

マイクロコンピュータを用いた生体インパルス 情報計測システム (その2)

勝部良次*・古賀和利**・三池秀敏***・蛭名良雄***

A Microcomputer System Computing Statistical Quantities from Intervals between Nerve Impulses with Different Heights (II)

Ryoji KATSUBE, Kazutoshi KOGA, Hidetoshi MIKE
and Yoshio EBINA

Abstract

Analysis of the multi-nerve impulses by means of electrophysiological method has become important to understand the parallel information processing in the nervous system. We have previously reported the multi-impulse analyzing system by using the microcomputer (MEK 6800 D-II) and additional electronic circuits. Impulses from two nerve cells or more were classified according to their amplitude. That was executed by machine language program. The system operated sufficiently to analyze the impulses recorded in nerve bundle from mechanoreceptors on the crayfish antennule.

However, there were a few problems in the system. The one was a slight time lag of the peak discriminator which detected the peak time of an impulse and triggered A-D converter. The other was flicker of real-time display caused by sequential time sharing between data input routine and display one. Those problems are improved in the present new system. The former is overcome by using the peak hold circuit in place of the peak discriminator, and the latter by introducing the interrupt technique when both impulse height and interspike interval are gotten into the microcomputer.

An additional microcomputer (CBM) which can execute BASIC program is connected with the previous one in order to supply the lack of programing flexibility on the machine language system. The connection between those two microcomputer consists of a control line and 8-bit bidirectional data bus. By using the only one control line, the program for data transfer is made as simple as possible. Then, the new system is made to reconcile processing speed in machine language system and flexibility in BASIC system. Furthermore, CBM 3032 have an input-output port based on the standard IEEE 488 bus. A X-Y plotter (WX 4671) is connected with this port through an interface circuit. All of the experimental result can be printed out by the plotter. The present multi-impulse analyzing system possesses sufficient accuracy and flexibility. The system can be used not only in our electrophysiological experiment but also in one of another nervous system.

1. ま え が き

種々の特徴を有した生体の神経系の情報伝達処理機能を解明しようとする試みが、生理学者を始め、工学、数学など、各種の分野の研究者によって、進められて

きた。なかでも、多数個の神経細胞間で行なわれる、多チャンネルインパルス列の並列的な処理は、工学的にも大きな興味もたれる。近年になって、電気生理学的立場からも、複数の神経細胞から誘導された、多チャンネルインパルス列の解析が試みられるようになってきた¹⁾²⁾。そこでは、この多チャンネルインパルス列の分離に、誘導されたインパルスの振幅とか、持続時間など、複数のパラメータを使用して、ソフト的に処理する手法がとられている。

我々が、ここで対象とするアメリカザリガニ第1触

* 大学院 電気工学科

** 工業短期大学部 情報処理工学科

*** 電気工学科

角内枝の感覚毛は、伝達様式の異なる2個の神経細胞に支配され、最も基本的な並列伝送系を構成している。各々の神経細胞の応答は、振幅の異なるインパルスとして観測される³⁾⁴⁾。

前回は、このインパルス振幅をパラメータとした、多チャンネルインパルス列の分離処理システムを、マイクロコンピュータを使用して作製し、良好な結果が得られたことを報告した⁵⁾。

その後、先のシステム化の時に残されていた、インパルス波高値を取り込むためのピーク検出回路出力の若干の遅れなどの問題点を解決し、さらに、汎用性のあるシステムに拡張するために Basic 言語の使用できるマイクロコンピュータ、及び、X-Y プロッタを新たに付加したので、処理例を含めここに報告する。

2. 分離処理システム

実験システムの全体の説明は、前回の報告により、詳細になされているので、ここでは省略する。今回は処理システム部において、インパルス振幅部の改良点及び、処理記録用に新たに付加した機器を中心に説明する。

2.1 処理システム部

まず、Fig. 1 に処理システム部のブロック図を示す。処理システムは、モトローラ社 MEK 6800 DII (以下 DMIC) とコモドル社 CBM 3032 の2台のマイクロコンピュータを中心に構成され、周辺機器を制御している。触角の神経線維束から細胞外誘導法によって導出されたインパルス列は、サンプリング回路 (SC) とピークホールド回路 (PHC) に2分され、それぞれに

入力される。サンプリング回路とパルスカウンタでは、このインパルス列の時間間隔を計測し、8 bit のデジタル値として DMIC に出力する。一方、ピークホールド回路と A/D 変換器では、各インパルスの波高値を 8 bit のデジタル値に変換して、DMIC に出力する。DMIC は、この2つのデータを取り込み、各記憶領域に格納する。データ処理には DMIC と CBM 3032 を使用して行ない、これによって得られた処理結果は、D/A 変換器を通して、オシロスコープ上に写し出したり、X-Y プロッタを用いて描かすことができる。

