



特許協力条約に基づいて公開された国際出願

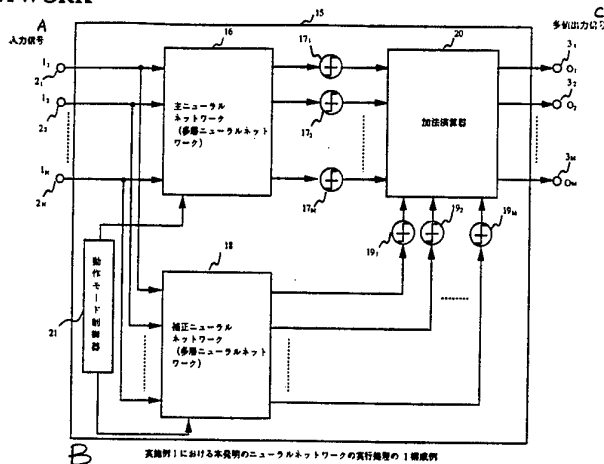
<p>(51) 国際特許分類 6 G06G 7/60</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO 95/05640</p> <p>(43) 国際公開日 1995年2月23日 (23.02.95)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP94/01341 (22) 国際出願日 1994年8月12日(12. 08. 94)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平5/220484 1993年8月13日(13. 08. 93) JP 特願平6/64428 1994年3月9日(09. 03. 94) JP</p> <p>(71) 出願人(米国を除くすべての指定国について) 国際電信電話株式会社 (KOKUSAI DENSHIN DENWA CO., LTD.)(JP/JP) 〒163-03 東京都新宿区西新宿二丁目3番2号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者;および (75) 発明者/出願人(米国についてのみ) 菅谷史昭(SUGAYA, Fumiaki)(JP/JP) 〒174 東京都板橋区若木一丁目21番2号201号室 Tokyo, (JP) 八塚陽太郎(YATSUZUKA, Youtaro)(JP/JP) 〒222 神奈川県横浜市港北区小机350-3 C-108号室 Kanagawa, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 山本恵一(YAMAMOTO, Keiichi) 〒105 東京都港区西新橋一丁目5番12号 タンパビル Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 JP, US, 欧州特許(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p>		<p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54) Title : PARALLEL MULTIVALUED NEURAL NETWORK

(54) 発明の名称 並列多値ニューラルネットワーク

(57) Abstract

This invention provides a neural network capable of obtaining a desired multivalued output signal at a high speed and stably by simple learning. A main neural network (16) and a corrective neural network (18) are connected to an input in parallel. The neural network (16) which was subjected to learning by using a multivalued original teaching signal with respect to a learning input signal, and the corrective neural network (18) which was subjected to learning so that a multivalued error with respect to a multivalued output unit signal corresponding to a learning input signal obtained from the main neural network (16) through a multivalued threshold circuit (17) and a multivalued original teaching signal can be corrected by a multivalued output unit signal obtained from the corrective neural network (18) through a multivalued threshold circuit (19) are used, whereby multivalued output unit signals are combined in a summing element (20) to correct the mentioned error and send out the resultant signal. Thus, a desired multivalued output signal is obtained.



- A ... input signal
- B ... example of a practical process by the neural network according to the present invention in Example 1
- 16 ... main neural network (multilayer neural network)
- 18 ... corrective neural network (multilayer neural network)
- 20 ... summing element
- 21 ... action mode controller
- C ... multivalued output

(57) 要約

簡単な学習により、高速且つ安定に所望の多値出力信号を得ることができるニューラルネットワークを提供する。主ニューラルネットワーク16と補正ニューラルネットワーク18とを入力に対して並列接続し、学習用入力信号に対して多値原教師信号を用いて学習させた主ニューラルネットワーク16と、主ニューラルネットワーク16から多値スレシヨルド回路17を介して得た学習用入力信号に対応した多値出力ユニット信号と多値原教師信号との多値の誤差を、補正ニューラルネットワーク18から多値スレシヨルド回路19を介して得た多値出力ユニット信号により補正できるように学習させた補正ニューラルネットワーク18とを用い、各々の多値出力ユニット信号を加法演算器20にて加法演算し前記誤差を補正し送出させることにより所望の多値出力信号を得る。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願をパンフレット第一頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AM	アルメニア	DK	デンマーク	LI	リヒテンシュタイン	PT	ポルトガル
AT	オーストリア	EE	エストニア	LK	スリランカ	RO	ルーマニア
AU	オーストラリア	ES	スペイン	LR	リベリア	RU	ロシア連邦
BB	バルバドス	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SD	スーダン
BE	ベルギー	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SE	スウェーデン
BF	ブルキナ・ファソ	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	SI	スロヴェニア
BG	ブルガリア	GB	イギリス	MC	モナコ	SK	スロヴァキア共和国
BJ	ベナン	GE	グルジア	MD	モルドバ	SN	セネガル
BR	ブラジル	GN	ギニア	MG	マダガスカル	SZ	スワジランド
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ	ML	マリ	TD	チャド
CA	カナダ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	TG	トーゴ
CF	中央アフリカ共和国	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	TJ	タジキスタン
CG	コンゴ	IT	イタリア	MW	マラウイ	TT	トリニダード・トバゴ
CH	スイス	JP	日本	MX	メキシコ	UA	ウクライナ
CI	コート・ジボアール	KE	ケニア	NE	ニジェール	UG	ウガンダ
CM	カメルーン	KG	キルギスタン	NL	オランダ	US	米国
CN	中国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NO	ノルウェー	UZ	ウズベキスタン共和国
CZ	チェッコ共和国	KR	大韓民国	NZ	ニュージーランド	VN	ヴィエトナム
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	PL	ポーランド		

## 明 細 書

## 並列多値ニューラルネットワーク

## 産業上の利用分野

本発明は、大規模論理回路、パターン認識、連想メモリ、データ変換及び画像処理などの分野に適用可能なニューラルネットワークや、大規模ニューラルネットワークにおいて簡単な学習により高速かつ安定に所望の多値出力信号を得ることが出来る並列多値ニューラルネットワークに関するものである。

## 従来 of 技術

従来 of ニューラルネットワークには、文献 麻生英樹著、「ニューラルネットワーク情報処理」、産業図書出版などに示されているように、多層（階層）ニューラルネットワークや相互結合ニューラルネットワークなどがある。

図 1 は、多層ニューラルネットワークとして、1層の中間層を持った3層ニューラルネットワーク1の実行処理モードでの実行処理の一構成例を示す。N個のユニットからなる入力層4、P個のユニットからなる中間層5及びM個のユニットからなる出力層6から構成される。入力層のユニット数Nは入力端子2の入力信号Iの元素総数に対応し、出力層のユニット数Mは出力端子3の出力信号Oの元素総数に対応している。

多層ニューラルネットワークへの入力信号Iは、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $\dots$ 、 $I_N$ の入力信号元素を持ったベクト

ルから構成され、入力端子 2 を介してそれぞれ対応した入力層 4 のユニットに入力された後、更に中間層 5 の各ユニット（隠れユニット）にそれぞれ重み付けされ出力される。中間層 5 では、入力層 4 の各ユニットからの重み付けされた出力の総和を入力とし、スレシヨルド値を差し引いた後、シグモイド関数と呼ばれる入出力特性を持った関数を介して出力される。出力層 6 においても中間層 5 と同様な入出力処理が行われた後、各出力ユニットからそれぞれ対応した出力ユニット信号を出力端子 3 を介してベクトルの出力信号  $0_1$ 、 $0_2$ 、 $\dots$ 、 $0_M$  として送出する。3 層以上の多層の際にも、各層におけるそれぞれのユニットは、入力側の隣接層の各ユニット出力信号に重み付けをした後、それらの総和を入力として得、更にその入力からスレシヨルド値を差し引いた後、シグモイド関数を介し出力層側の隣接層にユニット出力信号を送出する。

図 2 は、相互結合ニューラルネットワーク 7 の実行処理モードでの実行処理の一構成例を示す。1 層のユニットとして  $7_1$ 、 $7_M$ 、 $\dots$ 、 $7_N$ 、 $\dots$  の場合を示しており、出力信号との間で重み係数を持ったフィードバック結合を有しているユニットと、端子  $2_1$ 、 $2_M$ 、 $\dots$ 、 $2_N$  を介して入力された入力信号  $I$  を初期入力として接続されたユニットと、隠れユニットと呼ばれる他ユニットと重み係数を介して接続されたユニットとから構成されている。平衡状態となった時点で出力ユニット信号が得

られ、端子  $3_1$ 、 $3_2$ 、 $\dots$ 、 $3_m$  から出力信号ベクトル  $0$  として送出される。

次に、これらの従来のニューラルネットワークの学習処理モードにおける重み係数の学習処理の構成について説明する。図 3 は、3 層ニューラルネットワークの学習処理の一構成例を示す。このような多層ニューラルネットワークの学習方法としては、例えば、前記文献にも記載されているようにバック・プロパゲーション・アルゴリズムがある。本アルゴリズムを用いた学習過程では、重み係数を初期設定した後、予め用意された多値原教師信号  $T$  (多値原教師信号エレメント、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $\dots$ 、 $T_m$ ) と、入力層 4 に端子 2 を介して入力された予め用意された学習用入力信号に対する出力層 6 からの出力ユニット信号との誤差信号を減算回路 9 を介して求め、重み係数制御器 10 に入力する。重み係数制御器 10 は、端子 11' を介して入力された各層の出力ユニット信号と誤差信号とを基に誤差電力を最小にするように各層間の重み係数の修正値を求め、端子 11 を介して 3 層ニューラルネットワーク 1 の各重み係数を新たに設定し、適応制御による学習をおこなうものである。この適応制御の学習をすべての学習用入力信号に対して繰り返す。学習過程に於て完全に収束すると、学習用入力信号に対する出力端子 3 からの出力ユニット信号が教師信号と同一となる。しかしながら、誤差電力を極小にする所 (ローカルミニマム) に一旦落ち込むと、学習が進まず最小と

ならないこと、多値化された誤差信号を重み係数の更新に利用しても収束を速めることが出来ないことなどの問題がある。特に、入力ユニット数の多い3層あるいは多層ニューラルネットワークにおいて一般の多値教師信号に対して確実に収束させる設計手法は明らかになっておらず、重み係数の初期値を変更したり、隠れユニット（中間ユニット）数を増やすなどの試行錯誤を行っている。

図4は、相互結合ニューラルネットワーク7における学習処理の一構成例である。相互結合ニューラルネットワーク7の学習制御では、前記文献に記載されているように相互結合ニューラルネットワークに多値の記憶パターン信号を記憶させ、ネットワークの安定な平衡状態において出力ユニットからの出力ユニット信号が所望の出力ユニット信号になるように、結合の重み付けを設定する必要がある。この為、重み係数処理器12において、端子13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>、・・・13<sub>v</sub>を介して入力された記憶させたい記憶パターン信号Sを持った相互結合ニューラルネットワーク7が平衡点に達するようにエネルギー関数を最小とする重み係数を予め計算し、それを端子14を介して、相互結合ニューラルネットワーク7のそれぞれの結合の重み係数として設定する。重み係数の設定値によっては、入力信号Iに対して極小値を与える係数となっていることもあり、平衡状態に達しない場合や平衡状態になっても意図していない異なった出力ユニット

信号となる場合があり、所望の出力信号を得るためには多くの隠れユニットを使用する必要がある。また、一般の多値の記憶パターン信号では確実に収束させる（平衡状態で所望の多値出力信号が得られる）のための設計手法が明らかになっていない。

また、特開平 2 - 1 0 0 7 5 7 の並列ニューラルネットワーク学習方式において示されているニューラルネットワーク 6 1 では、図 5 に示すように 2 個のニューラルネットワークを並列に接続し、各ニューラルネットワークを順次学習させる際、第 1 のニューラルネットワーク 6 2（主ニューラルネットワーク）を一定回数学習させた後、その教師信号と出力ユニット信号との誤差を第 2 のニューラルネットワーク 6 3（補正ニューラルネットワーク）の新たな教師信号として用いて第 2 のニューラルネットワーク 6 3 を学習させている。2 個以上のニューラルネットワークを用いる場合にも、同様にして、 $n$  個目のニューラルネットワークでは、 $n - 1$  個目までの全てのニューラルネットワークの出力ユニット信号の和と教師信号との誤差をその教師信号として学習させ、学習用入力信号に対してそれぞれのニューラルネットワークの出力ユニット信号の和をとり、出力信号を得ている。

この学習方法では、最終段のニューラルネットワークにおいて、その収束状態を検出する条件として出力ユニット信号を正確にその教師信号に完全に一致させること

は非常に困難であること、ローカルミニマムの状態に陥ることもあり完全な収束状態を検出することが簡単には出来ないなどの問題がある。従って、特開平2-100757の実施例で説明されているがごとく多段のニューラルネットワークを接続し、場合によっては順次新たなニューラルネットワークを付加していく必要があるなどの欠点がある。また、中段のニューラルネットワークにおいても局部極小状態の時、学習の結果が変化しないなどの理由から学習を止めており、学習回数が不必要に多くなってしまうなどの欠点もある。また、多値論理などを行わせることは出来ない。

#### 発明が解決しようとする課題

従来の多層ニューラルネットワーク1の学習処理において、多層ニューラルネットワークが学習用入力信号に対応した所望の多値出力信号を送出するよう多値教師信号を用いて重み係数を学習する際に、重み係数の初期値の設定によっては、所望の多値出力信号を送出する収束した状態になるまでの学習回数即ち学習繰り返し回数が非常に多くなる場合や、学習しても収束しない状態即ちローカルミニマム（局部極小）の状態に落ち込み所望の多値出力信号が送出不される場合があるなどの欠点を有している。また、従来の複数のニューラルネットワークを並列に接続した方法でも、所望の多値出力信号を得ることが出来ない。特に、入出力層のユニット数が少なくなると学習による収束が非常に困難となり、所望の多値



出力信号を送出する多値ニューラルネットワークを自由に設計する方法が確立されていない。また、収束しやすくするために中間ユニット（隠れユニット）数を大幅に増やす方法や新たに並列にニューラルネットワークを付加する方法があるが、当然のことながらそれぞれの演算量が増し、非常に大きいハードウェア能力あるいはコンピュータ能力が要求される。而も、収束しやすくなるものの初期値依存性の為に必ずしも収束は補償されないなどの欠点を有している。

一方、相互結合ニューラルネットワークでは、記憶させたい多値記憶パターン信号に対して計算された重み係数を設定しても、必ずしも平衡状態において所望の多値出力信号を送出するとは限らないなどの欠点がある。また、平衡状態に達しない場合もある。相互結合ニューラルネットワークにおいても所望の多値出力信号を得るためには、隠れユニット数を大幅に増やすことが必要であるが、最小ユニットを用いて確実に設計する方法が確立されていない。これらの欠点から、短い実時間で学習し重み係数を適時設定する多値ニューラルネットワークを実現することも非常に困難である。

本発明の目的は、上記の問題を解決し、従来方式のニューラルネットワークなどに比べて、簡単な学習により初期値依存性が無く高速且つ安定に等価的に収束させ、学習用入力信号に対して所望の多値出力信号を容易に得ることができる新たな並列多値ニューラルネットワーク

を提供することにある。

#### 発明の開示

上記の問題点を解決するために、本発明の並列多値ニューラルネットワークにおいて、主ニューラルネットワークと少なくとも1つ以上の補正ニューラルネットワークとを入力に対して並列接続し、予め用意された学習用入力信号に対して多値原教師信号を用いて学習させた該主ニューラルネットワークと、該多値原教師信号と該学習用入力信号に対して該主ニューラルネットワークから多値スレシヨルド回路を介して得られた多値出力ユニット信号との誤差を該補正ニューラルネットワークから多値スレシヨルド回路を介して得られた多値出力ユニット信号を用いて補正できるように学習させた少なくとも1つ以上の該補正ニューラルネットワークと、該主及び補正ニューラルネットワークからの該多値出力ユニット信号を互いに加法演算し送出する手段とを少なくとも具備し、該主ニューラルネットワークの該出力ユニット信号内の該誤差を補正し所望の多値出力信号が得られるよう構成する。

本発明の他の並列多値ニューラルネットワークにおいては、該主ニューラルネットワークと少なくとも1つの該補正ニューラルネットワークとを入力に対して並列接続し、予め用意された該学習用入力信号に対して多値原教師信号を用いて学習させた該主ニューラルネットワークと、該多値原教師信号と該主ニューラルネットワーク

から得られた該多値出力ユニット信号との誤差の内少なくとも一部を予め決められたパターン変換則に従って変換し該補正ニューラルネットワークの補正教師信号として順次学習させた該補正ニューラルネットワークと、該補正ニューラルネットワークからの多値出力ユニット信号に於て該変換された誤差に対応した該多値出力ユニット信号に対しては該パターン変換則の逆変換を行うパターン逆変換処理手段と、該パターン逆変換処理手段を介して得られた出力信号と該主ニューラルネットワークからの多値出力ユニット信号とを互いに加法演算し送出する加法演算手段とを少なくとも具備し、該主ニューラルネットワークからの該多値出力ユニット信号内の誤差を補正し、入力信号に対して所望の多値出力信号が得られるよう構成する。

本発明の並列多値ニューラルネットワークの実行処理において、上記のごとく予め用意された多値原教師信号と主ニューラルネットワークの学習用入力信号に対応した多値出力ユニット信号との誤差を補正するために、学習用入力信号に対して主ニューラルネットワークと並列接続された少なくとも1つ以上の補正ニューラルネットワークを介して得られた多値出力ユニット信号を、主ニューラルネットワークから多値スレシヨルドを介して得られた多値出力ユニット信号にそれぞれ加法演算し、所望の多値出力信号を送出するよう構成されている。従って、学習用入力信号に対して主及び補正ニューラルネッ

