

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年4月9日 (09.04.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/044751 A1

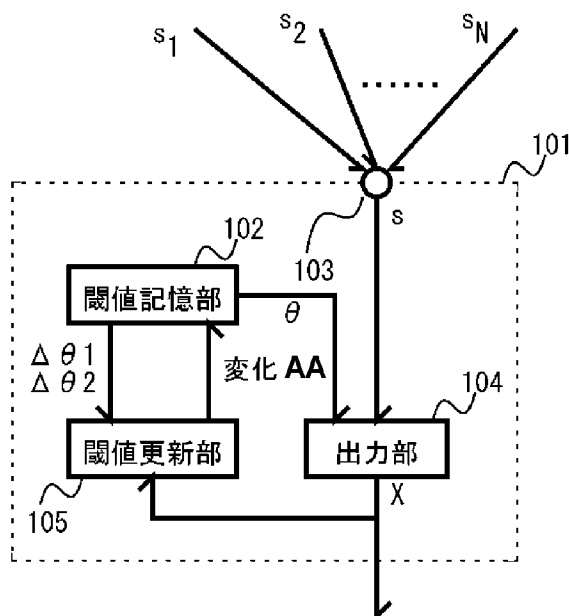
- (51) 国際特許分類:
G06N 3/08 (2006.01) G05B 13/02 (2006.01)
B25J 13/00 (2006.01) G06N 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/067774
- (22) 国際出願日: 2008年9月30日 (30.09.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2007-257123 2007年10月1日 (01.10.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人 理化学研究所 (RIKEN) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 Saitama (JP). トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 下田 真吾 (SHIMODA, Shingo) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 独立行政法人理化学研究所内 Saitama (JP). 木村 英紀 (KIMURA, Hidenori) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 独立行政法人理化学研究所内 Saitama (JP). 山岡 正明 (YAMAOKA, Masaaki) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 ト

[続葉有]

(54) Title: NEURON DEVICE, NEURAL NETWORK DEVICE, FEEDBACK CONTROL DEVICE, AND INFORMATION RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: ニューロン装置、神経回路網装置、フィードバック制御装置、ならびに、情報記録媒体

[図1]



102 THRESHOLD STORING UNIT
105 THRESHOLD UPDATING UNIT
104 OUTPUT UNIT
AA VARIATION

(57) Abstract: In order to perform appropriate control by varying the threshold of a neuron and extending the Hebbian rule in a neural network, in a neuron device (101) for simulating a nerve cell, a threshold storing unit (102) stores a threshold variable θ and two threshold coefficients $\Delta\theta 1$ and $\Delta\theta 2$, an input accepting unit (103) accepts input of one or more input signal values at predetermined time intervals, an output unit (104) outputs, as an output signal value X , 1 which indicates that the neuron device (101) fires if the sum total s of the input signal values is equal to or more than the value of the threshold variable θ , and 0 which indicates that the neuron (101) is resting if not so, and a threshold updating unit (105) calculates $\Delta\theta 1X + \Delta\theta 2(X-1)$ from the output signal value X and the threshold coefficients $\Delta\theta 1$ and $\Delta\theta 2$ and updates the value of the threshold variable θ stored in the threshold storing unit (102) to increase it by a result of the calculation.

(57) 要約: 神経回路網においてニューロンの閾値を可変にし、ヘッブ則を拡張して、適切な制御を行うため、神経細胞をシミュレートするニューロン装置 (101) において、閾値記憶部 (102) は、閾値変数 θ と、2つの閾値係数 $\Delta\theta 1$ 、 $\Delta\theta 2$ と、を記憶し、入力受付部 (103) は、1つまたは複数の入力信号値の入力を、所定の時間間隔で受け付け、出力部 (104) は、入力信号値の総和 s が、閾値変数 θ の値以上であれば、

ニューロン装置 (101) が発火しているとして 1 を、そうでなければ、ニューロン装置 (101) が休息している

[続葉有]

WO 2009/044751 A1



ヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 梶間 日出輝 (KA-JIMA, Hideki) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP).

NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(74) 代理人: 木村 満 (KIMURA, Mitsuru); 〒1010054 東京都千代田区神田錦町二丁目 7 番地 協販ビル 2 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

として 0 を、出力信号値 X として出力し、閾値更新部 (105) は、出力信号値 X と、閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、から $\Delta \theta 1 X + \Delta \theta 2 (X - 1)$ を計算して、閾値記憶部 (102) に記憶される閾値変数 θ の値をその計算結果だけ増加するように更新する。

明 細 書

ニューロン装置、神経回路網装置、フィードバック制御装置、ならびに、情報記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、神経回路網においてニューロンの閾値を可変にし、ヘップ則を拡張し、整数表現を工夫することで、適切な制御を行うのに好適なニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数クラスタ装置、フィードバック制御装置、ならびに、これらをコンピュータにて実現するプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体に関する。

背景技術

[0002] 従来から、神経細胞の活動を、単純な数学的モデルに落とし込んだ仮想的な「ニューロン」を制御単位として、ニューロン同士の出力と入力を重み付きで結合し、その重みを変更することで、学習を行って、ニューラルネットワークによる制御を行う技術が提案されている。たとえば、このような技術については、後に掲げる非特許文献1に開示されている。

[0003] ここで、非特許文献1では、バースティングモデルを利用して、神経細胞モデルの自律的活動による学習で物体を運搬する動作を学習する技術が提案されている。

[0004] 非特許文献1：下田真吾，旭岳史，藤本英雄，木村英紀「複合制御論におけるロボット制御」第11回ロボティクスシンポジウム，2006年

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、非特許文献1に開示の技術に限らず、どのようなニューロンのモデルを設定すべきか、については、現在も比較検討がなされている段階であり、新たなモデルを利用したニューラルネットワークの構成に関する技術が強く望まれている。

[0006] 本発明は、以上のような課題を解決するためのもので、神経回路網においてニューロンの閾値を可変にし、ヘップ則を拡張し、整数表現を工夫することで、適切な制御を行うのに好適なニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数ク

ラスト装置、フィードバック制御装置、ならびに、これらをコンピュータにて実現するプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明の第1の観点に係るニューロン装置は、神経細胞をシミュレートし閾値記憶部、入力受付部、出力部、閾値更新部を備え、以下のように構成する。
- [0008] すなわち、閾値記憶部は、閾値変数 θ と、2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、を記憶する。
- [0009] 一方、入力受付部は、1つまたは複数の入力信号値の入力を、所定の時間間隔で受け付ける。
- [0010] さらに、出力部は、入力を受け付けられた入力信号値の総和 s が、記憶された閾値変数 θ の値以上であれば、当該ニューロン装置が発火しているとして1を、そうでなければ、当該ニューロン装置が休息しているとして0を、それぞれ出力信号値として出力する。
- [0011] そして、閾値更新部は、出力された出力信号値 X と、記憶された閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、から
- $$\Delta \theta 1 X + \Delta \theta 2 (X - 1)$$
- を計算して、閾値記憶部に記憶される閾値変数 θ の値をその計算結果だけ増加するように更新する。
- [0012] 本発明のその他の観点に係る神経回路網装置は、重み記憶部、上記のニューロン装置2個(以下、一方を「入力側ニューロン装置」、他方を「出力側ニューロン装置」という。)、調停入力受付部、重み更新部を備え、以下のように構成する。
- [0013] すなわち、重み記憶部は、重み w と、2つの重み係数 $\Delta w 1$ 、 $\Delta w 2$ を記憶する。
- [0014] 一方、調停入力受付部は、入力側ニューロン装置と、出力側ニューロン装置と、が、入力信号値の入力を受け付け、出力信号値を出力する時間間隔で、調停信号値の入力を受け付ける。
- [0015] さらに、入力側ニューロン装置の出力信号値 u に記憶される重み w を乗じた値 $w u$ は、出力側ニューロン装置に入力信号値として与えられる。

[0016] そして、重み更新部は、入力側ニューロン装置から出力された出力信号値 u と、出力側ニューロン装置から出力された出力信号値 x と、受け付けられた調停信号値 z と、記憶された重み係数 Δw_1 、 Δw_2 と、から、

$$\Delta w_1 x u z + \Delta w_2 (x u z - 1)$$

を計算して、重み記憶部に記憶される重み w の値をその計算結果だけ増加するように更新する。

[0017] 本発明のその他の観点に係る非負整数符号化装置は、上記のニューロン装置を N 個と、非負実数受付部と、非負整数出力部を備え、以下のように構成する。

[0018] すなわち、非負実数受付部は、 N 個のニューロン装置が、入力信号値の入力を受け付け、出力信号値を出力する時間間隔で、1つまたは複数の非負実数信号値の入力を受け付けて、当該非負実数信号値の総和 u を、 N 個のニューロン装置に入力信号値として与える。

[0019] 一方、非負整数出力部は、 N 個のニューロン装置により出力される出力信号値の総和を、非負整数信号値として出力する。

[0020] さらに、 N 個のニューロン装置は、当該閾値変数 θ の初期値としてそれぞれ、1, 2, ..., N を当該閾値記憶部に記憶し、 N 個のニューロン装置のそれぞれにおいて、当該閾値係数 $\Delta \theta_1$ 、 $\Delta \theta_2$ の値として0を当該閾値記憶部に記憶する。

[0021] また、本発明の整数クラスタ装置は、上記の非負整数符号化装置2個(以下、一方を「正側符号化装置」、他方を「負側符号化装置」という。)、実数受付部、正側神経回路網、負側神経回路網、整数演算出力部を備え、以下のように構成する。

[0022] すなわち、実数受付部は、2個の非負整数符号化装置が、非負実数信号値の入力を受け付け、非負整数信号値を出力する時間間隔で、1つまたは複数の実数信号値の入力を受け付けて、当該実数信号値の総和 v が、

(a) 非負であれば、実数値 v を、正側符号化装置に非負実数信号値として与え、0を、負側符号化装置に非負実数信号値として与え、

(b) 負であれば、0を、正側符号化装置に非負実数信号値として与え、実数値 $-v$ を、負側符号化装置に非負実数信号値として与える。

[0023] そして、正側神経回路網は、正側符号化装置から出力される非負整数信号値を入

力として与えられ、当該非負整数に対する演算を行う。

[0024] さらに、負側神経回路網は、負側符号化装置から出力される非負整数信号値を入力として与えられ、正側神経回路網と同一の回路構成を有する。

[0025] 一方、整数演算出力部は、正側神経回路網より出力される信号値から、負側神経回路網より出力される信号値を減算した値を整数演算結果信号として出力する。

[0026] また、本発明のフィードバック制御装置は、制御入力受付部、正側フィードバック装置、負側フィードバック装置、操作出力部を備え、以下のように構成する。

[0027] すなわち、制御入力受付部は、制御対象の変位の目標値と、当該変位の観測値および当該変位の微分の観測値と、の入力を受け付ける。

[0028] 一方、当該正側フィードバック装置と、当該負側フィードバック装置と、は、いずれも、

(a) 上記の非負整数符号化装置A1と、

(b) 上記の非負整数符号化装置A2と、

(c) 上記の非負整数符号化装置A3と、

(d) 重み p , k_1 , k_2 , v_1 , v_2 と、重み係数 Δq_1 , Δq_2 と、を記憶する制御記憶部と、

(e) 非負整数符号化装置A1から出力される非負整数信号値 u に記憶される重み p を乗じた信号値 $p u$ が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置B1と、

(f) 非負整数符号化装置A1から出力される非負整数信号値に記憶される重み k_1 を乗じた信号値と、非負整数符号化装置A2から出力される非負整数信号値に記憶される重み k_2 を乗じた信号値と、が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置B2と、

