

神経回路モデルシミュレーション用デジタル走査型 画像入出力装置†

三宅 誠†† 福島 邦彦††

神経回路モデルの反応を効率的に表示することを目的として、順次走査とランダム走査を混用でき、文字表示に対しても専用の走査機構を有する高解像度で多階調の画像入出力装置を製作した。本装置は、小型計算機からの信号に応じて表示画像をカメラで自動的に写真撮影する機構を備えている。画像入力装置として本装置を使用する場合は、FSS (Flying Spot Scanner) 機能によってスライドの一般画像を計算機データとして取り込むことができる。また、以上のような機能を FORTRAN を使って容易にプログラム化できるよう支援するためのサブルーチンライブラリをあわせて開発した。既存の画像入出力装置では、順次走査とランダム走査のいずれかの方式が採用されており、表示図形の種類によって得失が生ずるが、本装置では、線図形、面図形、文字といった図形の種類に応じて走査方式を使い分けられるので、プログラムの単純化や表示時間の短縮など、効率的な使用が可能となった。

1. はじめに

学習や記憶などの高次脳機能のメカニズムを探り、そのアルゴリズムを新しい情報処理装置の開発に応用してこうという立場から、近年、神経回路モデルによるパターン認識研究が盛んになりつつある¹⁾。

図1に神経回路モデルによる研究手法を示す。モデルの構成に際しては、生理学的に解明されている事実ではできるだけ忠実に取り入れる。しかし未知の部分に関しては、ときには大胆な仮説を立てながらモデルを組み立てていく。このようにして組み立てたモデルに種々の刺激パターンを与えた場合の反応を、計算機シミュレーションによって調べ、生物の脳と同じ反応を示すかどうかを確かめる。もし、モデルの反応特性が実際の脳と異なっているならば、モデルに不備などところがあると考えてモデルを修正していく。このようなプロセスを繰り返していけば、最終的には脳のメカニズムの解明につながると同時に、工学的にも、脳と同様の能力をもつ新しい情報処理方式の開発を促すものと期待される。

このような神経回路モデルによる研究において、計算機シミュレーションは、実際の脳の反応とモデルの反応を比較するための一つの有効な手段であり、計算機シミュレーションでは、モデルの反応を視覚的にわかりやすく表現することを要求される。したがって、計算機に接続して使用する表示装置の設計にあたって

は、神経回路モデルの表現に適した機能を備えていなければならない。また、モデルに呈示する刺激パターンを作成する際には、一般画像を計算機にデータとして取り込むような画像入力機能も必要である。

そこで今回、神経回路モデルシミュレーションにおいて必要とされる機能を考慮し、高解像度で多階調の画像表示能力をもち、線図形、面図形、文字といった図形の種類に応じて走査方式を使い分けられることのできる画像入出力装置を製作した。本装置はまた、CRTに表示した画像を計算機からの信号に応じてカメラで自動的に写真撮影する機構も備えている。画像入力装置として本装置を使用する場合には、FSS (Flying Spot Scanner) 機能によってスライド上の一般画像を計算機にデータとして取り込むことができる。また、以上のような機能を FORTRAN を使って容易にプログラム化できるように支援するためのソフトウェアライブラリをあわせて開発した。本稿では、まず、神経回路モデルシミュレーションにおいて必要とされる画像入出力機能について検討する。次に、今回製作した装置のハードウェアとソフトウェアについて説明し、最後に実際のシミュレーションにおける具体的な使用例を紹介する。

2. 神経回路モデルシミュレーションにおける画像の入出力

神経回路モデルの計算機シミュレーションでは、モデル内の個々の細胞の反応を視覚的にわかりやすく表現しなければならない。一般に、神経回路モデルは図2に示すように、神経細胞層を多段に連結した形になっているものが多い。

† Picture I/O Equipment for Computer Simulation of Neural Network Models by SEI MIYAKE and KUNIHICO FUKUSHIMA (NHK Broadcasting Science Research Laboratories).

