

氏名(本籍)	山本光瑋(長野県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第277号
学位授与年月日	昭和46年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	多現象神経情報処理装置とその大脳生理学への 応用に関する研究
	(主査)
論文審査委員	教授 松尾 正之 教授 大泉 充郎 教授 佐藤利三郎 教授 田崎 京二 教授 中浜 博

論文内容要旨

§ 1 まえがき

本研究は、神経系から得られる情報のうち、単一神経細胞の活動であるインパルス系列およびその活動の集合電位である脳波の処理を迅速かつ能率的に行なうために、小型電子計算機に直結した入力装置として、多現象神経情報処理装置を製作し、それに関連するソフトウェアを新たに作り、これらを神経生理学実験の制御や実験結果の解析処理に応用するためのシステムを作ることを目的として行なったものである。

この多現象神経情報処理装置は、多チャンネルのインパルス系列や脳波等のアナログ波形を単に計測するばかりでなく、電子計算機本体が処理すべき情報チャンネルを選択する機能、および、未

処理情報の一時的記憶機能を有しており，多源の情報源からの必要な情報を能率的に処理するためには有用な装置である。

本論文の前半は完成させた神経情報処理システムのハードウェアに関するもので，後半はそのソフトウェアおよび応用に関するものである。まず第1章の序論につづいて，第2章では多現象神経情報処理装置についてその設計条件，および回路の説明を行なっている。次に第3章では，本装置を用いることにより極めて容易となった神経インパルス系列および脳波の計測と，それに関するオンライン処理プログラムについて述べる。さらに第4章では，この新しく製作した装置が，神経生理学実験の計算機制御にどのように有効に用いることができるかを示し，第5章では，実時間で計測した神経インパルス系列の統計的処理を行なうための各種の解析法について述べている。最後に第6章では本論文についての全般的な考察を行なった。

以下，各章ごとの内容要旨を述べる。

§ 2 本研究の意義と研究目的

最近では情報化社会といわれ，ありとあらゆる分野にコンピュータが導入され機械化が進んでいる。しかしパターン認識の問題に関しては現在のコンピュータ技術では困難であるといわれている。そこで，本研究のように生体特に大脳の研究結果を手がかりとしてパターン認識の問題に接近しようという考え方があらわれた。いいかえれば，脳という高度な機能を営む情報処理システムの本質を工学的な立場から理解することにより，パターン認識，引いては人工知能に関する手がかりを得ようというものである。

さて，かような観点から大脳の研究を行なう場合，その生理学的実験によって得られるデータの処理ということはもちろん基本的ことからである。最近の小型コンピュータにおけるデータ処理法を見ると，神経系から得られる情報の処理には，主としてA-D変換器を入力装置として用いる形式のものがほとんどである。A-D変換器は，脳波のようなアナログ波形を一定のサンプリング速度でデジタル化する場合には役に立つ。しかし，神経系における重要な情報の担い手である神経インパルス系列の計測処理を行なう場合には，あまり有用ではない。すなわち，この場合は時間間隔の計測が重要であり振巾は測定する必要がない。しかもその時間間隔は最小約1 m secでありかなりの高速現象である。このような場合にはA-D変換器よりもカウンタの方が有利である。ことに多チャンネルのインパルス系列を扱う場合にはハードウェアとしてのカウンタは是非必要である。さらに，この場合は一定間隔のサンプリングではなく，入力のある時刻ごとのサンプリングとなる。したがって，多チャンネルの情報を損失なく処理するためには，カウンタの他に優先順位決定機能および緩衝レジスタが必要となる。

以上の理由により、本研究ではまず第一に脳波などを処理するための A-D 変換器、多チャンネルの神経インパルス系列を処理するためのカウンタ、これらを含む多現象神経情報処理装置を設計試作することを目的とする。

本研究の第二の目的は、試作した装置を実際の大脳生理学の実験の制御やデータ処理に活用し、大脳生理学的に新しい知見を得ることである。

§ 3 多現象神経情報処理装置

実際に製作した装置は、A-D 変換器 2 台とカウンタ 2 台を有する 4 現象装置である。以下にその性能と回路の概略を示す。

(1) 本装置は A-D 変換器、カウンタの計 4 チャンネルの同時事象の処理が可能である。すなわち、A-D 変換器またはカウンタに同時入力があった場合にも、各々の情報は失なわれずにコンピュータに送られていく。これは、入力情報の処理順位を決定する回路および、未処理情報を一時的に蓄積しておく緩衝レジスタなどはたらしきによるものである。

