロス位置を変えてライトペンの位置にたえず追従させる。このトラッキング・クロスをライトペンで引っぱることにより表示面上の任意の位置の指定, あるいは線分の作図ができる。4), 5) の目的にライトペンを使用するときには, 表示面上にすでに表示されている信号あるいはライト・ボタンと呼ばれるイメージをライトペンで指示することによりキーを押すと同様の処理ができる。

いずれにせよ, ライトペンを含む入力ハードウェアは比較的簡単なものであって, この入力デバイスにより実行できる機能はほとんどソフトウェアに依存している。ライトペンは自由な形状の作図とか任意の正確な位置の指定には比較的不向きであるが, 構造が簡単で記号, 文字あるいはシンボルのような特定イメージの指示に便利であり, きまった要素を多く用いる作図などには便利なのでディスプレイ入力デバイスとして標準的に用いられている。

## (2) その他の入力デバイス

ライトペン以外の入力装置としてディスプレイ装置にキーボードが付属している場合が多い。キーボードの中で alphanumeric keyboard は, 英数字, 記号, データの入力に, function keyboard は, 選択, scaling, positioning, generation, addition, delating などのイメージの制御と non-graphic なプログラムの制御に用いられるがキーボードそのものはグラフィックな入力デバイスではない。

グラフィック入力デバイスとして voltage-sensitive probe, RAND tablet などがあり, リモートからのグラフの制御用として Joystick, Thumbwheel などがある。voltage-sensitive probe は一種の 2 次元ポテンシオメータであって, CRT 表面上に透明な導電性の板を置き,  $x$  方向と  $y$  方向に交互に一定の電圧を与え probe の接触による検出電位から  $x, y$  の座標を測定するものである。特徴はトラッキング・パターンが不要で使いやすいことであるが, 誤差の生じやすいこと, 雑音に弱いこと, イメージの指示のための identification の処理がかなりやっかいになるなどの欠点がある。

RAND tablet は, 約 10 インチ平方のマイラ・シート上に図 7 に示すような導電性の平行な線をフォト・エッチングにより 100 lines/inch の割合で 1,024 本設けたものを  $x$  方向と  $y$  方向に重ねたものが中心となっている。時間的に直列な 20 個のパルスが  $x$  と  $y$  軸の符号板にそれぞれ 10 ビットずつ繰返して逐時加えられ code coupling bus により静電的に結合され各 position line には  $x$  または  $y$  軸上のその line の位置に対応した 10 ビットずつのグレイ・コードのパルス列として現われる。この位置コードは, tablet のエポキシでコーティングされた表面に接触した高入力インピーダンスの触針により検出される。触針には圧カスイッチがあり, 一定以上の触圧

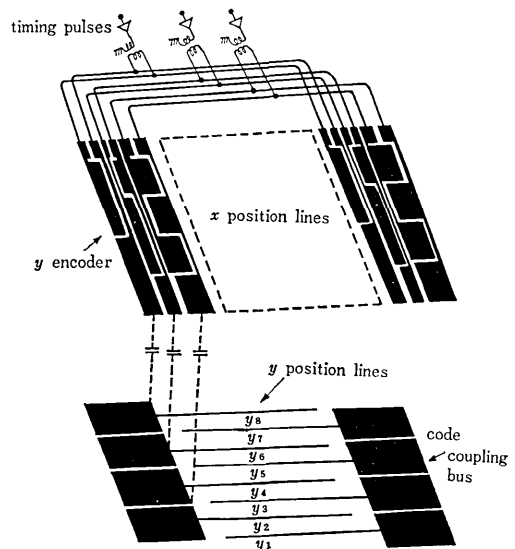


図7 RAND tablet の構造模形図

で動作する。

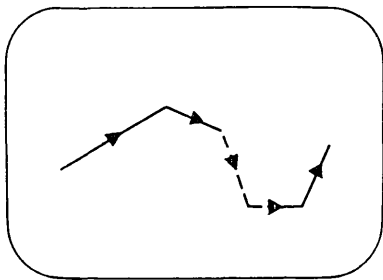
RAND tablet の方式は 2 次元アナログ・ポテンシオメータの方式に比し、直線性、精度および信頼性の点ですぐれているが tablet を CRT スクリーンと離れた位置に置くという欠点があった。これに対し、tablet 上に CRT からイメージを投影して視角誤差を除きつつ上述の欠点を改善する方式を SDC で発表している。

