

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5115965号
(P5115965)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012.10.26)

(51) Int.Cl.		F I			
GO6N	3/08	(2006.01)	GO6N	3/08	Q
GO6N	3/00	(2006.01)	GO6N	3/00	550E
GO5B	13/02	(2006.01)	GO5B	13/02	L

請求項の数 13 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2007-257123 (P2007-257123)
 (22) 出願日 平成19年10月1日 (2007.10.1)
 (65) 公開番号 特開2009-87114 (P2009-87114A)
 (43) 公開日 平成21年4月23日 (2009.4.23)
 審査請求日 平成22年9月27日 (2010.9.27)

(73) 特許権者 503359821
 独立行政法人理化学研究所
 埼玉県和光市広沢2番1号
 (73) 特許権者 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100095407
 弁理士 木村 満
 (74) 代理人 100110135
 弁理士 石井 裕一郎
 (72) 発明者 下田 真吾
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 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、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

神経細胞をシミュレートするニューロン装置であって、前記ニューロン装置は、
 閾値変数 と、2つの閾値係数 1、 2と、を記憶する閾値記憶部と、
 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 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出力部と、
 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 1、 2と、から

$$1 X + 2(X - 1)$$

を計算して、前記閾値記憶部に記憶される閾値変数 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と、
 を備えることを特徴とするニューロン装置。

【請求項2】

重みwと、2つの重み係数 w1、 w2を記憶する重み記憶部と、
 請求項1に記載のニューロン装置2個(以下、一方を「入力側ニューロン装置」、「出
 力側ニューロン装置」という。)と、
 前記入力側ニューロン装置と、前記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、調停信号値の入を受け付ける調停入力受
 付部と、

を備える神経回路網装置であって、

前記入力側ニューロンの出力信号値 u に前記記憶される重み w を乗じた値 wu は、前記出力側ニューロン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 w_1 、 w_2 と、から、

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

を計算して、前記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重み更新部

をさらに備えることを特徴とする神経回路網装置。

10

【請求項3】

請求項1に記載のニューロン装置 N 個と、

前記 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、前記 N 個のニューロン装置に入力信号値として与える非負実数受付部と、

前記 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非負整数出力部を、

を備え、

前記 N 個のニューロン装置は、当該閾値変数の初期値としてそれぞれ、 $1, 2, \dots, N$ を当該閾値記憶部に記憶し、前記 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

20

1 、 2 の値として 0 を当該閾値記憶部に記憶する、

ことを特徴とする非負整数符号化装置。

【請求項4】

請求項3に記載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。）と、

前記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、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、

30

(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と同一の回路構成を有する負側神経回路網と、

前記正側神経回路網より出力される信号値から、前記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整数演算出力部

を備えることを特徴とする整数クラスタ装置。

40

【請求項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と、

正側フィードバック装置と、

負側フィードバック装置と、

を備えるフィードバック制御装置であって、

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) 請求項3に記載の非負整数符号化装置 A_1 と、

(b) 請求項3に記載の非負整数符号化装置 A_2 と、

(c) 請求項3に記載の非負整数符号化装置 A_3 と、

50

(d) 重み p, k_1, k_2, v_1, v_2 と、重み係数 q_1, q_2 と、を記憶する制御記憶部、

(e) 前記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B1と、

(f) 前記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B2と、

(g) 前記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Cと、

(h) 前記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) 前記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、前記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、

$$q_1 x^2 u + q_2 (x^2 u - 1)$$

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、

前記フィードバック制御装置は、

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操作出力部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。

【請求項6】

請求項5に記載のフィードバック制御装置であって、

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 1、2として、0を記憶するのにかえて、

$$1 > 0 > 2$$

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。

10

20

30

40

50

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載のフィードバック制御装置であって、

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は、請求項 1 に記載のニューロン装置K個をさらに備え、

前記K個のニューロン装置と、前記正側フィードバック装置および前記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、

前記フィードバック制御装置は、前記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 r_1, r_2, r_3, r_4 と、切替重み係数 s_1, s_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、前記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、

$$s_1 x^2 y + s_2 (x^2 y - 1)$$

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する

ことを特徴とするフィードバック制御装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載のフィードバック制御装置であって、

前記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 θ_1, θ_2 として、0を記憶するのにかえて、