前回と今回の処理システムの違いは、まず、インパルス波高値の取り込みの回路として、ピーク検出器から、ピークホールド回路に改良した点である。前回のシステムでは、ピーク検出器を用いて、入力インパルスを微分して、そのゼロクロス時点でパルスが発生させ、A/D 変換器のクロックとして用いていた。この方法でも、一応の機能は満足されていたが、微分回路の出力に回路上の遅れ(約 50 μ sec)があり、正確なインパルス波高値のピーク位置を検出できないという問題が残されていた。今回、ピークホールド回路に改良し、この問題は解決され、精度の良いインパルス波高値が取り込めるようになった。次に、データ処理に、高速でしかも多種多様な処理を可能とする Basic 言語が使用できる CBM 3032 と、処理結果を自在に表示することができる X-Y プロッタを新たに付加したことである。以下、今回新しくなったピークホールド回路、CBM 3032、そして X-Y プロッタについて詳しく説明する。

2.2 ピークホールド回路

この回路によって、インパルス波高値のデータを

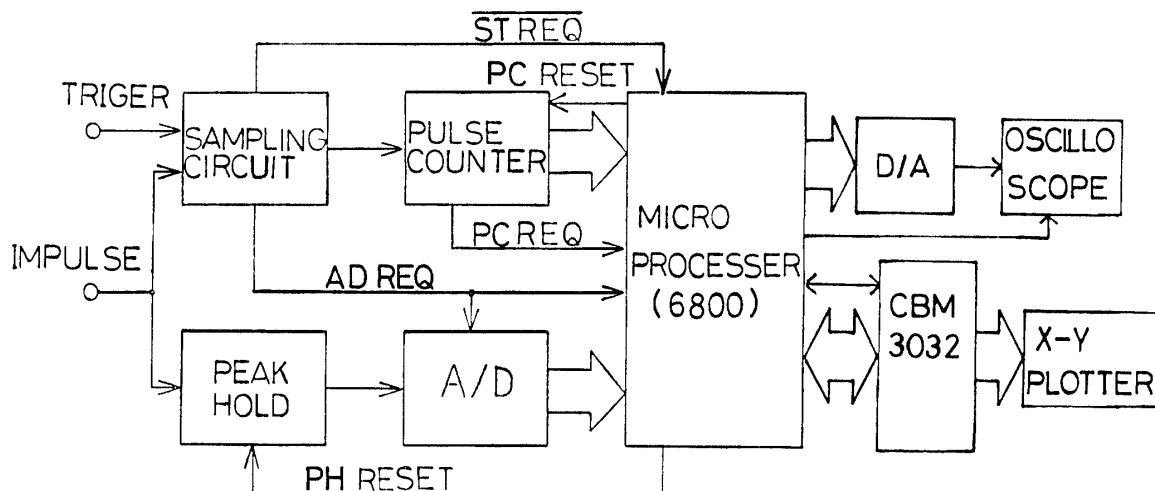


Fig. 1 Schematic block diagram of the multi-impulse analyzing system.

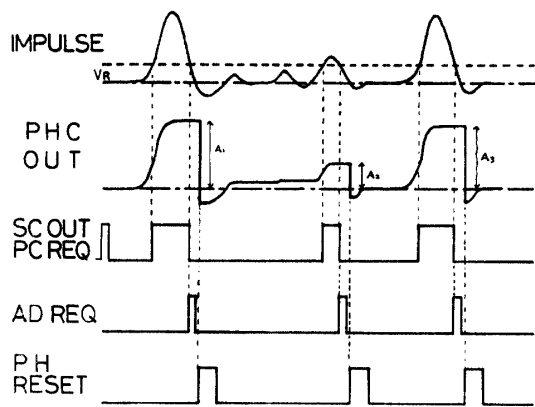


Fig. 2 Sequence of data input.

DMICに取り込む様子を示したタイミングチャートを Fig. 2 に示す。まず、ピークホールド回路は、刺激波形制御用マイクロコンピュータから送られてくる刺激開始トリガによってリセットされる。これより、この回路はインパルス波高値をホールドして行き、参照電圧 V_R 以上のインパルスがくると、その波高値ホールド時に PCREQ 信号の立ち下がりにかかる ADREQ 信号が、A/D 変換器の clock 端子と DMIC の CA_1 端子に加えられ、DMIC 内にインパルス波高値が取り込まれる。その後、DMIC の CB_2 端子から PHRESET 信号がピークホールド回路に加えられ、ホールドしていた波高値はリセットされる。したがって、結果的に、 V_R レベル以上のインパルス波高値 (A_1, A_2, A_3) のみが、選択的に A/D 変換され DMIC に取り込まれることになる。