†† NHK 放送科学基礎研究所

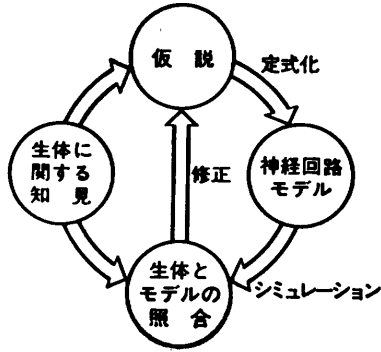


図 1 神経回路モデルによる研究の方法

Fig. 1 Schematic diagram for the synthesis of neural network models.

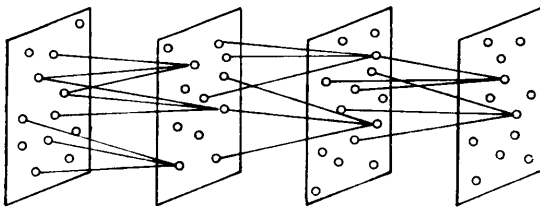


図 2 神経回路モデルの基本構造

Fig. 2 Basic structure of neural network models.

さて、このような多層回路内の全細胞の反応をまとめて観測するためには、各層内の個々の細胞の反応を二次元的に配列して表示すると都合がよい。また、このとき、各細胞の反応を1個の小さな光点に対応させて表示するよりは、ある程度の面積をもった画素に対応させて表示するほうが目で見たときに観測しやすい。ところで、個々の層内の細胞は、二次元的に整列して並べられることが多いので、画素の形状を正方形、あるいは長方形にしておくと、全細胞の反応を効率よくまとめて表示することができる。また、各層内の細胞の数はモデルによって異なるので、画素の大きさも任意に設定できることが望ましい。とくに、モデルの規模が大きく、構成要素たる細胞の数が多い場合には、1画面内に表示すべき画素の数も増えるので、表示装置の設計に際しては、できるだけ高い解像度が要求される。

ところで、実際の脳の神経細胞はパルス出力を出す。パルスの1個1個が意味をもつというよりは、むしろパルス密度に比例したアナログ値をとるものとする場合が多い。そこで、細胞の反応の表示に際しては、各細胞の出力を輝度に変換して表現するため、個々の細胞に対応する画素を輝度の異なる中間調でぬりつぶす。したがって、細胞の出力の微妙な差異を示すには、多階調の画像表示能力を要求される。また、二

次元的に整列して配置された細胞の反応を表現するには、局所的なぬりつぶしで得られた画素を順番に並べて表示するための順次走査をハードウェアで実現できることが望ましい。

しかしながら、一群の細胞が同一層に存在することを表す場合のように、複数個の画素を取り囲む「枠」のような線図形を描く際には、順次走査方式では無駄が多く、逐一指定した位置に光点を光らすことのできるランダム走査方式の使用が効率的である。また、モデル内の細胞層の名称などを文字で示す場合には、専用の文字走査機構を用意し、メモリの節約やプログラムの単純化を図れることが望ましい。

一方、神経回路モデルシミュレーションにおいて、モデルに呈示する刺激パターンを作成する際には、一般画像を計算機データとして取り込む機能を必要とする場合もある。

3. 画像入出力装置のハードウェア

3.1 装置の構成

神経回路モデルシミュレーションにおいて必要とされる機能を考慮し、1,024レベルの階調表示が可能で、X座標、Y座標それぞれ4,096光点の座標指定可能な画像入出力装置を製作した。走査方式としては、順次走査とランダム走査を混用することができ、文字表示に対しても専用の走査機構を有する。既存の画像入出力装置では、順次走査とランダム走査のいずれかの方式が採用されており²⁾、表示図形の種類によって得失が生ずるが、本装置では、線図形、面図形、文字といった図形の種類に応じて走査方式を使い分けられるので、プログラムの単純化や表示時間の短縮など、効率的な使用が可能となった。本装置は、図3に示すように、CRT、カメラ、ミラー、光電管などで構成される。出力画像は、写真撮影用CRT (CRT-1)と、モニタ用CRT (CRT-2)の両者に表示される。CRT-1としては、電磁偏向型のブラウン管を採用している。一般に、電磁偏向型のブラウン管は静電偏向型のブラウン管に比べて偏向精度が優れ、とくに、大きな画像を表示する場合の周辺における焦点のボケが小さい³⁾。CRT-1の画像は、ミラーの切換えによって、35mmスティルカメラ(自動コマ送り機構付)でもポラロイドカメラでも撮影することができる。また、16mm映画カメラを35mmスティルカメラと交換して装てんし、使用することも可能である。なお、画像を自動的に撮影するための計算機との信号の授受は入出力レジ