(g) 非負整数符号化装置B1から出力される非負整数信号値に記憶される重み v_1 を乗じた信号値と、非負整数符号化装置B2から出力される非負整数信号値に記憶される重み v_2 を乗じた信号値と、が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置Cと、

(h) 非負整数符号化装置Cから出力される非負整数信号値 x を、操作値として出力する片側操作出力部と、

(j) 非負整数符号化装置A1から出力される非負整数信号値 u と、非負整数符号化装置Cから出力される非負整数信号値 x と、から、

$$\Delta q1 x^2 u + \Delta q2(x^2 u - 1)$$

を計算し、制御記憶部に記憶される重み p を、その計算結果だけ増加するように更新する制御更新部と、
を備える。

[0029] さらに、制御入力受付部は、

(1) 制御対象の変位の目標値が非負であれば、当該正側フィードバック装置の非負整数符号化装置A1に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置の非負整数符号化装置A1に0を実数信号値の入力として与え、

(2) 制御対象の変位の目標値が負であれば、当該正側フィードバック装置の非負整数符号化装置A1に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置の非負整数符号化装置A1に当該値を実数信号値の入力として与え、

(3) 制御対象の変位の観測値が非負であれば、当該正側フィードバック装置の非負整数符号化装置A2に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置の非負整数符号化装置A2に0を実数信号値の入力として与え、

(4) 制御対象の変位の観測値が負であれば、当該正側フィードバック装置の非負整数符号化装置A2に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置の非負整数符号化装置A2に当該値を実数信号値の入力として与え、

(5) 制御対象の変位の微分の観測値が非負であれば、当該正側フィードバック装置の非負整数符号化装置A3に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置の非負整数符号化装置A3に0を実数信号値の入力として与え、

(6) 制御対象の変位の微分の観測値が負であれば、当該正側フィードバック装置の非負整数符号化装置A3に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置の非負整数符号化装置A3に当該値を実数信号値の入力として与える。

[0030] そして、操作出力部は、当該正側フィードバック装置より出力される操作値から、当該負側フィードバック装置より出力される操作値を減算した値を、操作出力として制御対象に与える。

[0031] また、本発明のフィードバック制御装置は、非負整数符号化装置B1, B2, Cのそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2, \text{かつ、}$$

$$|\Delta \theta 1| > |\Delta \theta 2|$$

なる関係を満たす定数値を記憶するように構成することができる。

[0032] また、本発明のフィードバック制御装置において、当該観測対象は、K種類の目標状態を有し、当該K種類の目標状態のそれぞれには、目標値が対応付けられ、上記のニューロン装置K個をさらに備え、以下のように構成することができる。

[0033] すなわち、K個のニューロン装置と、正側フィードバック装置および負側フィードバック装置との組み合わせにおいて、観測対象の目標状態がi番目の目標状態である場合に、i番目のニューロン装置には正の入力信号値が与えられ、それ以外のニューロン装置には0の入力信号値が与えられる。

[0034] そして、K個のニューロン装置のそれぞれに対して、

(1) 当該ニューロン装置に対する切替重み $r1$, $r2$, $r3$, $r4$ と、切替重み係数 $\Delta s1$, $\Delta s2$ と、を記憶する切替重み記憶部と、

(2) 当該ニューロン装置から出力される出力信号値 y に記憶される重み $r1$ を乗じた信号値が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置D1と、

(3) 当該ニューロン装置から出力される出力信号値 y に記憶される重み $r2$ を乗じた信号値が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置D2と、を有し、

(4) 当該非負整数符号化装置D1から出力される非負整数信号値に記憶される重み $r3$ を乗じた信号値と、当該非負整数符号化装置D2から出力される非負整数信号値に記憶される重み $r4$ を乗じた信号値と、は、非負整数符号化装置Cに、さらに実数信号値の入力として与えられ、

(5) 当該ニューロン装置から出力される出力信号値 y と、非負整数符号化装置Cから出力される非負整数信号値 x と、から、

$$\Delta s1 x^2 y + \Delta s2 (x^2 y - 1)$$

を計算し、制御記憶部に記憶される重み $r1$ を、その計算結果だけ増加するように更

新する切り替え制御更新部をさらに有する。

[0035] すなわち、状態がK個であれば、重み r_1, r_2, r_3, r_4 , $\Delta s_1, \Delta s_2$ のセットもK個用意され、個別に更新がなされる。

[0036] また、本発明のフィードバック制御装置は、前記非負整数符号化装置B1, B2, Cのそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta_1, \Delta \theta_2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta_1 > 0 > \Delta \theta_2$$

なる関係を満たす定数値を記憶するように構成することができる。

[0037] また、本発明のフィードバック制御装置は、非負整数符号化装置D1, D2のそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta_1, \Delta \theta_2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta_1 > 0 > \Delta \theta_2, \text{かつ、}$$

$$|\Delta \theta_1| > |\Delta \theta_2|$$

なる関係を満たす定数値を記憶するように構成することができる。

[0038] 本発明のその他の観点に係るプログラムは、コンピュータを、上記のニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数クラスタ装置、フィードバック制御装置として機能させるように構成する。

[0039] また、本発明に係るプログラムは、コンパクトディスク、フレキシブルディスク、ハードディスク、光磁気ディスク、デジタルビデオディスク、磁気テープ、半導体メモリ等のコンピュータ読取可能な情報記憶媒体に記録することができる。

[0040] 上記プログラムは、プログラムが実行されるコンピュータやデジタル信号プロセッサとは独立して、コンピュータ通信網を介して配布・販売することができる。また、上記情報記憶媒体は、コンピュータやデジタル信号プロセッサとは独立して配布・販売することができる。

発明の効果

[0041] 本発明によれば、神経回路網においてニューロンの閾値を可変にし、ヘップ則を拡張し、整数表現を工夫することで、適切な制御を行うのに好適なニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数クラスタ装置、フィードバック制御装置、ならびに、これらをコンピュータにて実現するプログラムを記録したコンピュータ読取

可能な情報記録媒体を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0042] [図1]ニューロン装置の概要構成を示す模式図である。
- [図2]神経回路網装置の概要構成を示す模式図である。
- [図3A]拡張ヘッブ則によるニューロンの結合の様子を示す説明図である。
- [図3B]拡張ヘッブ則によるニューロンの結合の様子を示す説明図である。
- [図4]非負整数符号化装置の概要構成を示す模式図である。
- [図5A]非負整数符号化装置を含む一般的なニューロンのクラスタの結合の様子を示す模式図である。
- [図5B]非負整数符号化装置を含む一般的なニューロンのクラスタの結合の様子を示す模式図である。
- [図6]整数クラスタ装置の概要構成を示す模式図である。
- [図7]フィードバック制御装置の概要構成を示す模式図である。
- [図8]サーボモータの制御に本実施形態のフィードバック制御装置を適用した場合の学習シミュレーションの結果を示すグラフである。
- [図9]制御対象となるマニピュレータの概要構成を示す模式図である。
- [図10A]異なる荷物が荷重されたマニピュレータの姿勢を示す説明図である。
- [図10B]異なる荷物が荷重されたマニピュレータの姿勢を示す説明図である。
- [図11]目標状態が何番目のものであるかを示す信号を用いるフィードバック制御装置の概要構成を示す模式図である。
- [図12]シミュレーションにおける目標値の与え方を示すグラフである。
- [図13]図12に示す目標値によって学習を行った実験結果を示すグラフである。
- [図14]重さの異なる荷物を与えた場合の、姿勢の収束値を示すグラフである。

符号の説明

- [0043] 101 ニューロン装置
- 102 閾値記憶部
- 103 入力受付部
- 104 出力部

- 105 閾値更新部
- 201 神経回路網装置
- 202 重み記憶部
- 203 調停入力受付部
- 204 重み更新部
- 401 非負整数符号化装置
- 402 非負実数受付部
- 403 非負整数出力部
- 501 クラスタ
- 601 整数クラスタ装置
- 602 実数受付部
- 603 正側神経回路網
- 604 負側神経回路網
- 701 フィードバック制御装置
- 702 制御入力受付部
- 703 正側フィードバック装置
- 704 負側フィードバック装置
- 705 操作出力部
- 801 マニピュレータ
- 811 関節
- 812 関節
- 821 荷物
- 822 荷物

発明を実施するための最良の形態

[0044] 以下に本発明の実施形態を説明する。なお、以下に説明する実施形態は説明のためのものであり、本発明の範囲を制限するものではない。したがって、当業者であればこれらの各要素もしくは全要素をこれと均等なものに置換した実施形態を採用することが可能であるが、これらの実施形態も本発明の範囲に含まれる。

[0045] 特に、以下の実施形態にて説明されるニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数クラスタ装置、フィードバック制御装置は、いずれも、コンピュータに所定のプログラムを実行させ、処理の制御ならびに各種の計算はCPU (Central Processing Unit) が行い、各種の記憶を記憶する領域としてRAM (Random Access Memory) を利用するようにして実現するのが典型的である。

[0046] しかしながら、基本構成要素にて実行される計算は主として四則演算や簡単な比較に限られるから、きわめて単純な電子回路で構成可能であり、当該電子回路を電子素子として実現したり、FPGA (Field Programmable Gate Array) やDSP (Digital Signal Processor)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等の技術を適用して実現することも可能である。

実施例 1

[0047] 以下では、ニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数クラスタ装置、フィードバック制御装置の順に、その詳細について説明する。

[0048] (ニューロン装置)

図1は、本実施形態に係るニューロン装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

[0049] ニューロン装置101は、神経細胞をシミュレートするものであり、閾値記憶部102、入力受付部103、出力部104、閾値更新部105を備える。

[0050] 閾値記憶部102は、閾値変数 θ と、2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、を記憶する。以下、理解を容易にするため、ある時点 t における変数 θ の値を示す際には、 $\theta(t)$ のように表記するものとする。閾値記憶部102に記憶されるのは、変数 θ の最新の値、ということになる。

[0051] 一方、2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ は、利用者が適宜調整可能な定数であるが、以下の2通りのいずれかの関係を有するようにするのが典型的である。ただし、これらには限られない。

$$(1) \Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2$$

$$(2) \Delta \theta 1 = \Delta \theta 2 = 0$$

[0052] さて、入力受付部103は、1つまたは複数の入力信号値の入力を、所定の時間間

隔で受け付ける。所定の時間間隔で受け付けることから、時刻は整数で表現することができる。したがって、時刻 t における N 個の入力信号値を $s_1(t), \dots, s_N(t)$ のように表記する。

[0053] さらに、出力部104は、入力を受け付けられた入力信号値の総和 s が、記憶された閾値変数 θ の値以上であれば、当該ニューロン装置101が発火しているとして1を、そうでなければ、当該ニューロン装置101が休息しているとして0を、それぞれ出力信号値として出力する。

[0054] 入力信号値の総和 s の時刻 t における値 $s(t)$ は、

$$s(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t)$$

のように表現できる。入力信号値は非負実数値をとるのが一般的であるが、これに限られない。

[0055] 時刻 t における出力信号値 $X(t)$ は、

$$\text{sgm}(z) = 1 \quad (z > 0);$$

$$\text{sgm}(z) = 1 \quad (z = 0);$$

$$\text{sgm}(z) = 0 \quad (z < 0)$$

のように定義されるシグモイド関数 $\text{sgm}(z)$ によって、

$$X(t) = \text{sgm}(s(t) - \theta(t))$$

のように表記することができる。

[0056] そして、閾値更新部105は、出力された出力信号値 X と、記憶された閾値係数 $\Delta \theta_1$ 、 $\Delta \theta_2$ と、から

$$\Delta \theta_1 X + \Delta \theta_2 (X - 1)$$

を計算して、閾値記憶部102に記憶される閾値変数 θ の値をその計算結果だけ増加するように更新する。

[0057] すなわち、時刻 $t+1$ における θ の値 $\theta(t+1)$ は、時刻 t における θ の値 $\theta(t)$ の値を用いて、