Joystick は、片手で操作できる 2 次元に動くレバーであってこれを  $x$  あるいは  $y$  方向に倒すことにより各々のサーボモータが回転してそれぞれの回転式符号板を回し、符号化された信号によりディスプレイ制御装置が表示面上のイメージの位置を変えるものである。これは大形ディスプレイ装置などに向いている。Thumbwheel もほぼ同様の動作を行なわせる装置であって、人間が stick でなく球形の wheel を操作する点が異なっている。

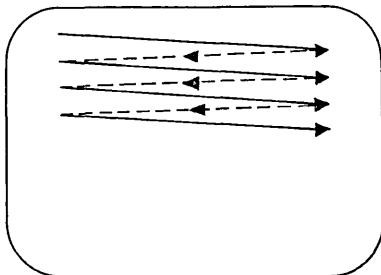
## 5. ディスプレイ・ハードウェア・システム

### (1) ランダム・トレース方式とラスタ走査方式

先にも述べたようにディスプレイ方式にはランダム・トレース方式とラスタ走査方式があり、両者の間には使用目的、構成、制御方式、価格などに大きな差がある。ランダム・トレース方式では図 8 (a) に示すように再生時間の 1 周期中の任意の時点で CRT 表示面上の任意の点へスポットを動かすことができ移動速度を制御する方



(a) ランダム・トレース



(b) ラスタ走査

図 8 ランダム・トレースとラスタ走査

式もとりうる。CRT は、電子ビームの intensity の制御あるいは on-off を行なうのでこの方式ではディスプレイ面上に自由に連続した線分あるいは点のイメージを発生させることができる。このことは、ディスプレイ・ファイルの内容あるいはディスプレイ・コマンドとイメージの各部分が原則的に対応していることを示している。このため、ディスプレイのためにはディスプレイ・コマンドを順次イメージ化していけばよく、フォーマット構成のための時間領域での変換を必要としない。

これに対し、ラスタ走査方式では図 8 (b) に示すように一定の速度で電子ビームを左右に移動させ、これを順次上下に一定ピッチで重ねて行くことを繰り返す。イメージの発生は必要な個所を電子ビームが通過する際のビームの intensity 制御あるいは on-off (これを  $x$  軸変調とすることがある) で行なわれる。この方式は普通の TV の画像発生方式と同一である。TV のように全システムがアナログ方式の場合とことなり、デジタル計算機のファイルの内容を表示する場合には任意の線分を連続してイメージ化することはできず各走査線上の対応した時点ごとの  $x$  軸変調信号に変換しなければならない。このため、もとのディスプレイ・コマンドからラスタの各走査点への信号へフォーマット変換を行なうことが必要であり、全表示面にわたる線分などを変換することはきわめて難しい。また、一度変換した後にあるイメージがどのディスプレイ・コマンドに対応するかを知ることも容易でない。

任意の線分からなるイメージを発生させる必要のあるグラフィック・ディスプレイ装置としては上述の理由からランダム・トレース方式を用いる必要がある。キャラクタ・ディスプレイにももちろんランダム方式を用いることができるが、文字表示は各行に分解しうる直角フォーマットであることからラスタ走査方式を使用することができる。

CRT 装置のハードウェアからいえば、ラスタ走査方式は比較的遅い定速度偏向なので偏向装置および偏向用増幅器はきわめて簡単になり、TV 用の装置を使用することもできるので低コストのものが製作できる。これに対し、グラフィック・ディスプレイに使用する CRT の偏向装置および増幅器は相当高価なものになる。ランダム・トレース方式でも文字表示のみで比較的小形の表示面であればグラフィック・ディスプレイより装置の製作は容易である。