2.3 DMIC と CBM 3032 間のインターフェース

DMIC と CBM 3032 の間の接続には、両者の I/O ポートとコントロール端子が使用されている。前回でも述べたが、DMIC は、周辺機器のインターフェース用の LSI (6820) を持ち、6820 は、2 つのポートと 4 つのコントロール端子を持っている。CBM 3032 との接続には、このうち B ポートと CB_1 端子が使われている。CBM 3032 は、周辺機器とのインターフェース用として入出力用 LSI (6522) を備えている。この 6522 には、6820 と同様に 2 つの 8 bit の双方向性ポートである A ポート、B ポートと、コントロール端子である CA_1, CA_2, CB_1, CB_2 が備わっている。このうち、DMIC との接続には、A ポートと CB_2 端子が使われている。このように、データ転送の制御が互いの 1 つの制御端子をつないだだけの変則的な 1 線式制御方式で可能な理由は、CBM 3032 のプログラムは Basic 言語で生まれ、DMIC は機械語で生まれているため、そ

の実行スピードが、DMIC の方が大幅に速い。このため、DMIC が常に CBM 3032 から送られてくる信号を待つ状態となるからである。つまり、Fig. 3 に示すように、CBM 3032 は、送信の場合、send 信号のみを、受信の場合、accept 信号だけを DMIC に送ればよい。この時のデータ送受信のタイミングを Fig. 4 に示す。

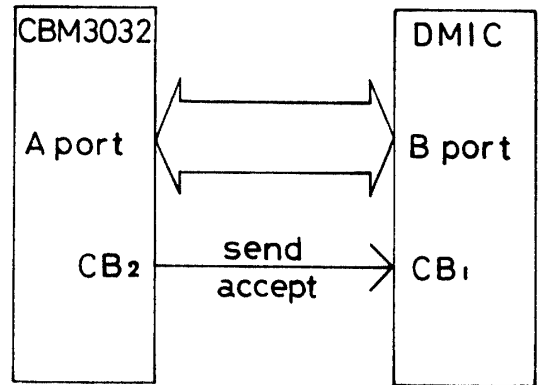


Fig. 3 Connection for data transfer between two microcomputer (CBM 3032 and MEK 6800 D-II). The connection consists of 8-bit bidirectional data bus and a control line. Only one unidirectional control signal (SEND or ACCEPT) is sent from CBM 3032 to MEK 6800 D-II for data transfer.

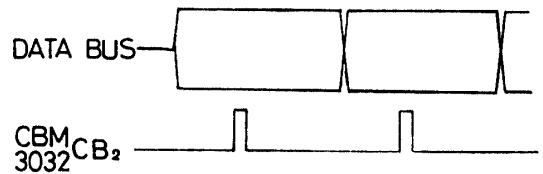


Fig. 4 Transfer bus sequence.

2.4 CBM 3032 と X-Y プロッタ間のインターフェース

X-Y プロッタには、渡辺測器のマイプロットを使用し、その制御に、CBM 3032 を使用した。この両機器の接続には、X-Y プロッタでは、 $DB_0 \sim DB_6$ の 7 bit 入力データ信号端子と、このデータの送受信をコントロールする STROBE 端子、BUSY 端子を使用している。また、CBM 3032 では、備えつけの IEEE-488 インターフェース⁶⁾⁷⁾ の 7 bit のデータ端子と、データの送受信をコントロールする \overline{ATN} 端子、 \overline{DVA} 端子、 \overline{NDAC} 端子、それに \overline{NRFD} 端子を使用した。そして、この両機器の端子間には、Fig. 5 の回路図に示すようなインターフェースを使用し、接続した。両機器間のデータの送受信の様子を Fig. 6 のタイミン

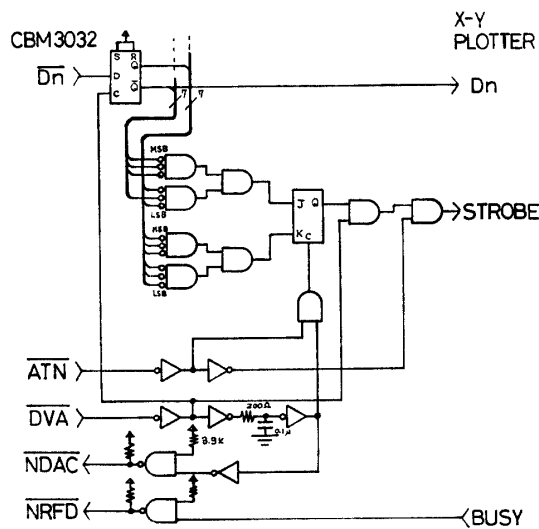


Fig. 5 X-Y plotter interface circuit. The control signals and 7-bit data from CBM 3032 based on IEEE 488 bus are converted to the desired format of the X-Y plotter in this circuit.

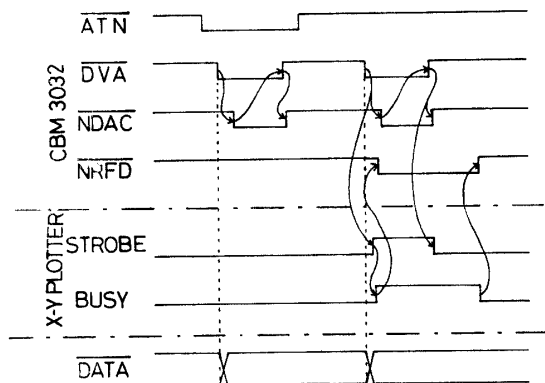


Fig. 6 Data transfer sequence between CBM 3032 and X-Y plotter.