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \Delta \theta_1 X(t) + \Delta \theta_2 (X(t) - 1)$$

のように表記することができる。

[0058] このニューロン装置101を、可変閾値ニューロン (Variable Threshold Neuron; VTN

)とも呼ぶ。VTNは、2つの状態をとりうる。X(t)が1のときは、VTNは発火状態にあり、X(t)が0のときは、VTNは休息状態にある。

[0059] また、閾値 $\theta(t)$ は、閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ によって変化する。VTN 101が発火しているときには、 $\Delta \theta 1$ だけ閾値 θ が増加し、VTN 101が休息しているときには、 $\Delta \theta 2$ だけ閾値 θ が増加する。

[0060] 上記のように、

$$\Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2$$

のような関係がある場合には、発火状態が続くと閾値 θ が上昇して発火しにくくなり、休息状態が続くと閾値 θ が下降して発火しやすくなることになる。さらに、

$$|\Delta \theta 1| > |\Delta \theta 2|$$

とすることが多い。

[0061] また、

$$\Delta \theta 1 = \Delta \theta 2 = 0$$

である場合には、閾値は一定であることになる。

[0062] (神経回路網装置)

図2は、本実施形態に係る神経回路網装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

[0063] 本図に示す神経回路網装置201は、ニューラルネットワークにおける重み付け更新の技術として広く知られているヘップ則を拡張したものである。

[0064] 神経回路網装置201は、重み記憶部202、ニューロン装置101を2個(以下、一方を「入力側ニューロン装置101a」、他方を「出力側ニューロン装置101b」という。)、調停入力受付部203、重み更新部204を備える。

[0065] ここで、重み記憶部202は、重み w と、2つの重み係数 $\Delta w1$ 、 $\Delta w2$ を記憶する。

[0066] 一方、調停入力受付部203は、入力側ニューロン装置101aと、出力側ニューロン装置101bと、が、入力信号値の入力を受け付け、出力信号値を出力する時間間隔で、調停信号値 z の入力を受け付ける。調停入力受付部203は、他のニューロン装置101に接続されるのが一般的である。

[0067] さらに、入力側ニューロン装置101aの出力信号値 u に記憶される重み w を乗じた値

w uが、出力側ニューロン装置101bに入力信号値として与えられる。本図では、重みwを乗じることを、矢印の横にwを表記することで示している(以下同様)。

[0068] そして、重み更新部204は、入力側ニューロン装置101aから出力された出力信号値uと、出力側ニューロン装置101bから出力された出力信号値xと、受け付けられた調停信号値zと、記憶された重み係数 Δw_1 、 Δw_2 と、から、

$$\Delta w_1 x u z + \Delta w_2 (x u z - 1)$$

を計算して、重み記憶部202に記憶される重みwの値をその計算結果で更新する。時刻tを明記すると、

$$w(t+1) = w(t) + \Delta w_1 x(t)u(t)z(t) + \Delta w_2 (x(t)u(t)z(t) - 1)$$

のように、重みが更新されることとなる。

[0069] この重み係数についても、

$$\Delta w_1 > 0 > \Delta w_2,$$

特に

$$|\Delta w_1| > |\Delta w_2|$$

とすることが多い。

[0070] 図3A、図3Bは、本実施形態による拡張ヘップ則によるニューロンの結合の様子を示す説明図である。以下、本図を参照して説明する。

[0071] 両図では、ニューロン装置101(M)、ニューロン装置101(I)、ニューロン装置101(O)の3つが表記されているが、それぞれ、調停、入力、出力に対応しており、それぞれの出力値(状態)は、z, u, xであり、結合の重みはwである。

[0072] ニューロン装置101(I)とニューロン装置101(O)の結合が、上記の神経回路網装置201に相当する。

[0073] さて、重み係数 Δw_1 、 Δw_2 は、互いに符号が異なるように設定するのが典型的である。そして、

$$\Delta w_1 > 0$$

のように設定したときには、ニューロン装置101(M)により、ニューロン装置101(I)とニューロン装置101(O)の結合が亢進(potentiation)される(図3A)。

[0074] また、

$$\Delta w_1 < 0$$

のように設定したときには、ニューロン装置101 (M)により、ニューロン装置101 (I)とニューロン装置101 (O)の結合が抑制 (inhibition) される (図3B)。抑制の場合には、その旨を明らかにするため、慣習にしたがい、ニューロン装置101 (M)から出る矢印の先に棒を表記する。

[0075] なお、ニューロン装置101 (M)とニューロン装置101 (I)を一致させるか、もしくは、ニューロン装置101 (M)とニューロン装置101 (O)を一致させた場合には、古典的なヘップ則に帰着されることになる。

[0076] (非負整数符号化装置)

図4は、本実施形態に係る非負整数符号化装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

[0077] 本発明のその他の観点に係る非負整数符号化装置401は、上記のニューロン装置101をN個、非負実数受付部402、非負整数出力部403を備える。

[0078] すなわち、非負実数受付部402は、N個のニューロン装置101が、入力信号値の入力を受け付け、出力信号値を出力する時間間隔で、1つまたは複数の非負実数信号値の入力を受け付けて、当該非負実数信号値の総和 u を、N個のニューロン装置101に入力信号値として与える。

[0079] 一方、非負整数出力部403は、N個のニューロン装置101により出力される出力信号値の総和を、非負整数信号値として出力する。

[0080] さらに、N個のニューロン装置101は、当該閾値変数 θ の初期値としてそれぞれ、1, 2, ..., Nを当該閾値記憶部102に記憶し、N個のニューロン装置101のそれぞれにおいて、当該閾値係数 $\Delta \theta_1$ 、 $\Delta \theta_2$ の値として0を当該閾値記憶部102に記憶する。すなわち、N個のニューロン装置101のうち、 i 番目のニューロン装置101の閾値 θ は定数 i に等しい、ということになる。

[0081] N個のニューロン装置101からの出力をすべて単純に結合すれば実数値 u の少数部分を切り捨てて整数化した値に相当する。

[0082] 通常のニューロンのクラスタ同士の結合と同様に、ニューロン同士を完全結合 (complete connection) することとしても良い。

[0083] 図5A、図5Bは、非負整数符号化装置401を含む一般的なニューロンのクラスタの結合の様子を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

[0084] 図5Aに示すように、2つのクラスタ501a(A)、501b(B)は、それぞれ、非負整数符号化装置401同様にN個のニューロン装置101を有しており、2つのクラスタ501a(A)、501b(B)の各ニューロン装置101は、互いに結合している。クラスタ501a(A)のi番目のニューロン装置101(A)とクラスタ501b(B)のj番目のニューロン装置101(B_j)は、重み $w[i,j]$ で結合している。 $w[i,j]$ は2次元行列もしくは2次元配列に相当するもので、すべての要素が同じ定数値を持つこととしても良いし、上記のような拡張ヘッブ則に基づいて、個別に、もしくは、一括して、更新されることとしても良い。

[0085] 図5Bは、図5Aを省略表記したものである。理解を容易にするため、クラスタ501a(A)とクラスタ501b(B)とが、重み w で結合しているかのように表記する。以下、適宜この記法を用いることとする。また、本図のような結合の様子に対しては、「クラスタ501a(A)の出力に重み w を乗じてクラスタ501b(B)に入力として与える。」のような表現を用いるものとする。したがって、一般に「 w を乗じる」と言った場合には、 w としては上記のような行列／配列を意味することとなり、すべてが等しい重みの場合にはスカラーを意味することとなる。

[0086] (整数クラスタ装置)

一般に、ニューロン装置101が出力する値は「0」か「1」であるから、負の値を直接出力させることはできない。また、上記の非符号整数符号化装置401を利用しながら、負の値に対応する必要がある。以下では、このような処理を実現する整数クラスタ装置について説明する。

[0087] 図6は、本実施形態に係る整数クラスタ装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

[0088] 整数クラスタ装置601は、上記の非負整数符号化装置401を2個(以下、一方を「正側非負整数符号化装置401a」、他方を「負側非負整数符号化装置401b」という。)、実数受付部602、正側神経回路網603、負側神経回路網604、整数演算出力部605を備える。

[0089] すなわち、実数受付部602は、2個の非負整数符号化装置401が、非負実数信号

値の入力を受け付け、非負整数信号値を出力する時間間隔で、1つまたは複数の実数信号値の入力を受け付ける。

[0090] そして、当該実数信号値の総和 v が、

(a) 非負であれば、実数値 v を、正側非負整数符号化装置401aに非負実数信号値として与え、0を、負側非負整数符号化装置401bに非負実数信号値として与え、

(b) 負であれば、0を、正側非負整数符号化装置401aに非負実数信号値として与え、実数値 $-v$ を、負側非負整数符号化装置401bに非負実数信号値として与える。

[0091] このようにすると、正側非負整数符号化装置401aにも負側非負整数符号化装置401bにも、正の信号値が与えられ、非負整数への符号化がなされる。

[0092] そして、正側神経回路網603と、負側神経回路網604とは、同一の回路構成を有するが、学習の如何によっては、重み等の設定が変化することがある。

[0093] そして、正側神経回路網603は、正側非負整数符号化装置401aから出力される非負整数信号値を入力として与えられ、当該非負整数に対する演算を行う。

[0094] さらに、負側神経回路網604は、負側非負整数符号化装置401bから出力される非負整数信号値を入力として与えられ、当該非負整数に対する演算を行う。

[0095] 正側神経回路網603と、負側神経回路網604と、は、いずれも正の値(絶対値)の信号値を出力することとなるから、整数演算出力部605は、正側神経回路網603より出力される信号値から、負側神経回路網604より出力される信号値を減算した値を整数演算結果信号として出力する。

[0096] このように、0または正の値に対する処理はそのまま行い、負の値に対する処理は正の値に変換してから処理を行って、最後に両者の結果の差を求めて結合することで、一般的な実数に対する処理を可能とするのである。

[0097] (フィードバック制御装置)

以下では、上記のニューロン装置101、非負整数符号化装置401を用いて、神経回路網装置201と整数クラスタ装置601における原理を適用し、フィードバック制御を行うフィードバック制御装置の実施形態について説明する。

[0098] 図7は、本実施形態に係るフィードバック制御装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

- [0099] フィードバック制御装置701は、制御入力受付部702、正側フィードバック装置703、負側フィードバック装置704、操作出力部705を備える。
- [0100] そして、制御入力受付部702は、制御対象の変位の目標値と、当該変位の観測値および当該変位の微分の観測値と、の入力を受け付ける。
- [0101] 変位およびその微分としては任意の組み合わせを採用することができる。たとえば「位置と速度」「角度と角速度」「速度と加速度」「角速度と角加速度」等の組み合わせである。
- [0102] さて、当該正側フィードバック装置703と、当該負側フィードバック装置704と、は、同一の回路構成となっている。そこで本図では、理解を容易にするため、負側フィードバック装置704の詳細は図示を省略している。
- [0103] さて、当該正側フィードバック装置703と、当該負側フィードバック装置704とは、いずれも、6個の非負整数符号化装置401 (A1, A2, A3, B1, B2, C)、制御記憶部(図示せず)、制御更新部(図示せず)、を備える。
- [0104] そして、制御記憶部は、重み p , $k1$, $k2$, $v1$, $v2$ と、重み係数 $\Delta q1$, $\Delta q2$ を記憶する。これは、上記の各装置と同様である。
- [0105] 非負整数符号化装置401 (B1)には、非負整数符号化装置401 (A1)から出力される非負整数信号値 u に記憶される重み p を乗じた信号値 $p \cdot u$ が、実数信号値の入力として与えられる。
- [0106] 非負整数符号化装置401 (B2)には、非負整数符号化装置401 (A1)から出力される非負整数信号値に記憶される重み $k1$ を乗じた信号値と、非負整数符号化装置401 (A2)から出力される非負整数信号値に記憶される重み $k2$ を乗じた信号値と、が、実数信号値の入力として与えられる。
- [0107] 非負整数符号化装置401 (C)には、非負整数符号化装置401 (B1)から出力される非負整数信号値に記憶される重み $v1$ を乗じた信号値と、非負整数符号化装置401 (B2)から出力される非負整数信号値に記憶される重み $v2$ を乗じた信号値と、が、実数信号値の入力として与えられる。
- [0108] そして、片側操作出力部711は、非負整数符号化装置401 (C)から出力される非負整数信号値 x を、操作値として出力する。