イメージ品質については一般にランダム方式の方がすぐれているが、ランダム方式においてもそのシステムと各デバイスの性能に依存することはいうまでもない。

### (2) システム構成

多数のディスプレイ・ターミナルと大形 CPU を含んだ情報処理システム全体の問題は別として、ディスプレ

イ装置を構成するため必要なものをグラフィック・ディスプレイをおもな対象としてあげると次のようになる。ただし、これらの構成は必ずしもハードウェアによる必要のあるものばかりではない。

### 1) ディスプレイ制御装置

この中には CPU から与えられたディスプレイ・コマンドから CRT の  $x$ ,  $y$  各軸の偏向増幅器および  $z$  軸変調装置へ与えるイメージ信号に変換を行なう character generator, vector (line) generator, circle generator, dot generator, position generator などの機能がある。これらは、デコーダ, function generator, D/A の機能を組合せたものであるが、ソフトウェアのみで処理することは能率が悪いので特別なハードウェアをそなえることが多い。これらの外に、通常は、点線、鎖線、実線、blink などの line structure generator もそなえている。また、以上の display generator の各種機能の選択、フォーマット制御、ディスプレイ内容の modify を行なうモード・コントローラが必要である。いずれにせよどこまでをハードウェアにするかソフトウェアに行なわせるかはシステム設計における重要な点である。

### 2) 記憶装置

再生 (refresh) のために必要である。また、ディスプレイ装置がストアド・プログラム方式の場合にはこのためにもメモリが必要である。インターフェースのためのバッファを兼ねることもある。磁心、遅延線、ドラム、ディスクなどが使用される。表示内容により 1 個のディスプレイ・コマンド当たりの表示時間が異なる場合には磁心記憶装置が用いられる。これからは半導体メモリの使用が増すと思われる。ディスプレイ・ファイルと plotting and control comand の再生メモリが同一の場合と、前者が CPU にあってディスプレイ・コマンド用のメモリーを別にもっている場合とがある。

### 3) インタフェース

場合により各種のレベルのものがある。CPU と簡単なディスプレイ装置のみのごく簡単な場合から符号変換、レベル変換、通信回線との接続が必要な場合もありシステムによって大きくことなっている。

上に述べたシステム構成の中でディスプレイ制御装置の行なう図形、文字の発生方式について述べる。ランダム・トレース方式のもっとも簡単な display generator は、dot のみを発生する方式である。この方式では、すべてのイメージはあらかじめ CPU から与えられた位置データの組合せにより表示され、各 dot ごとにディスプレイ・コマンドが必要である。ディスプレイ装置は各コマンドの位置情報を D/A 変換して CRT を偏向し、アンブランキング信号を  $z$  軸に与えてスポットを発光させ、これを次々と繰返す。

dot 以外のディスプレイ・コマンドによりイメージ・

エレメントを発生できるとディスプレイ・ファイルあるいはコマンドのためのメモリーの大きさ、CPU からの伝送情報量が大幅に減り、ディスプレイに必要な時間も減少する。イメージ・エレメントの発生方式には次のようなものがある。

#### a) dot ベクトルおよび文字の発生

線分を dot で表示する発生方式である。もっとも簡単なものは、 $x$  および  $y$  軸と  $45^\circ$  の 8 方向にのみ図 9 (a) のような短いベクトルを発生するものでカウンタが主体である。任意方向に dot ベクトルを発生させる long vector generator は、あらかじめ与えられた点からスタートし、 $\Delta x$ ,  $\Delta y$  の値によってきまる勾配にそって図 9 (b) のように dot を発生させる incremental 方式である。このために、 $x$  あるいは  $y$  の位を  $\Delta x$  あるいは  $\Delta y$  の値に比例した値で加算する。同様の方法で弧または円も発生できる。

