

U.D.C. 681.3.02:612.881:612.883:159.935:159.983.253

## 多点同時刺激装置の開発

谷江和雄\*・舘 暲\*・谷 和男\*\*・前田祐司\*\*  
大野武房\*\*・藤川昭雄\*\*・阿部 稔\*\*

### Development of a Multi-channel Simultaneous Stimulator

by Kazuo TANIE, Susumu TACHI, Kazuo TANI, Yuji MAEDA,  
Takefusa OHNO, Akio FUJIKAWA & Minoru ABE

The authors have developed a multi-channel simultaneous stimulator for applications to the studies on cutaneous communication.

This system consists of a digital computer (PDP 11/40), a pulse parameter control unit, output circuits and various options such as small speakers for vibro-tactile stimulation, and isolators and skin electrodes for electrocutaneous stimulation, and it can be equipped with maximally 256 output channels. Each channel generates an independent pulse signal. Its parameters, namely, height, width and frequency, which correspond to the informative dimensions of stimuli, can be arbitrarily set by computer program. The maximum speed in refreshing the parameters is 1600 frames/s when the direct memory access (DMA) mode is used.

This paper deals with the design philosophy and functions of the multi-channel simultaneous stimulator, and presents an experimental example (the measurement of frequency discrimination) to demonstrate the effectiveness of the system.

### 1. ま え が き

何らかの理由で感覚を欠損した人のための代用感覚としての利用,あるいは複雑な人間・機械系における情報フィードバックチャンネルの拡大などを意図して,皮膚感覚を人間への情報伝達入力チャンネルとして積極的に利用しようとする試みがある<sup>1)~6)</sup>.この種の研究は,盲人のための点字に関する研究としては,比較的古くから行なわれているものであり,また何らかの動力を導入し,刺激ディスプレイを能動化しようとする試みとしても,1960年初頭の Gerdard の機械振動刺激に関する研究<sup>7)</sup>にまでさかのぼることができる.

\* システム部バイオメカニクス課

\*\* 機械部メカニズム課

さて,このような皮膚感覚を利用した代システムを開発するに当たって,まず解決しなければならない問題点は二つある.その一つはデータとしての感覚量と物理量との関係にデータをいかに能率よく取得するかというある.すなわち,この種のデータの測定で統計的処理をとまなう心理学的測定法のため,多数の実験の繰返しが必要とされ,ってこれをいかに高速に能率よく処理する常に重要な問題となる.現在までに行なわれるこの種の実験では一般にマニュアル操作なう簡単な電子回路を使用した装置を用い場合が多く,そのために時間の制約などがデータの数も比較的少なく,単に聴覚に感感覚曲線の測定<sup>8)</sup>において十分な測定回数

見られるにすぎない。

もう一つの重要な問題点は、刺激提示速度の高速化をはかることである。代用感覚等に利用される刺激フィードバックシステムは、通常われわれが使用している視覚、聴覚、その他の代りをはたすものであるから、それ相応の応答速度を必要とすることはいうまでもないことである。物理量から感覚量への変換に時間を要するようなシステムは、日常の感覚処理動作のリアルタイム性を損うばかりでなく、本来皮膚感覚がもつ処理能力をも十分に生かすことができなくなるおそれがある。実際先に述べた Gerdard らの研究は、触覚ディスプレイ装置の情報伝達速度に限界があったため、単に皮膚感覚による情報認知の可能性を追究したにとどまっている。

以上のような問題点を解決する一つの方法として、刺激装置と電子計算機を結合したオンライン実験システムを構成することが考えられる。著者らは、このような観点から多点同時刺激装置なるものを開発した。これは計算機で最大256(16×16)個の刺激素子の任意の個数について、任意の周波数、パルス幅および振幅を持ったパルス波形で駆動できると同時に、適当なソフトウェアと組合せれば、テレタイプを介して提示刺激に対する人間の応答を計算機へ入力することにより、実験結果の統計的処理をも自動的に行なうことができるようにしたものである。このような装置はStanford 研究所(SRI)の研究<sup>9)</sup>に一例を見ることができ、著者らの装置はこれに比べ、独立に駆動し得る刺激チャンネル数が多く(SRIは144[ch])、また、刺激パラメータの変換に Direct Memory Access (DMA)を採用しているため、刺激パターンの提示速度も1600〔フレーム/s〕と、約8倍の高速性をそなえている(SRIは200フレーム/s)。

本稿では多点同時刺激装置の概要とそれを用いた若干の実験例について述べる。

## 2. 皮膚刺激方式

本論に入る前に、情報伝達手段となり得る皮膚刺激にはどのような種類のものがあるかを明らか

にしておく。

皮膚感覚には一般に温、冷、痛、触、圧覚の5種があるとされている<sup>10)</sup>。ある物理的刺激が、これらの感覚受容器を興奮させ得る能力をもつ刺激であるならば、それらは一応どれも、人間への情報伝達手段としての機能を有するものである。しかし、とくにこれを人間機械系の構成要素の一つとして利用する場合には、その系の特性を劣下させないようにするために、以下のような規準に従って刺激方式を選択することが必要である。すなわち、