トワークを学習させる際、多値スレシヨルド回路を介し加法及び減法演算処理を行うことから、最終段の補正ニューラルネットワークの収束状態を正確に判断し学習させることができ、所望の多値出力信号が得られると共に、学習回数や中間ユニット（隠れユニット）数あるいは中間層数を大幅に削減出来る。

更に、多値原教師信号と主ニューラルネットワークからの多値出力ユニット信号との多値の誤差を、多値補正教師信号として第1の補正ニューラルネットワークを学習させ、前段の補正ニューラルネットワークの多値出力ユニット信号とその多値補正教師信号との多値の誤差を新たな多値補正教師信号として補正ニューラルネットワークを順次学習させているが、最終段の補正ニューラルネットワークの学習過程において、その多値出力ユニット信号がその多値補正教師信号と完全に一致するよう収束させる必要があるが、最終段の補正ニューラルネットワークの多値補正教師信号はゼロ成分が非常に多く、その種類も少ないこと、而も多値スレシヨルド処理を行うことからなどから、少ない学習回数あるいは少ない隠れユニット数の条件下でも最終段の補正ニューラルネットワークの収束が簡単に得られる。また、中段の補正ニューラルネットワークにおいても、前段より多値の誤差を減少させる範囲内で学習させれば良く、学習回数や隠れユニット数を大幅に減すことが出来る。更に、最終段のニューラルネットワークが規定の学習回数以内で収束し

ない場合には、そのユニット数を増やすか、あるいは前段のニューラルネットワークの学習回数か、その隠れユニット数を増やして再度学習させ中段のニューラルネットワークの補正教師信号との多値の誤差を少なくすることにより、確実に最終段の補正ニューラルネットワークを収束させることが出来る。

上記説明のごとく本発明の並列多値ニューラルネットワークは、従来方式のニューラルネットワークに比べて初期値依存性も無く非常に高速に且つ安定に学習させ所望の多値出力信号を容易に得ることが出来ることから、種々の論理演算を行うことが出来る並列多値ニューラルネットワークを自由に設計できる。

また、本発明の並列多値ニューラルネットワークを複数接続して使用しても、それぞれの並列多値ニューラルネットワークが容易に所望の多値出力信号を送出するよう学習させることが出来ることから、並列多値ニューラルネットワークの設計自由度が増すと共に、実時間で学習をやり直す必要がある多値論理システムや、非常に多くの入力信号エレメント数を持った入力信号や数多くの多値教師信号を有したユニット数の多いニューラルネットワークを用いた多値論理システムを実現できる。更に、従来方式では安定で高速に収束させることができず所望の多値出力信号が得られない大規模多値ニューラルネットワーク、多値画像処理などにおけるデータ変換なども容易に設計し実現することが可能となる。

## 図面の簡単な説明

図 1 は従来方式による 3 層ニューラルネットワークの実行処理の一構成例、図 2 は従来方式による相互結合ニューラルネットワークの実行処理の一構成例、図 3 は従来方式による 3 層ニューラルネットワークにおける学習処理の一構成例、図 4 は従来方式による相互結合ニューラルネットワークの学習処理の一構成例、図 5 は従来技術による 2 つのニューラルネットワークを用いた実行処理の基本構成、図 6 は実施例 1 における本発明のニューラルネットワークの実行処理の一構成例、図 7 は多値スレシヨルド回路の入出力特性（R 値の場合）、図 8 は実施例 1 における本発明のニューラルネットワークの学習処理の一構成例、図 9 は実施例 1 における本発明のニューラルネットワークの多値補正教師信号生成器 2 4 の一構成例、図 1 0 は実施例 2 における本発明のニューラルネットワークの実行処理の一構成例、図 1 1 は実施例 2 における本発明のニューラルネットワークの多値補正教師信号生成器 5 2 の一構成例、図 1 2 は実施例 3 における本発明のニューラルネットワークの多値補正教師信号生成器 5 3 の一構成例、図 1 3 は実施例 4 における本発明のニューラルネットワークの実行処理の一構成例、図 1 4 は実施例 5 における本発明のニューラルネットワークの学習処理の一構成例、図 1 5 は実施例 6 における本発明のニューラルネットワークの学習処理の一構成例、図 1 6 は実施例 7 における本発明のニューラルネットワ

一の実行処理の一構成例、図17は実施例7における本発明のニューラルネットワークの学習処理の一構成例、図18は実施例8における本発明のニューラルネットワークの実行処理の一構成例である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の並列多値ニューラルネットワークの実施例1-8をあげ、その構成及びその動作について、詳細に説明する。本発明の並列多値ニューラルネットワークは、予め準備された学習用入力信号と教師信号に対して重み係数を修正し学習させるための学習処理モードと、学習された重み係数を用いて入力信号に対して出力信号を送出させる実行処理モードとの2つのモードで動作させる場合を前提に説明する。

#### 実施例1

実施例1としての本発明の並列多値ニューラルネットワーク15において、多層ニューラルネットワークからなる主ニューラルネットワーク16と補正ニューラルネットワーク18とを入力に対して並列接続し、多値原教師信号と多値の誤差の補正の為の多値加法演算処理とを用いた一構成例を示す。本発明の並列多値ニューラルネットワーク15は、予め準備された学習用入力信号に対して重み係数を学習させるための学習処理モードと、学習された重み係数を用いて入力信号に対して多値出力信号を送出する実行処理モードとの2つのモードのもとに動作する。

実行処理モードにおける実行処理の構成として、多値加法演算処理を用いた一構成例を図6に示す。本発明の並列多値ニューラルネットワーク15は、入力信号Iをユニット毎に入力する端子 $2_1$ 、 $2_2$ 、 $\dots$ 、 $2_n$ と多値出力信号Oとしてユニット毎に出力する端子 $3_1$ 、 $3_2$ 、 $\dots$ 、 $3_m$ とを有し、主ニューラルネットワーク16と、入力に対して並列接続された補正ニューラルネットワーク18と、主ニューラルネットワーク16からの出力ユニット信号を多値化する多値スレシヨルド回路17と、補正ニューラルネットワーク18からの出力ユニット信号を多値化する多値スレシヨルド回路19と、多値スレシヨルド回路17及び19からのそれぞれ対応した多値出力ユニット信号を加法演算処理する加法演算器20と、主及び補正ニューラルネットワーク16及び18の動作モードを制御するための動作モード制御器21とから構成される。

並列多値ニューラルネットワーク15は、動作モード制御回路21からの制御により実行処理モードに設定され動作する。この時、主及び補正ニューラルネットワーク16及び18はそれぞれ学習処理モードにおける学習により得られた重み係数が設定されている。端子 $2_1$ 、 $2_2$ 、 $\dots$ 、 $2_n$ を介してそれぞれ並列接続された多層ニューラルネットワークからなる主ニューラルネットワーク16及び補正ニューラルネットワーク18に入力された入力信号Iに対して、主ニューラルネットワーク1



6 及び補正ニューラルネットワーク 18 から出力される出力ユニット信号を、多値スレシヨルド回路 17<sub>1</sub>、17<sub>2</sub>、・・・17<sub>m</sub> 及び 19<sub>1</sub>、19<sub>2</sub>、・・・19<sub>m</sub> により多値化して多値出力ユニット信号として、加法演算器 20 にそれぞれ入力する。ここで、多値スレシヨルド回路として R 値の多値化入出力の関係の一例を図 7 に示す。

加法演算器 20 では、多値スレシヨルド回路 17<sub>m</sub> (m = 1、・・・M) からの多値出力ユニット信号 X<sub>m</sub> と多値スレシヨルド回路 19<sub>m</sub> からの多値出力ユニット信号 Y<sub>m</sub> とを加法演算 (X<sub>m</sub> + Y<sub>m</sub>) mod (R) によって処理して、端子 3<sub>1</sub>、3<sub>2</sub>、・・・3<sub>m</sub> から並列多値ニューラルネットワーク 15 の R 値の多値出力信号 0 として出力する。主ニューラルネットワーク 16 には学習により得られた重み係数を設定しているが、前記学習用入力信号に対して必ずしも全ては所望の多値出力ユニット信号を与えず、多値の誤差を持った信号を出力する。一方、補正ニューラルネットワーク 18 では、この多値の誤差に等しい多値出力ユニット信号を送出して加法演算器 20 にてこの誤差を補正できるように学習させた重み係数が設定されており、主ニューラルネットワークからの多値の誤差を持った多値出力ユニット信号が正確に補正され、所望の多値出力信号 0 が端子 3 から送出される。

ここで、加法演算器 20 において多値スレシヨルド回路 17 の多値出力ユニット信号ベクトルを (X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、・・・X<sub>m</sub>) 及び多値スレシヨルド回路 19 の多値出力ユ

ビット信号ベクトルを  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_M)$  とすると、加法演算器 20 の多値出力ベクトル  $(Z_1, Z_2, \dots, Z_M)$  のエレメント  $Z_i$  は  $(X_i + Y_i) \bmod (R)$  により計算される。

次に、本発明の並列多値ニューラルネットワーク 15 における学習処理モードでの多層ニューラルネットワークを用いた学習処理の構成を図 8 に示す。動作モード制御器 21 は、学習処理モードと実行処理モードとの切り替えを行う機能を有している。並列多値ニューラルネットワーク 15 の学習処理モードでは、まず、主ニューラルネットワーク 16 としての多層ニューラルネットワークの重み係数初期値の設定と学習開始及び終了の制御とを行い、次に、多値補正教師信号の生成と補正ニューラルネットワーク 18 の重み係数初期値の設定と学習開始の制御とを行い、補正ニューラルネットワークの学習処理が終了すると学習処理モードを実行処理モードに切り替える。

主ニューラルネットワーク 16 の学習過程では、端子 2 からの予め用意された学習用入力信号と端子 8 からの多値原教師信号  $T$  とを用い学習を行う。従来と同様に、減算器 9 において多値原教師信号  $T$  から主ニューラルネットワーク 16 からの出力ユニット信号を差し引き、誤差信号を求め重み係数制御器 22 に入力し、端子 23 からの各層のユニット出力信号とを基にその誤差電力が最小となるよう重み係数の更新を行い端子 23 を介して

新たな重み係数の設定を繰り返す。ここで、主ニューラルネットワーク 16 から多値スレシヨルド回路 17 を介して得られた多値出力ユニット信号が多値原教師信号 T と完全に一致するまで重み係数の学習を行うことは、多値スレシヨルド回路を通さない場合に比べ収束しやすくなるものの、従来技術においても明らかにしたように完全な収束は困難である。従って、重み係数制御器 22 にて、学習回数を検出し規定値と比較する方法、実時間処理の場合などではタイマを用い設定値と比較する方法、あるいは補正教師信号生成器 24 内において多値スレシヨルド回路 17 からの多値出力ユニット信号と多値原教師信号 T との多値の誤差の大きさを検出し規定値と比較する方法などのいずれかの方法により、動作モード制御器 21 を介して学習を終了させる。

その後、主ニューラルネットワーク 16 の学習が終了した時点での多値原教師信号 T と学習用入力信号に対応した多値出力ユニット信号との多値の誤差を、補正教師信号生成器 24 内において減法演算処理により求め、これを多値補正教師信号 TC として記憶させる。図 9 は補正教師信号生成器 24 の一構成例であり、端子 8 から入力された多値原教師信号 T から多値スレシヨルド回路 17 を介して入力された多値出力ユニット信号をユニット毎に減法演算し、多値の誤差を出力する減法演算器 80 と、その出力を多値補正教師信号 TC として記憶する補正教師信号記憶器 82 とから構成される。減法演算器 8

0 は、多値原教師信号  $T_i$  ( $i = 1, \dots, M$ ) と多値出力ユニット信号  $X_i$  との間で、 $(R + T_i - X_i) \bmod (R)$  なる減法演算し出力する。

上記動作が完了すると、動作モード制御器 21 を介して、前記学習用入力信号と多値補正教師信号  $T_C$  とを用いた補正ニューラルネットワーク 18 の学習を開始させ、減算器 25 にて多値補正教師信号  $T_C$  から補正ニューラルネットワーク 18 からの出力ユニット信号を差し引き、これを誤差信号として重み係数制御器 26 に入力し、端子 27' からの各層のユニット出力信号とを基にその誤差電力が最小となるよう重み係数の更新を行い端子 27 を介して新たな重み係数の設定を繰り返す。この学習過程では、一致判定器 28 において多値補正教師信号  $T_C$  と多値スレシヨルド回路 19 を介して得られた多値出力ユニット信号との完全な一致を検出するまで学習を繰り返し、一致すれば、多値補正教師信号  $T_C$  に対して補正ニューラルネットワーク 18 が完全に収束しているとみなし学習を終了させ、動作モード制御器 21 により学習モードから実行処理モードへ切り替える。

実行処理モードでは、学習用入力信号を用いて多値原教師信号  $T$  に対して学習させて得られた重み係数を設定した主ニューラルネットワーク 16 から多値スレシヨルド回路 17 を介して得られた多値出力ユニット信号と、多値補正教師信号  $T_C$  に対して学習させて得られた重み係数を設定した補正ニューラルネットワーク 18 から多

値スレシヨルド回路19を介して得られた多値出力ユニット信号とを加法演算器20にて加法演算処理することにより、少なくとも学習用入力信号に対しては完全に多値原教師信号と同一の多値出力信号0が得られ、主ニューラルネットワーク16の不完全な学習により生じた多値の誤差を正確に補正することが出来る。

本実施例の並列多値ニューラルネットワーク15において、上記説明のごとく補正ニューラルネットワーク18が多値の誤差を多値補正教師信号として学習し、完全に収束できれば、主ニューラルネットワーク16は収束しなくてもよく、例えば、主ニューラルネットワークからの多値出力ユニット信号の内、多値の誤差を持たない多値出力ユニット信号を90%から95%程度送出させることは僅かの学習回数で実現できる。これ以上に収束させ、より多くの所望の多値出力信号を得ようとするれば指数関数的に学習回数が増加することからも、従来方式に比べて学習回数を大幅に削減できることが明らかである。一方、主ニューラルネットワーク16の多値原教師信号Tがほぼランダムな成分を持っているのに対して、補正ニューラルネットワーク18の多値補正教師信号TCは10%程度の僅かな多値の誤差成分しか持たず、その他の成分はゼロとなる。このように種類が少なく而も発生頻度が特定の信号パターンに片寄った多値補正教師信号に対して、補正ニューラルネットワーク18を僅かの学習回数で完全に収束させることは簡単である。従っ

て、上記のように学習させた重み係数が設定された主及び補正ニューラルネットワーク16及び18を用いた並列多値ニューラルネットワーク15の実行処理で、学習用入力信号に対して所望の多値出力信号を端子3から出力させることは簡単に実現できる。また、多値原教師信号と多値補正教師信号とも同一の多値空間を有していることから、主及び補正ニューラルネットワークとも同一のニューラルネットワークで実現すれば良く、同じ重み係数精度やシグモイド関数を用いた構成でよい。

学習において主ニューラルネットワーク16を完全に収束させる必要がないため、中間層や隠れユニット数を削減でき、また、多値スレシヨルド回路や加法及び減法演算などによる多値演算処理を行うためにニューラルネットワーク内の演算精度も低くて良く、演算規模も小さくなる。特に、多値原教師信号が2値の場合には、多値スレシヨルド回路17、19として2値スレシヨルド回路を用い、加法演算器20はXOR回路で与えられ、補正教師信号生成器24内の減法演算器80もXOR回路で簡単に実現される。例えば、コンピュータシミュレーションによると、入力層75ユニット、中間層21ユニット及び出力層7ユニットを持った3層の主及び補正ニューラルネットワーク16、18をそれぞれバックプロパゲーション・学習アルゴリズムを用いて構成した場合、75ビットの入力信号（入力変数）と7ビットの多値出力信号（出力変数）との間で所望の入出力関係を与え

る 2 値論理関数を、初期値の依存性も非常に小さく全学習回数が 2 1 0 回以内で簡単に学習させることができ、実行処理モードでは、学習用入力信号に対して常に所望の多値出力信号を正しく得ることが出来る。これを、従来型の 3 層のバックプロパゲーション学習アルゴリズムによる入力層 7 5 ユニット、中間層 4 0 ユニット及び出力層 7 ユニットを持った同規模の単一の 3 層ニューラルネットワークで実現した場合、同様の 2 値論理関数の設計において、2 万回以上の学習を繰り返しても収束せず、初期値依存性が大きく所望の入出力関係を与えることが出来ない。入力層及び出力層のユニット数を更に増やすと所望の出力を得るための学習回数と必要な演算精度の差は一段と拡大する。

多値論理関数の真理値表を本発明のニューラルネットワーク 1 5 を用いて簡単に而も短時間で学習させることができることから、従来の大規模ニューラルネットワークでは極めて設計が困難な大規模多値論理回路も容易に実現できる。また、本発明の並列多値ニューラルネットワーク 1 5 において複数組の学習した重み係数をそれぞれ用意し、これらを切り替えて設定すれば、同一の演算遅延で複数個の大規模可変多値論理回路を容易に実現できる。また、状況に応じて短時間で学習仕直すことも可能なことから、同一構成上に新たな入出力関係を与える大規模多値論理回路も容易に実現出来る。特に、主及び補正ニューラルネットワークを同一のニューロ L S I チ

ップで構成すれば、同一ハードウェアの並列処理機能と柔軟な演算処理機能の効果的な利用により、高速大規模可変多値論理回路を簡単に実現できる。また、従来のニューラルネットワークを本発明のニューラルネットワーク15で置き換え、簡単に学習をさせ、パターン認識、連想メモリ、データ圧縮、データ変換などに用いることも出来る。