[0109] さらに、制御更新部は、非負整数符号化装置401 (A1)から出力される非負整数信号値 u と、非負整数符号化装置401 (C)から出力される非負整数信号値 x と、から、

$$\Delta q1 x^2 u + \Delta q2(x^2 u - 1)$$

を計算し、制御記憶部に記憶される重み p を、その計算結果だけ増加するように更新する。これは、上記の各装置と同様であり、上記の拡張ヘッブ則を、非負整数符号化装置401 (A1, B1)の結合に対して適用することに相当する。

[0110] このような構成を有する当該正側フィードバック装置703、当該負側フィードバック装置704に対して、制御入力受付部702は、上記の整数クラスタ装置601と同様に、正の値と負の値を適切に振り分ける。すなわち、

(1)制御対象の変位の目標値が非負であれば、当該正側フィードバック装置703の非負整数符号化装置401 (A1)に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置704の非負整数符号化装置401 (A1)に0を実数信号値の入力として与え、

(2)制御対象の変位の目標値が負であれば、当該正側フィードバック装置703の非負整数符号化装置401 (A1)に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置704の非負整数符号化装置401 (A1)に当該値を実数信号値の入力として与え、

(3)制御対象の変位の観測値が非負であれば、当該正側フィードバック装置703の非負整数符号化装置401 (A2)に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置704の非負整数符号化装置401 (A2)に0を実数信号値の入力として与え、

(4)制御対象の変位の観測値が負であれば、当該正側フィードバック装置703の非負整数符号化装置401 (A2)に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置704の非負整数符号化装置401 (A2)に当該値を実数信号値の入力として与え、

(5)制御対象の変位の微分の観測値が非負であれば、当該正側フィードバック装置703の非負整数符号化装置401 (A3)に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置704の非負整数符号化装置401 (A3)に0を実数信号値

の入力として与え、

(6)制御対象の変位の微分の観測値が負であれば、当該正側フィードバック装置703の非負整数符号化装置401(A3)に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置704の非負整数符号化装置401(A3)に当該値を実数信号値の入力として与える。

[0111] 一方、操作出力部705は、上記の整数クラスタ装置601と同様に、正側と負側で得られた値の差を用いるため、当該正側フィードバック装置703より出力される操作値から、当該負側フィードバック装置704より出力される操作値を減算した値を、操作出力として制御対象に与えるのである。

[0112] なお、本実施形態の正側フィードバック装置703、負側フィードバック装置704においては、非負整数符号化装置401(B1, B2, C)のそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2, \text{かつ、}$$

$$|\Delta \theta 1| > |\Delta \theta 2|$$

なる関係を満たす定数値を記憶するように構成するのが典型的である。

[0113] 一方、非負整数符号化装置401(A1, A2, A3)においては、単なる整数化を行うと考えられるので、

$$\Delta \theta 1 = \Delta \theta 2 = 0$$

のように設定するのが典型的である。

[0114] このほか、拡張ヘッブ則の学習を考慮して、

$$\Delta q1 > 0 > \Delta q2, \text{かつ、}$$

$$|\Delta q1| > |\Delta q2|$$

なる関係を満たす定数値を利用することが多い。

[0115] 図8は、サーボモータの制御に本実施形態のフィードバック制御装置を適用した場合の学習シミュレーションの結果を示すグラフである。以下、本図を参照して説明する。

[0116] 本シミュレーションは、サーボモータの角度を目標に与え、現在の角度と角速度を観測し、サーボモータに印加する電圧を操作出力とするものである。サーボモータは

単純な2次システムと考えることができ、本フィードバック制御装置は、可変PD制御器として働く。

[0117] また、非負整数符号化装置401は、50個のニューロン装置101からなるものとして、所望の角度を0.5radに設定している。

[0118] 本図左は、学習試行回数 (Number of Learning Trials) が1回目 (1st)、5回目 (5th)、10回目 (10th)、15回目 (15th)、20回目 (20th)、25回目 (25th) のそれぞれの場合の、0秒～5秒の間の角度 (縦軸[rad]) を示している。同図に示すように、試行を繰り返すと、目標値に達するまでのぶれが小さくなり、制御性能が次第に改善されていることがわかる。制御誤差は非負整数符号化装置401(B2)において、目標値と現在の角度の差として計算され、学習は、この観点で監督 (supervise) されることになる。

[0119] ただし、ここで注意しておきたいことは、誤差は、ネットワークそのものの変化には含まれない、ということである。重みと閾値の更新は、あらかじめ定められた規則にしたがって行われ、誤差には無関係である。

[0120] また、本図右に示すように、発火しているVTNの数 (縦軸Number of Firing) は、学習試行回数 (横軸Number of Learning Trials) が増加するごとに急速に減少していき、定数になった時点で、システムは、所望の制御レベルに達したことになる。

[0121] 所望の制御レベルに達したときの発火状態にあるニューロン装置101の数は、 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ 、 $\Delta q1$ 、 $\Delta q2$ の値によって変化・調整が可能である。このとき、増加方向の係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta q1$ を減少方向の係数 $\Delta \theta 2$ 、 $\Delta q2$ の絶対値よりもかなり大きな値としておくと、望ましい学習が行われることが実験によりわかっている。

実施例 2

[0122] 本実施形態では、上記実施形態の構成に加えて、目標状態というものを考える。

[0123] たとえば、図9に示すマニピュレータの制御について考える。以下、本図を参照して説明する。

[0124] マニピュレータ801は、腕を連結する2つの関節811、812を持っており、腕の先には荷物821が荷重される。マニピュレータ801にとって安定な姿勢とは、その重心から鉛直に伸ばした線が関節811を通過する姿勢である。

[0125] そこで、関節811の角度は自由に設定し、図10A、図10Bに示すようにマニピュレ

ータ801の関節812の角度を2通りに設定する。

[0126] 図10Aは、第1の重さの荷物821を支える第1の姿勢であり、関節812の角度が設定されている。

[0127] 図10Bは、第2の重さの荷物821を支える第2の姿勢であり、関節812の角度が設定されている。

[0128] そして、2つの荷物821、822は重さが異なるから、関節812の角度は、一般には、第1の姿勢と第2の姿勢とで異なるものとなる。そして、関節811の角度は、上記のような安定の条件から自然に定められるため、明示的に与える必要はない。

[0129] このように、一連の動作の中で、通過すべき複数の姿勢を、ある程度の自由度をもったまま指定して、その一連の動作のうち、現在は何番目の姿勢に向かおうとしているのか、を示す制御信号を、フィードバック制御装置701に与えるのである。

[0130] 図11は、目標状態が何番目のものであるかを示す信号を用いるフィードバック制御装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

[0131] 本実施形態のフィードバック制御装置701は、上記のフィードバック制御装置701と共通する構成を有するため、適宜図示を省略している。また、正側と負側では構成が対称であるから、負側についても適宜図示を省略している。

[0132] フィードバック制御装置701において、当該観測対象は、K種類の目標状態を有し、当該K種類の目標状態のそれぞれには、目標値が対応付けられている。上記のマニピュレータ801のでは、姿勢は2種類あったから、 $K = 2$ となる。

[0133] そして、ニューロン装置101がK個さらに用意されている。このK個のニューロン装置101においては、観測対象の目標状態がi番目の目標状態である場合に、i番目のニューロン装置101には正の入力信号値が与えられ、それ以外のニューロン装置101には0の入力信号値が与えられる。

[0134] そして、このK個のニューロン装置101のそれぞれには、正側フィードバック装置703および負側フィードバック装置704の両方において、

(1) 当該ニューロン装置101に対する切替重み r_1, r_2, r_3, r_4 と、切替重み係数 $\Delta s_1, \Delta s_2$ と、を記憶する切替重み記憶部(図示せず)と、

(2) 当該ニューロン装置101から出力される出力信号値 y に記憶される重み r_1 を乗

じた信号値が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置401 (D1)と、

(3) 当該ニューロン装置101から出力される出力信号値 y に記憶される重み r_2 を乗じた信号値が、実数信号値の入力として与えられる上記の非負整数符号化装置401 (D2)と、とが接続され、

(4) 当該非負整数符号化装置401 (D1)から出力される非負整数信号値に記憶される重み r_3 を乗じた信号値と、当該非負整数符号化装置401 (D2)から出力される非負整数信号値に記憶される重み r_4 を乗じた信号値と、は、非負整数符号化装置401 Cに、さらに実数信号値の入力として与えられ、

(5) 当該ニューロン装置101から出力される出力信号値 y と、非負整数符号化装置401 (C)から出力される非負整数信号値 x と、から、

$$\Delta s1 x^2 y + \Delta s2(x^2 y - 1)$$

を計算し、制御記憶部に記憶される重み r_1 を、その計算結果だけ増加するように更新する切り替え制御更新部(図示せず)と回路をなすように、構成されている。

[0135] ここで、本実施形態では、 $\Delta s1 < 0$ としており、抑制(inhibition)を利用している。

[0136] また、本発明のフィードバック制御装置701においては、上記と同様に、非負整数符号化装置401 (D1, D2)のそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2、かつ、$$

$$|\Delta \theta 1| > |\Delta \theta 2|$$

なる関係を満たす定数値を記憶するように構成するのが典型的である。

[0137] あとは、目標とする姿勢の順に、その姿勢に向かう時間の間だけ、当該姿勢の順番に対応するニューロン装置101に非零の入力を与え、それ以外のニューロン装置101に0の入力を与えれば良いことになる。

[0138] 現在目標状態としている姿勢のそれぞれに応じて、拡張ヘッブ則により学習がなされるため、たとえばロボットの歩行動作を実現する際には、歩行動作をいくつかのフェーズに分けて、各フェーズの境界を上記の「目標姿勢」とすることで、歩行動作の設計が容易になるとともに、各フェーズの学習を行わせることができるので、各種のパラ

メータ調整の手間を減らすことができると期待される。

[0139] また、あらかじめ目標軌道を与える関節(上記の関節812に相当)と、学習により軌道が定まる関節(上記の関節811に相当)を分けることで、バランスをとりながら歩行するようなニューラルネットワークが、短時間で獲得できるようになる。

[0140] なお、上記図10A、図10Bの例のように、状態が2つだけの場合には、第1の目標状態でなければ第2の目標状態であることになるから、目標状態を受け付けるニューロン装置101は1個で済む。

[0141] 図12は、本例についてシミュレーションを行った場合の目標値の与え方を示すグラフである。本図左は、時間経過(横軸)に対する関節811の目標の角度(縦軸Desired Angle of Joint 1)を示すものであり、本図右は、時間経過(横軸)に対する関節812の目標の角度(縦軸Desired Angle of Joint 2)を示すものである。