- (1) 一定の物理的強度の刺激に対して感覚の強度が安定していること(順応現象などがおきないこと)。
- (2) 刺激に対する感覚の時定数が小さいこと。
- (3) 感覚のダイナミックレンジが広くとれること。
- (4) 不快感を与えないこと。
- (5) 刺激装置の製作が容易であること。

上記(1)は、皮膚感覚を介して正確に、生体へ情報を伝達するために必要な項目である。また、(2)は系の速応性に、(3)は系の制御の分解能に影響をおよぼす項目である。

皮膚受容器が反応する刺激の種類としては一般に、機械的、電氣的、化学的、熱的刺激などを考えることができる。これらの刺激形態に対し、上の(1)~(5)項目の規準を考慮すると、たとえば化学的、熱的刺激などは時定数が大きく、順応もおこしやすいため、規準(1)、(2)の点から情報伝達用皮膚刺激としては不適當である。強いてその用途を挙げれば、過大刺激としての痛覚刺激が、制御対象の異常を知らせる危険信号のようなものに利用できるくらいのもと思われる。またとくに化学的刺激などは、刺激装置設計の面からも非常に困難な点が多い。現在のところ、上述の規準に照らし、定性的な立場から情報伝達手段として一応最も適しているとされている刺激形態は、何らかの可動部をもつ装置により皮膚に力を作用させる機械刺激と、皮膚に電極を装着して直接電流を生体へ加える電氣刺激の二方式である。とくにそのうちでも、機械振動刺激と電氣的パルスによる刺激

がよいとされている。すなわち、機械的刺激においては静的圧力や時間的に非常にゆっくり変化する形式の刺激とすると、順応現象がおきやすく感覚が安定しないことが、また電気刺激では、直流、正弦波刺激などは一定の刺激に対して強度感覚が安定せず、痛みも比較的低レベルで起しやすいことなどが経験的に知られている。

以上のような現状を考慮し、多点同時刺激装置の基本的な仕様を決めるに当たって、使用する刺激方式として電気パルス刺激と機械振動刺激を想定した。機械振動刺激の場合には、何らかの加振機(たとえば小型スピーカ)に繰返し信号を加えることにより、皮膚を刺激するのが一般的である。この時の入力波形としては正弦波やパルス波などいくつかのものが考えられるが、電気刺激波形と共通にすることにより装置設計の簡略化をはかるため、一応パルス波を用いることを前提とした。

### 3. 皮膚刺激パラメータ

皮膚刺激に関する実験で主題とされる、物理量と感覚量の関係の決定という問題は、より詳細に言えば、皮膚刺激を構成しているパラメータとそれに対して人間が持つ感覚との関係を明らかにすることである。たとえば、皮膚刺激を構成するパラメータが  $n_1, n_2, \dots, n_p$  の  $p$  種あるとし、これらを独立に変化させた時にそれぞれに対しすべて人間が異なる感覚を持つならば、 $p$  種の独立の情報を皮膚を介して人間に送り込むことができると考えられる。このようなパラメータは皮膚刺激の情報次元と呼ばれる。情報次元の数は皮膚刺激パラメータの数と常に対応するわけではない。すなわち、一般に  $p$  種のパラメータに対し、そのうちのいくつかのパラメータを人間に同一の感覚を持たせつつある関係を保ちながら変化させることが可能な場合がある。このような時は情報次元の数はパラメータの数  $p$  よりも少なくなる。多点同時刺激装置では、当然この情報次元に相当する刺激パラメータの変更が容易に行なえるものでなければならない。しかし一般に情報次元と刺激パラメータとの対応は明確ではなく、いくつかの実験を経て明らかになる場合が多い。したがって装置設計

の段階では、情報次元の候補となるべきパラメータをすべて変更可能としておくことが必要である。このようなパラメータは想定している刺激波形の形状から容易にもとめることができる。すなわち、すでに述べた如く著者らが想定している刺激波形はパルスであるから、図1に示すごとく、その構成するパラメータはパルス高、パルス間隔(1/周波数)、パルス幅、パルス列提示時間である。これらは一応刺激の情報次元の候補になると考えることができる。また複数刺激の場合にはさらに、独立に制御できる刺激素子の個数、すなわち空間的拡がりもパラメータの一つに加えることができる。本多点同時刺激装置ではパラメータを一応これら5種に限定し、これをハードウェアの制約範囲内で任意に変更できるように設計を行っている。