グチャートに示す。ATN 信号は CBM 3032 からの出力データが、コマンドモード (“L” レベル時) なのか X-Y プロッタへのデータモード (“H” レベル時) なのかを判断させる役割をはたしている。コマンドモード時は、DVA 端子から send 信号が出力され、CR の遅延回路で遅延がかけられ、NDAC 端子にもどされる。この間に、CBM 3032 から送られてきたデバイス番号が、この機器のものか、デコーダによって判断し、もし、そうであれば、STROBE 信号のゲートの 1 つを開放する。データモードの時は、DVA 信号によって STROBE 端子へのゲートが開き、send 信号が、STROBE 端子に加えられる。これにより、X-Y プロッタは、送られてきたデータを入力し、動作を開始する。この X-Y プロッタ動作中には、BUSY 信号が出力され NRFD 端子に加えられる。CBM 3032

はこの信号が解除されるまで待期している*。このような動作をくり返し CBM 3032 は X-Y プロッタを制御している。

3. 処理方法と処理結果

処理には、DMIC を用いて行なうデータ取り込み処理と、それによって得られたデータをもとに、DMIC と CBM 3032 を用いて行なう各種統計的データ処理がある。以下、その処理内容を処理結果とともに説明する。

3.1 データ取り込み処理

刺激波形制御用マイクロコンピュータにより制御された刺激波形を感覚毛に加えることにより得られた応答インパルスの波高値とインパルス発火時間の 2 つのデジタルデータは、それぞれ 1 対 1 に対応して、DMIC 内の各記憶領域 (AMP MEMO., PST MEMO.) 内に取り込まれる。各記憶領域は、それぞれ 10 K byte ずつ用意され、各休止区間 (ST) の区切りとしての 0 値も、それぞれ対応して格納される。このため、DMIC のメモリ容量は、従来より 16 K byte 増やし、現在は、24.5 K byte になっている。この DMIC のメモリマップを Fig. 7 に示す。また、この処理プログラムのフローチャートを Fig. 8 に示す。このプログラムの特徴は、データの取り込みに割り込みプログラミング方式を用いた点である。この方式により、DMIC は、常時、オシロスコープ上にインパルス波高値記憶領域内の内容を写し出し、PCREQ, ADREQ, STREQ の 3 信号による割り込みがかかった時だけ、データを取り込み、そして、データをたくわえる。前回は、このプログラムを、データ取り込みルーチン、データ処理ルーチン、そして、ディスプレイルーチンの 3 部分に分け、それぞれ、ST 信号に同期させて実行していた。そのため、オシロスコープ上に写し出される処理結果は、ちらつきがあり見えにくかった。この点、今回の割り込み方式によって、ほぼ解消できた。このようにして取り込まれたデータは、Fig. 9 (a) (b) のように各記憶領域に格納される。Fig. 9 (a) は、インパルス振幅値の時系列を表わし、図の右端に示す高低両刺激応答インパルスに対応した波高値が、2 本の帯状の濃い点線となっていることがわかる。他の薄い点線は、刺激に対して応答していない他の神経線維から誘導された自発インパルスによる

* IEEE-488 バスの詳細については文献 (6), (7) を参照

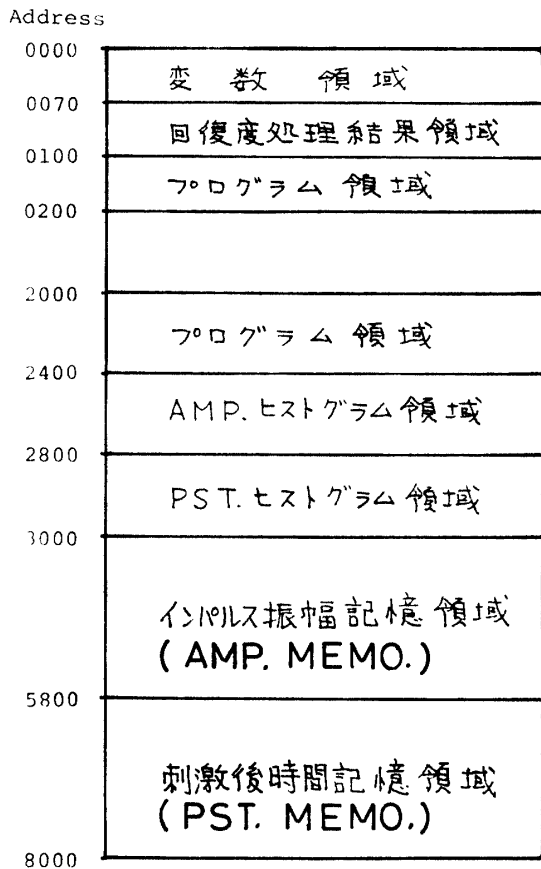


Fig. 7 Memory map in MEK 6800 D-II microcomputer system.