加わることによって制御される。アンブランキングパルスの振幅は常に一定で、その時間幅は 10 ビットの Z 信号によって制御され、0 から $5 \mu\text{sec}$ まで、 5 nsec ($5 \mu\text{sec} \times 2^{-10}$) ごとのステップで任意の値を取ることができる。したがって、CRT のバイアス電圧を変えて輝度調整を行っても、Z 信号と光点の輝度との間には、CRT のガンマ特性の影響を受けることなく、ほぼ直線的な関係が成り立つ。なお、CRT-1 は、光点位置の偏向電圧が定常値に落ち着くのに $5 \mu\text{sec}$ を要する。したがって、その後、パルス幅変調の形で最大 $5 \mu\text{sec}$ のアンブランキングパルスを加えて CRT の 1 光点を表示するには、合計で約 $10 \mu\text{sec}$ の時間を必要とする。

3.3.1 ローカル走査による画素の形成

本装置では、画像の走査モードとして、順次走査モードとランダム走査モード、および文字表示専用のビットワイズモードの 3 種類の走査モードを設け、描く図形の種類に応じて走査方式の選択を可能にしている。また、任意の形と大きさの長方形画素を形成するため、あたかも小ラスタを描くように光点を局所的に動かす機構を備えている。このように、光点を局所的に順番に並べて一つの画素を表示することを「ローカル走査」と呼ぶことにする (図 5)。ローカル走査の開始点、ステップ、終止点は、計算機からの信号によって任意の値に設定できるので、画素を任意の大きさと形状の長方形にすることが可能である。なお、1 個の画素を構成する光点は、すべて同一の輝度 (Z 信号で指定した値) で光らせる。ただし、ビットワイズモードでは、ローカル走査を行うにあたって、各光点を光らせるか否かを転送データの各ビットの値で制御する機構を備えている。したがって、画素に相当する小図形内のすべての光点が光るわけではない。

3.3.2 順次走査モード

順次走査モードでは、図 5 に示すように、ローカル

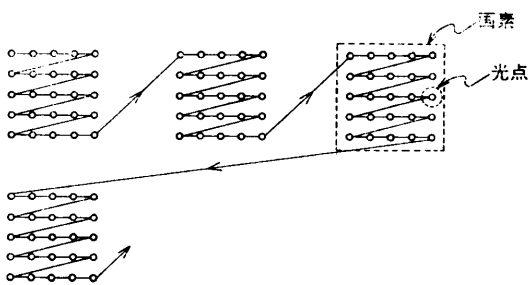


図 5 順次走査モードにおける光点の走査順序
Fig. 5 Formation of picture elements in "sequential scanning mode".

走査で形成した画素を順番に並べて表示する。したがって、神経回路モデル内の細胞に対応して二次元的に整列して配置された多数の画素をそれぞれ異なった輝度でぬりつぶすような表示には最適の走査モードである。このような画素を単位にした順次走査を、ローカル走査に対して「グローバル走査」と呼ぶことにすると、グローバル走査の開始点、ステップ、終止点の指定の仕方によって、隣り合った画素の間に間隙を置くことも、互いに密着して表示することも可能である。もちろん、一つの画素を 1 光点だけで構成することも可能である。

光点位置の偏向の制御は、図 4 に示すように、ローカル走査を制御する回路 L_x, L_y と、グローバル走査を制御する回路 G_x, G_y の四つの回路を連動させることによって行う。ただし、順次走査モードでは、図 4 におけるスイッチ S が「閉」、スイッチ P が「開」の状態になっている。なお、後述するランダム走査モードでは、これとは逆に、スイッチ S が「開」で、スイッチ P が「閉」の状態にある。ここで、各走査制御回路の動作を図 6 に従って概観する。ただし、図 6 には、X 軸の偏向制御に関わる回路、 L_x と G_x における信号の流れだけを抜き出して描いてある。