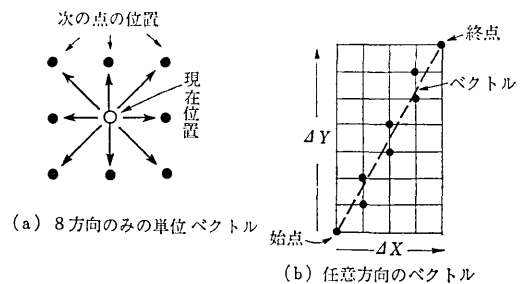


図 9 dot vector の発生例

#### dot character generator

は図 10 のように、たとえば 6 ビットの文字符号を  $6 \times 8 = 48$  の格子上の文字パターンに変換し、その格子点上を CRT の電子ビームを動かしながら unblanking させイメージを得る。この文字用の偏向に CRT の補助偏向装置を用いれば主格子のメッシュと独立に文字の大きさを制御できる。この方法によると、1 文字のディスプレイが 1 dot の random positioning と同程度の時間で済む。

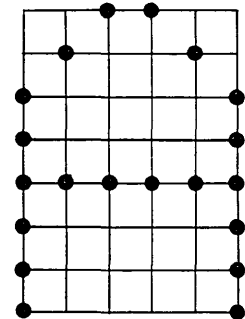


図 10 dot character の発生 (6×8 のマトリックスの例)

の大きさを制御できる。この方法によると、1 文字のディスプレイが 1 dot の random positioning と同程度の時間で済む。

dot によるベクトルあるいは文字発生は方式が比較的簡単でデジタル方式のため歪がなく、精度の点でもすぐれているがイメージそのものの品質には問題があり、イメージ発生に要する時間がそれ程短縮できない欠点がある。

#### b) 連続ベクトルおよび文字の発生

連続したイメージを発生させるにはアナログ演算回路を用いたハイブリッド・コンピュータのハードウェアを

持つ必要がある。直線ベクトルを発生させるにはたとえば 2 個のアナログ積分器を用い、初期値に  $x_0, y_0$ 、入力に  $v_x, v_y$  を与えると次式のように時間に比例した ramp 出力が得られる。

$$x = x_0 + K_1 \int_0^t v_x \cdot dt = x_0 + K_1 \cdot v_x \cdot t \quad (5 \cdot 1)$$

$$y = y_0 + K_2 \int_0^t v_y \cdot dt = y_0 + K_2 \cdot v_y \cdot t \quad (5 \cdot 2)$$

$K_1 \cdot v_x \propto \Delta x, K_2 \cdot v_y \propto \Delta y$  とすると、この  $x, y$  の信号により CRT を偏向することにより  $x_0 \rightarrow x_0 + \Delta x, y_0 \rightarrow y_0 + \Delta y$  にスポットが移動し直線ベクトルが得られる。ただし、end point を与えるため  $t$  または  $x, y$  の値により演算と unblanking を打切る。  $x_0, y_0, K_1, K_2, v_x, v_y$  などはディスプレイ・コマンドから D/A 変換してアナログ演算器に与える。

円あるいは弧も同様に、たとえば単振動の方程式を解くアナログ演算器をそなえればこの出力リサージュとして得られる。

ベクトルには長さに関係せずプロット時間の一定な fixed time ベクトルとプロット時間が長さに比例する constant rate ベクトルがある。回路的には前者の方が簡単で、たとえば  $v_x \propto \Delta x, v_y \propto \Delta y$  とすればよい。短い直線の多い場合には後者の方が短い時間ですむ。前者は長さによりラインの明るさを変えるのを防ぐために輝度を変える必要があり、最大のライン長も限られる。いずれの場合も、アナログ方式による display generator は精度、安定度などが重要で、終点の正確さ、ラインの直線性、kink の発生などに影響する。

連続ストロークによる文字の発生は短い連続ストロークの組合せにより文字を発生させるもので、8 方向の単位ベクトルの組合せ、任意の short ベクトルの組合せ、曲線の使用などの方法がある。文字用のメッシュの大きさの選択、90° 単位の回転を行なえるものも多い。

c) テンプレートによる文字の発生

先に 3 (1) において述べた charactron, monoscope あるいは光学的メモリーなどの文字パターン・テンプレートによる方式である。これらの方式は発生文字の種類にフレキシビリティの低い欠点があり、減少しつつある。