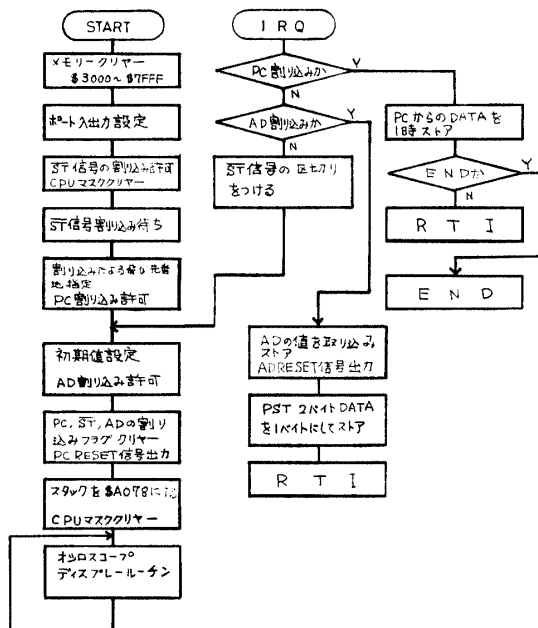


Fig. 8 Program flow for real-time display and interrupt request of data input.

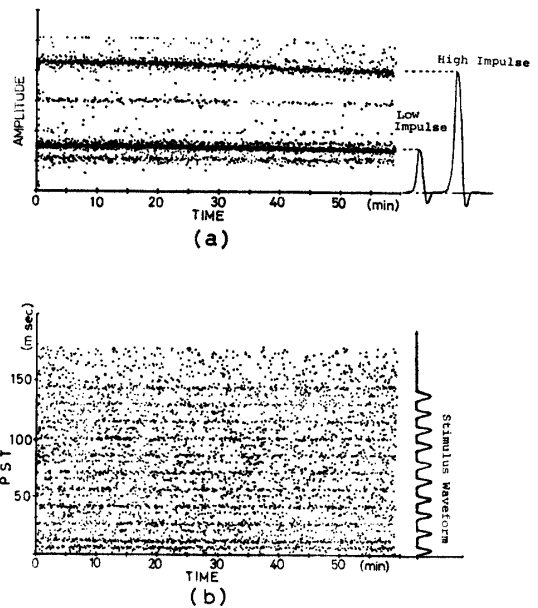


Fig. 9 Real-time display of the impulse amplitudes (a) and post stimulus time (b). Each dot corresponds to an impulse. In (a), the high and low impulses from stimulated receptor are shown as two thick lateral lines. In (b), those impulses fire synchronously corresponding to the stimuli shown in right hand.

ものである。Fig. 9 (b) は、インパルス発火時間の時系列を表わし、図の右端に示す10回の連続刺激を加えた時のものである。1回の正弦波刺激に対して2本の帯状点線が見られることがわかる。これは、高低両インパルスの発火位相の違いによるものである。他に不規則にばらついて見られる点は、自発インパルスによるものである。我々は、Fig. 9 (a) に示すインパルス波高値の時系列を常時オシロスコープに写し出すことにより、実験サンプルである触角の活動状態の変化をインパルス振幅変化としてとらえ、これを適確にモニターできるようにしている。この点が、実時間処理の大きなメリットである。

3.2 データ処理の概要

データ処理には、Fig. 9 (a) (b) に示すようなインパルス波形データを利用して、振幅分布ヒストグラム、刺激後時間ヒストグラム (以下 PST ヒストグラム)、それに、回復度処理などの処理を行なうことができる。これらの処理には、DMIC と CBM 3032 の2台のマイクロコンピュータを使用し行なう。この2台のマイクロコンピュータの処理プログラムの対応を示すフローチャートを Fig. 10 に示す。このフローチャートを見るように、DMIC, CBM 3032 共に振幅分布ヒス

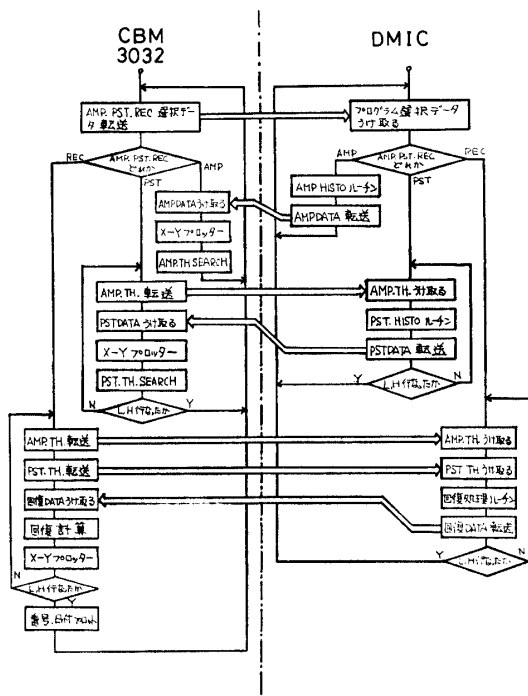


Fig. 10 Program flow for data transfer between CBM 3032 and MEK 6800 D-II (DMIC).