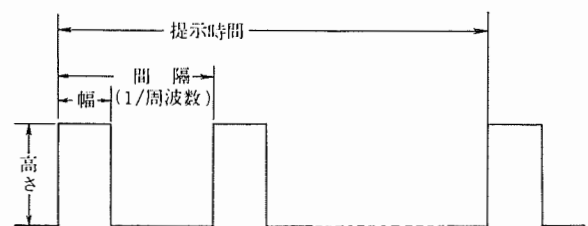


図1 パルス波形のパラメータ

### 4. システム構成

本システムはすでに述べたことから明らかなように、一種のパルス発生器である。システム全体は、電子計算機、波形制御装置、出力回路、それに実験の種類に応じて適当に接続されるオプション(電気刺激の場合はアイソレータと電極、機械振動刺激の場合はスピーカなどの振動子)からなっている。出力としては最大  $16 \times 16$  (256) チャンネルを持っており、各チャンネルに対して LEVEL レジスタ、WIDTH レジスタ、FORCED PATTERN レジスタが割り当てられている。これらの内容を変更することにより出力パルス波形の電圧レベル、幅および出力マスクを任意に設定することができる。計算機からこの各レジスタへのデータ転送は通常のプロプログラムモードとともに、リアルタイムでの皮膚刺激フィードバックシステム