以上に述べたランダム・トレース方式によるディスプレイ・システムの 1 例を図 11 に示す。

次にランダム方式とまったくことなるラスタ走査方式の文字発生方式について述べる。

ラスタ方式では各行について各文字をデコードして dot パターンを作り、これをラスタの走査線 1 本ごとのタイム・シリアルな video 信号に変換する。すなわち、1 文字が  $8 \times 12$  のマトリクスであれば 12 本のラスタに分解される。この video 信号が表示面全体について作られ、TV と同様に CRT にディスプレイされる。

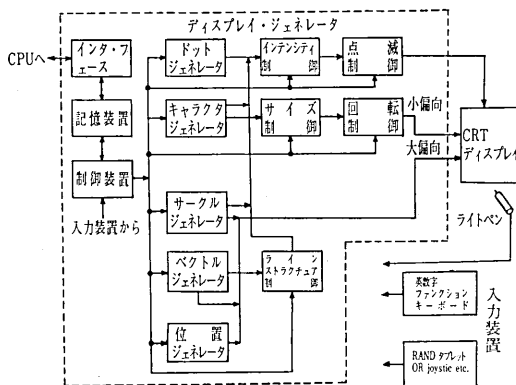


図 11 ランダム・トレース方式のディスプレイ・システムの 1 例

1 フレーム分の信号全部(たとえば  $500 \times 500 = 250,000$  ビット)を再生メモリーに記憶するものと、1 行分ずつディスプレイ・ファイルから文字コードを取出して文字を発生させ、これを各行について行なうものがある。いずれにせよ信号はフレーム周期に同期しているので磁気ディスク、ドラムなどの低コストのメモリーを用いるものが多い。

(3) ディスプレイの性能

ディスプレイ装置のパフォーマンスに影響する要因として一応次の 3 個のものが考えられる。

- i) 同時にディスプレイできる情報量またはイメージの量に関するもの。
  - ii) イメージの品質に関するもの。
  - iii) 使いやすさ、あるいは使える範囲に関するもの。
- 最後の項は、人間工学的な面以外にはおもにシステム・プログラムなどのソフトウェアによるのでここではおもに i), ii) について述べる。

i) について、まず 1 再生周期と各イメージ・エレメントの表示時間から表示できる総イメージ量がきまる。この要因として次のものがある。

a) フレーム・レート

ちらつきを感じさせない最低の再生率は、個人差、色、コントラスト、イメージの大きさ、蛍光物質の発光の減衰時間などでことなるが明かるさとの関係について 1 例を図 12 に示す。50 回/秒あれば十分であるが、一般に 40 回/秒、すなわち 25 ms/フレームの装置が多い。

b) 偏向装置のレスポンス

デジタル回路の動作時間、blank 中の偏向時間、表示のための静止時間の和が表示に要する時間となる。random positioning では偏向時間をもっとも大きい。偏向に要する時間は、ビームがたとえば 0.1% 以内に整定するまでとし偏向装置の特性が簡単に  $x = x_0(1 - e^{-t/T})$  のような一次おくれと考えられる場合にフルスケールの偏向には  $t = 7T$  を要する。

実際の装置では random positioning に  $2 \sim 100 \mu s$ 、



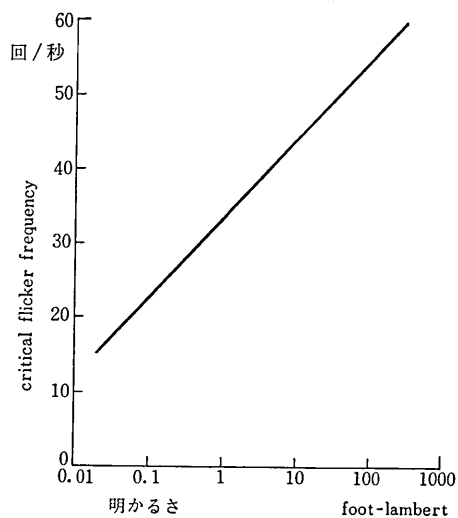


図 12 明るさとちらつきを感じない  
最低再生周波数の関係

普通 20  $\mu$ s 位を要する。dot のみの表示では 20  $\mu$ s の場合 1,250 点しか表示できない。短距離の移動では、1  $\mu$ s~10  $\mu$ s なので 2,500~25,000 点が表示可能となる。