トグラムと PST ヒストグラム、それに、回復度処理の 3 部分からなり、それぞれ対応してプログラムは進むようになっている。DMIC は、上にあげた 3 つの処理の主な統計的処理を行ない、CBM 3032 は、その結果を DMIC から受け取り、X-Y プロットを使用して、

それを描かせたり、また、次の処理に必要なデータ (AMP TH., PST TH.) をその結果より見つけ出し、DMIC へ送る役割をはたしている。処理結果を描かすための X-Y プロットへの命令は、CBM 3032 から送られる。例えば、次の手順をふむプログラムを組めばよい。

〔例〕

```
OPEN 1, 5
...
PRINT# 1, "コマンド  パラメータ  デミリッタ
           D           100           ,
           パラメータ"
           100
```

ここに示すコマンド命令の種類と機能を Table 1 に示す⁸⁾。

PST ヒストグラムと回復処理の詳しい説明は前回報告したので、今回は、高低両インパルス波の分離方法として新たに振幅分布ヒストグラムを使用したもので、この方法を中心に処理結果と共に以下に説明する。

3.3 インパルス分離処理方法とその結果

高低両インパルス波の分離に、我々は、インパルス波高値をパラメータとして行なってきた。前回の報告では、これを高低両インパルス波高値の中間でその分離閾値を設け分離処理を行なっていた。この方法では、誘導電極の刺し方に左右され、ほぼ目的とするインパ

Table 1 Commands of X-Y plotter⁸⁾

	コマンド	名称	機能
直線開連の作図命令	D x, y	DRAW	絶対座標 x, y で示された座標まで直線を引く。
	I Δx, Δy	RELATIVE DRAW	相対座標 Δx, Δy で示された座標まで直線を引く。
	M x, y	MOVE	絶対座標 x, y で示された座標までペンアップで移動する。
	R Δx, Δy	RELATIVE MOVE	相対座標 Δx Δy で示された座標までピンアップで移動する。
	L p	LINE TYPE	実線または点線を p の値により指定する。
	B l	LINE SCALE	L の値により点線のピッチを指定する。
	X p, q, r	AXIS	p, q, r により X 軸または Y 軸に座標軸を描く。
文連字の作図命令	H	MOME	ペンを原点までペンアップで移動させる。
	S n	ALPHA SCALE	n の値により文字の大きさを指定する。
	Q n	ALPHA ROTATE	n の値により文字の回転角 (4 方向) を指定する。
	P abc...	PRINT	abc... の英文字を描く。
N n	MARK	n の値により 6 種類のマークをペン位置を中心に描く。	

ルスのみがうまく導出された場合しか、良好なデータを得ることができない。たとえば Fig. 9 (a) のように、刺激に反応していない他の神経線維から導出された自発インパルスを含んだデータの時には、このインパルスと刺激応答インパルスとの分離ができず、処理精度が悪くなる欠点を持っていた。そこで、Fig. 9 (a) の時系列を、インパルス波高値をパラメータとしたヒストグラムに直して、応答インパルス波高値の分布を調べた。この結果を Fig. 11 に示す。これは、イ

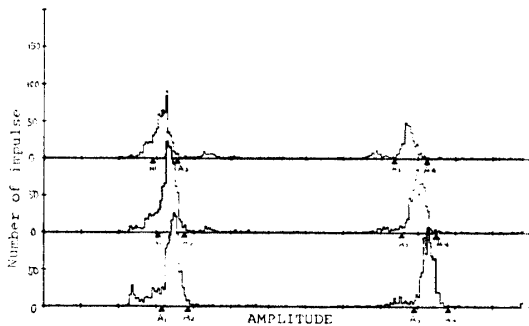


Fig. 11 Amplitude histogram. The ranges from A1 to A2 and from A3 to A4 are distribution of the low and high impulses, respectively.