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

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

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。

【請求項 9】

コンピュータを、請求項 1 に記載のニューロン装置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。

【請求項 10】

コンピュータを、請求項 2 に記載の神経回路網装置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。

【請求項 11】

コンピュータを、請求項 3 に非負整数符号化装置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。

【請求項 12】

コンピュータを、請求項 4 に記載の整数クラスタ装置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。

【請求項 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が備

10

20

30

40

50

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。

【発明の詳細な説明】

【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、以下の文献に開示されている。

【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

【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。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

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。

【0005】

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提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

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。

【0007】

すなわち、閾値記憶部は、閾値変数 θ と、2つの閾値係数 α_1 、 α_2 と、を記憶する。

【0008】

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。

【0009】

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。

【0010】

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 α_1 、 α_2 と、から

$$1 \cdot X + \alpha_2 (X - 1)$$

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

10

20

30

40

50

更新する。

【0011】

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」、「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。

【0012】

すなわち、重み記憶部は、重み w と、2つの重み係数 w_1 、 w_2 を記憶する。

【0013】

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。

10

【0014】

さらに、入力側ニューロンの出力信号値 u に記憶される重み w を乗じた値 wu は、出力側ニューロンに入力信号値として与えられる。

【0015】

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 w_1 、 w_2 と、から、

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

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。

20

【0016】

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 N 個、非負実数受付部、非負整数出力部を備え、以下のように構成する。

【0017】

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。

【0018】

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。

30

【0019】

さらに、 N 個のニューロン装置は、当該閾値変数 の初期値としてそれぞれ、 $1, 2, \dots, N$ 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 1 、 2 の値として 0 を当該閾値記憶部に記憶する。

【0020】

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。

【0021】

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、

40

(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。

【0022】

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。

50

【 0 0 2 3 】

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。

【 0 0 2 4 】

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。

【 0 0 2 5 】

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。

【 0 0 2 6 】

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。

【 0 0 2 7 】

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 q_1 , q_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、

$$q_1 x^2 u + q_2 (x^2 u - 1)$$

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。

【 0 0 2 8 】

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

10

20

30

40

50

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。

【0029】

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。

10

【0030】

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 1、 2として、0を記憶するのにかえて、

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

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。

【0031】

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。

20

【0032】

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。

【0033】

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 r_1, r_2, r_3, r_4 と、切替重み係数 s_1, s_2 と、を記憶する切替重み記憶部と、

30

(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 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 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 r_3 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 r_4 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、

40

$$s_1 x^2 y + s_2 (x^2 y - 1)$$

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をさらに有する。

【0034】

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

【0035】

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 1、 2として、0を記憶するのにかえて、

$$1 > 0 > 2, \text{ かつ、}$$

50

| 1 | > | 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。

【 0 0 3 6 】

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。

【 0 0 3 7 】

また、本発明のプログラムは、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。

10

【 0 0 3 8 】

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 】

【 0 0 3 9 】

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提供することができる。

20

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 4 0 】

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。

【 0 0 4 1 】

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。

30

【 0 0 4 2 】

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 】

40

【 0 0 4 3 】

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。

【 0 0 4 4 】

(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。

【 0 0 4 5 】

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。

50

【 0 0 4 6 】

閾値記憶部 1 0 2 は、閾値変数 θ と、2つの閾値係数 α_1 、 α_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 1 0 2 に記憶されるのは、変数 θ の最新の値、ということになる。

【 0 0 4 7 】

一方、2つの閾値係数 α_1 、 α_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。

$$(1) \quad \alpha_1 > 0 > \alpha_2$$

$$(2) \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 0$$

10

【 0 0 4 8 】

さて、入力受付部 1 0 3 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。

【 0 0 4 9 】

さらに、出力部 1 0 4 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 1 0 1 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 1 0 1 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。

20

【 0 0 5 0 】

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。

【 0 0 5 1 】

時刻 t における出力信号値 $X(t)$ は、

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

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

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

30

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。

【 0 0 5 2 】

そして、閾値更新部 1 0 5 は、出力された出力信号値 X と、記憶された閾値係数 α_1 、 α_2 と、から

$$\theta = \alpha_1 X + \alpha_2 (\theta - 1)$$

を計算して、閾値記憶部 1 0 2 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。

【 0 0 5 3 】

40

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、

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \alpha_1 X(t) + \alpha_2 (\theta(t) - 1)$$