## 実施例 2

本発明の第2の実施例として、実施例1と異なった補正教師信号生成器52を用いた並列多値ニューラルネットワーク83を示す。学習処理モードでの学習処理の構成及び学習過程での動作は、補正教師信号生成器52の構成が異なる以外は図8の実施例1と同じである。ここでは、補正教師信号生成器52の構成と実行処理モードでの構成とその動作のみ説明する。

図11は本実施例における補正教師信号生成器52の一構成例であり、端子8から入力された多値原教師信号Tから多値スレシヨルド回路17を介して入力された多値出力ユニット信号をユニット毎に減法演算し多値の誤差を出力する減法演算器80と、多値の誤差の中から予め指定された誤差パターンを検出し、それとの距離が拡大されるようパターン変換して出力し、その他の多値の誤差はそのまま出力するパターン変換処理器81と、パターン変換処理器81の出力を多値補正教師信号TCとして記憶する補正教師信号記憶器82とから構成される



。減法演算器 80 及び補正教師信号記憶器 82 は、図 9 の実施例 1 の補正教師信号生成器 24 と同じ機能構成である。

主ニューラルネットワーク 16 の学習の際に、多値の誤りがなく全エレメントが 0 (0, 0, . . . , 0) 即ち誤差の無い誤差パターン (C0) の発生率が 90% 程度となるか、あるいは誤差パターンの最大重みが定められた値以下となると、学習を終了させる。この時点で、上記の補正教師信号生成器 52 の減法演算器 80 において、多値原教師信号 T から、主ニューラルネットワーク 16 から多値スレシヨルド回路 17 を介して得られた多値出力ユニット信号をそれぞれユニット毎に減法演算処理し、多値の誤差を求め、一部の指定された誤差に対してパターン変換を行ない、互いのパターンの距離 (例えば、ハミング距離やリー距離) を拡大し、それらを補正教師信号 TC として記憶させる。即ち、発生頻度の最も高い C0 を全エレメントが最大値  $R - 1$  を持つ誤差パターン (C1) にパターン変換し、他の誤差パターンの種類は多値原教師信号の  $R^M$  個のパターン数に比べて大幅に削減されており、而も重みの小さいパターン (0 のエレメントを数多く持ったパターン) であることから、これらをそのまま多値補正教師信号として用いる。特に、多値原教師信号が 2 値の場合には、多値スレシヨルド回路 17、19 として 2 値スレシヨルド回路を用い、加法演算器 20 及び減法演算器 80 も XOR 回路でそれぞれ

簡単に実現される。この時のパターン変換としてはC0パターン(0、0、・・・、0)の補数でC1パターン(1、1、・・・、1)を実現すれば良い。

補正教師信号生成器52において多値補正教師信号TCの生成が完了すると、図8に示すように動作モード制御器21を介して、重み係数の初期設定の後、前記学習用入力信号と多値補正教師信号TCとを用いて補正ニューラルネットワーク18の学習を開始させる。この学習過程では、一致判定器28において多値補正教師信号TCと多値スレシールド回路19を介して得られた多値出力ユニット信号との完全な一致が検出されると、多値補正教師信号TCに対して補正ニューラルネットワーク18が完全に収束したとみなし学習を終了させ、動作モード制御器21により学習処理モードから実行処理モードへ切り替える。多値補正教師信号において発生頻度の高いパターンと他の誤差パターンとの距離が大きく拡大されており、学習用入力信号の多値出力ユニット信号への割付が非常に簡単となり、一段と少ない学習回数で補正ニューラルネットワーク18を容易に収束させることができる。

次に、並列多値ニューラルネットワーク83の実行処理モードにおける実行処理を説明する。実行処理の一構成例を図10に示す。主ニューラルネットワーク16と、並列接続された補正ニューラルネットワーク18と、主ニューラルネットワーク16及び補正ニューラルネッ

トワーク 18 からの出力ユニット信号をそれぞれ多値化する多値スレシヨルド回路 17、19 と、補正教師信号生成器 52 においてパターン変換され得られた特定パターンを多値スレシヨルド 19 からの多値出力ユニット信号内から検出し、これを元の多値誤差パターンにパターン逆変換して出力し、その他はそのまま出力するパターン逆変換処理器 84 と、多値スレシヨルド回路 17 及びパターン逆変換処理器 84 からのそれぞれ対応した出力を加法演算し、端子 3 に多値出力信号 0 として出力する加法演算器 20 と、主及び補正ニューラルネットワーク 16 及び 18 の動作モードを制御するための動作モード制御器 21 とから構成される。ここで、動作モード制御器 21 からの制御により実行処理モードが設定され動作する際、主及び補正ニューラルネットワーク 16 及び 18 ではそれぞれ学習モードで得られた重み係数が設定される。

補正ニューラルネットワーク 18 からの多値出力ユニット信号からパターン逆変換処理器 84 を介して元の多値誤差パターンが得られ、加法演算器 20 にて主ニューラルネットワーク 16 からの多値出力ユニット信号とそれぞれ加法演算処理されることから、主ニューラルネットワーク 16 からの多値出力ユニット信号内の不完全な学習により生じた誤差が補正できる。これにより、並列多値ニューラルネットワーク 83 において学習用入力信号に対しては完全に多値原教師信号と同一の多値出力信

号 0 が端子 3 から得られる。

上記の説明のごとく本発明の並列多値ニューラルネットワーク 83 は少ない学習回数で等価的に収束させることができ、誤差パターンの変換を施した補正教師信号を用いることにより補正ニューラルネットワーク 18 を完全に収束させるための学習回数を大幅に削減出来る。

### 実施例 3

実施例 3 として、本発明に関する実施例 2 とは異なるパターン変換方式を用いた実施例を示す。実施例 2 では補正教師信号生成器 52 において、発生頻度が高い全エレメントが 0 の特定の誤差パターンだけを全エレメントが  $R - 1$  のパターンに変換するパターン変換方式について一具体例を示した。ここでは、主ニューラルネットワーク 16 の学習回数を極端に少なくした場合に多値誤差パターンの重みが増え種類が若干増加し、而も発生頻度もほぼ同じ状態となる誤差パターンに対して、 $M$ 次元符号空間で相互に距離を離す為のパターン変換方式を用いた補正教師信号生成器 53 を導入した実施例を示す。

実施例 3 は、実施例 2 の補正教師信号生成器 52 の減法演算器 80 から出力される多値の誤差パターンを変換処理するパターン変換処理器 81 及び補正ニューラルネットワーク 18 からの多値出力ユニット信号に対するパターン逆変換処理器 84 の構成のみが異なることから、これらのパターン変換処理及びパターン逆変換処理についてのみ記述する。ここでは、図 12 に示すようにパタ

ーン変換処理器 8 1 の代わりに誤り訂正符号処理器 8 5 を用いた場合について説明する。誤り訂正符号処理器 8 5 は各誤差パターンに対して誤り訂正符号変換処理を用いて距離の拡大されたパターンを出力し、補正教師信号記憶器 8 2 に書き込む。また、パターン逆変換処理器 8 4 の代わりに誤り訂正符号処理器 8 5 と逆の入出力関係を与える新たなパターン逆変換器を R O M を用いて構成する。これにより補正ニューラルネットワーク 1 8 からの多値出力ユニット信号をパターン逆変換し元の多値の誤差に戻すことができる。

2 値の誤り訂正符号処理方式について具体例をあげ説明する。前述した通り極端に少ない学習回数においても、主ニューラルネットワーク 1 6 からの多値出力ユニット信号を基にした 2 値の誤差パターンの種類  $k$  は 2 値教師信号の種類  $2 M$  に比べて少なく、 $k \ll 2 M$  である。この時、 $\log_2 (k) \leq K$  を満たす最小の整数  $K$  のビット数で  $k$  種類の誤差パターンを表すことができる。この  $K$  ビットパターンを情報ビットとし、誤り訂正符号理論で用いられている線形符号や巡回符号等の誤り訂正符号処理器 8 5 を用いて単一誤り以上の訂正能力を持った  $M - K$  ビットの検査ビットを生成すれば、最小ハミング距離が 3 の  $M$  ビット符号語を作成することができ、ハミング距離を 3 以上に拡大できる。ここで、それぞれの誤差パターンに対応させた  $M$  ビット符号語を変換パターンとして補正教師信号記憶器 8 2 へ記憶させればよい。

2 値の出力ユニット数  $M$  が 7 の時、学習モードにおいて例えば誤差パターンの数が 8 個となると学習を終了させると、変換前の誤差パターンはハミング重みが 0 及び 1 のパターンとなる。したがって、これらの誤差パターンは 3 ビットの情報ビットを用いれば全て表せることから、3 ビットの情報符号を基にした誤り訂正符号処理器 85 により 4 ビットの検査ビットを持った少なくとも最小ハミング距離が 3 の誤り訂正符号語を生成し、これらを補正教師信号とすればよい。以上、2 値の場合について説明したが、多値の場合についても同様に多元の誤り訂正符号理論により相互にリー距離が拡大された符号語を生成することができる。これらの方法により入力された誤差パターンに応じてパターン変換し補正教師信号として補正教師信号記憶器 82 に記憶させればよい。また、パターン逆変換処理器 84 の代わりとしては、逆の入出力関係を与える符号逆変換処理器として ROM を用意すればよい。

本実施例は、実施例 2 に比較してパターン変換則が若干複雑になるが、誤差パターン間のリー距離あるいはハミング距離を相互に拡大できることから、補正教師信号生成器 53 を用いた並列多値ニューラルネットワーク 83 を等価的に更に高速に収束させることができる。

#### 実施例 4

実施例 4 として、多値学習パターン信号を用いて重み係数を求める相互結合ニューラルネットワークを用いた

主ニューラルネットワーク 29 と、多層ニューラルネットワークを用いた補正ニューラルネットワーク 18 とを入力に対して並列に接続し、多値教師信号からの多値の誤差の補正の為の多値加法演算処理を用いた本発明の並列多値ニューラルネットワークの一構成例をあげ説明する。本発明の並列多値ニューラルネットワークの実行処理モードでの実行処理の構成は、主ニューラルネットワーク 29 として相互結合ニューラルネットワークを用いる他は実施例 1 の並列多値ニューラルネットワーク 15 の図 6 の構成と同じで、動作も同様であるので構成と詳細説明を省略する。

学習処理モードでの学習処理の一構成例を図 13 に示すが、実施例 1 の図 8 の構成とは異なる。尚、以下の説明では、同一構成部分については同一番号を付し、説明の重複を省く。図 13 の本発明のニューラルネットワークの学習処理モードでの学習処理の構成としては、相互結合ニューラルネットワークからなる主ニューラルネットワーク 29 と、多層ニューラルネットワークからなる補正ニューラルネットワーク 18 とを入力に対して並列に配置し、端子 13 から入力される多値記憶パターン信号をもとに主ニューラルネットワーク 29 の重み係数を計算するための重み係数処理器 30 と、多値記憶パターン信号の一部を学習用入力信号に対応した多値原教師信号として、この多値原教師信号と主ニューラルネットワーク 29 から多値スレシヨルド 17 を介して得られた多

値出力ユニット信号とから多値の誤差を求め、その誤差を多値補正教師信号として記憶するための補正教師信号生成器 32 と、学習用入力信号と多値補正教師信号とを用いて補正ニューラルネットワーク 18 の重み係数を学習させる為に、多値補正教師信号とその出力ユニット信号との誤差信号を求める減算器 25 と、その誤差電力を最小とするよう重み係数を更新制御する重み係数制御器 26 と、補正ニューラルネットワーク 18 の出力ユニット信号を多値化する多値スレシヨルド回路 19 と、多値スレシヨルド回路 19 の出力である多値出力ユニット信号と多値補正教師信号とが完全に一致したことを検出するための一致判定器 28 と、学習の開始及び終了制御、重み係数初期設定及び相互結合ニューラルネットワークの隠れユニット数の設定を行う動作モード制御器 33 とからなる。

本実施例と実施例 1 との基本的な違いは、主ニューラルネットワーク 29 を相互結合ニューラルネットワークで実現しており、それに伴って重み係数を算出するための多値記憶パターン信号を端子 13 から重み係数処理器 30 に入力し、更に、多値原教師信号として多値記憶パターン信号の一部が補正教師信号生成器 32 に入力されている。

相互結合ニューラルネットワークである主ニューラルネットワーク 29 の重み係数は重み係数処理器 30 において多値記憶パターン信号と隠れユニット数が与えられ



ると計算され、主ニューラルネットワーク 29 に端子 31 を介して設定される。主ニューラルネットワーク 29 からの出力ユニット信号が平衡状態に達すると、多値スレシヨルド 17 にて多値出力ユニット信号を得、補正教師信号生成器 32 にて多値記憶パターン信号内の多値教師信号と比較し多値の誤差を求め、それを多値補正教師信号として記憶させる。ここでは、省略するが、多値補正教師信号生成器 32 として、前述の多値補正教師信号生成器 24 と同一の構成でよい。

次に、補正教師信号生成器 32 から出力された多値補正教師信号と学習用入力信号とから補正ニューラルネットワーク 18 を学習させるために、多値補正教師信号と補正ニューラルネットワーク 18 の出力ユニット信号とから減算器 25 にてそれぞれのユニットの誤差信号を求め、この誤差電力を最小とするよう重み係数を重み係数制御器 26 にて修正し、更新された重み係数を補正ニューラルネットワーク 18 に端子 27 を介して設定する。この学習過程において、多値出力ユニット信号が多値補正教師信号と完全に一致すると、これを一致判定器 28 にて検出し、完全に収束したとみなし学習を終了させる。規定の学習回数以内で一致しない場合は、補正すべき多値の誤差が多すぎると見なし、動作モード制御器 33 からの制御のもとに主ニューラルネットワーク 29 の隠れユニット数を増やし、再度、主ニューラルネットワーク 29 から学習させ同様な処理により、多値補正教師信

号を求め直した後、補正ニューラルネットワーク18を再度学習させ完全に収束させる。あるいは、補正ニューラルネットワーク18の隠れユニット数を増やし再度学習させて完全に収束させてもよい。

上記の説明のごとく、学習処理モードにおいて、主ニューラルネットワーク29の相互結合ニューラルネットワークの平衡点における多値出力ユニット信号の多値の誤差を多値補正教師信号とした補正ニューラルネットワーク18を学習させ完全に収束させることが、実施例1と同様の理由で簡単に出来る。このような学習処理モードで得られた主及び補正ニューラルネットワーク29及び18の重み係数を実行処理モードにおいて設定し用いることにより、図6と同様な構成の基に主ニューラルネットワーク29からの多値出力ユニット信号に含まれる多値の誤差を補正ニューラルネットワーク18からの多値出力ユニット信号を用いて加法演算器20にて補正し、端子3から学習用入力信号に対する完全な所望の多値出力信号を送出することができる。

従来の相互結合ニューラルネットワークでは、平衡状態を得るには多くの隠れユニット数を用いる必要があるが、ローカルミニマムの存在により所望の解が得られない場合が多く、任意の所望の多値出力ユニット信号を得るよう設計することは困難である。しかし、本発明の並列多値ニューラルネットワークでは上記説明のごとく、相互結合ニューラルネットワークの問題点を簡単に解決

できる非常に有効的なニューラルネットワークを提供できる。尚、相互結合の一例として、2値のホップフィールド・ネットワークやボルツマン・マシンの場合には、出力ユニット信号は2値となることから、図13の学習処理及び実行処理の構成において多値スレシヨルド回路を省略してもよく、加法演算器はXOR回路となる。また、補正教師信号生成器32内の減法演算も同様にXOR回路となる。

#### 実施例5

実施例5は、本発明の並列多値ニューラルネットワークとして多層ニューラルネットワークによる主ニューラルネットワーク16と、多値学習パターン信号による重み係数計算を行う相互結合ニューラルネットワークからなる補正ニューラルネットワーク37とを用い入力に対して並列接続した一構成例である。

実行処理モードでの実行処理の構成は、実施例1における図6の並列多値ニューラルネットワーク15の実行処理の構成と同一であるが、主ニューラルネットワーク16として多層ニューラルネットワークを、補正ニューラルネットワーク37として、相互結合ニューラルネットワークを用いている。動作は実施例1と同様であるので説明を省略する。

学習処理モードでの学習処理の一構成例を図14に示す。まず、動作モード制御器38からの制御信号により主ニューラルネットワーク16の学習を開始させる。こ

ここで、主ニューラルネットワーク 16 の学習は、実施例 1 の図 8 の主ニューラルネットワーク 16 の学習と同様である。学習終了後、補正記憶パターン信号生成器 34 は、多値原教師信号 T と主ニューラルネットワーク 16 から多値スレシヨルド回路 17 を介して得られた多値ユニット出力信号とから多値の誤差を求め、この誤差を多値補正教師信号とし相互結合ニューラルネットワークからなる補正ニューラルネットワーク 37 の補正多値学習パターン信号の一部として記憶させる。

次に、動作モード制御器 38 からの制御信号により補正ニューラルネットワーク 37 の学習を開始させ、補正多値記憶パターン信号を補正記憶パターン信号生成器 34 から読みだし、重み係数処理器 35 に於て、相互結合ニューラルネットワークの重み係数を計算し、端子 36 を介して補正ニューラルネットワーク 37 に設定し動作させる。補正ニューラルネットワーク 37 が平衡状態になると、補正多値記憶パターン信号内の多値補正教師信号と補正ニューラルネットワーク 37 から多値スレシヨルド回路を介して得られた多値出力ユニット信号とを一致判定器 28 にて比較し、一致すれば、学習を終了する。一致しなければ、補正ニューラルネットワーク 37 の隠れユニット数を増やし再度重み係数を計算し補正ニューラルネットワーク 37 への設定を繰り返す。規定の回数以内に一致判定器 28 にて一致が検出されない場合には、主ニューラルネットワーク 16 の学習を再度開始し

