研究速報

UDC 007.5 : 62-503

神経細胞モデル IMICTRON とその応用

Notes on Application of Artificial Neuron, IMICTRON

合田周平

Shuhei AIDA

1. はじめに

近年“生きもの”に対する工学的研究が盛んになり，学問としても“バイオニクス”や“生体工学”または人間機械工学などとして新分野が開拓されつつある．これらの研究の目的は種々あるが，大別して生理学そのものへの工学サイドよりの貢献と生体機能の工学的解明によるそれらの工学への応用にあると思う．ここで扱っているものは後者に属する研究で，大げさにいうと人間（生きものの代表者としての）にやさしく，機械に難しい領域にいどみ生理学的アプローチにより，新しい工学的処理方式を見出そうとすることにある．したがって，神経細胞ニューロンによる脳モデルなどの研究を目的としたものではなく，生体の神経系のもつ機能を広く工学的に応用することを目的としている．その意味からも，神経の情報処理系よりヒントを得て Time Interval Modulation Information Coding (TIMIC または IMIC) 系を定義し，この系を満足するモデルとして，単にニューロン・モデルとせず IMICTRON[1] と名づけ，エレクトロニクスにより実現した．

2. IMIC-系

IMIC-系は生体の情報処理系をもとに定義したもので IPFM[2]，ΣPFM[3] のように PFM（パルス周波数変調）の拡張形であるが，出力パルスは閾値の時間変化に左右され，さらに出力パルスは閾値を左右する点などが異なり，これに学習機能をもたせることが可能である．一般につぎの利点をあげることができる．

（1） 系の動作はアナログ的であるが，情報達伝はディジタル的で，ディジタル系がもつ利点をもかねそなえている．

（2） 同程度のディジタルまたはアナログ系よりも，より多くの容量をもたせることが可能である．

（3） ディジタル系と他の情報処理系との結合を容易にする．すなわち，ディジタル$\rightleftarrows$アナログの変換に特別の変換部を必要としない．

（4） IMIC-系は，生体機能の高度な制御である Homeostasis を可能にしている基礎的性質をもつと考えられ，広範囲の情報源を扱い（アナログ，ディジタルのいずれをも入力とし得る）これを処理し得る．このことは，IMIC-系により高度の制御が可能であると考えられる．

以上のことがらが，この研究をすすめる基本的なバック・ボーンとなっているわけである．

3. 基本モデル IMICTRON

IMIC-系の最も適合したモデルとして，IMIC-系を実現し得る素子という意味で名づけたものである．したがって，IMICTRON の機能，解析により IMIC-系のそれにかえることにする．IMICTRON の動作は，つぎのような機能より正のパルスを出力とする．すなわち

（1） 正または負のパルスまたはアナログ信号を入力 $x(t)$ とする．

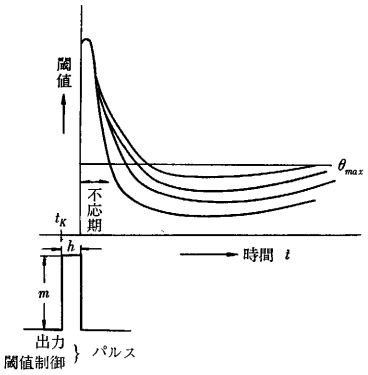
（2） 内部エネルギー $P(t)$ は，入力 $x(t)$ の一次遅れをもって増減し，入力信号のない場合は指数関数的に減少する．また出力パルスの存在により，その時刻 t_k でゼロにリセットされる．

（3） 閾値(Threshold) $\theta(t)$ は，出力パルス発生の基準となるものである．すなわち，内部エネルギが閾値に到達すると，その時刻 t_k で出力パルスを発生する．と同時に閾値は増大し，つぎに指数関数的に減少する．また，出力パルスの周期が小さくなると閾値は次第にゼロに近いところまで低下する．また，出力パルスが存在しなければ最低閾値をマークした後，増大しやがて最大閾値に復帰する．これらのことを図・1に示した．