のように表記することができる。

【 0 0 5 4 】

このニューロン装置 1 0 1 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。

【 0 0 5 5 】

また、閾値 $\theta(t)$ は、閾値係数 α_1 、 α_2 によって変化する。VTN 1 0 1 が発火

50

しているときには、 θ_1 だけ閾値 θ_1 が増加し、 $V_{TN} = 101$ が休息しているときには、 θ_2 だけ閾値 θ_2 が増加する。

【0056】

上記のように、

$$\theta_1 > 0 > \theta_2$$

のような関係がある場合には、発火状態が続くと閾値 θ_1 が上昇して発火しにくくなり、休息状態が続くと閾値 θ_2 が下降して発火しやすくなることになる。さらに、

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

とすることが多い。

【0057】

また、

$$\theta_1 = \theta_2 = 0$$

である場合には、閾値は一定であることになる。

【0058】

(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。

【0059】

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。

【0060】

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」、「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。

【0061】

ここで、重み記憶部202は、重み w と、2つの重み係数 w_1 、 w_2 を記憶する。

【0062】

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。

【0063】

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 wu 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)。

【0064】

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 w_1 、 w_2 と、から、

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

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、

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

のように、重みが更新されることとなる。

【0065】

この重み係数についても、

$$w_1 > 0 > w_2,$$

特に

$$|w_1| > |w_2|$$

とすることが多い。

10

20

30

40

50

【0066】

図3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。

【0067】

本図では、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。

【0068】

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。

10

【0069】

さて、重み係数 w_1, w_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、

$$w_1 > 0$$

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(本図(a))。

【0070】

また、

$$w_1 < 0$$

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(本図(b))。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。

20

【0071】

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。

【0072】

(非負整数符号化装置)

30

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。

【0073】

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。

【0074】

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。

40

【0075】

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。

【0076】

さらに、N個のニューロン装置101は、当該閾値変数 θ_i の初期値としてそれぞれ、 $1, 2, \dots, N$ 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 θ_i 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_i は定数 i に等しい、ということになる。

【0077】

50

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。

【0078】

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。

【0079】

図5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。

【0080】

本図(a)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(本図(a))。クラスタ501a(A)のi番目のニューロン装置101(A_i)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。

10

【0081】

本図(b)は、本図(a)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。

20

【0082】

(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

30

【0083】

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。

【0084】

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。

【0085】

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。

40

【0086】

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。

【0087】

50

このようにすると、正側非負整数符号化装置 4 0 1 a にも負側非負整数符号化装置 4 0 1 b 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。

【 0 0 8 8 】

そして、正側神経回路網 6 0 3 と、負側神経回路網 6 0 4 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。

【 0 0 8 9 】

そして、正側神経回路網 6 0 3 は、正側非負整数符号化装置 4 0 1 a 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。

【 0 0 9 0 】

さらに、負側神経回路網 6 0 4 は、負側非負整数符号化装置 4 0 1 b 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。

10

【 0 0 9 1 】

正側神経回路網 6 0 3 と、負側神経回路網 6 0 4 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 6 0 5 は、正側神経回路網 6 0 3 より出力される信号値から、負側神経回路網 6 0 4 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。

【 0 0 9 2 】

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。

20

【 0 0 9 3 】

（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 1 0 1、非負整数符号化装置 4 0 1 を用いて、神経回路網装置 2 0 1 と整数クラスタ装置 6 0 1 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。

【 0 0 9 4 】

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。

【 0 0 9 5 】

フィードバック制御装置 7 0 1 は、制御入力受付部 7 0 2、正側フィードバック装置 7 0 3、負側フィードバック装置 7 0 4、操作出力部 7 0 5 を備える。

30

【 0 0 9 6 】

そして、制御入力受付部 7 0 2 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。

【 0 0 9 7 】

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。

【 0 0 9 8 】

さて、当該正側フィードバック装置 7 0 3 と、当該負側フィードバック装置 7 0 4 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 7 0 4 の詳細は図示を省略している。

40

【 0 0 9 9 】

さて、当該正側フィードバック装置 7 0 3 と、当該負側フィードバック装置 7 0 4 とは、いずれも、6 個の非負整数符号化装置 4 0 1 (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。

【 0 1 0 0 】

そして、制御記憶部は、重み p , k_1 , k_2 , v_1 , v_2 と、重み係数 q_1 , q_2 を記憶する。これは、上記の各装置と同様である。

【 0 1 0 1 】

50

非負整数符号化装置 4 0 1 (B1) には、非負整数符号化装置 4 0 1 (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。