て、多値の誤差の少ない多値補正教師信号を持つ補正多値記憶パターン信号を補正記憶パターン生成器32で生成し、再度重み係数処理器35にて重み係数を計算し補正ニューラルネットワーク37に設定し動作させる。多値補正教師信号と多値出力ユニット信号とが一致したことが一致判定器28において検出されるまで、上記の学習過程を繰り返す。学習処理が終了すると、動作モード制御器38により学習処理モードを実行処理モードに切り替える。

このように、主ニューラルネットワーク16の多層ニューラルネットワークの学習回数あるいは誤差量に基づき学習を制御すると共に、補正ニューラルネットワーク37の相互結合ニューラルネットワークの隠れユニット数を調整することにより、ゼロ成分が多い多値補正教師信号を用いて補正ニューラルネットワーク37を正しく収束させることができる。

実行処理モードでは、このようにして学習し得られた重み係数を設定した主及び補正ニューラルネットワーク16、37を用いることにより、主ニューラルネットワーク16の多値ユニット出力信号に含まれる誤差は補正ニューラルネットワーク37からの多値ユニット出力信号を用いて加法演算器20にて補正され、端子3から得られる本発明の多値ニューラルネットワークの多値出力信号は学習用入力信号に対して常に所望の出力となる。

実施例6

実施例 6 は、本発明の多値ニューラルネットワークにおいて、主及び補正ニューラルネットワーク 29、37 とも多値記憶パターン信号により重み係数を計算する相互結合ニューラルネットワークを用いた一構成例である。本発明の並列多値ニューラルネットワークの実行処理モードでの実行処理の構成は、主及び補正ニューラルネットワーク 29、37 とも相互結合ニューラルネットワークを用いる他は実施例 1 と同じで、図 6 の並列多値ニューラルネットワーク 15 と同様な構成となり、動作も同様であるので説明を省略する。

学習処理モードでの学習処理の構成を図 15 に示す。動作モード制御器 39 の制御のもとに端子 13 に入力された多値原教師信号を含んだ多値記憶パターン信号から重み係数処理器 30 において主ニューラルネットワーク 29 の重み係数を計算し端子 31 を介して設定する。実施例 2 の図 9 と同様に動作させ、補正記憶パターン信号生成器 34 にて、多値記憶パターン信号の一部からなる多値原教師信号との多値の誤差を求め、この誤差を多値補正教師信号として持つ補正記憶パターンを生成し記憶させる。その後、補正ニューラルネットワーク 37 を学習させる為に、重み係数処理器 35 に補正多値記憶パターン信号を入力し、重み係数を計算し補正ニューラルネットワーク 37 に端子 36 を介して設定し動作させる。実施例 3 の図 14 と同様に補正ニューラルネットワーク 37 が平衡状態に達すると、一致判定器 28 にて多値補

正教師信号と補正ニューラルネットワーク37から多値スレシヨルド19を介して得られた多値ユニット出力信号との一致を調べ、完全に一致していれば学習を終了する。また、一致しなければ、補正ニューラルネットワーク37の隠れユニット数を増やし、再度重み係数を重み係数処理器35において計算しなおし、同様の処理を実施する。この時、補正ニューラルネットワーク37の隠れユニット数が規定の数以上あるいは繰り返し回数が規定以上になると、補正ニューラルネットワーク37が収束しないとみなし、再度主ニューラルネットワーク29の隠れユニット数を増やし、上記の学習処理を実施させる。

実行処理モードでは、学習処理により得られた重み係数をそれぞれ主及び補正ニューラルネットワーク29、37に設定し、図6と同様に構成することにより本発明の並列多値ニューラルネットワークは学習用入力信号に対して常に所望の多値出力信号を端子3から送出することが出来る。

また、これまでの実施例では主ニューラルネットワーク29として、重み係数処理器30において多値記憶パターン信号を用いて重み係数を求め、これを設定した相互結合ニューラルネットワークを使用しているが、多値記憶パターン信号を使わずにエネルギー関数を最小化する重み係数を直接計算し設定した相互結合ニューラルネットワークを代わりに用いてもよい。この場合は、主ニ

ニューラルネットワーク 29 から多値スレシヨルド回路 17 を介して得られる多値出力ユニット出力内の多値の誤差は多値原教師信号を用いた場合に比べ若干増えるが、補正ニューラルネットワーク 18 あるいは 37 からの多値出力ユニット信号で十分にこれら誤差を補正することが出来る。学習処理モードでの学習処理の構成としては、端子 13 に多値原教師信号を用意し、重み係数処理器 30 に入力する必要はないこと以外は同様で、動作も殆ど同じため説明を省略する。

#### 実施例 7

実施例 7 として、本発明の並列多値ニューラルネットワーク 40 において、入力に対して主ニューラルネットワークと 2 段の補正ニューラルネットワークとを並列接続した一構成例を示す。図 16 は、主ニューラルネットワーク 41 及び 2 個の補正ニューラルネットワーク I 42 及び I I 43 を用いて構成した際の実行処理モードにおける実行処理の構成を示す。入力端子 2 に並列接続された主ニューラルネットワーク 41 と、補正ニューラルネットワーク I 42 と、補正ニューラルネットワーク I I 43 と、多値スレシヨルド回路 17、19 と、補正ニューラルネットワーク I I 43 からの出力ユニット信号を多値化する多値スレシヨルド回路 44 と、加法演算器 20、45 と、動作モード制御器 46 とからなる。補正ニューラルネットワーク 42、43 に接続された多値スレシヨルド回路 19 及び 44 からの多値出力ユニット信



号をそれぞれ加法演算器 45 で加法演算して、更にそれぞれの出力と主ニューラルネットワーク 41 に接続された多値スレシヨルド回路 17 からの多値出力ユニット信号とを加法演算器 20 により加法演算することにより、主ニューラルネットワーク 41 及び補正ニューラルネットワーク I からの多値の誤差をそれぞれ補正し、本発明の並列多値ニューラルネットワーク 40 の多値出力信号 0 として端子 3 を介して学習用入力信号に対して常に所望の多値出力信号を送出させる。

次に、本発明の並列多値ニューラルネットワーク 40 の学習処理モードにおける学習処理の一構成例を図 17 に示す。全て多層ニューラルネットワークを用いた例をあげ説明する。動作モード制御器 46 からの制御信号により、まず主ニューラルネットワーク 41 の学習を開始させる。動作は実施例 1 の主ニューラルネットワーク 16 と同じである。学習が終了すると補正教師信号 I 生成器 47 において多値原教師信号 T と多値スレシヨルド回路 17 からの多値出力ユニット信号とから多値の誤差を求め、この誤差を多値補正教師信号 I として記憶させる。補正教師信号 I 生成器 47 は補正教師信号生成器 24 と図 9 に示すように同一の構成で良い。

次に、動作モード制御器 46 からの制御信号により、補正ニューラルネットワーク I 42 の学習を開始させる。多値補正教師信号 I が補正教師信号 I 生成器 47 から読みだされ、減算器 25 にて得られた誤差信号を基に重

み係数制御器 26 において補正ニューラルネットワーク I 42 の重み係数が修正される。規定の学習が終了すると、補正教師信号 I I 生成器 48 にて多値補正教師信号 I と補正ニューラルネットワーク I 42 に接続された多値スレシヨルド回路 19 の多値出力ユニット信号とから多値の誤差を求め、この誤差を多値補正教師信号 I I として記憶させる。補正教師信号 I I 生成器 48 は補正教師信号 I 生成器 47 と同一の構成でよい。

次に、動作モード制御器 46 からの制御信号により、補正ニューラルネットワーク I I 43 の学習が開始されると、多値補正教師信号 I I が補正教師信号 I I 生成器 48 から読みだされ、減算器 49 からの誤差信号を基に重み係数制御器 50 にて補正ニューラルネットワーク I I の重み係数が修正される。この学習過程において、補正教師信号 I I 生成器 48 からの多値補正教師信号 I I と、補正ニューラルネットワーク I I 43 から多値スレシヨルド回路 44 を介して得られた多値出力ユニット信号とが完全に一致することを一致判定器 28 にて検出すると学習を終了させる。一致しない場合は、補正ニューラルネットワーク I の学習を再開し、多値補正教師信号 I の中に含まれている多値の誤差を削減した後、再度補正ニューラルネットワーク I I の学習をやり直せば完全に収束させることができる。また、主ニューラルネットワーク 41 の学習をやり直しその誤差を減少させて、前記処理を行ってもよい。

動作モード制御器 46 は、主ニューラルネットワーク 41、補正ニューラルネットワーク I 42、補正ニューラルネットワーク I I 43 の順序で順次学習を行うように制御しており、上記の説明のごとく最終段の補正ニューラルネットワーク I I 43 を除く主および補正ニューラルネットワーク I 41、42 では、それぞれの多値原教師信号および多値補正教師信号 I に対して完全に収束させる必要がないため、大幅に学習回数の削減や中間層数あるいは隠れユニット数の削減が出来る。また、最終段の補正ニューラルネットワーク 43 も多値の誤差が少なく殆どゼロの成分を持った多値補正教師信号 I I を用いて学習させることから、簡単に収束し多値補正教師信号 I I と一致した多値出力ユニット信号を送出できる。

並列多値ニューラルネットワーク 40 の実行処理モードでは、このような学習により得られた重み係数をそれぞれ主ニューラルネットワーク 41、補正ニューラルネットワーク I 42、補正ニューラルネットワーク I I 43 に設定し、動作させることにより、補正ニューラルネットワーク I から多値スレシヨルド回路 19 を介して得られた多値出力ユニット信号内の多値の誤差を補正ニューラルネットワーク I I から多値スレシヨルド回路 44 を介して得られた多値出力ユニット信号で加法演算器 45 にて補正し、その後、主ニューラルネットワーク 41 から多値スレシヨルド回路 17 を介して得られた多値出力ユニット信号内の多値の誤差を加法演算器 45 の出力

で加法演算器 20 にて補正し、学習用入力信号に対して常に所望の多値出力信号を端子 3 から送出することが出来る。

本実施例では、主ニューラルネットワーク 41、補正ニューラルネットワーク I 42 及び I I 43 を共に多層ニューラルネットワークとしたが、実施例 4 から 6 において示したように、全て相互結合あるいは多層ニューラルネットワークと相互結合ニューラルネットワークとを組み合わせた構成も可能である。また、本実施例では、2つの補正ニューラルネットワークを用いた例について示したが、補正ニューラルネットワークを更に並列に付加し、順次学習させ、最終段の補正ニューラルネットワークにおいてその多値補正教師信号とその多値出力ユニット信号が完全に一致するよう確実に収束させる構成にしてもよい。このような構成にすることにより、主ニューラルネットワークと最終段以外の補正ニューラルネットワークはより少ない回数で学習を終えることが出来、実時間で学習を頻繁に繰り返すことが必要なニューラルネットワークでは非常に有効である。

本実施例は、処理が実施例 1 に比較し若干複雑になるが、主及び補正ニューラルネットワークの設計の自由度を増すことができ、入力層、中間層あるいは出力層において多くのユニット数を持った従来では高速で安定な収束ができない大規模多値ニューラルネットワークを本発明の並列多値ニューラルネットワークで実現出来る。

## 実施例 8

実施例 8 として、実施例 7 より学習において更に高速の収束を実現するために、補正教師信号生成器において誤差パターン変換を用いた実施例を示す。入力に対して主ニューラルネットワーク 4 1 と 2 段の補正ニューラルネットワーク 4 2、4 3 とを、パターン逆変換処理器 8 8、9 0 と加法演算器 8 7、8 9 とを介して並列接続した並列多値ニューラルネットワーク 8 6 の一構成例を図 1 8 に示す。

本発明の並列多値ニューラルネットワーク 8 6 の学習処理モードにおける学習処理の構成は、補正教師信号 I 生成器 4 7 及び補正教師信号 I I 生成器 4 8 の内部構成を除いて全て図 1 7 と同様である。動作モード制御器 4 6 からの制御信号により、まず主ニューラルネットワーク 4 1 の学習を開始させる。動作は実施例 7 の主ニューラルネットワーク 4 1 と同じである。学習が終了すると、補正教師信号 I 生成器 4 7 において、多値原教師信号 T と多値スレシヨルド回路 1 7 からの多値出力ユニット信号とから多値の誤差を求め、実施例 2 あるいは 3 の補正教師信号生成器 5 2、5 3 のごとく予め指定された誤差パターンに対してパターン変換を施し、多値補正教師信号 I として補正教師信号 I 生成器 4 7 に記憶させる。

次に、動作モード制御器 4 6 からの制御信号により、補正ニューラルネットワーク I 4 2 の学習を開始させる。多値補正教師信号 I が補正教師信号 I 生成器 4 7 から

読みだされ、減算器 25 にて得られた誤差信号を基に重み係数制御器 26 において補正ニューラルネットワーク I 42 の重み係数が修正される。規定の学習が終了すると、補正教師信号 I I 生成器 48 にて多値補正教師信号 I と補正ニューラルネットワーク I 42 から多値スレシヨルド回路 19 を介して得られた多値出力ユニット信号とから多値の誤差を求め、実施例 2 あるいは 3 の教師信号生成器 52、53 のごとく予め指定された誤差パターンをパターン変換して多値補正教師信号 I I として補正教師信号 I I 生成器 48 に記憶させる。ここで、補正教師信号 I 生成器 47 及び補正教師信号 I I 生成器 48 との間で異なったパターン変換則を使用してもよい。

補正ニューラルネットワーク I I 43 の学習処理は図 17 と同様であることから説明を省略する。

並列多値ニューラルネットワーク 86 の実行処理モードにおける実行処理の構成を図 18 に示す。入力端子 2 に並列接続された主ニューラルネットワーク 41 と、補正ニューラルネットワーク I 42 と、補正ニューラルネットワーク I I 43 と、多値スレシヨルド回路 17、19 と、補正ニューラルネットワーク I I 43 からの出力ユニット信号を多値化する多値スレシヨルド回路 44 と、加法演算器 87、89 と、パターン逆変換処理器 88、90 と、動作モード制御器 46 とからなる。実行処理モードでは、学習処理モードにおいて得られた重み係数をそれぞれ主ニューラルネットワーク 41、補正ニュー

ラルネットワーク I 4 2、補正ニューラルネットワーク I I 4 3 に設定し、動作させる。

パターン逆変換処理器 9 0 では、補正ニューラルネットワーク I I 4 3 に接続された多値スレシヨルド回路 4 4 からの多値出力ユニット信号に対して、補正教師信号 I I 生成器 4 8 内で変換処理されたパターンが検出されるとパターン逆変換し出力され、多値スレシヨルド回路 1 9 からの多値出力ユニット信号とそれぞれ対応したエレメント毎に加法演算器 8 9 で加法演算して出力する。更に、それぞれの出力をパターン逆変換処理器 8 8 に入力して、補正教師信号 I 生成器 4 7 内で変換処理されたパターンを検出しパターン逆変換処理を行ない出力し、多値出力主ニューラルネットワーク 4 1 に接続された多値スレシヨルド回路 1 7 からの多値出力ユニット信号と加法演算器 8 7 により加法演算する。これにより主ニューラルネットワーク 4 1 及び補正ニューラルネットワーク I 4 2 からのそれぞれの多値の誤差を補正し、本発明の並列多値ニューラルネットワーク 8 6 の多値出力信号 0 として学習用入力信号に対して常に所望の多値出力信号を端子 3 を介して送出させる。

主ニューラルネットワーク 4 1、補正ニューラルネットワーク I 4 2、補正ニューラルネットワーク I I 4 3 の順序で順次学習を行う際、上記の説明のごとく主および補正ニューラルネットワーク I 4 1、4 2 では、それぞれの多値原教師信号および多値補正教師信号 I に対し

て完全に収束させる必要がなく、また、互いに距離が離れた収束しやすい多値補正教師信号 I 及び I I を用いることから学習回数的大幅な削減や中間層数あるいは中間ユニット（隠れユニット）数的大幅な削減が可能となる。また、最終段の補正ニューラルネットワーク I I 4 3 では、多値の誤差パターンの種類が非常に少なく、更に学習しやすいパターンに変換された多値補正教師信号 I I を用いて学習させることから、非常に簡単に収束し多値補正教師信号 I I と一致した多値出力ユニット信号を多値スレシヨルド回路 4 4 から容易に送出できる。

本実施例では、実施例 7 と同様に主ニューラルネットワークと最終段以外の補正ニューラルネットワークは非常に少ない回数で学習を終えることができ、実時間で学習を頻繁に繰り返すことが必要な並列多値ニューラルネットワークでは非常に有効である。

また、本実施例は、処理が実施例 7 に比較し若干複雑になるが、主及び補正ニューラルネットワークの設計の自由度を増すことができる。その結果、入力層、中間層あるいは出力層において多くのユニット数を持った従来では高速で確実な収束ができない大規模多値ニューラルネットワークを本発明の並列多値ニューラルネットワークで実現できる。

以上の実施例 2、3 及び 8 において示したごとく補正ニューラルネットワークに於てパターン変換を伴った補正教師信号を用いて学習させることができる並列多値ニ



ニューラルネットワークであれば、上記の多層ニューラルネットワーク以外のニューラルネットワークを用いてもよい。また、主ニューラルネットワークとしては教師信号を用いないニューラルネットワークを適用した場合も本願発明の権利範囲内である。