#### c) 図形エレメント

文字あるいは図形エレメントの発生装置をそなえているときにはこの発生時間と positioning の時間の和で済む。字は、2~100  $\mu$ s/字 (普通は 5  $\mu$ s 位) でフォーマットになっている方が positioning の時間が短くてすむ。line は、普通数  $\mu$ s/インチ、円の発生には 100  $\mu$ s 位を要する。

その他の方法としてスライドを CRT に選択投写できるものは表示量の増加に役立つ。

#### ii) の品質については次のことが影響する。

##### a) 解像度

CRT のビーム・スポットの大きさとスクリーンの大きさからきまる。スクリーンは、直径 16~24 インチ (円形)、一辺 10~16 インチ (短形) 程度である。スポットは、よいもので 0.01 インチなのでフルスケールに対し  $10^{-3}$  の解像度が妥当なレベルであるが、表示面の分割は 512, 1,024, 2,048, 4,096 の各レベルのものがある。字の明瞭度は、よいもので普通のタイプライタのプリント程度である。

##### b) 精度

CRT 外の基準とビーム位置の差を誤差と考える。フルスケールの 1~3% 位 (TV はよいもので 10% 位) である。比較できる絶対的リファレンスがなければ実用上差支えないが精密さを要求される場合にはプロッタを併用しなければならない。

##### c) jitter

20 Hz 以上ではスポット・サイズが大きくなるだけであるが、10 Hz 以下では具合が悪い。おもに電源周波数

とフレーム周波数のビートによる。

#### d) repeatability

ことなった場所から同一の点に positioning したときの差、1~数レベルの差の出るものがある。連続した図形の場合には kink のようになる。偏向用ヨーク、増幅器などのヒステリシスあるいはドリフトによる。アナログ演算器の誤差も類似の悪影響をもたらす。

#### e) 明かるさ

最低 20 ft-Lambert、普通 50 ft-Lambert が必要である。明かるい程、明かるい場所で使用でき、また各イメージ・エレメントの表示時間を短かくできる。

#### f) シンボルの構造

よく使用される 5×7 の dot マトリクスにより表示された文字、記号の品質はあまりよくない。16×16 のものは非常によい。ストローク方式のもの品質はよい。品質のよいものは最大表示量が当然減少する。漢字の場合は英数字より多くのメッシュを要することは当然である。

iii) の使いやすさについて人間工学的な面には、入力装置にライトペン、RAND Tablet などのいずれを用いるか、2 種以上を併用するか、キーボード、ライトボタンなどのいずれを用いるか、ハードコピーのための装置を置くか、何を置くか、その他装置の形状、操作器の状態、装置全体の保全性などが影響する。

もちろん、ii) で述べた品質は人間工学的な面に大きな関係があり、多色 CRT も大きなファクタになる。

## 6. ディスプレイ装置の用途と問題点

高速ディスプレイ装置の用途については、多くのことになったレベルと種類が考えられる。まず、文字表示をおもな目的としたラスタ走査方式の装置は、ダイナミックなグラフ表示以外の工業用、事務用、教育用などの目的に適している。IBM 1500 もこの方式である。ディスプレイ部分は、イメージ品質の低さの無視できる用途には TV 装置が使用でき、ディスクなどのメモリーと制御回路を多数のターミナルで共用すれば低コストのディスプレイ・システムを実現できる。

dot 方式または簡単なストローク方式の文字ディスプレイもラスタ方式と同様な用途に適しており、またコンソール用としてはもっとも適したものとなっている。さらにこの方式は磁心に代る半導体メモリーの低コスト化とともにラスタ方式よりも有利な用途が増してくると考えられる。

技術計算などでもっとも頻繁に要求される出力のみのグラフィック・ディスプレイの場合には直視形蓄積管の使用がもっとも適しており、技術計算用の計算機には必ず付属するようになると思われる。