[0142] 本図に示すように、一定間隔で、第1の姿勢を目標とする期間と第2の姿勢を目標とする期間を入れ換える旨が指定されている。

[0143] 図13は、図12に示す目標値によって学習を行った実験結果を示すグラフである。

[0144] 本図左は、時間経過(横軸)に対する関節811の角度(縦軸Angle of Joint 1)を示すものであり、本図右は、時間経過(横軸)に対する関節812の角度(縦軸Angle of Joint 2)を示すものである。本図に示すように、時間が経過するにしたがって、姿勢が安定状態に収束していくことがわかる。

[0145] 図14は、重さの異なる荷物を与えた場合の、姿勢の収束値を示すグラフである。

[0146] 本図左は、荷物の重さ(横軸Weight)に対する関節811の角度の収束値(縦軸Angle of Joint 1)であり、本図右は、異なる初期姿勢から動作を開始したときの、重心が移動する軌跡(Trajectory of COG)を、各種の重さについて描いたものである。関節811の角度は異なるものの、同じ収束点に収束していることがわかり、これが、このロボットにとっての最適な動作であることがわかる。

[0147] なお、本願においては、2007年10月1日出願の日本国特許出願 特願2007-257123 を基礎とする優先権を主張するものとし、指定国の法令が許す限り、当該基礎出願の内容を本願に取り込むものとする。

産業上の利用可能性

[0148] このように本発明によれば、神経回路網においてニューロンの閾値を可変にし、ヘップ則を拡張し、整数表現を工夫することで、適切な制御を行うのに好適なニューロン装置、神経回路網装置、非負整数符号化装置、整数クラスタ装置、フィードバック制御装置、ならびに、これらをコンピュータにて実現するプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体を提供することができる。

請求の範囲

- [1] 神経細胞をシミュレートするニューロン装置(101)であって、前記ニューロン装置(101)は、
- 閾値変数 θ と、2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、を記憶する閾値記憶部(102)と、
- 1つまたは複数の入力信号値の入力を、所定の時間間隔で受け付ける入力受付部(103)と、
- 前記入力を受け付けられた入力信号値の総和 s が、前記記憶された閾値変数 θ の値以上であれば、当該ニューロン装置(101)が発火しているとして1を、そうでなければ、当該ニューロン装置(101)が休息しているとして0を、それぞれ出力信号値として出力する出力部(104)と、
- 前記出力された出力信号値 X と、前記記憶された閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、から
- $$\Delta \theta 1 X + \Delta \theta 2(X - 1)$$
- を計算して、前記閾値記憶部(102)に記憶される閾値変数 θ の値をその計算結果だけ増加するように更新する閾値更新部(105)と、
- を備えることを特徴とするニューロン装置(101)。
- [2] 重み w と、2つの重み係数 $\Delta w 1$ 、 $\Delta w 2$ を記憶する重み記憶部(202)と、
- 請求項1に記載のニューロン装置(101)2個(以下、一方を「入力側ニューロン装置(101)」、他方を「出力側ニューロン装置(101)」という。)と、
- 前記入力側ニューロン装置(101)と、前記出力側ニューロン装置(101)と、が、入力信号値の入力を受け付け、出力信号値を出力する時間間隔で、調停信号値の入力を受け付ける調停入力受付部(103)と、
- を備える神経回路網装置(201)であって、
- 前記入力側ニューロン装置(101)の出力信号値 u に前記記憶される重み w を乗じた値 $w u$ は、前記出力側ニューロン装置(101)に入力信号値として与えられ、
- 前記入力側ニューロン装置(101)から出力された出力信号値 u と、前記出力側ニューロン装置(101)から出力された出力信号値 x と、前記受け付けられた調停信号値 z と、前記記憶された重み係数 $\Delta w 1$ 、 $\Delta w 2$ と、から、
- $$\Delta w 1 x u z + \Delta w 2(x u z - 1)$$

を計算して、前記重み記憶部(202)に記憶される重み w の値をその計算結果だけ増加するように更新する重み更新部(204)

をさらに備えることを特徴とする神経回路網装置(201)。

[3] 請求項1に記載のニューロン装置(101) N 個と、

前記 N 個のニューロン装置(101)が、入力信号値の入力を受け付け、出力信号値を出力する時間間隔で、1つまたは複数の非負実数信号値の入力を受け付けて、当該非負実数信号値の総和 u を、前記 N 個のニューロン装置(101)に入力信号値として与える非負実数受付部(401)と、

前記 N 個のニューロン装置(101)により出力される出力信号値の総和を、非負整数信号値として出力する非負整数出力部(403)と、

を備え、

前記 N 個のニューロン装置(101)は、当該閾値変数 θ の初期値としてそれぞれ、1, 2, ..., N を当該閾値記憶部(102)に記憶し、前記 N 個のニューロン装置(101)のそれぞれにおいて、当該閾値係数 $\Delta \theta_1$ 、 $\Delta \theta_2$ の値として0を当該閾値記憶部(102)に記憶する、

ことを特徴とする非負整数符号化装置(401)。

[4] 請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)2個(以下、一方を「正側符号化装置」、他方を「負側符号化装置」という。)と、

前記2個の非負整数符号化装置(401)が、非負実数信号値の入力を受け付け、非負整数信号値を出力する時間間隔で、1つまたは複数の実数信号値の入力を受け付けて、当該実数信号値の総和 v が、

(a) 非負であれば、実数値 v を、前記正側符号化装置に非負実数信号値として与え、0を、前記負側符号化装置に非負実数信号値として与え、

(b) 負であれば、0を、前記正側符号化装置に非負実数信号値として与え、実数値 $-v$ を、前記負側符号化装置に非負実数信号値として与える

実数受付部(602)と、

前記正側符号化装置から出力される非負整数信号値を入力として与えられ、当該非負整数に対する演算を行う正側神経回路網(603)と、

前記負側符号化装置から出力される非負整数信号値を入力として与えられ、前記正側神経回路網(603)と同一の回路構成を有する負側神経回路網(604)と、

前記正側神経回路網(603)より出力される信号値から、前記負側神経回路網(604)より出力される信号値を減算した値を整数演算結果信号として出力する整数演算出力部(104)

を備えることを特徴とする整数クラスタ装置(601)。

[5] 制御対象の変位の目標値と、当該変位の観測値および当該変位の微分の観測値と、の入力を受け付ける制御入力受付部(103)と、

正側フィードバック装置(703)と、

負側フィードバック装置(704)と、

を備えるフィードバック制御装置(701)であって、

当該正側フィードバック装置(703)と、当該負側フィードバック装置(704)と、は、いずれも、

(a) 請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)A1と、

(b) 請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)A2と、

(c) 請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)A3と、

(d) 重み p , k_1 , k_2 , v_1 , v_2 と、重み係数 Δq_1 , Δq_2 と、を記憶する制御記憶部と、

(e) 前記非負整数符号化装置(401)A1から出力される非負整数信号値 u に前記記憶される重み p を乗じた信号値 $p u$ が、実数信号値の入力として与えられる請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)B1と、

(f) 前記非負整数符号化装置(401)A1から出力される非負整数信号値に前記記憶される重み k_1 を乗じた信号値と、前記非負整数符号化装置(401)A2から出力される非負整数信号値に前記記憶される重み k_2 を乗じた信号値と、が、実数信号値の入力として与えられる請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)B2と、

(g) 前記非負整数符号化装置(401)B1から出力される非負整数信号値に前記記憶される重み v_1 を乗じた信号値と、前記非負整数符号化装置(401)B2から出力される非負整数信号値に前記記憶される重み v_2 を乗じた信号値と、が、実数信号値の入力として与えられる請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)Cと、

(h)前記非負整数符号化装置(401)Cから出力される非負整数信号値 x を、操作値として出力する片側操作出力部(104)と、

(j)前記非負整数符号化装置(401)A1から出力される非負整数信号値 u と、前記非負整数符号化装置(401)Cから出力される非負整数信号値 x と、から、

$$\Delta q1 x^2 u + \Delta q2(x^2 u - 1)$$

を計算し、前記制御記憶部に記憶される重み p を、その計算結果だけ増加するように更新する制御更新部と、

を備え、

前記制御入力受付部(103)は、

(1)制御対象の変位の目標値が非負であれば、当該正側フィードバック装置(703)の非負整数符号化装置(401)A1に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置(704)の非負整数符号化装置(401)A1に0を実数信号値の入力として与え、

(2)制御対象の変位の目標値が負であれば、当該正側フィードバック装置(703)の非負整数符号化装置(401)A1に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置(704)の非負整数符号化装置(401)A1に当該値を実数信号値の入力として与え、

(3)制御対象の変位の観測値が非負であれば、当該正側フィードバック装置(703)の非負整数符号化装置(401)A2に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置(704)の非負整数符号化装置(401)A2に0を実数信号値の入力として与え、

(4)制御対象の変位の観測値が負であれば、当該正側フィードバック装置(703)の非負整数符号化装置(401)A2に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置(704)の非負整数符号化装置(401)A2に当該値を実数信号値の入力として与え、

(5)制御対象の変位の微分の観測値が非負であれば、当該正側フィードバック装置(703)の非負整数符号化装置(401)A3に当該値を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置(704)の非負整数符号化装置(401)A3に0を実数信

号値の入力として与え、

(6)制御対象の変位の微分の観測値が負であれば、当該正側フィードバック装置(703)の非負整数符号化装置(401)A3に0を実数信号値の入力として与え、当該負側フィードバック装置(704)の非負整数符号化装置(401)A3に当該値を実数信号値の入力として与え、

前記フィードバック制御装置(701)は、

当該正側フィードバック装置(703)より出力される操作値から、当該負側フィードバック装置(704)より出力される操作値を減算した値を、操作出力として制御対象に与える操作出力部(705)

をさらに備えることを特徴とするフィードバック制御装置(701)。

[6] 請求項5に記載のフィードバック制御装置(701)であって、

当該観測対象は、K種類の目標状態を有し、当該K種類の目標状態のそれぞれには、目標値が対応付けられ、

前記フィードバック制御装置(701)は、ニューロン装置(101)K個をさらに備え、

前記K個のニューロン装置(101)と、前記正側フィードバック装置(703)および前記負側フィードバック装置(704)との組み合わせにおいて、観測対象の目標状態がi番目の目標状態である場合に、i番目のニューロン装置(101)には正の入力信号値が与えられ、それ以外のニューロン装置(101)には0の入力信号値が与えられ、

前記フィードバック制御装置(701)は、前記K個のニューロン装置(101)のそれぞれに対して、

(1)当該ニューロン装置(101)に対する切替重み r_1 , r_2 , r_3 , r_4 と、切替重み係数 Δs_1 , Δs_2 と、を記憶する切替重み記憶部と、

(2)当該ニューロン装置(101)から出力される出力信号値 y に前記記憶される重み r_1 を乗じた信号値が、実数信号値の入力として与えられる請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)D1と、

(3)当該ニューロン装置(101)から出力される出力信号値 y に前記記憶される重み r_2 を乗じた信号値が、実数信号値の入力として与えられる請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)D2と、を有し、

(4) 当該非負整数符号化装置(401)D1から出力される非負整数信号値に前記記憶される重み r_3 を乗じた信号値と、当該非負整数符号化装置(401)D2から出力される非負整数信号値に前記記憶される重み r_4 を乗じた信号値と、は、前記非負整数符号化装置(401)Cに、さらに実数信号値の入力として与えられ、

(5) 当該ニューロン装置(101)から出力される出力信号値 y と、前記非負整数符号化装置(401)Cから出力される非負整数信号値 x と、から、

$$\Delta s1 x^2 y + \Delta s2(x^2 y - 1)$$

を計算し、前記制御記憶部に記憶される重み r_1 を、その計算結果だけ増加するように更新する切り替え制御更新部をさらに有し、

前記 K 個のニューロン装置(101)のそれぞれは、

閾値変数 θ と、2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、を記憶する閾値記憶部(102)と、