(2) 神経インパルス間の時間間隔の範囲は広く 1 msec ~ 数 10 sec にも及ぶことがある。カウンタは桁あふれの情報を失なわないように、桁あふれフリップ・フロップを有している。これにより桁あふれを起したときには特殊な符号をコンピュータに送ることができるようになっている。

(3) カウンタチャンネルは、ゲートモードすなわち単位ゲート時間におけるインパルスの総数を測定するモードでも使用できる。

(4) カウンタのクロックは最高 100 kHz まで任意にとれるようになっている。

(5) この 4 現象神経情報処理装置を動作させるために、新たに A-D 変換命令 (これを " $f400$ " 命令と呼ぶ) をつくった。この命令は 4 語 1 組で動作する。すなわち第 1 語によりコンピュータは標本点待状態に入る。第 2 語は A-D 変換パルスが入力した場合、第 3, 4 語はそれぞれ 2 つのカウントチャンネルに神経インパルスが入力した場合のジャンプ番地を指定するものである。いずれの場合もジャンプする時には、そのチャンネルの情報がコンピュータの演算レジスタに入っているように回路がつくられている。したがって各ジャンプ先において、各チャンネルの情報の処理プログラムは実行されることになる。

§ 4 神経インパルス系列および脳波の計測とそれに関連する

オンライン処理プログラム

4 現象神経情報処理装置とそれに直結している小型コンピュータを用いることにより、神経インパルスや脳波の計測が容易となり、いくつかのオンライン処理プログラムが極めて容易につくれる

ようになった。以下に各プログラムの概略と特徴を説明する。

最初は、神経インパルス、時間々隔の計測のためのプログラムであるが、単に計測するのみでなく、A-D変換器により波形回路における誤トリガの検出を行ったり、脳波の零交叉頻度を残りのカウンタで同時に監視するなど、工夫をこらしてある。次の例は、神経インパルス系列の瞬時頻度の計測、インターバルヒストグラムの作製、刺激前後時間ヒストグラムの作製プログラムなどである。このうち、刺激前後時間ヒストグラムは、カウンタチャンネルを2つ連携動作させることにより、刺激前の時間帯にまでさかのぼって時間ヒストグラムを作製できるようにしたものである。その他、誘発電位の積算、脳波の振巾分布を求めるプログラムなども作製した。

§ 5 神経生理学実験の計算機制御

汎用コンピュータを神経生理学の分野に導入することの一つの利点は、諸々の実験機器をプログラム処理によって制御できることである。ここでは、まず最初に、単1ニューロンの自発放電をコンピュータで監視しながらその放電頻度が所定の値を呈したときに、生体刺激のためのトリガ命令を発生するプログラムを作った。この実験方法により、自発放電の多少と光刺激に対する視覚系各ニューロン群の反応パターンとの関連性を調べることができるようになった。第2の例は、瞬時瞬時の脳波を計測しながら、高振巾徐波および低振巾速波の状態で判定し、各々の状態ごとに刺激パルスを発生するものである。この実験方法により、脳波の状態と反応パターンとの関連性を求めることが容易となった。

以上の二つの実験方法を用いて実際の大脳生理学実験を試みたところ次のようなことが明らかとなった。すなわち、視覚系ニューロンの場合、刺激(約100 msecの閃光)直前200 msecの間の自発放電と、反応パターンとは、ほとんど無関係であった。しかるに、脳波と反応パターンとの関係は、大脳皮質連合野ニューロンに於ける如く、極めて密接な関係にあるものが存在した反面、視神経、外側膝状体ニューロンの如く脳波とは無関係と思われるものも存在した。今後、このような方向での実験結果を多数集積する必要があると結論された。

§ 6 定常神経インパルス系列の統計的解析のためのオフライン処理

自発放電と呼ばれる定常インパルス系列を、試作した4現象神経情報処理装置により計測し、その結果についての統計的解析法をいくつか実用化した。自発放電系列は、外的無刺激状態時に神経細胞が呈する持続性の不規則インパルス系列である。この自発放電系列は確率点過程と考えることができるが、その時間従属性に関してはまだ十分にその性質が明らかにされていない。すなわち、放射性物質の崩壊過程のようなまったくランダムな過程であるのか、あるいは、マルコ