各種のイメージ・エレメントを発生でき、大量のイ

メッセージ情報の表示能力のあるグラフィック・ディスプレイ装置は人間-機械系における両方向情報伝達のもっとも有効な装置としてもっとも高いレベルの広範囲な用途に使用され得る。これらの用途の中には、各種の自動設計 (CAD)、高級なシミュレーション、美術的な面を含むデザイン、高級な自動教育などから大規模システムの動作状態の表示および指示、操作などが考えられる。しかし、これらの目的にかなり有効に使われている例は比較的少なく、いろいろの難かしい問題を含んでおり今後かなり漸進的に開発されて行くものと思われる。

ディスプレイ・システムについての問題点を挙げてみると次のようなものがある。

#### 1) ハードウェアのコスト

グラフィック・ディスプレイについてユーザがソフトウェアを研究するための最初の障害である。低コストの文字ディスプレイあるいは出力用グラフィック・ディスプレイについても価格の低下につれて多くの需要を生ずるであろう。

#### 2) ソフトウェア

グラフィック・ディスプレイを有効に使用するための最大の問題点である。

#### 3) ディスプレイ・デバイス

CRT は長所も多いが、もっと小形で便利なものの出現が望まれる。

#### 4) 表示能力

CRT の性能から、あまり高度な表示はできない。また人間の直視能力の限界もあり、グラフィック・ディスプレイについてはハードウェアの現在のコストに見合うかどうか疑問がある。3次元表示能力の低さ、変換に要する処理時間も問題である。多色化は一つの有効な方向である。

#### 5) 入力能力

人間から機械への入力はすべて指定式であって、能率は図形の場合にはきわめて低い。これは機械にパターン認識の能力がほとんどないことによる。

6) ディスプレイによる情報処理の性質、用途別のパフォーマンス

かなり高度な用途の中でも、適当な組合せをきめるような問題、もしくは数値計算のための仲介のような用途

には有効に使用できるであろう。しかし、機械に対する要求がそれ以上になり、工夫力を要する問題を解かせるレベルに入ると急に困難さが増すと考えられる。

## 7. あとがき

CRT ディスプレイのハードウェアを中心として述べた。ディスプレイについて、多数のターミナルを含んだディスプレイ・システムとこれを動かすソフトウェア・システムなどきわめて重要なことにふれられなかったのは残念である。ディスプレイ・システムは今後計算機についてのもっとも重要な問題の一つであり、その装置は将来の社会のあらゆる面で活用されることは間違いない。

しかし、キャラクタ・ディスプレイとことなりグラフィック・ディスプレイは、人間の持つ直観力、創造性と機械のもつ正確さ、高速の数値情報処理能力、大容量の数値的記憶力を円滑に結合して大きな能力を発揮させるシステムと一般に言われているが具体的に高いレベルの能力を発揮させるためには多くの研究が必要と思われる。

(1971年10月16日受理)

## 参考文献

- 1) M. R. Davis, et al., The RAND tablet: A man-machine communication device, FJCC 1964, 343-350.
- 2) M. H. Lewin, An introduction to computer graphic terminals, Proc. of IEEE, Vol. 55, No. 9, 1967.
- 3) C. Machover, Graphic CRT terminals; Commercially available Equipment, FJCC 1967, 149-159.
- 4) L. Callenson, A graphic tablet display console for use under time-sharing, FJCC 1967, 689-695.
- 5) Don Secret, et al. (edited by), Emerging concepts in computer graphics (1967 Univ. of Illinois Conference) BENJAMIN, 1968.
- 6) H. S. Rasmussen, Principles of computer-driven CRT display, Univ. of Michigan Engineering Summer Conference, July, 1968.
- 7) T. H. Myer and I. E. Sutherland, On the design of display processors, Communications of the ACM, vol. 11, No. 6, June, 1968.
- 8) Samuel Davis, Computer Data Display, Prentice-Hall Inc., 1969.
- 9) 小林功武, 白石滋美, 山口楠雄, 山崎利治, 日本ユニバック総合研究所 コンピュータ・グラフィックス・セミナー資料(1969-11).