ンパルス振幅データの最初から2000個ずつを、1つのヒストグラムとし、下段から上段にかけて順々に描かせたものである。つまり、インパルス振幅分布ヒストグラムの時間変化を表わしたものである。この様子から見られるように、刺激応答インパルスは、他の自発レベルのインパルスより発火頻度が高く、各ヒストグラムの横軸下段に示した低インパルス分離閾値 A_1, A_2 高インパルス分離閾値 A_3, A_4 により、前回より精度よく応答インパルスの分離が可能である。また、インパルス波高値の時間的な変化に対する分離精度を、ある程度上げることができることがわかる。この分離閾値幅内にあるインパルスを、ソフト的な処理により通過させ PST ヒストグラムを作成した結果を、Fig. 12 に示す。この PST ヒストグラムは、下段に示すような8段階に刺激間隔を変化させたペア刺激を加えた時の各 PST ヒストグラムを重ねて描いたものである。この処理結果より判定すると、今の分離方法によって高低の両インパルスが、きれいに分離処理されていることがわかる。得られた PST ヒストグラムは、感覚毛の感度回復の様子を表わしたものであるが、これを定量的に表わすため、前回報告した様に、4つの発火パターンを用い、感度回復度を求めた。このため、PST ヒストグラムの横軸下段に示す刺激後時間閾値 (T_1, T_2) (T_3, T_4) を決定し、その幅内にあるインパ

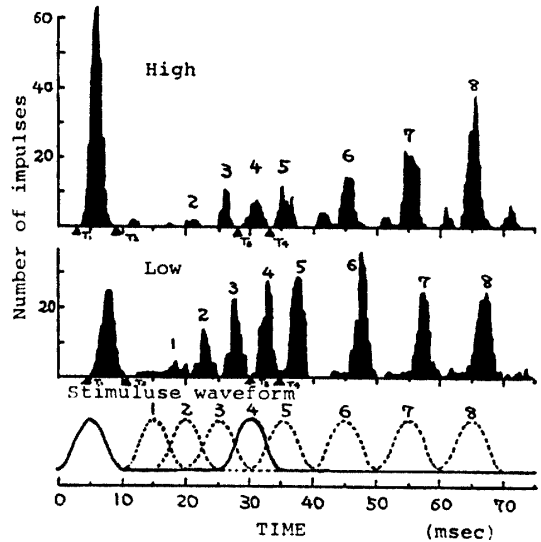


Fig. 12 Superimposed PST histograms of the high (upper trace) and low (middle trace) impulses responded to the pair stimuli (lower trace).

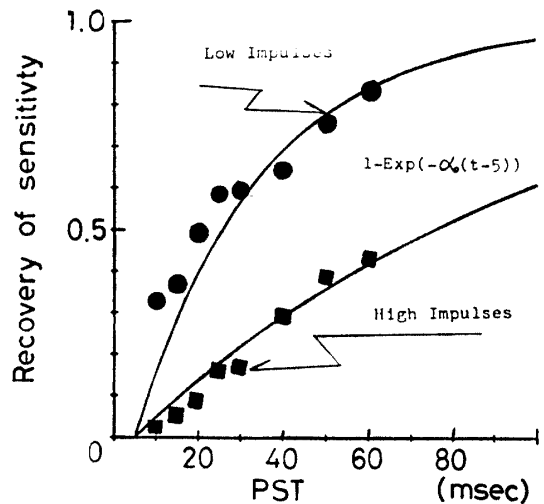


Fig. 13 Time course of the recovery after an impulse discharge. Two recovery curves are drawn by the least square method.

ルスのみを、ソフト的な処理により通過させた。これにより、先にインパルス波高値によって分離されたインパルスを、今度は、刺激後時間によって、刺激応答インパルスと自発インパルスを分離したわけである。このインパルスによって処理された第1刺激の効果による第2刺激のインパルス発火確率をもとに、式(1)に示す様な感度回復曲線を用い、最小二乗法によって回復速度時定数 $1/\alpha_0$ を感度回復度のパラメータとした。

$$R = R_{\infty} [1 - \exp \{-\alpha_0(t - \beta)\}] \quad \dots\dots (1)$$

- R : 第2刺激でのインパルス発生率
- R_{∞} : 第1刺激でのインパルス発生率

$1/\alpha_0$: 感度回復時定数

β : 不応期間

t : ペア刺激の時間間隔

このような処理を高低の両インパルスについて行った処理結果を Fig. 13 に示す。感度回復時定数 $1/\alpha_0$ は、高いインパルスでは、6 サンプルの平均が、約 105 msec 低いインパルスでは、4 サンプルの平均が、約 29 msec となった。