1つまたは複数の入力信号値の入力を、所定の時間間隔で受け付ける入力受付部(103)と、

前記入力を受け付けられた入力信号値の総和 s が、前記記憶された閾値変数 θ の値以上であれば、当該ニューロン装置(101)が発火しているとして1を、そうでなければ、当該ニューロン装置(101)が休息しているとして0を、それぞれ出力信号値として出力する出力部(104)と、

前記出力された出力信号値 X と、前記記憶された閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ と、から

$$\Delta \theta 1 X + \Delta \theta 2(X - 1)$$

を計算して、前記閾値記憶部(102)に記憶される閾値変数 θ の値をその計算結果だけ増加するように更新する閾値更新部(105)と、

を備えて、神経回路網をシミュレートする

ことを特徴とするフィードバック制御装置(701)。

[7] 請求項6に記載のフィードバック制御装置(701)であって、

前記非負整数符号化装置(401)B1, B2, Cのそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2$$

なる関係を満たす定数値を記憶する

ことを特徴とするフィードバック制御装置(701)。

- [8] 請求項7に記載のフィードバック制御装置(701)であって、
前記非負整数符号化装置(401)D1, D2のそれぞれにおいて、当該2つの閾値係数 $\Delta \theta 1$ 、 $\Delta \theta 2$ として、0を記憶するのにかえて、

$$\Delta \theta 1 > 0 > \Delta \theta 2, \text{かつ、}$$

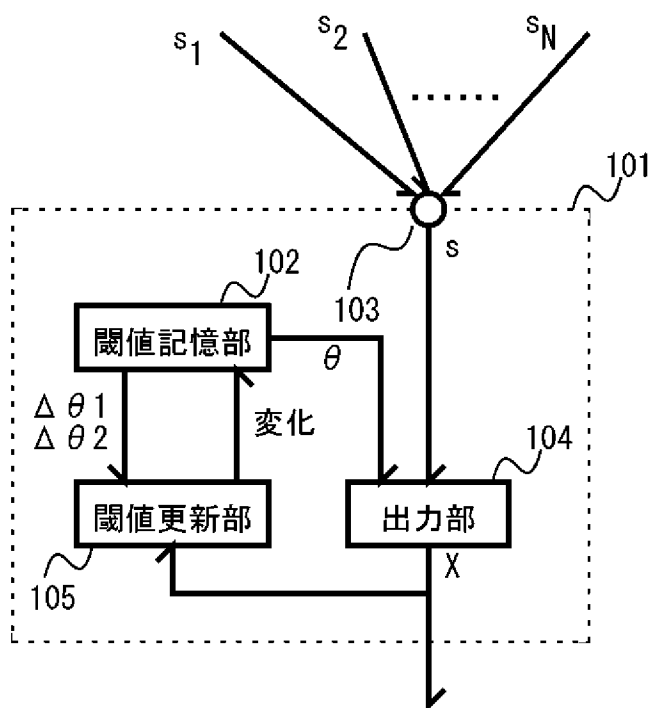
$$|\Delta \theta 1| > |\Delta \theta 2|$$

なる関係を満たす定数値を記憶する

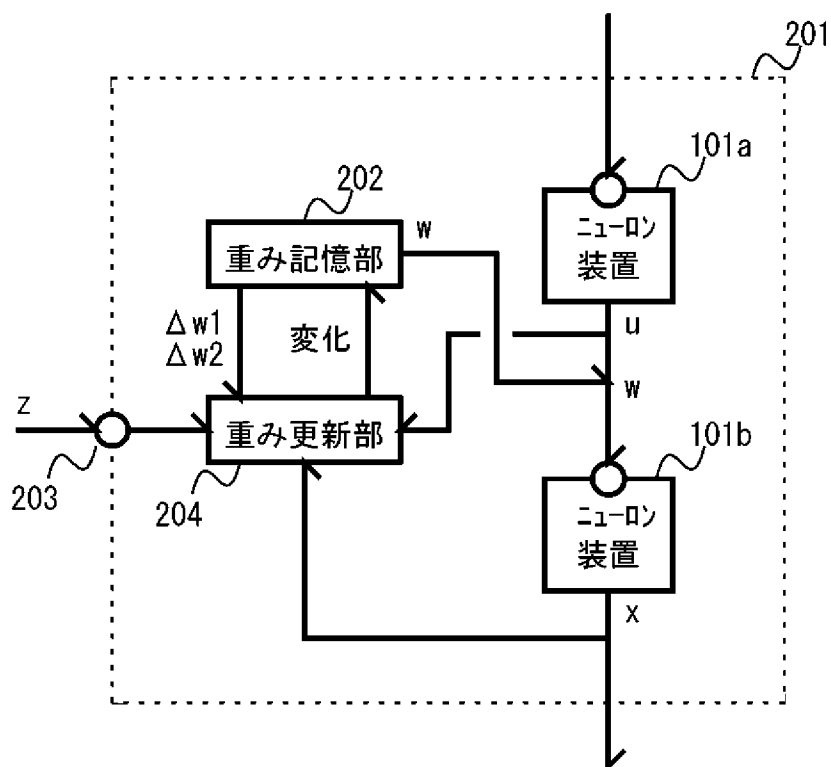
ことを特徴とするフィードバック制御装置(701)。

- [9] コンピュータを、請求項1に記載のニューロン装置(101)が備える各部として機能させることを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体。
- [10] コンピュータを、請求項2に記載の神経回路網装置(201)が備える各部として機能させることを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体。
- [11] コンピュータを、請求項3に記載の非負整数符号化装置(401)が備える各部として機能させることを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体。
- [12] コンピュータを、請求項4に記載の整数クラスタ装置(601)が備える各部として機能させることを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体。
- [13] コンピュータを、請求項5から8のいずれか1項に記載のフィードバック制御装置(701)が備える各部として機能させることを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読取可能な情報記録媒体。

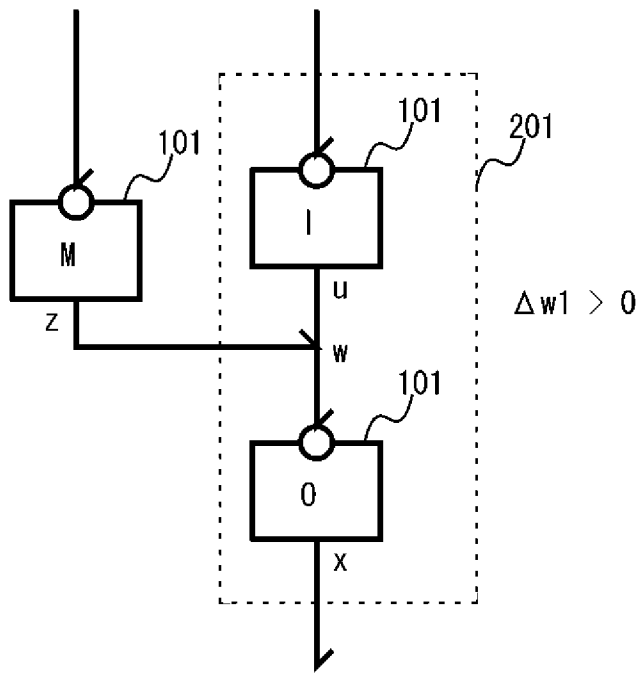
[図1]



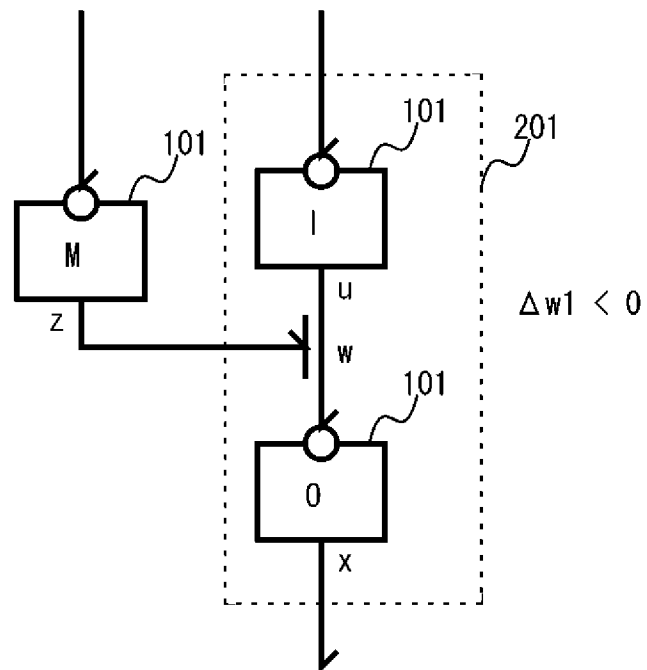
[図2]



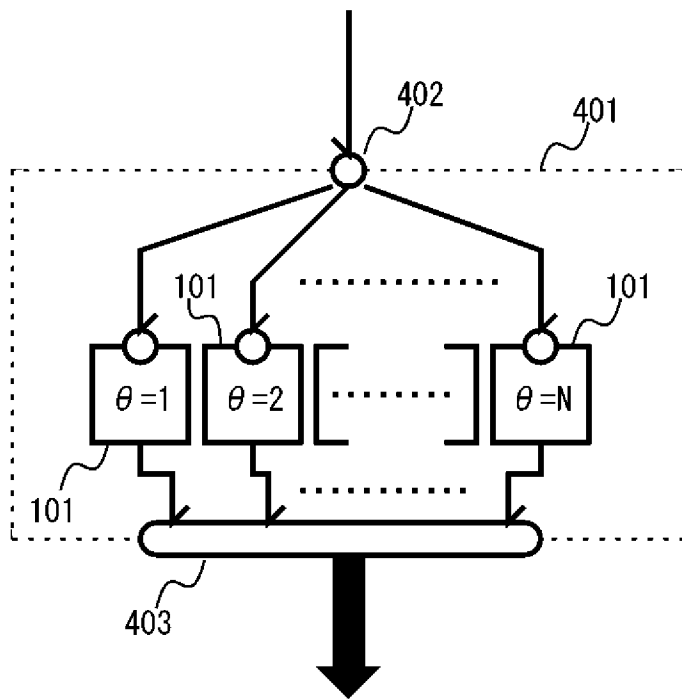
[図3A]



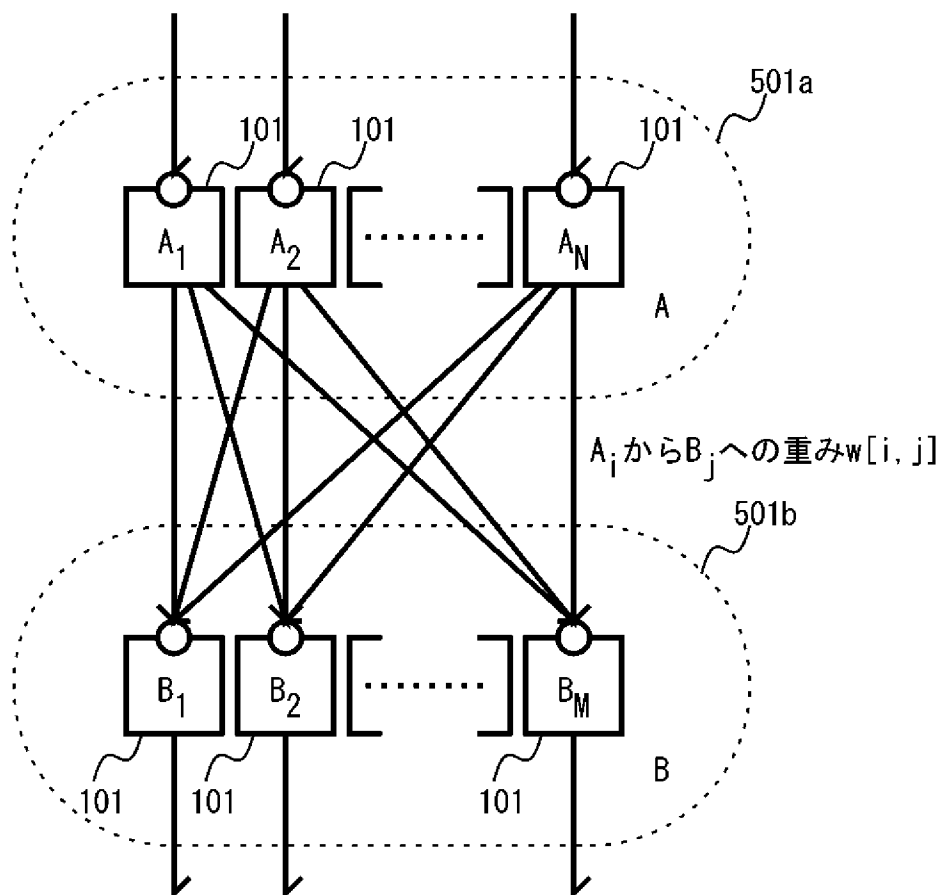
[図3B]