【 0 1 0 2 】

非負整数符号化装置 4 0 1 (B2) には、非負整数符号化装置 4 0 1 (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 4 0 1 (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。

【 0 1 0 3 】

非負整数符号化装置 4 0 1 (C) には、非負整数符号化装置 4 0 1 (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 4 0 1 (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。

【 0 1 0 4 】

そして、片側操作出力部 7 1 1 は、非負整数符号化装置 4 0 1 (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。

【 0 1 0 5 】

さらに、制御更新部は、非負整数符号化装置 4 0 1 (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 4 0 1 (C) から出力される非負整数信号値 x と、から、

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

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 4 0 1 (A1, B1) の結合に対して適用することに相当する。

【 0 1 0 6 】

このような構成を有する当該正側フィードバック装置 7 0 3、当該負側フィードバック装置 7 0 4 に対して、制御入力受付部 7 0 2 は、上記の整数クラスタ装置 6 0 1 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 7 0 3 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 4 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 3 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 4 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 3 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 4 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 3 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 4 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 3 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 4 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 3 の非負整数符号化装置 4 0 1 (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 7 0 4 の非負整数符号化装置 4 0 1 (A3) に当該値を実数信号値の入力と

10

20

30

40

50

して与える。

【0107】

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。

【0108】

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

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

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。

【0109】

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、

$$1 = 2 = 0$$

のように設定するのが典型的である。

【0110】

このほか、拡張ヘッブ則の学習を考慮して、

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

なる関係を満たす定数値を利用することが多い。

【0111】

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。

【0112】

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。

【0113】

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。

【0114】

本図に示すように、試行を繰り返すと制御性能は次第に改善される。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。

【0115】

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。

【0116】

また、本図に示すように、発火しているVTNの数は、休息に減少していき、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。

【0117】

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、1, 2, q1, 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1, q1を減少方向の係数2, 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。

10

20

30

40

50

【実施例 2】

【0118】

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。

【0119】

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。

【0120】

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。

10

【0121】

そこで、関節811の角度は自由に設定し、図10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。

【0122】

本図(a)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。

【0123】

本図(b)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。

【0124】

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。

20

【0125】

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。

【0126】

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。

30

【0127】

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。

【0128】

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。

【0129】

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。

40

【0130】

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 s_1, 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

50

)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、

$$s_1 x^2 y + s_2 (x^2 y - 1)$$

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。

【0131】

ここで、本実施形態では、 $s_1 < 0$ としており、抑制 (inhibition) を利用している。

【0132】

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 θ_1 、 θ_2 として、0 を記憶するのにかえて、

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

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。

【0133】

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。

【0134】

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。

【0135】

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。

【0136】

なお、上記図 10 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。

【0137】

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。

【0138】

図 13 は、図 11 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。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。

【0139】

10

20

30

40

50

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。異なる重さ、異なる初期姿勢から動作を開始したとしても、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。

【産業上の利用可能性】

【0140】

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提供することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0141】

【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3】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。

【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5】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。

20

【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10】異なる荷物が荷重されたマニピュレータの2つ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】