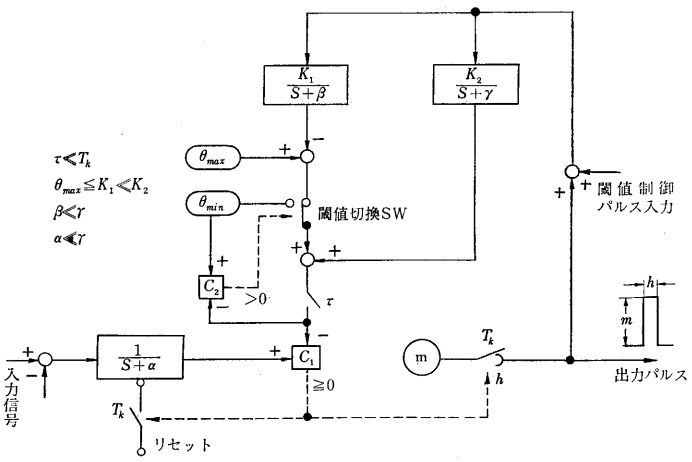
（4） 不応期は出力パルス間の最少時間間隔を表わし，出力パルスによる閾値変化よりもたらされる．

IMICTRON のサンプル値系モデル

さきにあげた機能をサンプル値系モデルで示すと図・



図・1　パルスによる閾値変化



C: 比較器 τ: サンプリング周期 T_k: 出力パルス周期

図・2　IMICTRON のサンプル値系モデル

2として表わされる．ここで，それぞれつぎのように定義する．

（1） 基本サンプリング周期 τ は，不応期およびパルス幅 h よりも十分小さい．

（2） サンプリング時刻 $n\tau$ において，比較器 C_1 で $P(t)-\theta(t)\geq 0$ であれば，その時刻 t_k で振幅 m，幅 h の正パルスを出力とする．$T_k=t_{k+1}-t_k$ で出力パルス周期をもってサンプラーされる．

（3） $k=0$ すなわち $t_0=0$ を IMICTRON の休止状態とし $P(t)=0$, $\theta(t)=\theta_{\max}$ かつ入出力のない状態をいう．したがって，一度出力パルス発生の後も，ある期間入出力がなければ休止状態にもどして考察することができる．

そこで，IMICTRON の出力パルス系列は，

$$y(t)=m[u(t-t_k)-u(t-t_k-h)] \qquad (1)$$

ここで

$$t_k=\mathrm{Min}[t\,|\,\{P(t)-\theta_{k-1}(t)\}\geq o,\ t>t_{k-1}]$$

$$\begin{cases} k\geq 1 \\ \theta_{k-1}(t):\ t_{k-1}<t<t_k \text{ における閾値変化} \\ \theta_0(t):\ t_0<t<t_1 \text{ においては} \\ \qquad \theta_0(t)=\theta_{\max}\ (\text{一定}) \\ u(t):\ \text{単位ステップ関数} \end{cases}$$

その他，状態ベクトルを用いて IMICTRON を解析し，入出力関係を明らかにし，さらにフィード・バック制御系に導入した場合の IMICTRON Modulated フィード・バック系の安定性などを論じることができる[4]．

4. IMICTRON の応用

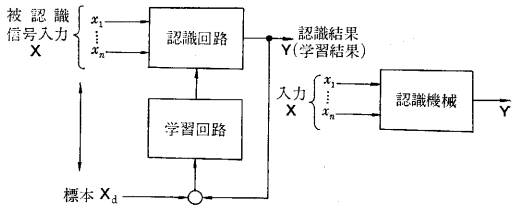
神経細胞モデルとした開発した IMICTRON のもつ機能を工学的なシステムに導入することを検討し，目下以下のような応用について一応の結果を得ている．

1. 学習系への応用
2. e^t 関数発生装置
3. フィード・バック制御系の変調器
4. ダイナミックなパターン認識
5. 生体現象のオートマトン的モデル

これらのうち，ここでは紙面の関係もあり，学習への応用についての概略を述べることにする．

学習系への応用

学習とは心理学的にみると，一定の経験の結果として起る変容をさすものであり，学習系は教師のある学習（外部から教育をうけて進行する学習）と教師のない学習に分類[5]することができる．ここでは，前者についての IMICTRON の応用を述べる．一般にパターン認識系は，標本（これが教師）の提示により学習が進行する．たとえ