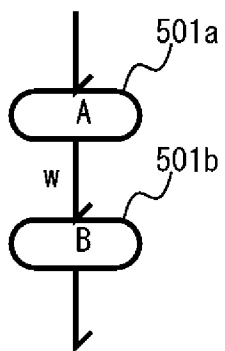
[図4]



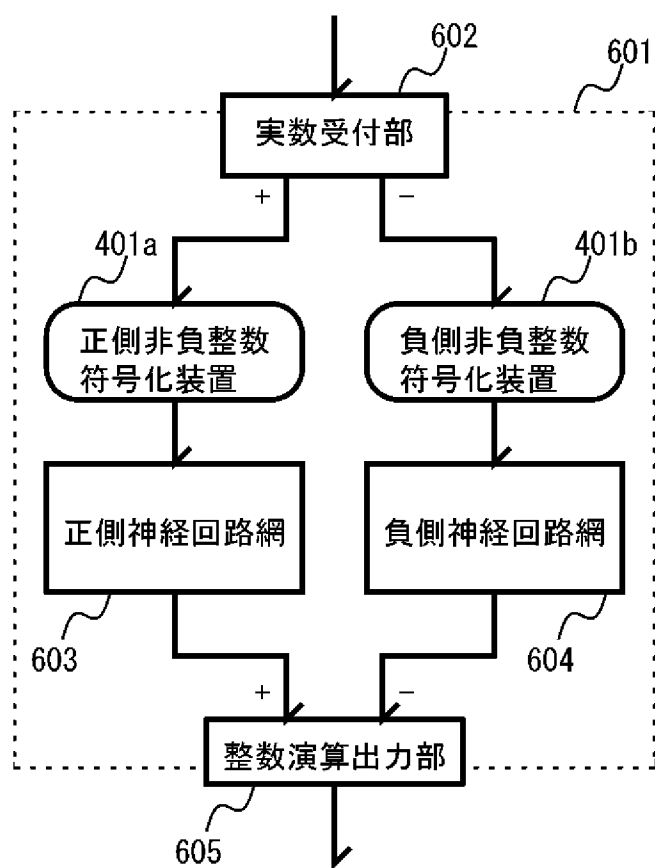
[図5A]



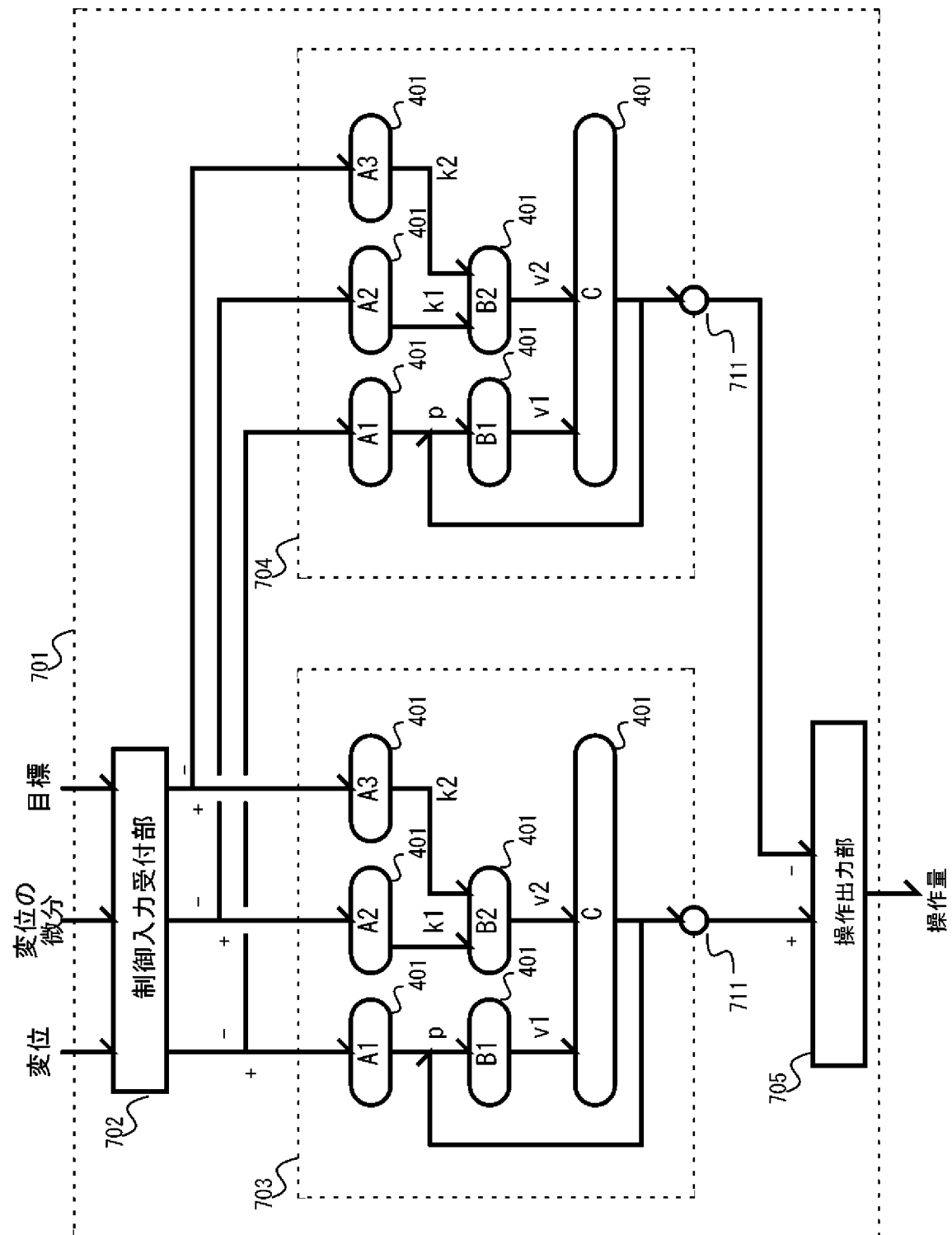
[図5B]



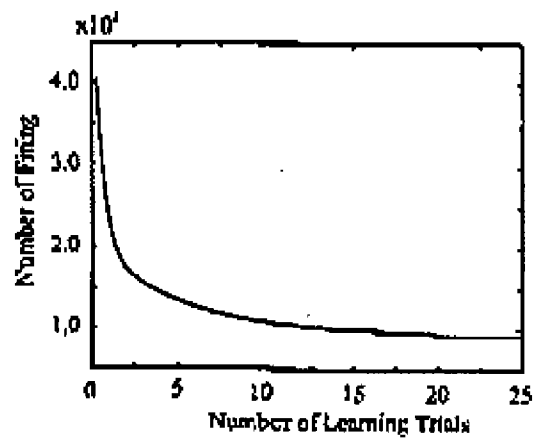
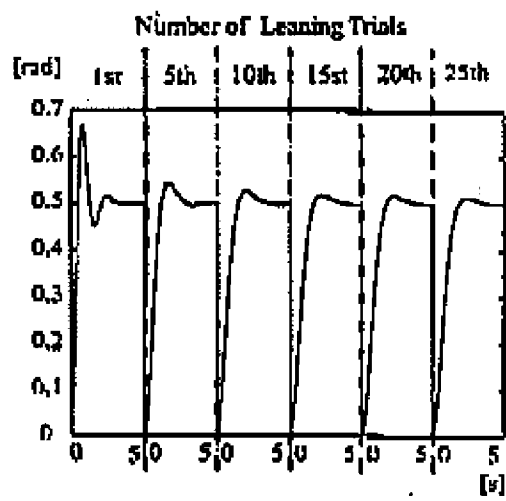
[図6]



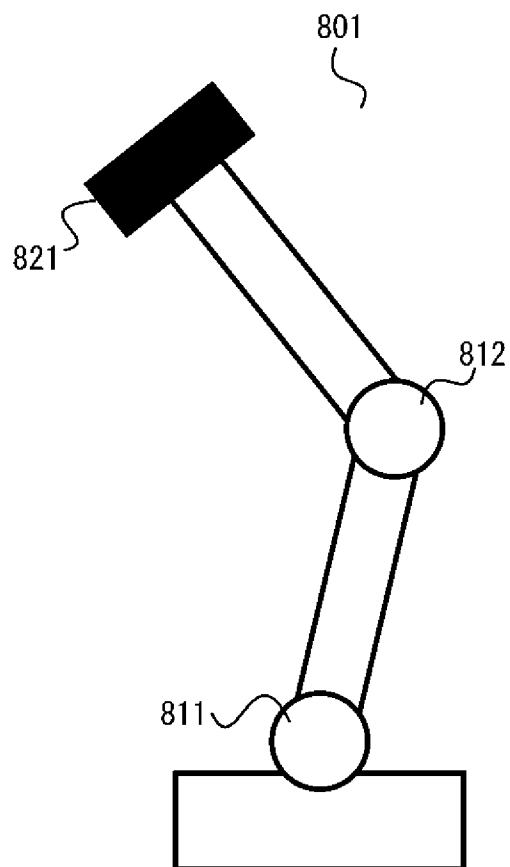
[図7]



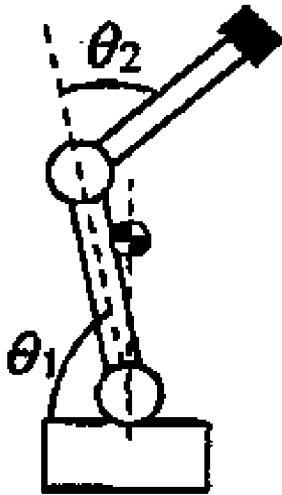
[図8]



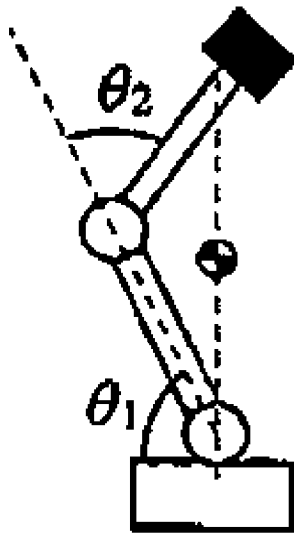
[図9]