【0142】

30

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

40

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

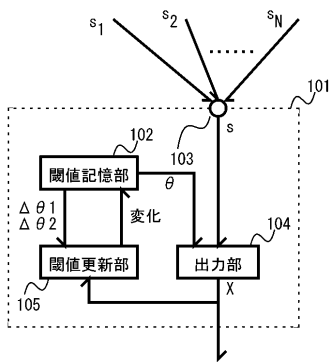
702 制御入力受付部

703 正側フィードバック装置

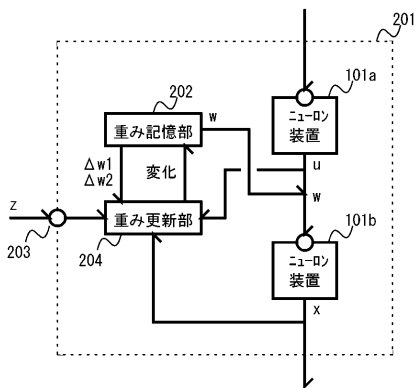
50

- 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

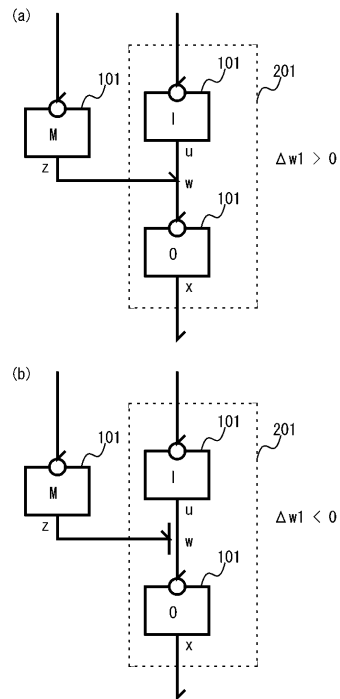
【図1】



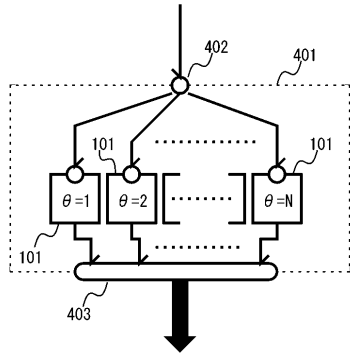
【図2】



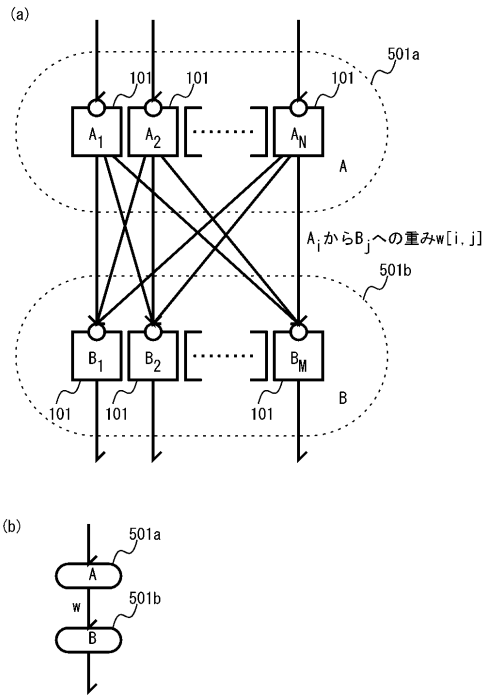
【図3】



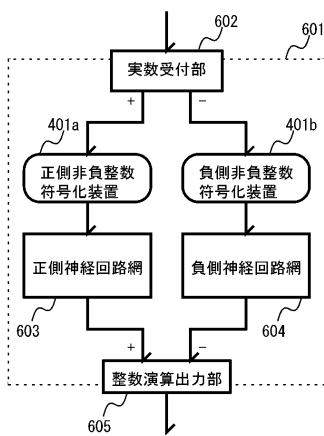
【図4】



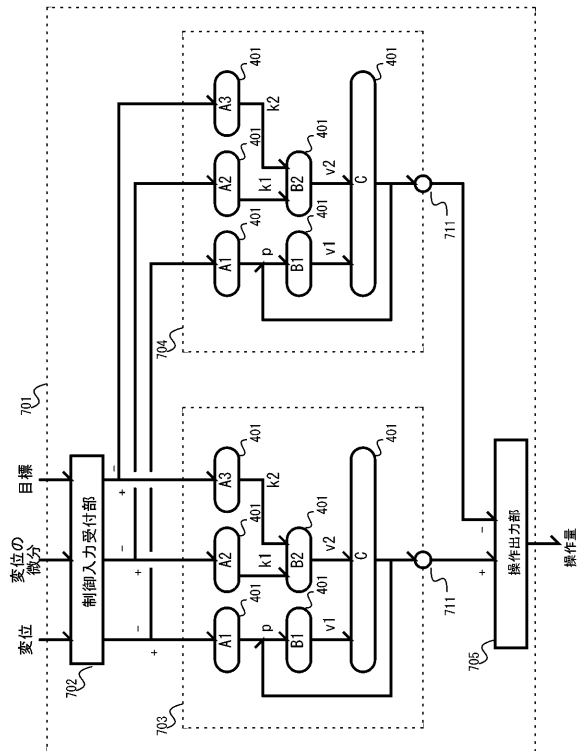
【図5】



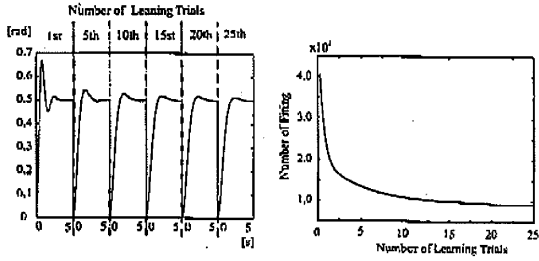
【図6】



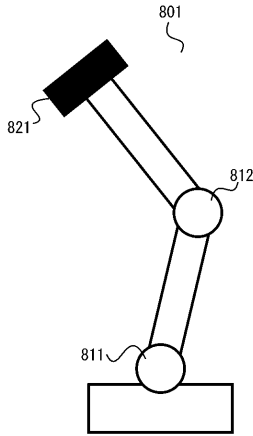
【図7】