以上の実施例 1 - 8 において、多層ニューラルネットワークあるいは相互結合ニューラルネットワークを前提に説明したが、補正ニューラルネットワークとして多値教師信号を用いて学習させることができるニューラルネットワークであれば、上記以外のニューラルネットワークを用いても良い。

#### 産業上の利用可能性

以上述べたように、本発明の並列多値ニューラルネットワークは、入力に対して主ニューラルネットワークと少なくとも 1 つ以上の補正ニューラルネットワークとを入力に対して並列に接続し、それぞれを順次学習させ、それぞれの主及び補正ニューラルネットワークから多値スレシヨルド回路を介して得られた多値出力ユニット信号を加法演算することにより、学習用入力信号に対して所望の多値出力信号を送出させることが簡単に出来る。

更に、本発明の並列多値ニューラルネットワークにおいて、補正ニューラルネットワークを順次学習させる際に、誤差（差分）を基に少ない種類で而も互いに距離が離れた多値補正教師信号を生成し、これを用いて補正ニューラルネットワークを学習させることにより、その収

束速度を大幅に改善でき、学習用入力信号に対して所望の多値出力信号を容易に送出させることができる。

従って、従来方式によるニューラルネットワークに比べて、一段と少ない中間層ユニットあるいは隠れユニットを用い、且つ非常に少ない学習回数と低い演算精度を持った重み係数とで高速かつ確実に並列ニューラルネットワークを等価的に収束させ所望の出力信号を送出することができる、そのハードウェア規模あるいは演算規模を大幅に削減できる。

本発明の並列多値ニューラルネットワークを用いることにより、実現が困難な大規模な多値論理回路などを短時間で自由に設計し実現することや、これまで迅速な学習が必要で、且つ完全な収束が要求される人口知能システムや検索システム、データ変換、データ圧縮、多値画像処理さらには通信システムなどへの幅広い応用ができるなどの非常に幅広い効果を有している。

また、学習した重み係数をそれぞれ複数組用意し、本発明の並列多値ニューラルネットワークの重み係数を切り替え設定すれば、一定遅延を持ったプログラマブルな大規模可変多値論理回路も容易に実現でき、また、状況に応じて短時間で学習仕直すことにより同一ハードウェア上に新たな大規模多値論理回路も実現出来る。特に、本発明の並列多値ニューラルネットワークを低い内部演算精度を持った同一の複数のニューロLSIチップを用いて構成することにより、並列処理機能と柔軟性に富ん

だ多値論理演算処理の効果的な利用ができ、また等価的に完全に収束させられることから、本発明の並列多値ニューラルネットワークを複雑に組み合わせた大規模多値ニューラルネットワークを容易に構成することも可能である。

## 請 求 の 範 囲

( 1 ) 主ニューラルネットワークと少なくとも1つ以上の補正ニューラルネットワークとを入力に対して並列接続し、予め用意された学習用入力信号に対して多値原教師信号を用いて学習させた該主ニューラルネットワークと、該主ニューラルネットワークの出力ユニット信号を多値化し多値出力ユニット信号を出力する多値スレシヨルド回路と、該補正ニューラルネットワークの出力ユニット信号を多値化し多値出力ユニット信号を出力する多値スレシヨルド回路と、該学習用入力信号に対する該主ニューラルネットワークから該多値スレシヨルド回路を介して得られた該多値出力ユニット信号と多値原教師信号との多値の誤差を、該補正ニューラルネットワークから該多値スレシヨルド回路を介して得られた該多値出力ユニット信号を用いて補正できるように学習させた少なくとも1つ以上の該補正ニューラルネットワークと、主及び補正ニューラルネットワークから該多値スレシヨルドを介して得られた該多値出力ユニット信号をそれぞれ加法演算し送出する手段とを少なくとも具備し、該主ニューラルネットワークから該多値スレシヨルドを介して得られた該多値出力ユニット信号内の該誤差を補正して所望の多値出力信号が得られるよう構成した並列多値ニューラルネットワーク。

( 2 ) 主ニューラルネットワークと少なくとも1つ以上の補正ニューラルネットワークとを入力に対して並列

接続し、予め用意された学習用入力信号に対して多値原教師信号を用いて学習させた該主ニューラルネットワークと、該主ニューラルネットワークの出力ユニット信号を多値化し多値出力ユニット信号を出力する多値スレシヨルド回路と、該補正ニューラルネットワークの出力ユニット信号を多値化し多値出力ユニット信号を出力する多値スレシヨルド回路と、該多値原教師信号と該学習用入力信号に対する該主ニューラルネットワークから該多値スレシヨルド回路を介して得られた該多値出力ユニット信号との多値の誤差を求め、少なくとも一部の誤差のパターンを予め決められたパターンに変換した誤差を補正教師信号とし学習させた該補正ニューラルネットワークと、該補正ニューラルネットワークから該多値スレシヨルド回路を介して得られた該多値出力ユニット信号を基に変換されたパターンを逆変換し元の多値の誤差に戻し、主ニューラルネットワークから該多値スレシヨルド回路を介して得られた該多値出力ユニット信号と加法演算し送出する手段とを少なくとも具備し、該主ニューラルネットワークから該多値スレシヨルドを介して得られた該多値出力ユニット信号内の該誤差を補正して所望の多値出力信号が得られるよう構成した並列多値ニューラルネットワーク。

(3) 請求の範囲2に記載の並列多値ニューラルネットワークにおいて、該誤差を誤り訂正符号処理を用いて変換し補正教師信号とすることを特徴とした並列多値ニ

ューラルネットワーク。

(4) 請求の範囲1、2及び3に記載の並列多値ニューラルネットワークにおいて、最終段の補正ニューラルネットワークの学習の際に、該補正ニューラルネットワークから多値スレシヨルド回路を介して得られた多値出力ユニット信号がその多値補正教師信号と完全に一致しない場合、該最終段補正ニューラルネットワークの隠れユニット数を増やし再度学習させ該多値出力ユニット信号と該多値補正教師信号とを完全に一致させることを特徴とした並列多値ニューラルネットワーク。

(5) 請求の範囲1、2、3及び4に記載の多値ニューラルネットワークにおいて、最終段補正ニューラルネットワークの学習の際に、該補正ニューラルネットワークから多値スレシヨルド回路を介して得られた多値出力ユニット信号がその多値補正教師信号と完全に一致しない場合、主ニューラルネットワークあるいは前段の補正ニューラルネットワークの学習回数や隠れユニット数を増やしそれぞれ再度学習しなおし、該最終段補正ニューラルネットワークからの該多値出力ユニット信号を完全に該多値補正教師信号に一致させることを特徴とした並列多値ニューラルネットワーク。