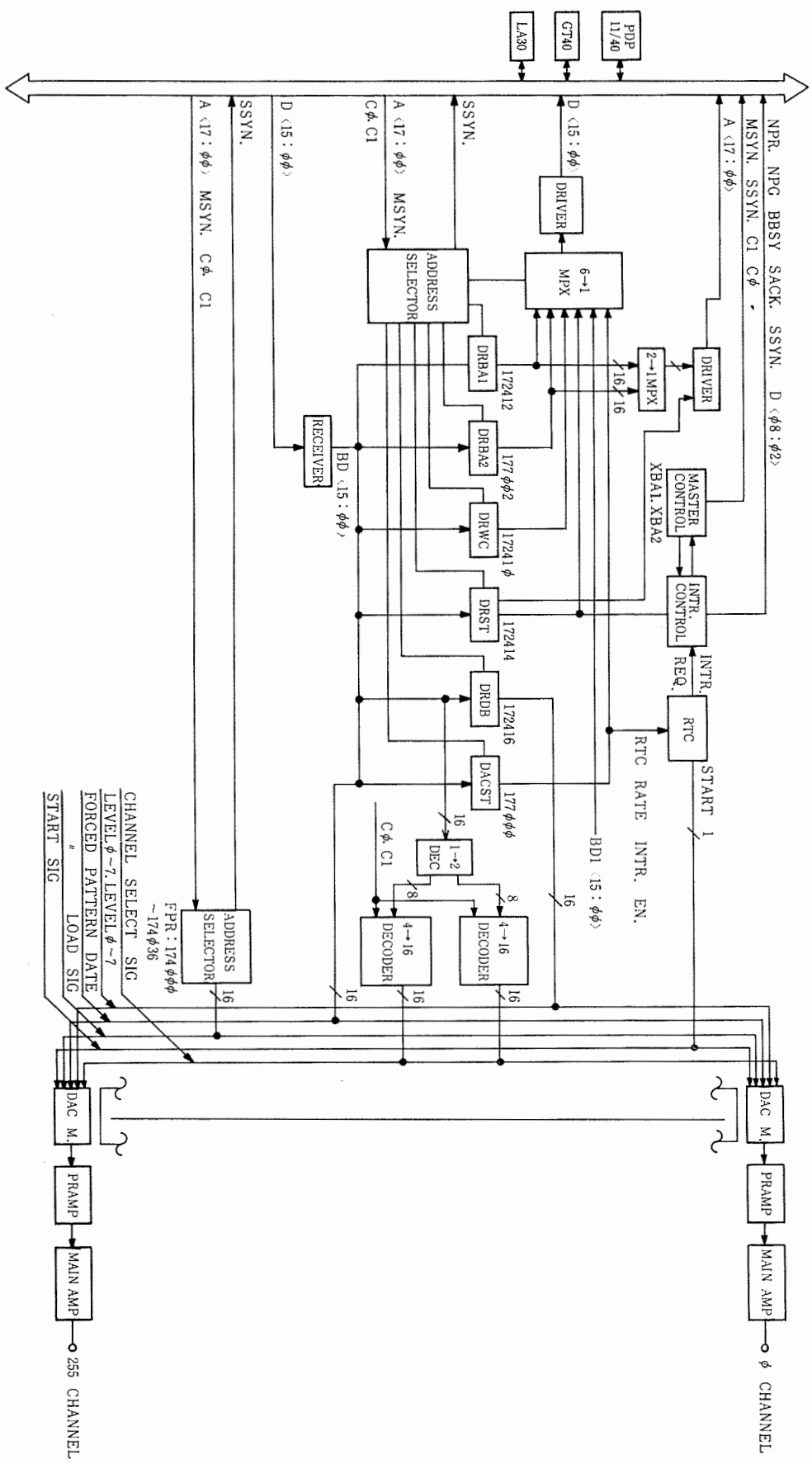


図2 システム全体のブロック図

一点同時刺激装置の開発一

への適用も考慮し、DMA モードでも行なうことができるように設計されている。図2に全システムのブロック図を示す。

#### 4.1 電子計算機

本研究で使用している計算機はDEC社製PDP 11/40である。この計算機は1[W]=16[bits]、コアメモリ24[kW]、サイクルタイム0.9[μs]であり、周辺装置としてディスク(2.4[MB])2台、グラフィックディスプレイ(VR14L)、DECライタ(LA 30)などを備えている。

この計算機のハードウェア上の特徴は、システム内部のコミュニケーションをユニバスと呼ばれる単一化された高速データバスで行なっていることである。これによって、計算機本体を含めたすべてのシステム要素は、まったく同一形式でコミュニケーションをすることが可能であり、たとえばメモリ間のデータの転送も一命令で実行することができる。

ユニバスは、56本の双方向性をもつ信号ラインから構成されるものである<sup>11)</sup>。計算機を含むシステム要素はユニバスの必要なラインに適当なレシーバ、ドライバ回路を介して接続されている。ここで対象としている刺激装置も、ユニバスに直結された汎用DMAインタフェースモジュールDR 11Bによりコントロールされる。

#### 4.2 波形制御装置

波形制御装置の基本構成を図3に示す。256[ch]の各モジュールはこの図に示すように8[bits]のLEVELレジスタ(1),(2)(以後LR(1),(2)と呼ぶ)、WIDTHレジスタ(以後WRと呼ぶ)、UP-DOWNカウンタ、DA変換器をそなえている。ここでDA変換器はいうまでもなく、入力8[bits]のデジタル信号をそれに対応するアナログ信号に変換するものである。デジタル信号000<sub>8</sub>\*はアナログ信号の0[V]、377<sub>8</sub>は10[V]に対応する。LRは出力のレベル信号を蓄えるレジスタであり、またWRは出力の幅の情報を蓄えるものである。以下にこれらレジスタにパラメータを設定する際の信号の伝達過程を述べる。図3におい

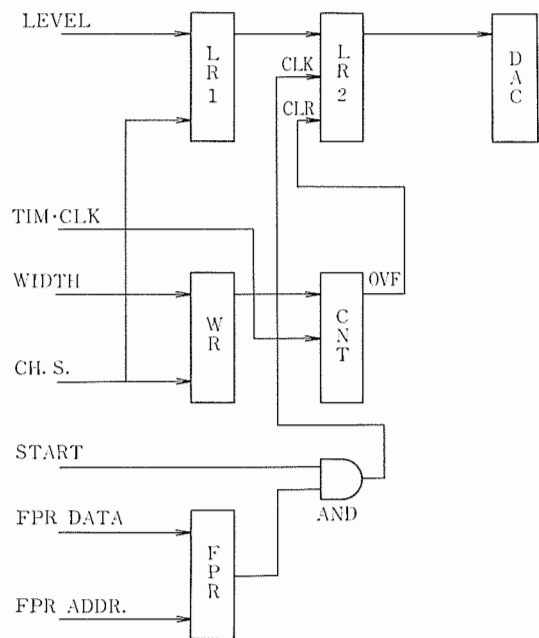


図3 波形制御装置の基本構成

て、まず計算機からユニバスを介して1[W]データとして送られてくるパルス出力の高さおよび幅に関するデータは、バスレシーバを介してユニバス直結汎用DMAインタフェースDR11Bのデータバッファレジスタに格納される。このデータはさらに、それが1[W]データであることをバス上のコントロールビットC0, C1により判定した後<sup>11)</sup>、その上位8[bits]をWR、下位8[bits]をLR(1)へ転送する。WR, LR(1)へ格納されたデータはすぐには次のレジスタに出力されず、次にユニバスを通して転送されてくるデータに含まれているチャンネル指定信号によって指定チャンネルのレジスタへのみLR(1), WRの内容を書き込む。このチャンネル指定信号を送る際は、そのデータ長をパルス高、幅データの場合と異なりByte単位とするという規約を設けている。これによって、パルス高、幅データの場合同様バスコントロールビットC0, C1の内容からWordデータかByteデータかの判定を行なう。Byteデータの場合はこれをチャンネル指定データと解釈し、データバッファレジスタを通さず直接WR, LR(1)の出力にあるゲートを制御するためのデコーダへとデータを転送する。図3のCH. S.はこのデコーダ(8-256)の信号出力の1[bits]分を示すもので

\* 下の数字8で8進表示であることを示す。