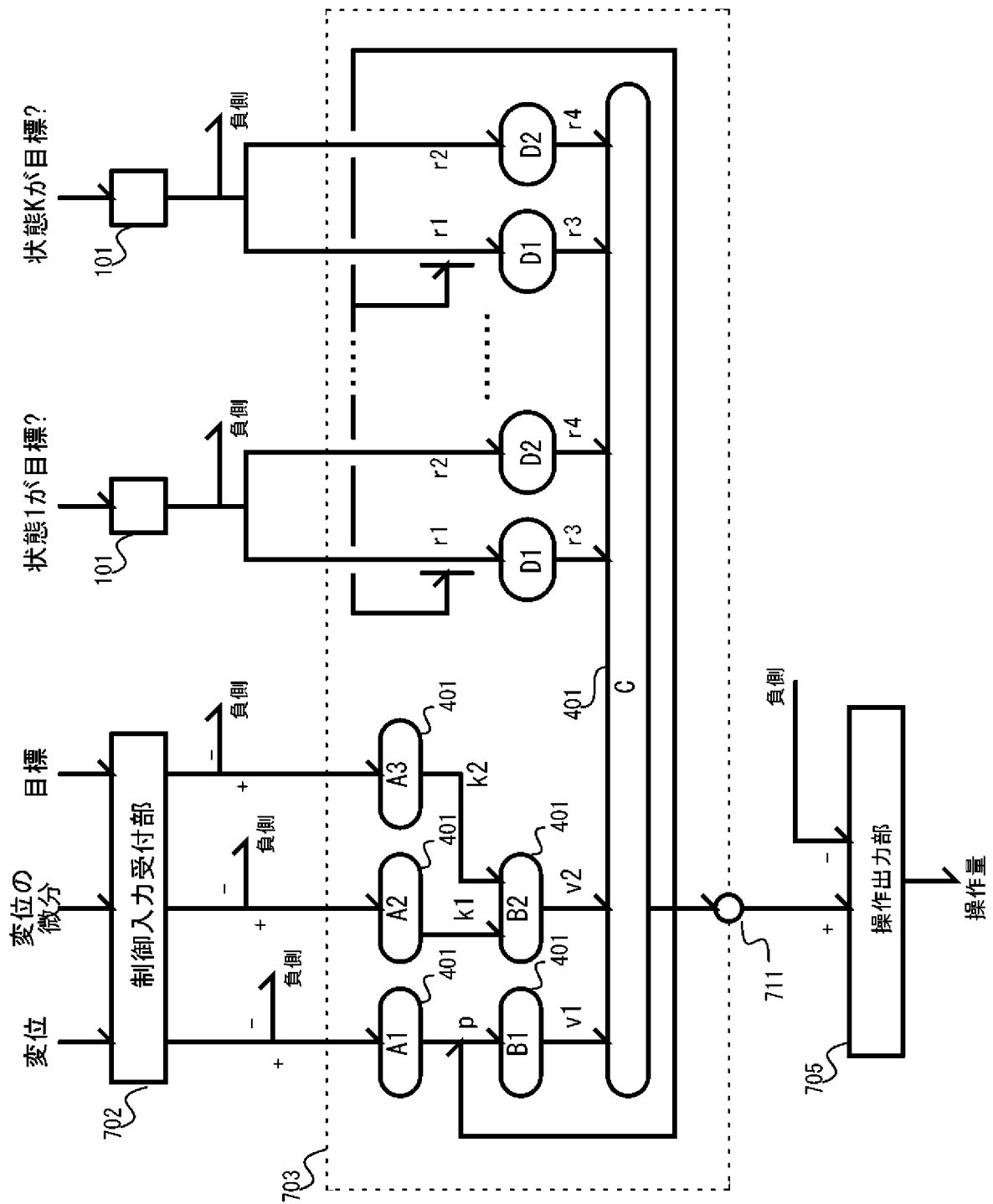
[図10A]



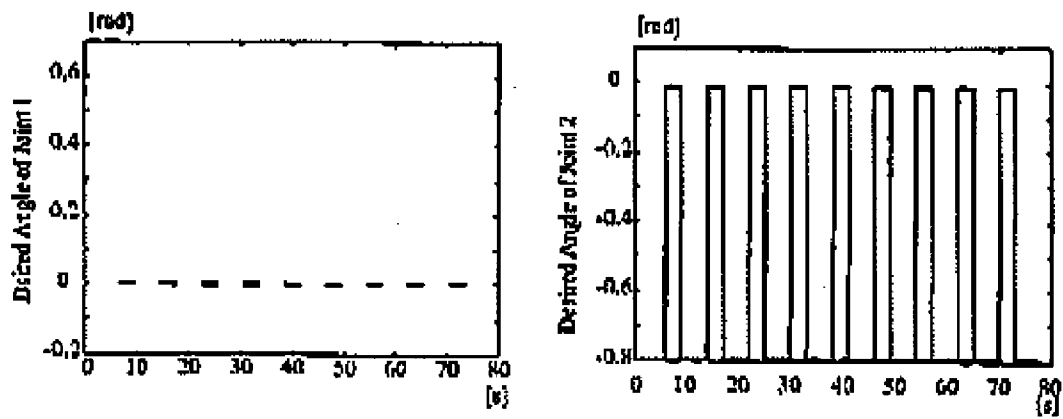
[図10B]



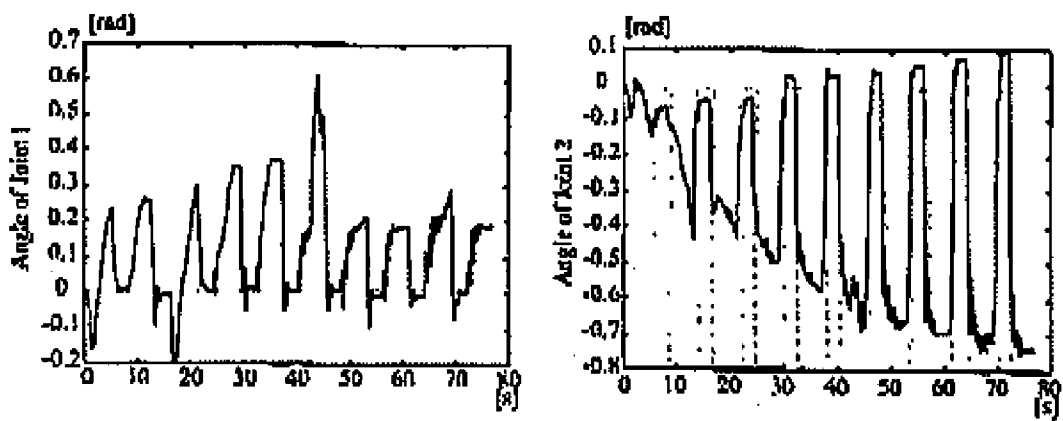
[図11]



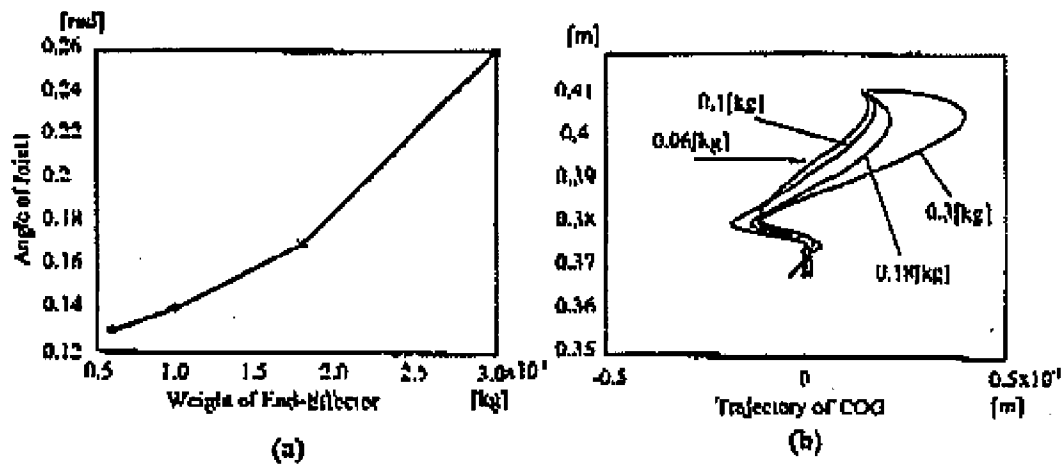
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/067774

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N3/08(2006.01)i, B25J13/00(2006.01)i, G05B13/02(2006.01)i, G06N3/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06N3/08, B25J13/00, G05B13/02, G06N3/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

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.
Y	JP 7-141313 A (Fujitsu Ltd.), 02 June, 1995 (02.06.95), Par. Nos. [0038] to [0045] (Family: none)	1, 3, 9, 11
Y	Jun SHIRAKURA, "Haba no Henka suru Kofunha ni yoru Yori Antei na Topographic Mapping Keisei Model", IEICE technical report, Vol.96, No.117, 21 June, 1996 (21.06.96), Vol.96, No.117, pages 53 to 60	1, 9
Y	JP 5-234009 A (NEC Corp.), 10 September, 1993 (10.09.93), Par. Nos. [0010] to [0015] (Family: none)	3, 11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ 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 application or patent 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
02 December, 2008 (02.12.08)Date of mailing of the international search report
16 December, 2008 (16.12.08)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/067774

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/104917 A1 (Fujitsu Ltd.), 02 December, 2004 (02.12.04), Page 13, line 8 to page 18, line 29 & US 2006/0184467 A1	1-13
A	JP 7-319507 A (Bridgestone Corp.), 08 December, 1995 (08.12.95), Full text; all drawings (Family: none)	5-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/067774

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The "special technical feature" of the inventions of claims 1, 6-9, 13 is updating the value of a threshold variable with two threshold coefficients, the "special technical feature" of the inventions of claims 2, 5, 10 is updating the value of a weight with an arbitration signal value and two weight coefficients, and the "special technical feature" of the inventions of claims 3, 4, 11, 12 is integer coding by combining outputs from neurons with different thresholds.

It does not appear that there is any technical relationship among these inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features, and therefore (Continued to extra sheet.)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/0677774

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

these inventions are not considered to be so linked as to form a single general inventive concept.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G06N3/08(2006.01)i, B25J13/00(2006.01)i, G05B13/02(2006.01)i, G06N3/00(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G06N3/08, B25J13/00, G05B13/02, G06N3/00

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

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 8 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 8 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 8 年

国際調査で使用した電子データベース（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
Y	JP 7-141313 A（富士通株式会社） 1995.06.02, 段落【0038】－【0045】（ファミリーなし）	1, 3, 9, 11
Y	白倉 準, 幅の変化する興奮波によるより安定なトポグラフィック マッピング形成モデル, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.96 No.117, 1996.06.21, 第96巻 第117号, pp.53～60	1, 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ 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」国際出願日前の出願または特許であるが、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

0 2 . 1 2 . 2 0 0 8

国際調査報告の発送日

1 6 . 1 2 . 2 0 0 8

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

北川 純次

5 B

3 6 5 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 4 5

C (続き) . 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
Y	JP 5-234009 A (日本電気株式会社) 1993.09.10, 段落【0010】－【0015】 (ファミリーなし)	3, 11
A	WO 2004/104917 A1 (富士通株式会社) 2004.12.02, 第13頁第8行－第18頁第29行 & US 2006/0184467 A1	1-13
A	JP 7-319507 A (株式会社ブリヂストン) 1995.12.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	5-13

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1, 6-9, 13に係る発明の「特別な技術的特徴」は2つの閾値係数を用いて閾値変数の値を更新することであり、請求の範囲2, 5, 10に係る発明の「特別な技術的特徴」は調停信号値と2つの重み係数を用いて重みの値を更新することであり、請求の範囲3, 4, 11, 12に係る発明の「特別な技術的特徴」は異なる閾値を有する複数のニューロンからの出力を結合して整数符号化することである。

これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にならないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。