フ過程の如き構造を有しているのかという問題は全く未解決の状態である。本研究において自発放電を問題として取り上げた理由はここにある。

自発放電系列を分析処理する場合、まず最初に定常性の検定を行なう必要がある。ここでは、side testと呼ばれる統計的検定方法を用いることにしたが、その際のサンプル数の小分け数の最適値が約31であることを、二三の仮定の下に明らかにした。定常な自発放電系列が独立であるかどうかは別問題である。ここでは、独立性を調べるために、インパルス時間々隔の系列相関係数図を測度として用いることにした。

実際のデータについて分析してみた結果、外側膝状体、視床腹側基底核等のニューロン群では独立系列のものが多く、中脳網様体、赤核等のニューロン群では時間従属系列の多いことが明らかとなった。このことは、同じ脳の中に二つの異なる性質を有するニューロン群が存在することを示唆し、大脳生理学的にきわめて興味深い。

§ 7 む す び

以上、神経情報を電子計算機により処理する場合、試作した多現象神経情報処理装置が、特に神経インパルス系列の処理に有効であることを、種々のプログラムに応用した例をもって示した。またそれらのプログラムを用いて、実際の大脳生理学実験に用いたところ、生理学的に興味深い知見を得ることができた。以上のことから本研究の生体情報工学的価値が明らかとなった。

審査結果の要旨

神経系における情報処理機構は極めて複雑かつ高度のものであるため、未だ未開の学問分野である。しかし最近では高速度の情報処理機能を有する電子計算機を導入することにより、この分野の研究も新たな段階を迎えている。本論文は神経系から得られる情報のうち単一神経細胞の活動であるインパルス系列およびその活動の集合電位である脳波の処理を迅速かつ能率的に行なうため、オンラインで動作する小形電子計算機システムを構成することを目的に行なった研究を取りまとめたものであり、全篇6章よりなる。

第1章は序論であり、神経系に関する研究の工学的意義と本研究の目的をのべている。

第2章では新たに製作した多現象神経情報処理装置の構成とその動作結果についてのべている。この装置は小形電子計算機を主体とし、時間々隔計数器とA-D変換器とをそれぞれ2台有し、インパルス系列と脳波の4チャンネルの現象を同時処理することができるように構成したもので、これにより脳波を監視しつつインパルスの時間々隔を計測すること、脳波やインパルス系列の特徴を刻々自動判定しながら刺激命令を発することなど計算機制御が可能となった。本装置の最大の特徴は計算機と入力装置との結合部分に創意を加え、低速度の小形計算機の機能を著るしく向上し、 1ms ～数百 ms の広範囲かつ不規則に出現する神経情報のオンライン多重処理を可能ならしめた点にあり、神経生理学研究に有力な手段を提供したことは生体情報工学上高く評価される。

第3章では前章で述べた装置を用いて作成した神経インパルス系列および脳波計測とそれに関するオンライン処理プログラム、すなわち時間々隔、瞬時頻度の計測や刺激前後時間とストグラムの作成など生理学研究に有用な各種処理プログラムについてのべている。

第4章では神経情報の計測結果を計算機がオンラインで処理判断し、神経生理学実験を制御することを試みた結果についてのべている。これは計算機システムによって初めて可能となった新しい生理学的実験法であり、これによって得られる生理学的実験結果に対する期待は極めて大きいものがある。

第5章ではこの装置によって計測した自発放電と呼ばれる定常インパルス系列についてその統計的解析のためのオンライン処理について述べている。すなわち神経インパルスの測定データを基にしその定常性を検討するための実用的な提案を行ない、神経生理学的な立場からその価値の大きいことを論じているが、これらの処理法は一般的な確率点事象を扱う場合にも役立つものである。第6章は結論である。

以上要するに本論文は神経生理学研究のために新しい手段である多現象情報処理装置を提供し、これを用い従来困難であった神経情報の処理に大きな進歩をもたらしたものであって、情報工学特に生体情報工学の発展に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。