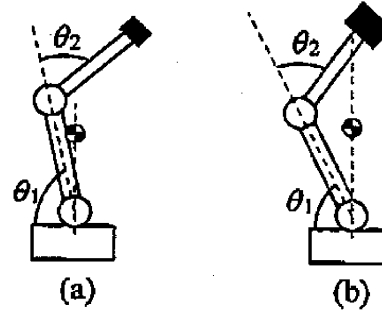
【 図 8 】



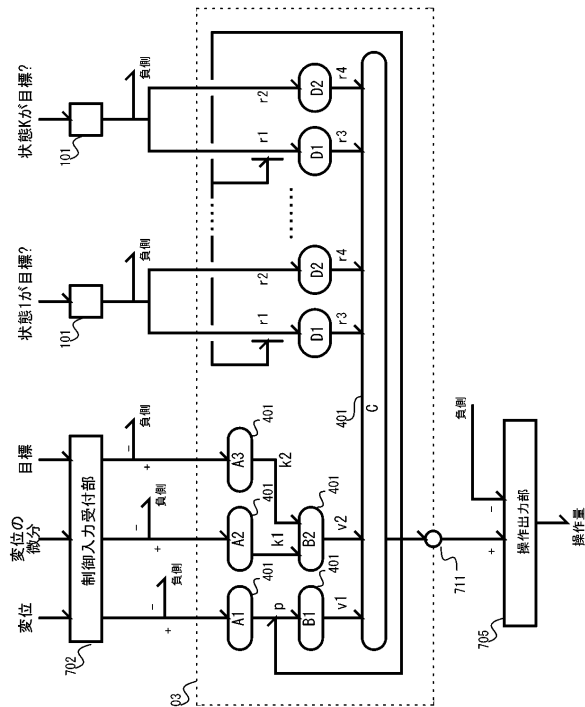
【 図 9 】



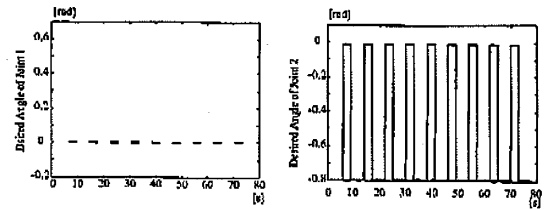
【 図 10 】



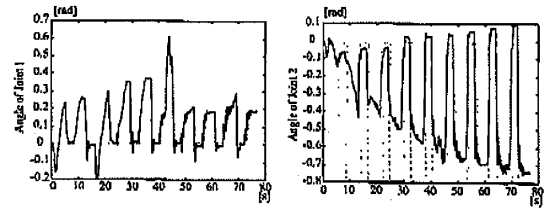
【 図 11 】



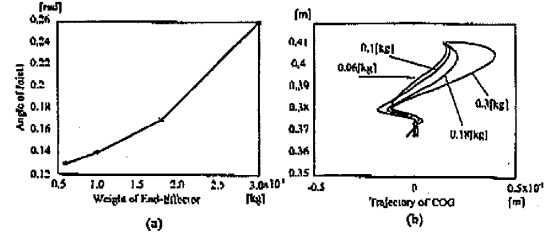
【 図 12 】



【 図 13 】



【 図 14 】



フロントページの続き

- (72)発明者 木村 英紀
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
- (72)発明者 山岡 正明
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 梶間 日出輝
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 塚田 肇

- (56)参考文献 特開平7-141313(JP,A)
特開平8-249297(JP,A)
特開平10-285707(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| G06N | 3/08 |
| G05B | 13/02 |
| G06N | 3/00 |