まず、計算機からの制御に従って、ローカル走査の開始点 X_{Li}, Y_{Li} , ステップ X_{Ls}, Y_{Ls} , 終止点 X_{Ll}, Y_{Ll} , グローバル走査の開始点 X_{Gi}, Y_{Gi} , ステップ X_{Gs}, Y_{Gs} , 終止点 X_{Gl}, Y_{Gl} の計 12 個の値が各専用レジスタにセットされる。回路 L_x では、初期化信号

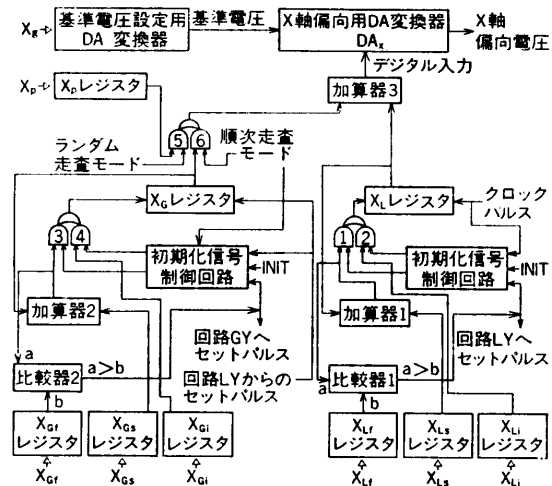


図 6 X 軸の偏向制御に関わる信号の流れ
(\rightarrow は、計算機からの制御信号を表す)

Fig. 6 Signal flow in horizontal deflection control.
(\rightarrow : signal from computer)

制御回路からの信号により、AND ゲート1がブロックされ、 X_{Li} レジスタの内容が AND ゲート2を介してそのまま X_L レジスタにセットされる。同様にして、回路 G_x では、 X_{Gi} レジスタの内容がそのまま X_G レジスタに保持されるので、 X_L レジスタと X_G レジスタの内容を加算した出力が DA 変換器 DA_x に送られる。すなわち、指定した走査開始点の X 座標が DA 変換され、その出力電圧が X 軸偏向回路に加わる。このような初期動作は、回路 L_r , G_r においても行われ、開始点の Y 座標に相当する出力電圧を得る。

これで、回路 L_x は初期状態を脱するので、AND ゲート1のブロックは解除され、逆に、AND ゲート2がブロックされる。そこで、ステップ値 X_{Li} が順次 X_L レジスタの内容に加算され、その値が再び X_L レジスタにセットされるという動作を繰り返す。しかしながら、加算が行われるごとに X_L レジスタの内容は終止点 X_{Lr} の値と比較され、 X_{Lr} の値を超えた時点で回路 L_r にセットパルスが送られ、 Y_L レジスタの内容がステップ値 Y_{Li} 分だけが増量される。回路 L_r においてもステップの増量が繰り返されるが、 Y_L レジスタの内容が終止点 Y_{Lr} の値を超えた時点で、 X 軸グローバル走査制御回路 G_x にセットパルスが送られる。このようにして、1回目のローカル走査が終了し、画素が1個表示される。

次に、1回目のローカル走査の終了と同時に、回路 G_x にセットパルスが送られるので、 X 軸グローバルステップの増量が1回行われる。すなわち、すでに X_G レジスタに保持されている開始点の値にステップ値 X_{Gi} が加算され、その値があらためて X_G レジスタにセットされる。ここで、回路 L_x , L_r は再び初期状態に戻り、ローカル走査をもう一度繰り返す。このとき、すでに、 X_G レジスタの内容は、グローバル開始点から1グローバルステップだけ増加した値になっているので、1グローバルステップだけ水平方向にずれた位置に2番目の画素が描かれる。

グローバル走査についても、ローカル走査の場合と同様に、ステップ増量と、終止点との比較という動作が繰り返され、最終的に、 Y_G レジスタの内容が Y 軸のグローバル終止点を超えた時点ですべての表示動作が終了する。

3.3.3 ランダム走査モード

ランダム走査モードでは、図4のスイッチ P が“閉”、S が“開”の状態にある。すなわち、グローバ

ル開始点の位置 X_P, Y_P をカウンタからの制御ではなく、計算機からの信号によって逐一指定する。ただし、個々の画素は、順次走査モードの場合と同様、ローカル走査によって描かれる。