4. 考 察

生体の感覚毛には、2 個ないし数個の神経細胞が付着し、外界からの情報を、それぞれ相補的に中枢へ伝送している。この情報伝送特性を調べる上で、それぞれの神経細胞から導出されるインパルスを精度よく分離することは、非常に重要なことである。インパルス分離手法には、古くは、写真の重ね焼きによる方法とか、インパルス伝達速度の違いによる方法などがあったが、最近では、コンピュータを利用したオンラインシステムにより、インパルス波形情報を、高速にしかも大量に取り入れ、これを複数のパラメータを使用して分離する手法がすでに報告されている¹⁾²⁾。我々が作製した実験システムは、インパルスを分離するのに、比較的簡単な振幅値のみをパラメータとして処理ができるものである。前報にも述べたように我々が使用した神経細胞は、刺激に対して確率的な挙動を示し、処理に、多数回の刺激応答の統計的処理を行なう必要があった。このため、先に述べたインパルス振幅値のみの分離手法でも、他の神経線維からの自発インパルスの影響をぐっと少なくできる。また、高低インパルスの発火の位相が、感覚毛をねせて起こす刺激に対して、 180° ずれ、高低のインパルスの重なりがほとんどないことも分離を容易にしている。今回用いたインパルス振幅による分離手法としては、Fig. 8 のような振幅分布ヒストグラムを用いて刺激応答インパルスのばらつき幅を決定して、その幅内にあるインパルスのみ解析する方法を用いた。この方法は、前回報告した高低両インパルス波高値の中間に分離閾値を設け分離する方法に比べ、他の神経線維からの自発インパルスを同時に誘導した時のデータの分離精度を、はるかに向上させる方法であると言える。

このように、我々の分離システムにおいてインパルス振幅値の精度が、分離精度あるいは処理結果に影響を及ぼすことがわかる。このインパルス波高値の取り込みに、前回では、ピーク検出器を利用していた。このピーク検出器は、反転微分回路を利用してインパル

スのピーク位置を検出し、その時の波高値をデータとして取り込むためのものであった。しかしながら、この回路では、微分回路の出力に若干の遅れが見られ、正確なインパルスピーク位置を検出することができなかった。これを今回は、ピークホールド回路に改良することにより、精度のよいインパルス波高値を取り込むことができるようになったし、データの処理精度を上げる要因にもなったと言える。

さらに、このシステムは、データの実時間処理が可能である。これは、取り扱っているサンプルが、ザリガニという生体だけに、この生体の活動状態の変化をモニターし、適確に把握することは、実験の適否とか中断を判断する上に、非常に重要なことである。今回は、このモニターに Fig. 9 (a) に示すインパルス振幅の時系列を用いた。この表示で、サンプルの活動状態が一見してわかり、前回の報告で行なわれていた統計処理の結果を表示させる方法より有効な方法であると言える。また、データの取り込みをすべて割り込み処理に変更したことにより、前回の間欠的なモニタに比べ非常に見やすいものとすることができた。

以上のような、データ取り込み、及び、基本処理の改良を加え、会話型の Basic 言語を使用できるマイクロコンピュータシステムを導入した。我々の実験システムに限らず、一般に、実験データの解析のためのプログラミングには、大きな柔軟性が要求される。前回のような機械語を主体とする処理システムでは、このような要求に対処することが非常に困難であった。今回の Basic 言語による処理システムの導入により、上述の問題を解決し、さらには、IEEE 規格あるいはそれに準ずる規格を持つ X-Y プロッタなどの周辺機器との接続も容易にすることが可能となった。

5. ま と め

以上のことをまとめると

(1) インパルスの分離に振幅値のみをパラメータとし、インパルス振幅分布ヒストグラムを使用して分離閾値を設け処理を行ない、良好な結果を得た。

(2) インパルス波高値の取り込みに、従来のピーク検出器をピークホールド回路に改良し、処理精度をあげた。

(3) データ処理には、Basic 言語の使用できる CBM 3032 と X-Y プロッタを付加することにより、高速で、しかも、多種多様な処理結果をうるシステムが完成した。

(4) データ取り込みに、割り込みプログラミング

方式を用い、常時、オシロスコープ上にインパルス振幅時系列の変化を写し出すことができるようになり、生体の活動状態を適確に判断できるようになった。

本システムは、確率的なふるまいをするアメリカザリガニの触角の感覚毛についている神経細胞から誘導されるインパルス列の分離解析に使用できるばかりでなく、他の生体のインパルス列の分離解析にも応用できるものであると言える。

終わりに、本研究を進めるにあたり、実験器具の作製、プログラムの作成などに尽力頂いた。香田政彦、中尾光之、新田淳作の各氏に感謝いたします。また、実験、データ処理などに協力頂いた、河井一憲、矢野博幸の両氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 島田洋一, 星宮 望, 松尾正之: 日本 ME 学会誌, **17**, 45 (1979)
- 2) M. Abeles, M. H. Goldstein: Proc. IEEE, **65**, 5 (1977)
- 3) 古賀, 香田, 三池, 蛭名, 秩父: 電子通信学会, 医用電子・生体工学研究会, **MBE 78-8** (1978)
- 4) 香田, 三池, 古賀, 蛭名: 電子通信学会, 医用電子・生体工学研究会, **MBE 78-52** (1978)
- 5) 香田, 三池, 古賀, 蛭名: 山口大学工学部研究報告, **30**, 46 (1979)
- 6) PET ユーザーズマニュアル, コモドール社
- 7) 岡村勉夫: インターフェース, **10** [2], 45-108 (1979)
- 8) マイプロット概要説明書, 渡辺測器

(昭和 55 年 4 月 15 日 受理)