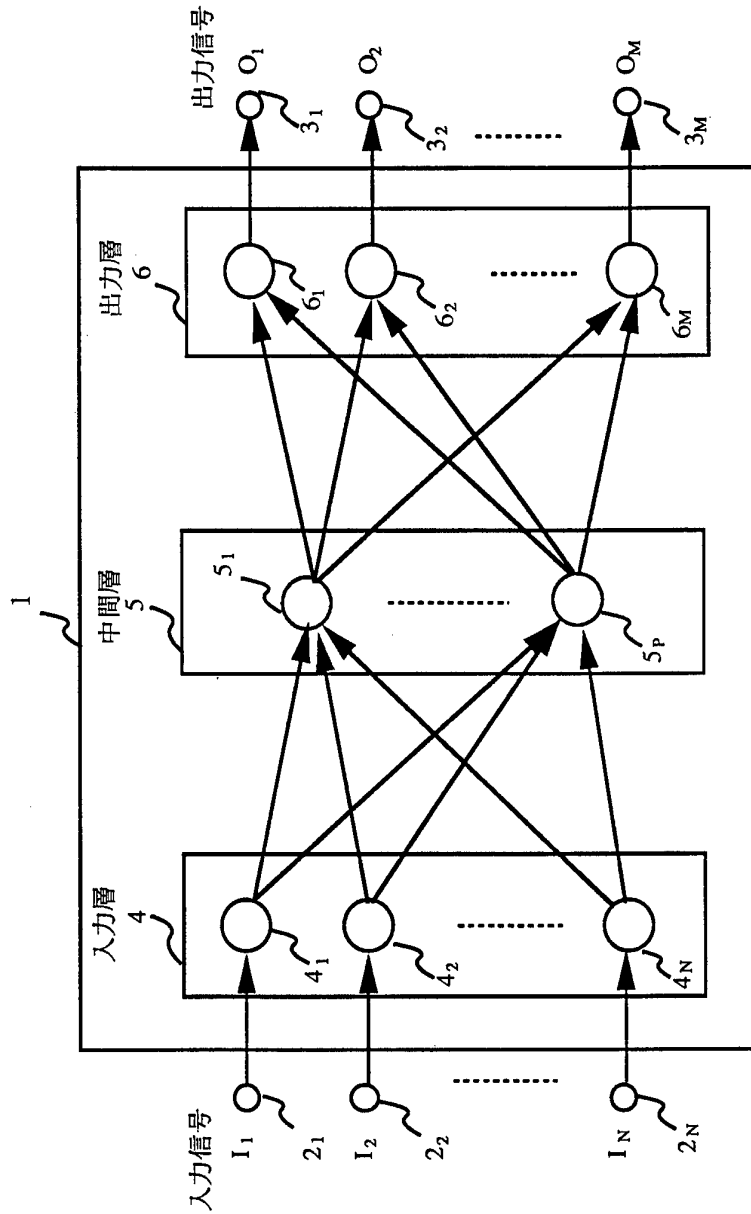


図1 3層ニューラルネットワークの実行処理の1構成例

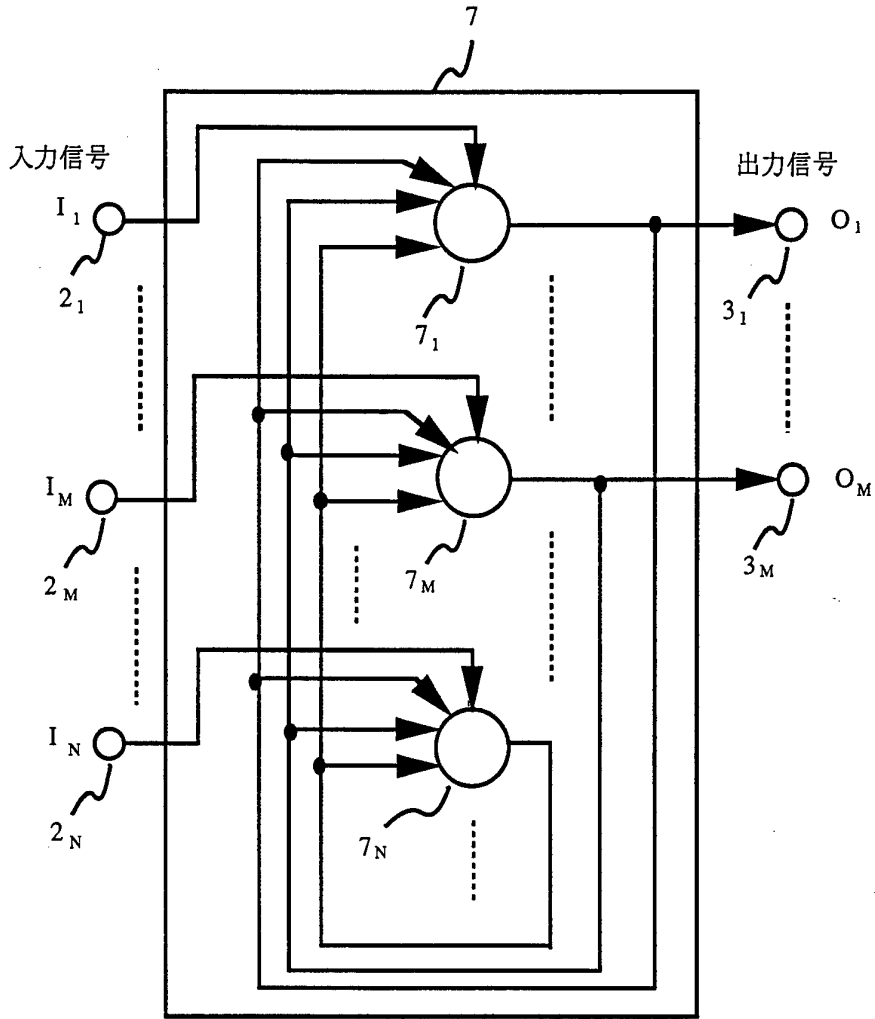


図2 相互結合ニューラルネットワークの実行処理の1構成例



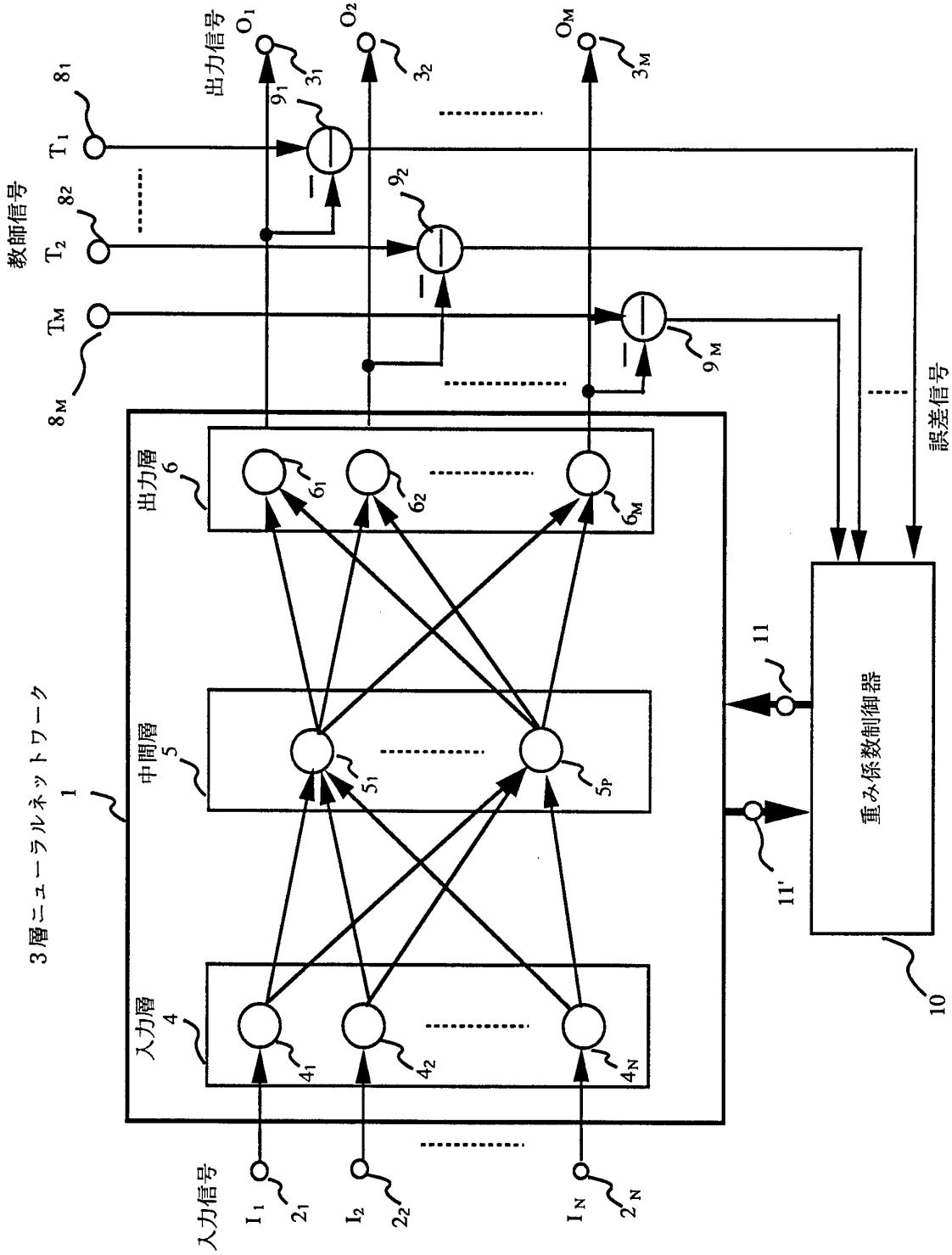


図3 3層ニューラルネットワークにおける学習処理の1構成例

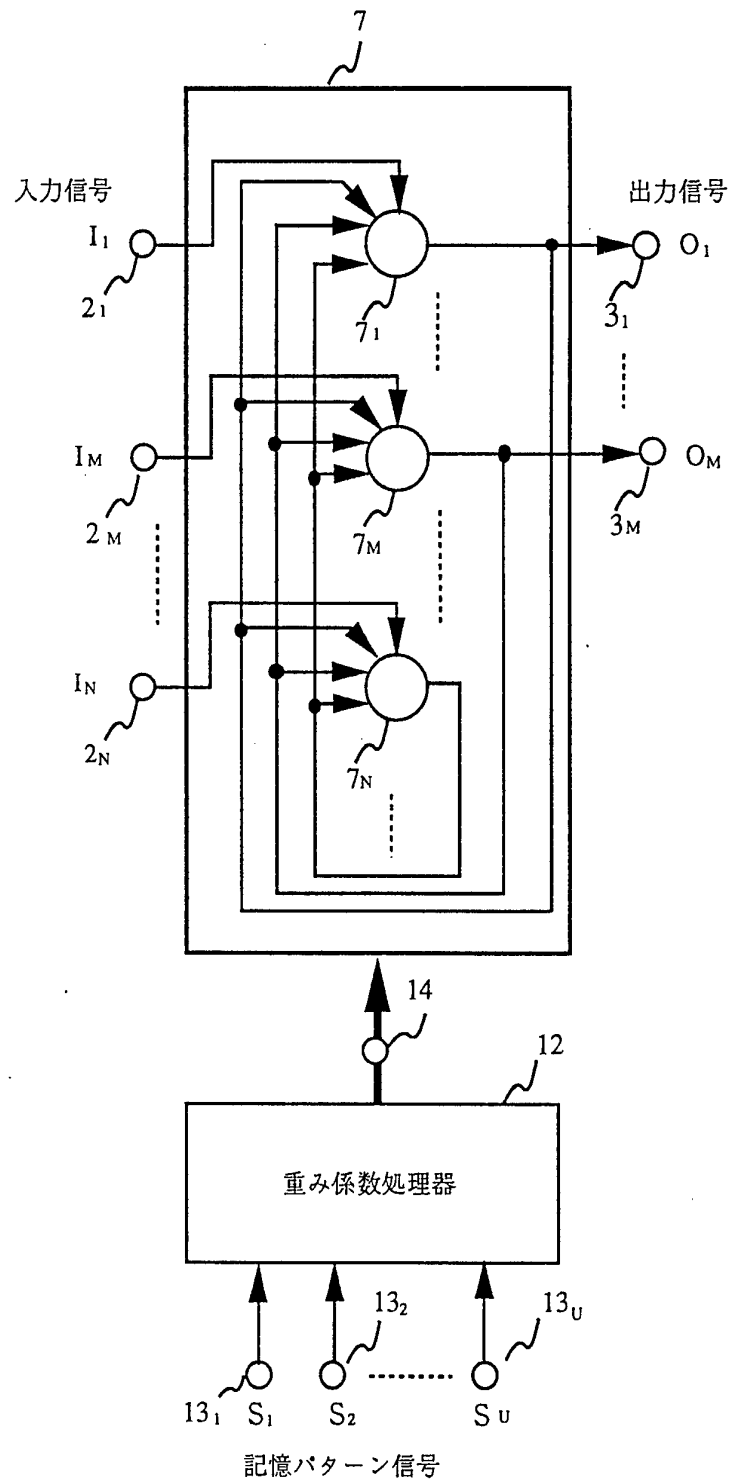


図4 相互結合ニューラルネットワークの学習処理の1構成例

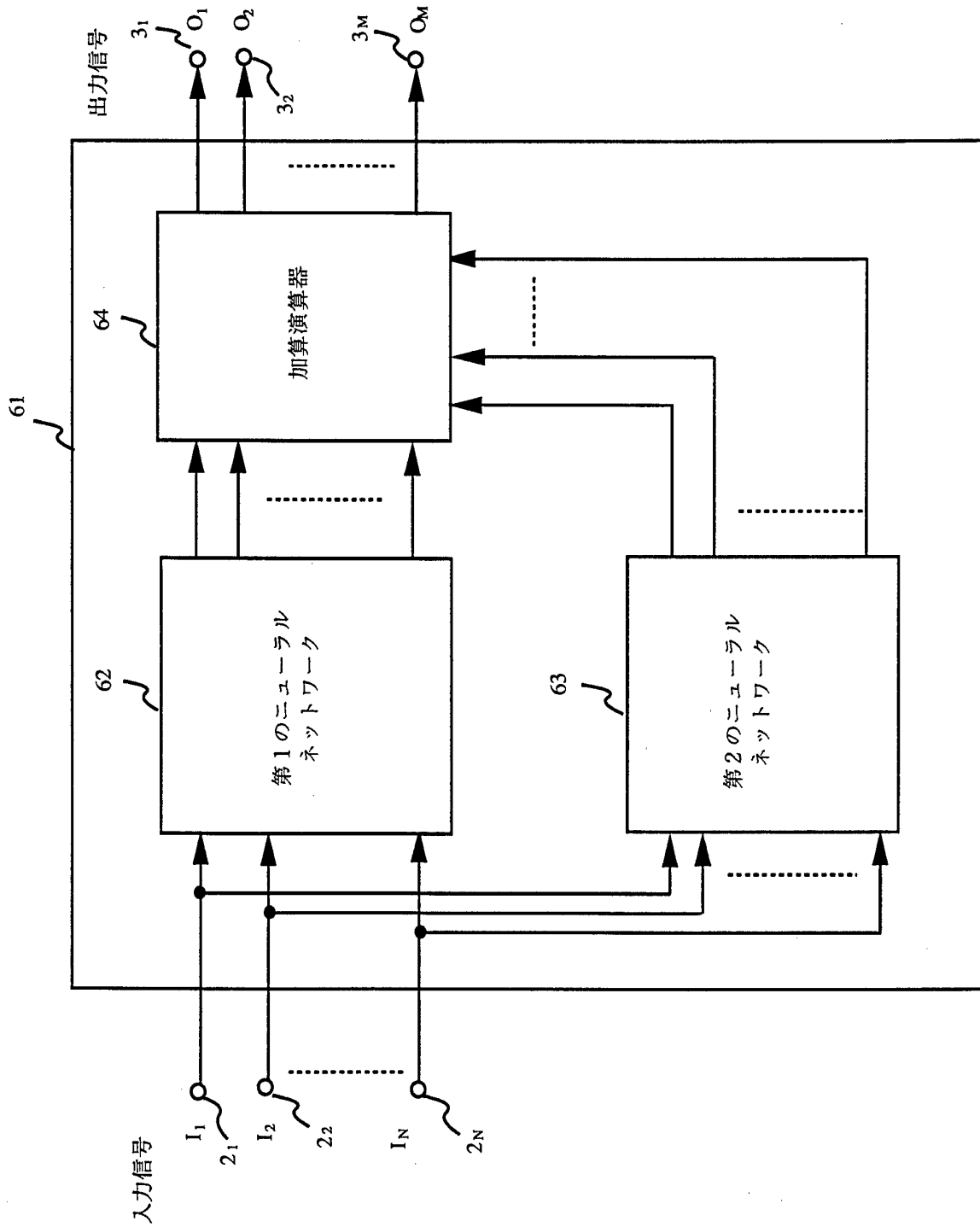


図5 従来技術による2つのニューラルネットワークを用いた実行処理の基本構成

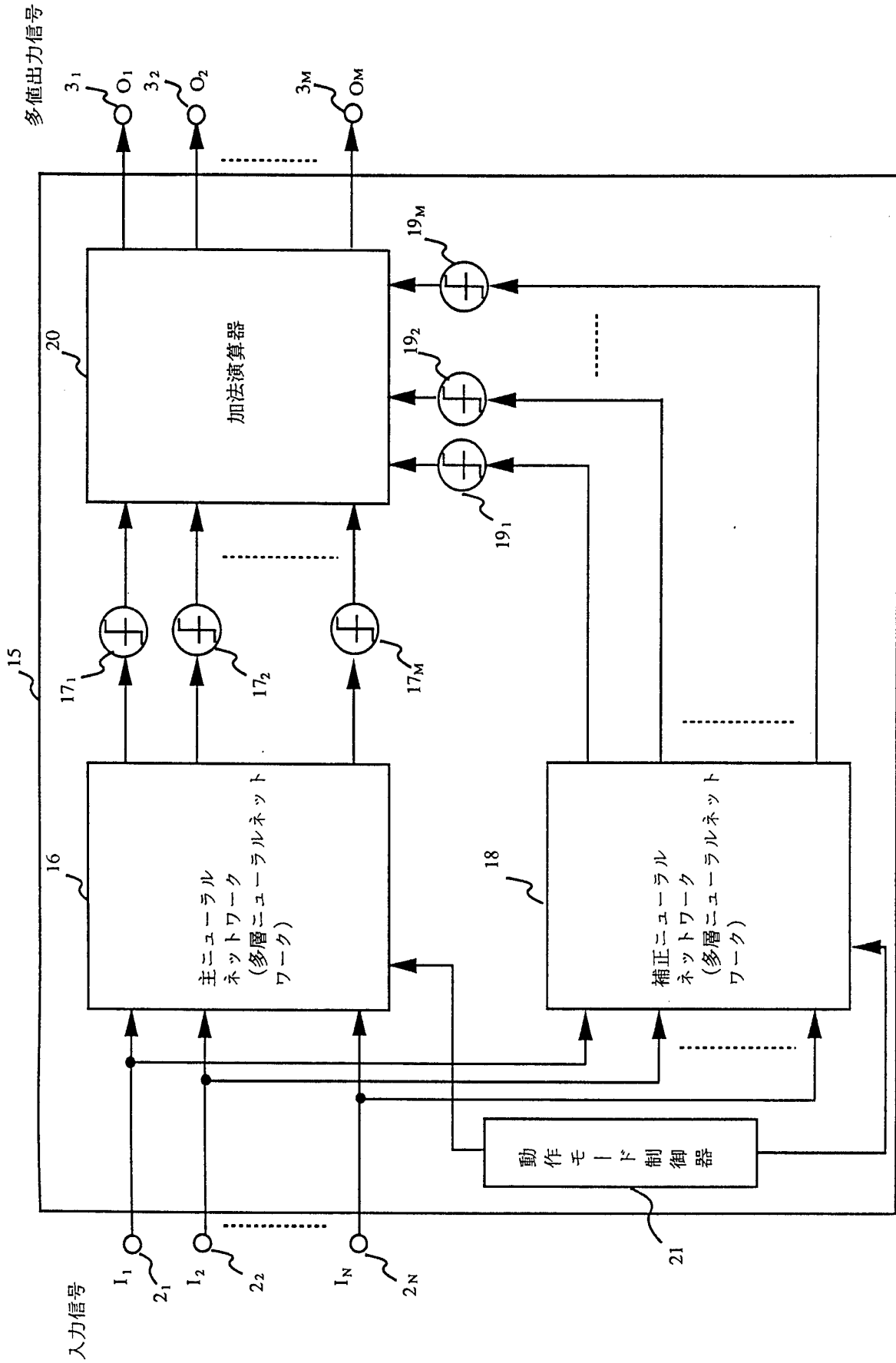


図6 実施例1における本発明のニューラルネットワークの実行処理の1構成例

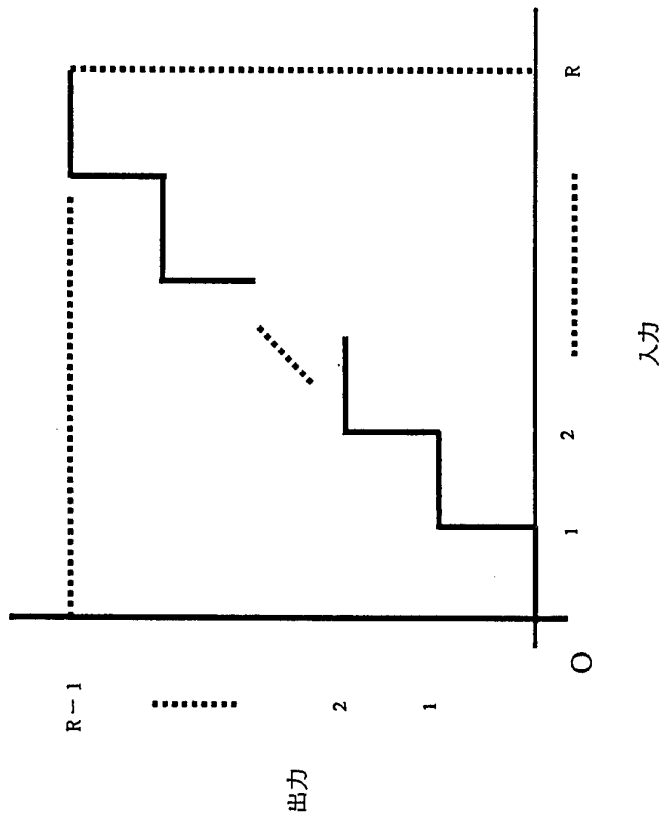


図7 多値スレシヨルド回路の入出力特性 (R 値の場合)