このように、本装置のランダム走査は、通常いわれているランダム走査とは多少異なり、 X_P, Y_P で指定した位置に、ローカル走査によってある面積をもった長方形の画素を描くための走査方式である。しかしながら、とくに、ローカル走査の大きさを 1×1 に指定した場合には、 X_P, Y_P で指定された位置に光点が1個光るだけとなり、いわゆるランダム走査に対応する走査が行われることになる。

ランダム走査モードでは、1個の画素を表示するとともに、 X_P, Y_P, Z の合計3個の値を逐一送り出さねばならないが、同じ値を繰り返して使用する場合のために、とくに新しい指定を行わない限り、以前に指定した値が保持されるようにしている。したがって、値の変わらないものについては、とくに指定を繰り返す必要はない。

画素の形と位置をランダムに選ぶことのできるランダム走査モードは、太い線を描いたり、あるいは、神経細胞層の反応表示において、出力を出している細胞（つまり、光らせるべき画素）がまばらにしか存在しない場合の表示などに有効である。

3.3.4 ビットワイズモード

ビットワイズモードは、文字表示を手軽に行えることを目的とした走査モードである。文字を順次走査やランダム走査で描くことはもちろん可能である。しかし、たとえばランダム走査の場合、画素の位置を指定するための X_P, Y_P それぞれについて各12ビットの情報を必要とするので、一つの文字の表示のためになり多くのビットデータを転送せねばならない。このような事態を避け、簡便に文字表示を行うためにビットワイズモードを設けている。

本モードでは、ローカル走査を行うにあたって、各光点を光らせるか否かを、転送データの各ビットの値に従って制御する。実際には、1回の水平ローカル走査における光点の表示可否情報として転送データの1語ずつを割りあて、上位13ビットを使用する。データ中のセットされているビットに対応する光点は、あらかじめ Z 信号で定めておいた輝度で光り、セットされていないビットに対応する光点は光らない。このようなデータを複数個転送し、ローカル走査して得られた光点の集りを文字パターンのドットマトリクスに

対応させて表示する。したがって、ドットマトリクスの水平方向のドット数は 13 以下に制限される。しかし、転送するデータの数にはとくに制限を設けていないので、たとえば、縦長の文字を表示することも可能である。また、太い線の大きな文字を表示するには、グローバル走査のステップをローカル走査のステップより小さな適当な値に設定し、ローカル走査をシフトさせながら重ね書きする。このようにすれば、文字の 1 ドットを複数の光点に対応させて表示することが可能である。

3.3.5 偏向系の利得制御

1 フレームの画素の数は、計算機からの偏向用デジタル信号で制御されるので、偏向用の DA 変換器の出力をそのまま CRT の偏向回路に加えたのでは、画素数の変更によって画像の大きさが変わってしまう。これを補正するために、図 4 に示す偏向用 DA 変換器の基準電圧を計算機からの信号 X_0 , Y_0 によって制御できるようにしている。すなわち、必要な画像の大きさに応じて X_0 , Y_0 を定める適当なプログラムを用意すれば、画素の数を変更しても表示画像の大きさは変わらないようにすることができる。

3.3.6 走査速度

ここで、1 フレームの走査に要する時間について述べる。たとえば、 1×1 個の光点で構成される画素を、 80×80 個表示する場合には、 $80 \times 80 \times 10 \mu\text{sec} = 64$

msec (約 16 フレーム/sec) の時間が必要である。一方、 10×10 個の光点をローカル走査して得られた画素を 80×80 個表示する場合には、 $80 \times 80 \times 10 \times 10 \mu\text{sec} = 6.4 \text{ sec}$ かかることになる。したがって、CRT 上の画像を直接目で観測する場合には、通常、1 個の画素を 1×1 光点のローカル走査で表示し、フレームの繰返し速度を増して使用する。一方、写真撮影を行う場合には、直接目で観測する場合と異なり、表示時間のかかることがそれほど問題にならないので、一つの画素を構成する数を多くして画像表示を行うことができる。