(a) 学習進行中　(b) 学習終了後

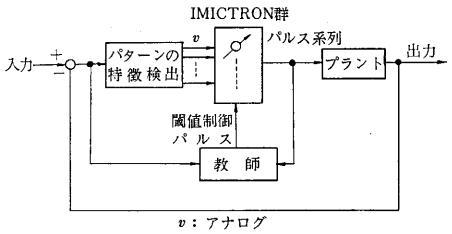
図・3　学習機械のモデル

ば図・3 に示す認識機械のモデルにおける出力は，標本と比較され，その結果にもとづいて認識関数の加重が調節される．すなわち，外部からの教育によってはじめてこの認識系の学習が進行される．ここで，入力は標本 $\mathbf{x}_d$，出力は認識結果 $\mathbf{y}$ である．認識されるべき信号 $\mathbf{x}$ は補助信号として入力 $\mathbf{x}_d$ と同時に投入されるのが特徴である．このようにして学習が終了すると図 3-(b) のように開ループの認識系として動作し入力 $\mathbf{x}$ に対し出力 $\mathbf{y}$ となり特定の入出力関係を保持する．

ここで再び図・1 の IMICTRON のサンプル値系モデルに注目すると，閾値制御パルス入力に標本からのパルス信号を印加すると，パルスの間隔および数（またはパルス巾）により IMICTRON の閾値を制御し得る．このことは，さきの加重調節に等しく，しかもパルスの存在によりアナログ的に学習効果が増し（閾値のレベルが低下する）また閾値制御，出力ともにパルスが存在しなければ閾値レベルの増加にともない学習上の忘却作用が起こる．これらの学習および忘却期間は β,γ の関係で決定される．

また，図・1 において比較器 C_2, $\theta_{\min}$, 閾値切換 SW

を定義すると，学習系におけるそれぞれの IMICTRON の最低閾値 θ_{min} をプリセットすることにより，C_2 と SW の動作で閾値がこの値まで低下すると以後つねに $\theta_{min}+K_2e^{-\gamma t}$ の曲線が閾値となり，IMICTRON が活動的(Active)となる．このことは図・3-(b)のように学習



図・4　IMICTRON による学習

終了系として動作することを表わす．そこでこのような機能をもつ IMICTRON を学習系の Trainable-threshold-logic としたのが図・4である．これはまた，認識機械によるバタバタ制御ともいえる．特徴検出部は，それぞれのパターンよりの認識信号を抽出し，それらはアナログ量のままそれぞれの IMICTRON の入力となる．通常，これにディジタル素子を用いるので，多くの場合，認識信号を2進符号に制限しているが，この系においてはその必要はなく，できるだけアナログ量で情報を処理することを目的としている．ここで“教師”は閾値制御パルスを発生し，それぞれの IMICTRON の学習を進行し，終了すると動作を中止し，学習終了系として動作し得る．

5. おわりに

もともと視覚神経系のシュシュレーションのため開発したニューロン・モデル[6]をやや拡張した IMICTRON の工学的応用研究の一端を述べたが，今後こうした分野の研究がますます盛んになるものと思う．日頃，ご指導いただく本学森政弘助教授に感謝するとともに，本研究は生研申請研究費によることを付記する．

(1966年6月10日受理)

文献

1) 合田周平: Artificial Neuron, IMICTRON による視覚モデル，電気通信学会オートマトンと自動制御研究会資料 1965.3 他
2) Li, C. C: Integral Pulse Frequency Modulated Control Systems, Ph. D. dissertation, Northwestern University, Evanston. Ill., 1961
3) Pavilidis, T. & Jury, E. I.: Analysis of a New Class of Pulse-Frequency Modulated Feedback Systems, IEEE, Trans. on AC. 1965.1
4) 生研報告にて発表予定 (1966 末)
5) 中村嘉平: 学習機能をもつ制御系，東北大学通研シンポジウム論文集 6, 1966.3
6) Aida, S & Cheng, G. C: A Dynamic Visual-Pattern-Recognition Network of ArtificialNeurons, Proc. of the 6th International Conf. on ME & BE, Tokyo, 1965.8

次号予告 (9月号)

研究解説

市販フィルムによるホログラフィ……山口一郎 小瀬輝次

磁性薄膜を用いた非破壊読出し高速記憶装置……渡辺勝 荒木宏

研究速報

脂肪族ポリイミドの合成……浅原照三 福井基雄

エチレンとトルエンの反応……浅原照三 佐藤瑲

シクロプロパン誘導体と求電子試薬の反応……浅原照三 小野勝道

写真乳剤中のシアニン系増感色素のエネルギ準位の計算……菊池真一 谷忠昭