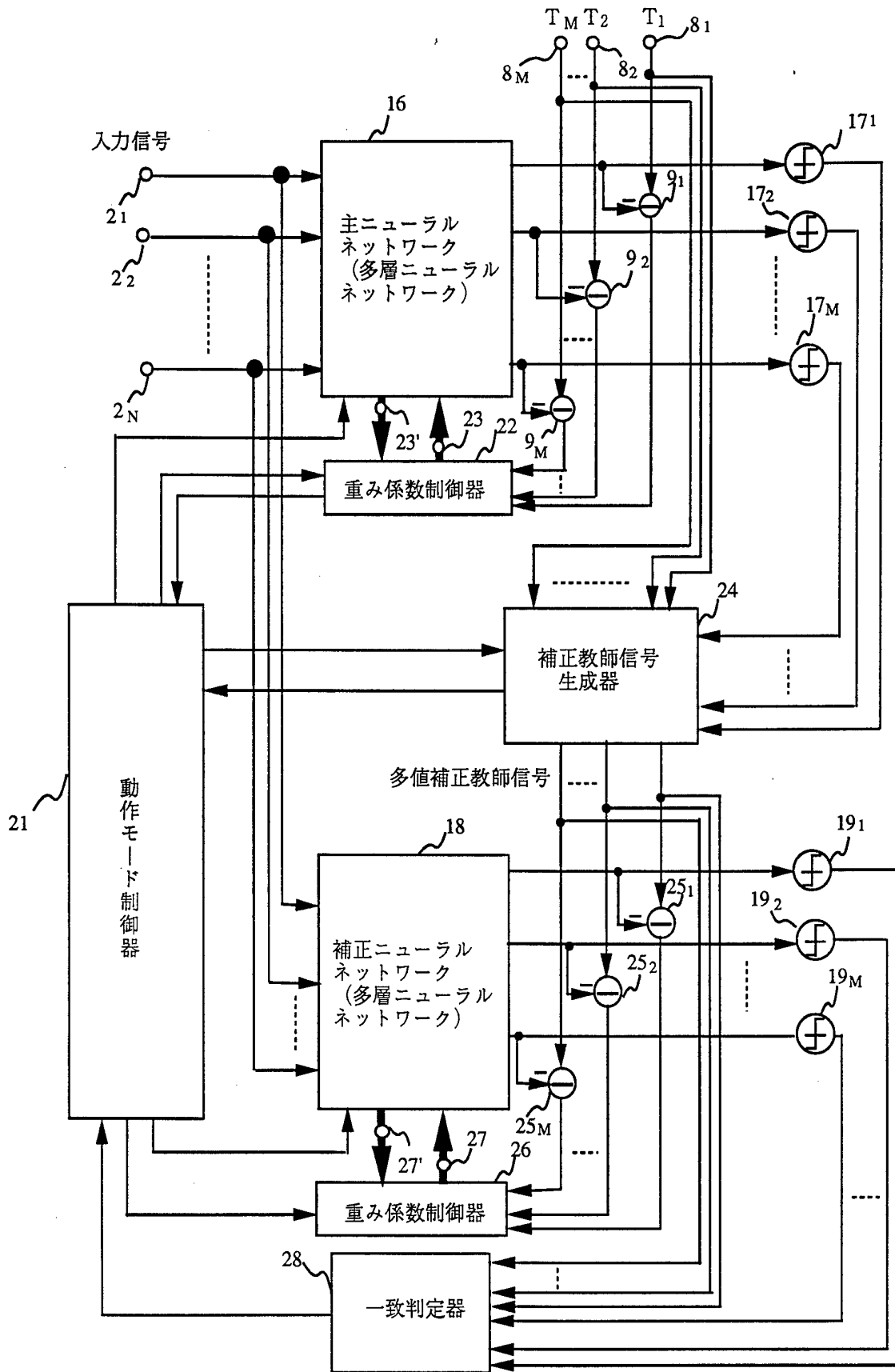


図8 実施例1における本発明のニューラルネットワークの学習処理の1構成例

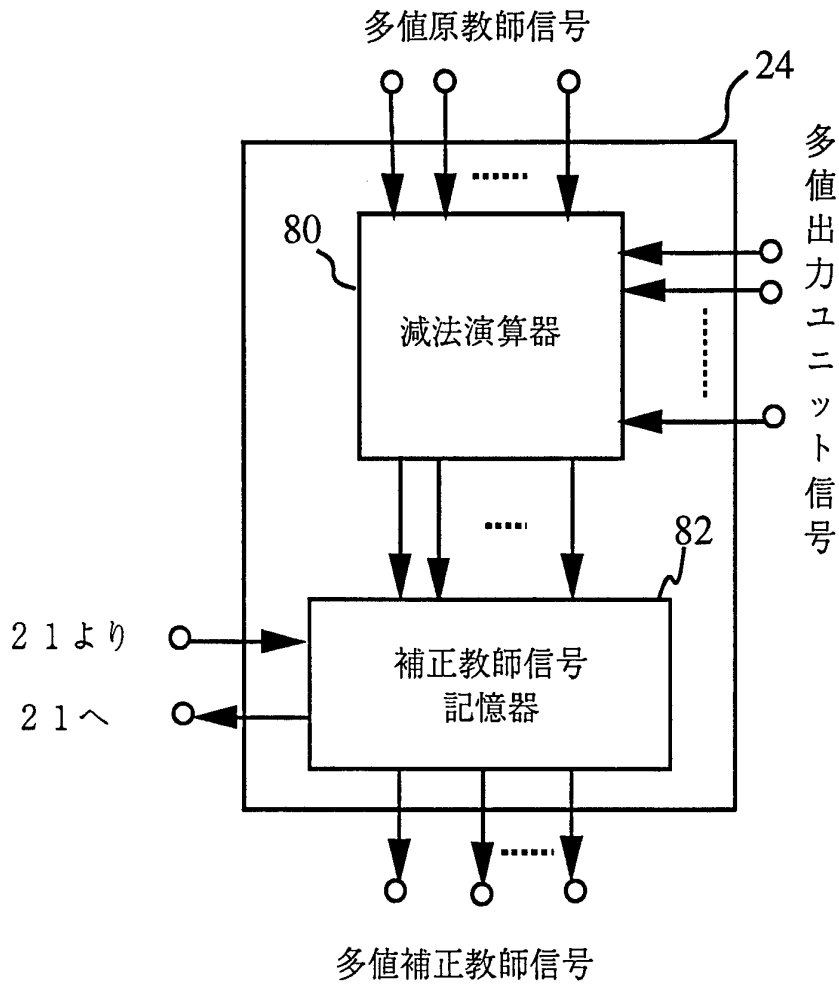


図9 実施例1における補正教師信号生成器24の一構成例多値

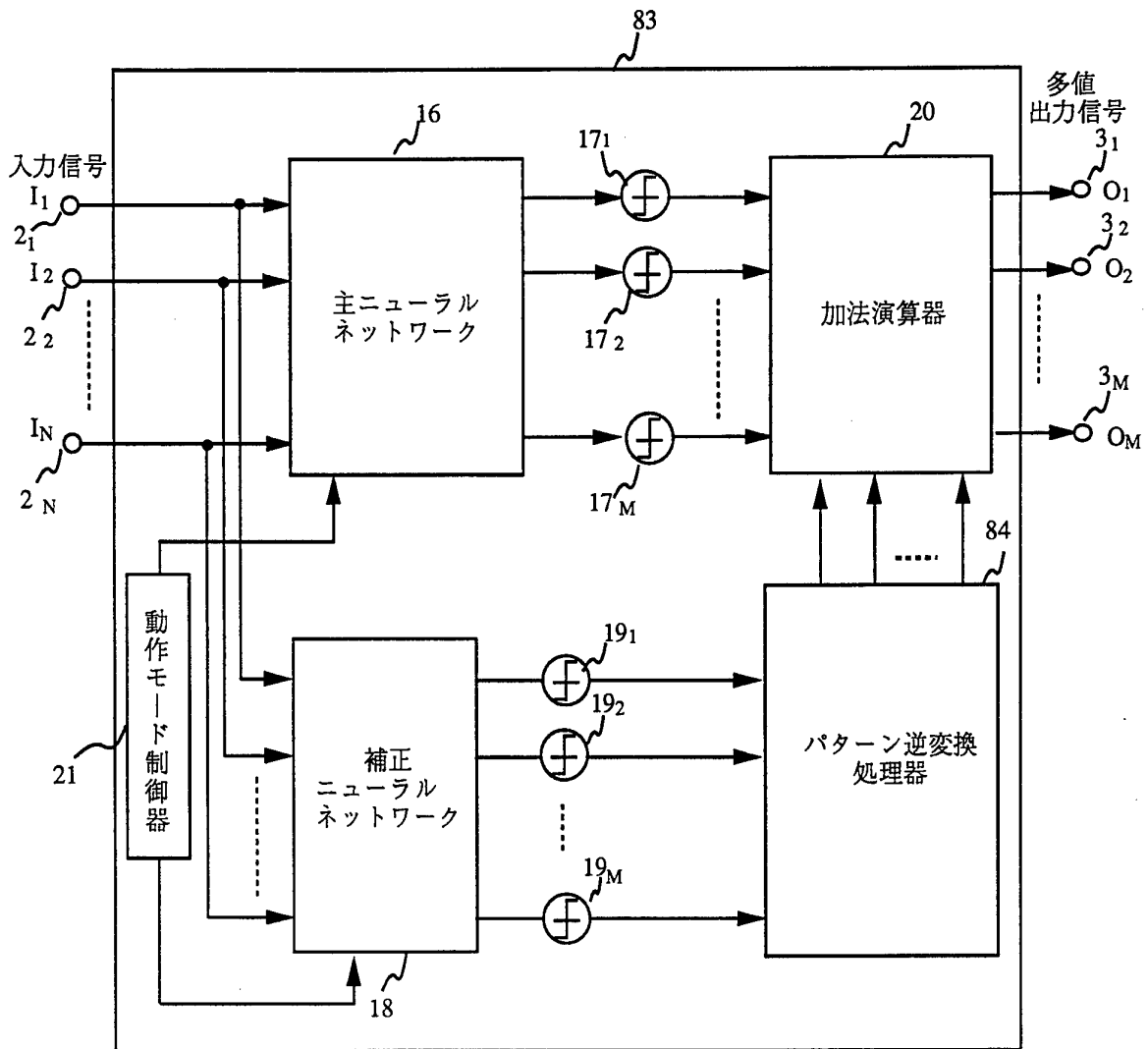


図10 実施例2における本発明のニューラルネットワークの実行処理の一構成例



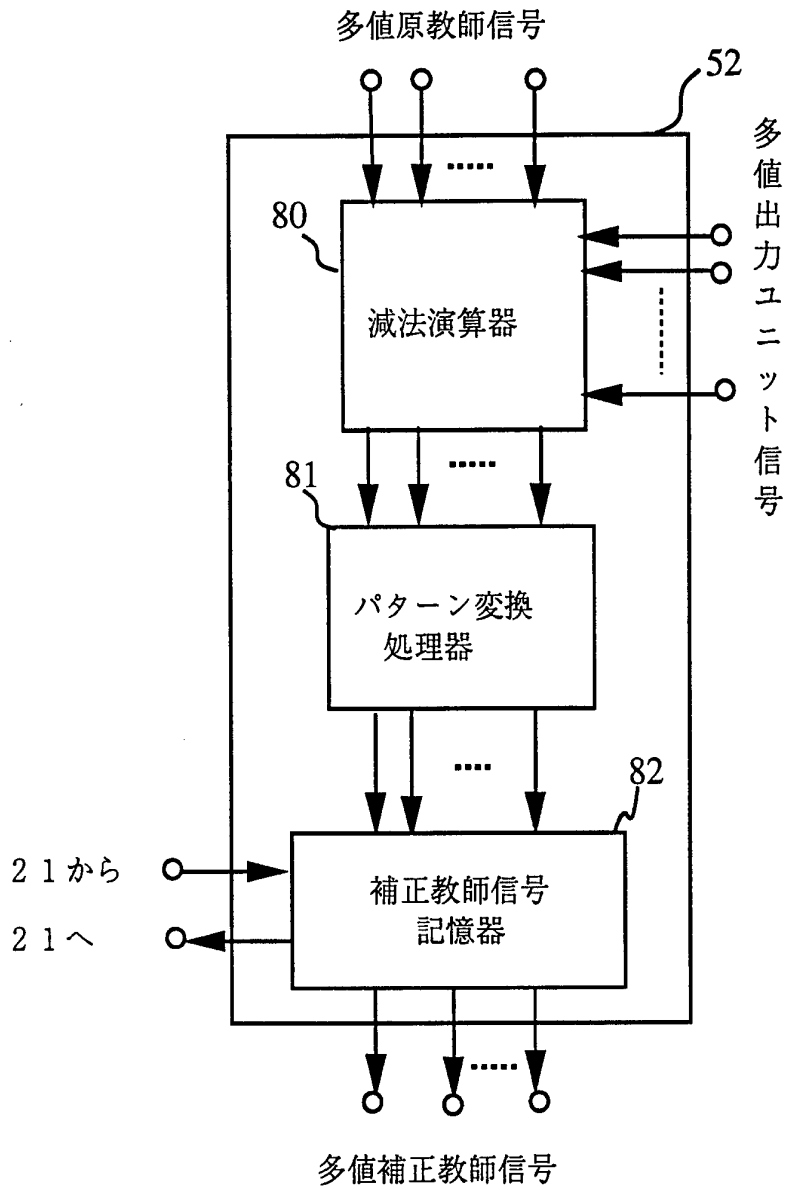


図 1 1 実施例 2 における補正教師信号生成器 5 2 の一構成例

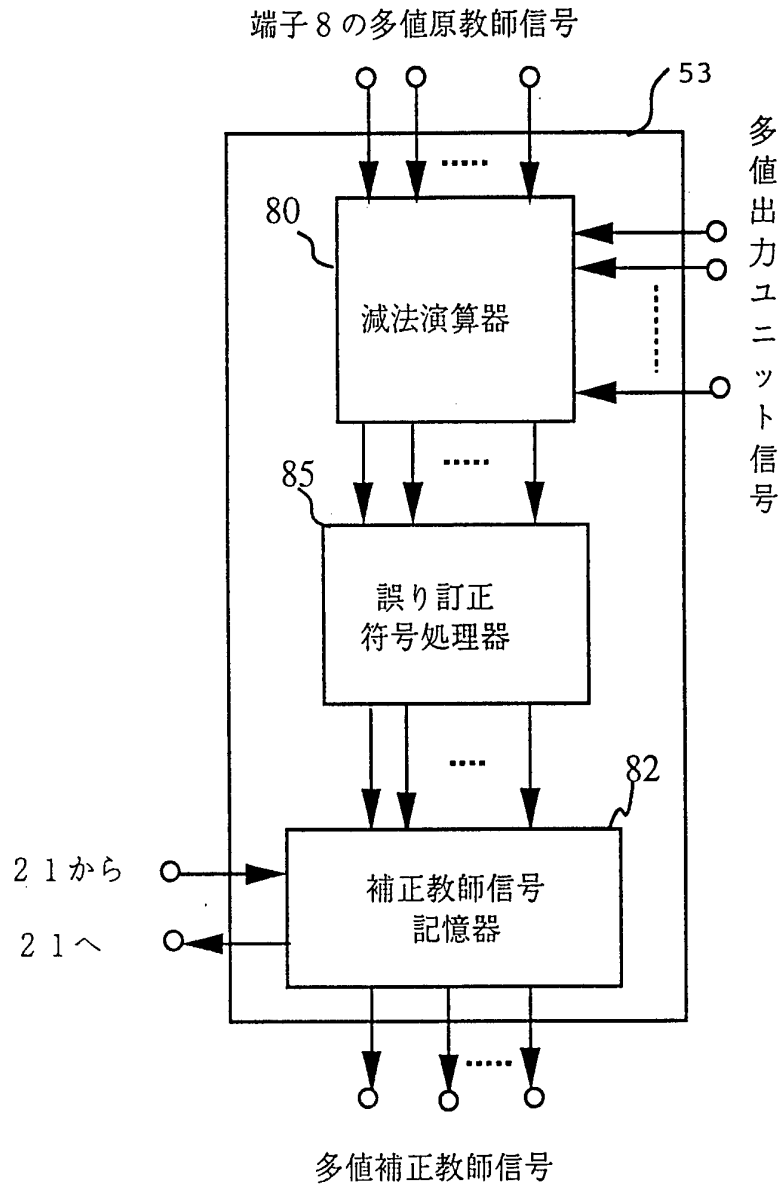


図12 実施例3における補正教師信号生成器53の一構成例

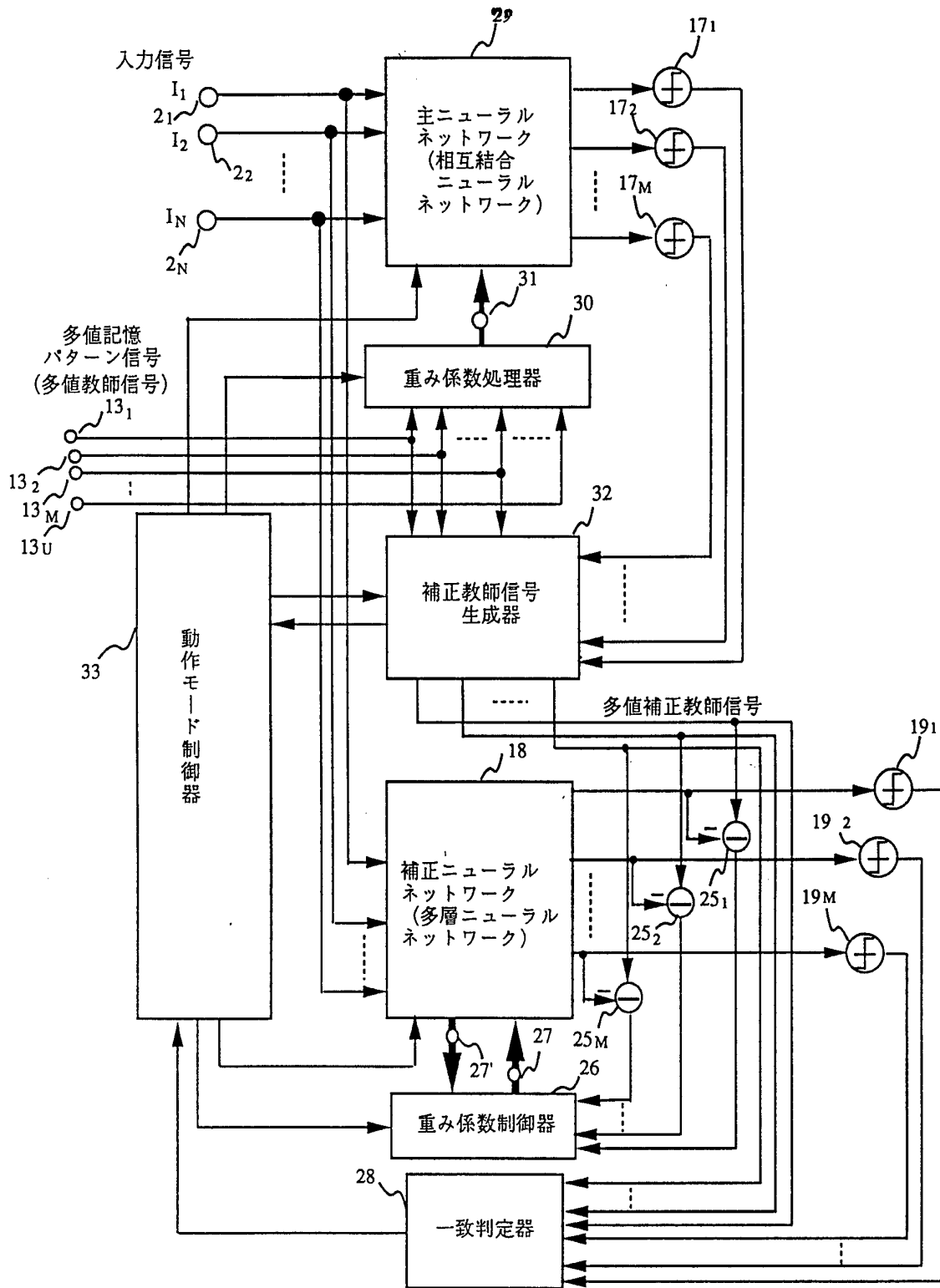


図 1 3 実施例 4 における本発明のニューラルネットワークの学習処理の 1 構成例

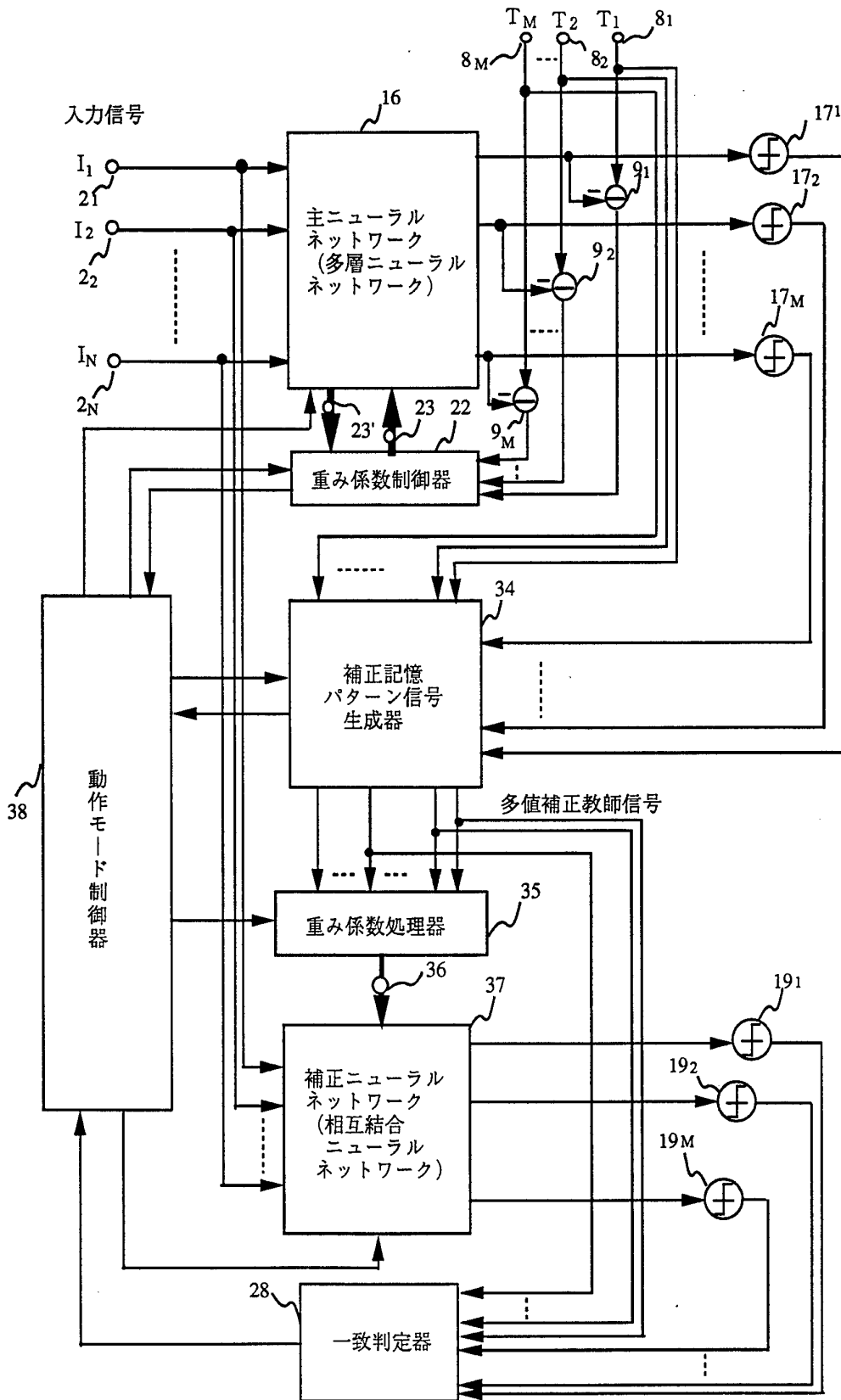


図14 実施例5における本発明のニューラルネットワークの学習処理の1構成例

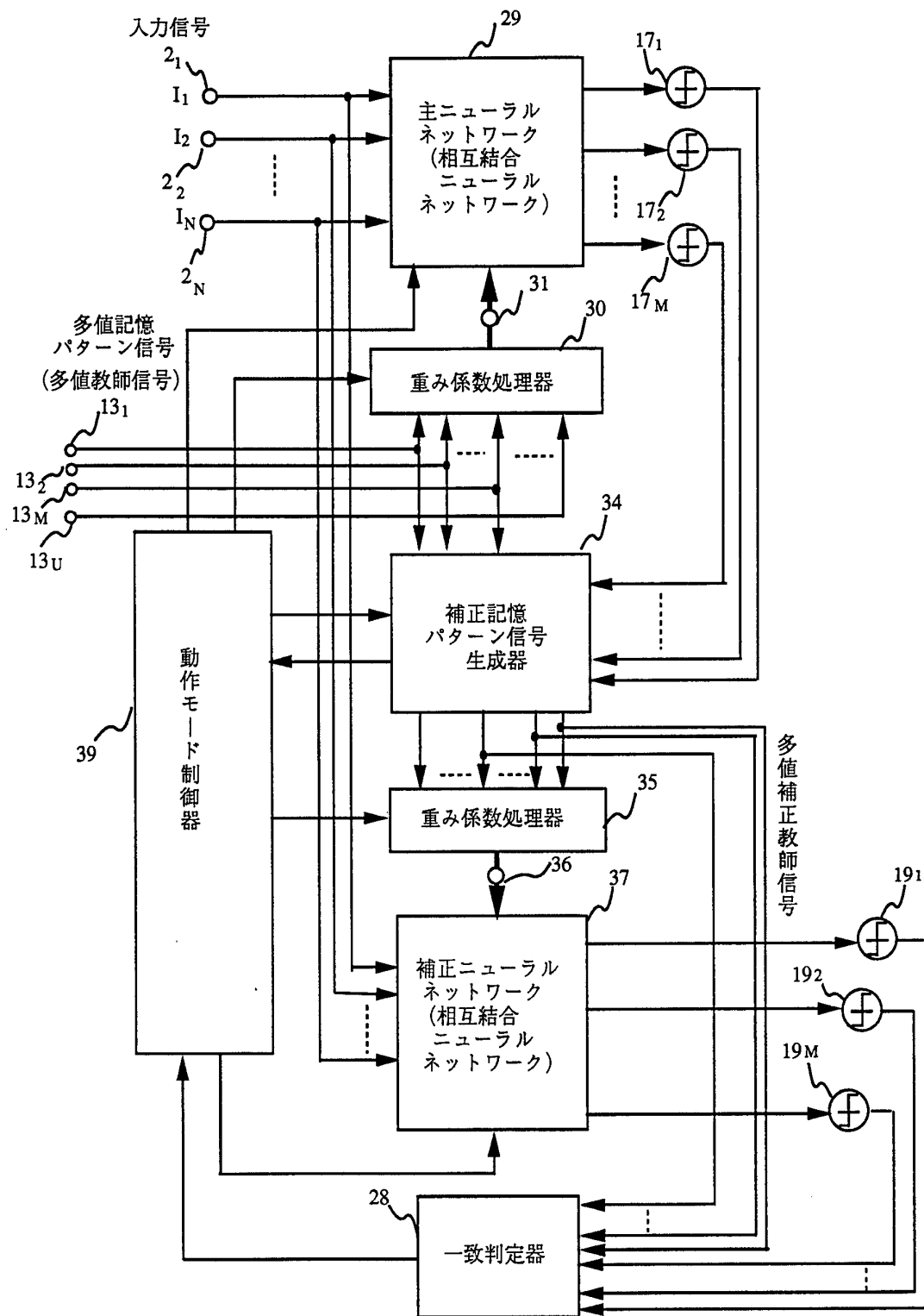


図15 実施例6における本発明のニューラルネットワークの学習処理の1構成例

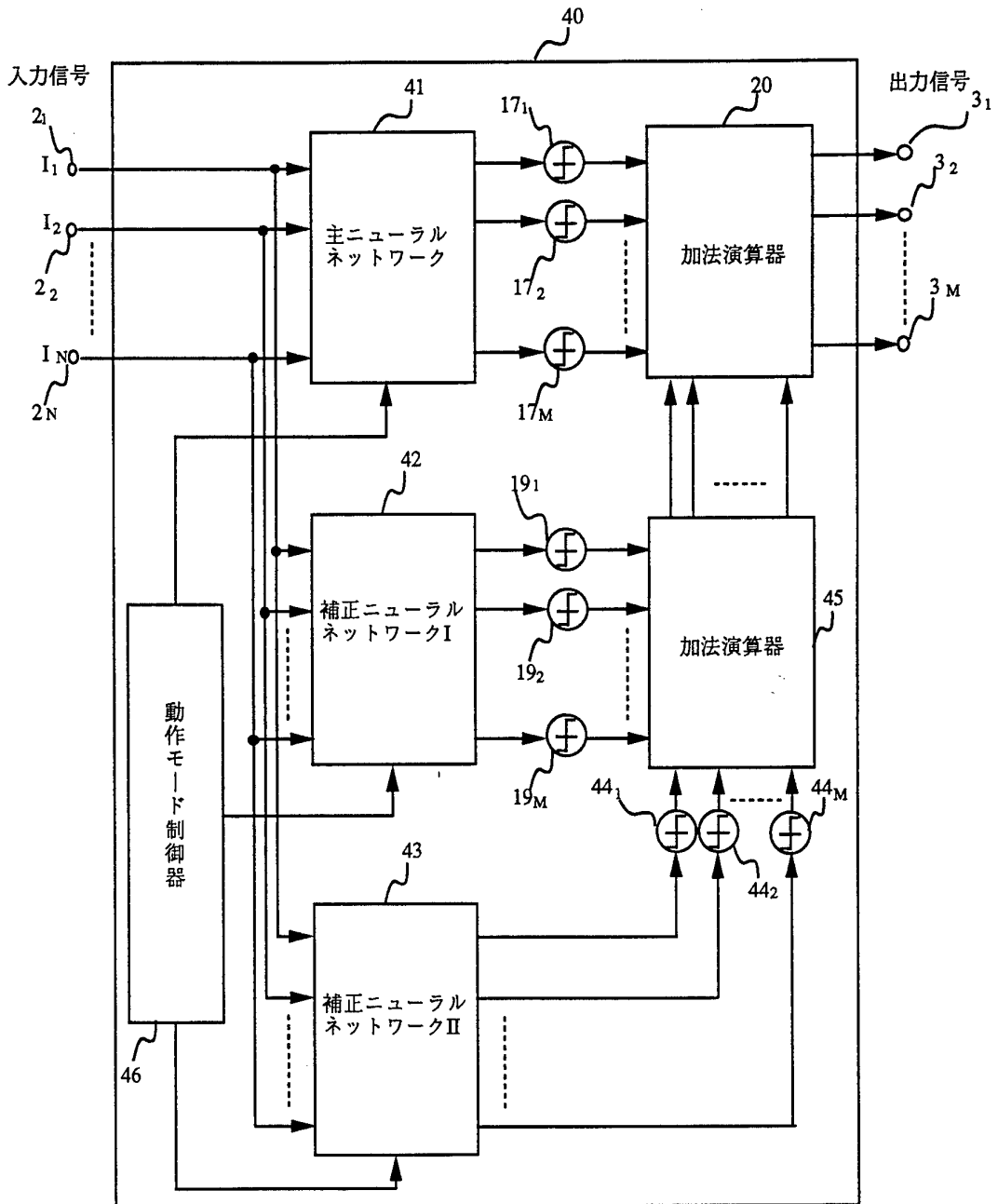


図 16 実施例 7 における本発明のニューラルネットワークの実行処理の 1 構成例

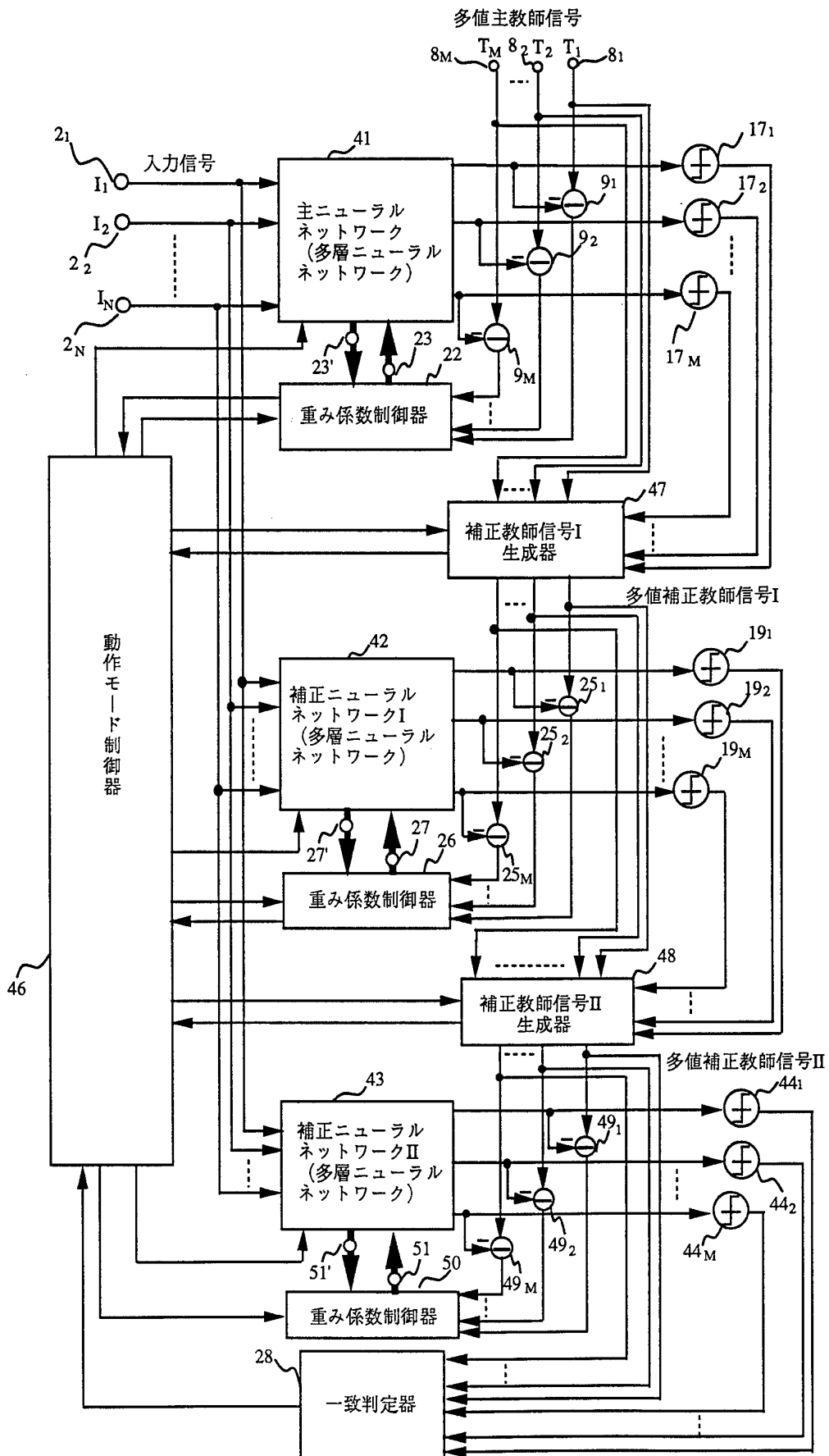


図17 実施例7における本発明のニューラルネットワークの学習処理の1構成例

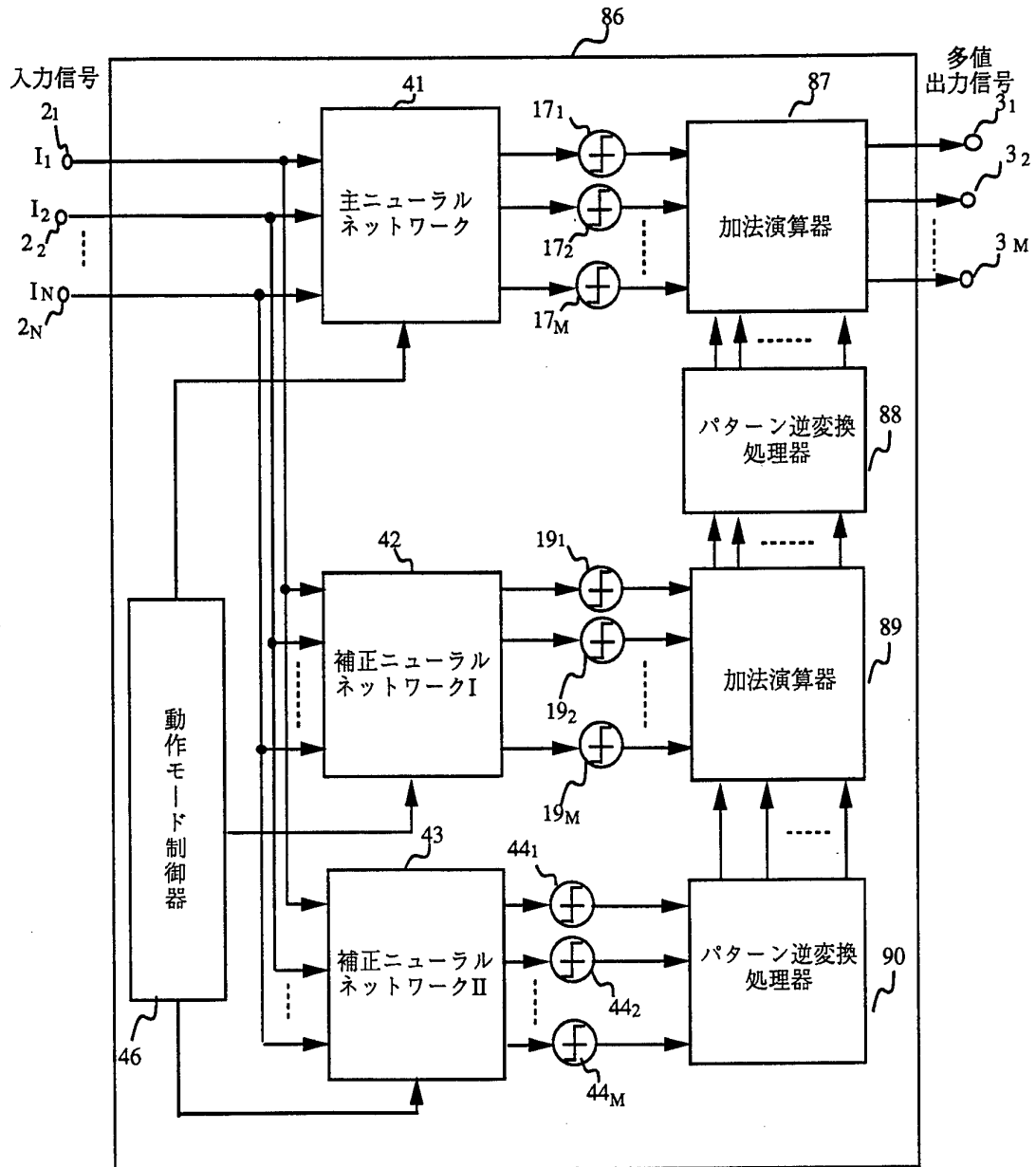


図18 実施例8における本発明のニューラルネットワークの実行処理の一構成例



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No. PCT/JP94/01341
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int. Cl <sup>6</sup> G06G7/60 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC	
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int. Cl <sup>5</sup> G06G7/60 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1975 - 1995 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1974 - 1995 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)	

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, A, 2-178759 (Sharp Corp.), July 11, 1990 (11. 07. 90), (Family: none)	1-5

<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.	<input type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search October 31, 1994 (13. 10. 94)	Date of mailing of the international search report November 1, 1994 (01. 11. 94)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer  Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
<b>Int. Cl<sup>6</sup> G06G7/60</b>		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
<b>Int. Cl<sup>3</sup> G06G7/60</b>		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
<b>日本国実用新案公報 1975-1995年</b> <b>日本国公開実用新案公報 1974-1995年</b>		
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
<b>A</b>	<b>JP, A, 2-178759 (シャープ株式会社), 11.7月.1990 (11.07.90) (ファミリーなし)</b>	<b>1-5</b>
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
<b>13.10.94</b>	<b>01.11.94</b>	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) <b>林 絃 樹</b>	<b>5 B 7 3 6 8</b>
	電話番号 03-3581-1101 内線	<b>3 5 4 6</b>