また、写真撮影の際には、表示時間を短くすることよりむしろ画像の安定性を要求される。とくに、光点から光点に飛ぶ距離が大きい場合などは、光点位置の偏向電圧が定常値に落ち着くまでの時間を十分にとることが、画像の安定度を増すうえで効果的である。そこで、偏向電圧が定常値に落ち着くのに、通常の $5 \mu\text{sec}$ の 2 倍の $10 \mu\text{sec}$ を見込むような表示も可能にしている。この場合も、アンブランキングパルスの時間幅は最大 $5 \mu\text{sec}$ であるので、1 光点の表示を終えるのに約 $15 \mu\text{sec}$ を必要とする。このように、1 光点を約 $15 \mu\text{sec}$ で表示する走査モードを「低速走査モード」と呼び、これに対して、1 光点を約 $10 \mu\text{sec}$ で表示する走査モードを「高速走査モード」と呼ぶ。

表 1 画像入出力制御のためのサブルーチンライブラリ
Table 1 Subroutine library for FORTRAN language program.

| 項目 | サブルーチン 名称 | 機能概略 |
|----|--------------|--------------------------------------------|
| 1 | SINIT | ライブラリの初期設定を行う |
| 2 | SMODG | X および Y 軸のグローバル走査の開始点, ステップ量, 終止点を指示する |
| 3 | SMODGX | X 軸について, グローバル走査の開始点, ステップ量, 終止点を指示する |
| 4 | SMODGY | Y 軸について, グローバル走査の開始点, ステップ量, 終止点を指示する |
| 5 | SMODGS | X および Y 軸について, グローバル走査のステップ量を指示する |
| 6 | SMODL | X および Y 軸について, ローカル走査の開始点, ステップ量, 終止点を指示する |
| 7 | SGAIN | 基準電圧設定用 DA 変換器の入力信号の値を指示する |
| 8 | SPOINT | ランダム走査モードでの座標点のセットを行う |
| 9 | SLINE | ランダム走査モードにて指定の方向に直線を引く |
| 10 | SLOT | ランダム走査モードにて任意の方向に画素位置を進める |
| 11 | SFRAME | 枠を描くためのデータを作成する |
| 12 | SARROW | 矢印を描くためのデータを作成する |
| 13 | SPOUT | ランダム走査モードのデータを表示する |
| 14 | SSOUT | 順次走査モードのデータを表示する |
| 15 | SSMBLL | ビットワイズモードでアスキーデータを表示する (文字の左上が原点) |
| 16 | SSMBLR | ビットワイズモードでアスキーデータを表示する (文字の右上が原点) |
| 17 | SCIN | 入出力レジスタの上位 8 ビットの読み込みを行う |
| 18 | SCOUT | 入出力レジスタの下位 8 ビットの書き込みを行う |
| 19 | SSPEED | 高速走査モードと低速走査モードの切換えを行う |

3.4 AD 変換部

本装置を FSS として画像入力に使用する際には、CRT-1 には無変調のラスタを出す。このラスタの像を、ミラーを切り換えてスライド上に結像させ、その透過光を光電管で受け、AD 変換して計算機に取り込む。AD 変換器は 12 ビットのものを使用しているので、デジタル出力は計算機のレジスタ (16 ビット) の上位 12 ビットに格納される。

画像入力動作の場合も、出力動作の場合と同様に、光点位置の偏向電圧が定常値に落ち着くのに $5 \mu\text{sec}$ ばかり、その後、Z 信号で制御されたアンブランクン

グパルスが加わって CRT の一つの光点が光る。積分回路では、アンブランクンパルスの加わっている間、光電管の出力を積分する。次に、この積分したアナログ出力をサンプルホールドして AD 変換を行い、デジタル出力を計算機に送る。

4. ソフトウェアライブラリ

本装置と計算機間の信号の授受は、おもに DMA (Direct Memory Access) 転送によって行われるが、データ転送に必要な各種レジスタの制御を FORT-RAN を使ってプログラム化するのに便利なサブルー

| | |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| CALL SINIT (IBUF, 14, IERR) | 初期設定を行なう |
| CALL SCOUT ('1' O, IERR) | ディスプレイロックとする |
| CALL SCOUT ('3' O, IERR) | シャッターを開く |
| 10 CALL SCIN (IN, IERR) | |
| IF (IN.NE. '403' O) GO TO 10 | シャッター開放のチェックを行なう |
| CALL SMODL (ILXI, ILYI, ILXS, ILYS, ILXF, ILYF, IERR) | ローカル・パラメータをセットする |
| CALL SMODG (IGXI, IGYI, IGXS, IGYs, IGXF, IGYF, IERR) | グローバル・パラメータをセットする |
| CALL SGAIN (IAX, IAY, IERR) | 基準電圧をセットする |
| CALL SSOUT (0, IU0, 19*19, IERR) | 順次走査で IU0 (19, 19) の Z データを表示する |
| CALL SFRAME (0, 0, IL, IL, -1, -1, -1, -1, 5000, IFR, IFR0, 1, IERR) | 枠データを作成する |
| CALL SPOUT (IX, IY, IFR, IFR0, ILENG, 1023, IERR) | 枠を表示する (ランダム走査) |
| CALL SSMBLL (IX, IY, 100, 0, INUM, IERR) | 文字を表示する (ビットワイズ走査) |
| CALL SCOUT ('1' O, IERR) | シャッターを閉じてコマ送りする |
| CALL SCOUT ('0' O, IERR) | ディスプレイロックとする |

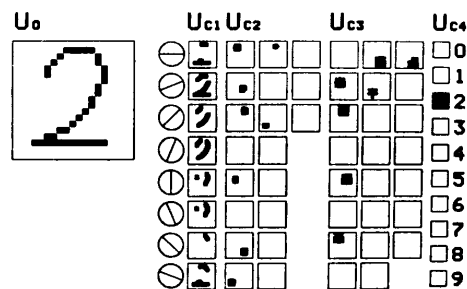


図 7 シミュレーションプログラムと表示画像の一例⁴⁾

Fig. 7 An example of picture display in computer simulation.

チンライブラリを開発した。このライブラリには、データ転送の制御、走査モードの指定、入出力レジスタの制御などを行う基本サブルーチンだけでなく、神経回路モデルの反応表示に多用される枠、矢印、文字などの図形データを作成するサブルーチンが設けられている。表1に、今回開発したサブルーチンライブラリの概要を示す。

図7には、神経回路モデルシミュレーションプログラムの一例と、そのプログラムを実行して得られた表示画像を示す。ただし、ここでは、シミュレーションプログラムのうち、本装置の制御に関わる部分だけを抜き出して示しており、16mm映画フィルムのコマ撮りを行うのに必要な制御プログラムも書き加えてある。なお、このモデル⁴⁾を構成する細胞の数は、 U_0 層で $19 \times 19 \times 1$ 、 U_1 層で $21 \times 21 \times 8$ 、 U_2 層で $13 \times 13 \times 19$ 、 U_3 層で $7 \times 7 \times 23$ 、 U_4 で $1 \times 1 \times 10$ である。また、整列して配置された細胞の反応は順次走査で、枠はランダム走査で、文字はビットワイズ走査で描かれている。

5. おわりに

本装置では、順次走査とランダム走査を混用でき、文字表示に対しても専用の走査方式を使えるので、線図形、面図形、繰返し図形、文字といった図形の種

類に応じて走査方法を選ぶことができる。その結果、プログラム構造の単純化、メモリの節約、表示時間の短縮など、効率的使用が可能となった。また、各種カメラによる自動撮影機構によって、表示画像のハードコピーが手軽に得られるようになった。今後の課題としては、利用実績をふまえたソフトウェアの改良などがある。

謝辞 本装置の製作にご協力いただいたアドバンストシステムズ株式会社、斉藤正祐氏、西村俊彦氏と、ライブラリの作成にご協力いただいた芙蓉情報センター株式会社、中沢聖一氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 福島：神経回路と自己組織化，共立出版，東京（1979）。
- 2) イメージプロセッシング研究委員会：イメージプロセッシング研究委員会報告，情報処理，Vol. 16, No. 8, pp. 720-736 (1975)。
- 3) 大岡：ディスプレイ装置，情報処理，Vol. 6, No. 6, pp. 323-328 (1965)。
- 4) 福島，三宅，伊藤：ネオコグニトロン¹⁾の原理を用いた数字パターン認識，信学論，Vol. J 66-D, No. 2, pp. 206-213 (1983)。

(昭和58年5月26日受付)

(昭和58年11月15日採録)