

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6113719号
(P6113719)

(45) 発行日 平成29年4月12日 (2017.4.12)

(24) 登録日 平成29年3月24日 (2017.3.24)

(51) Int. Cl. F I
 G O 6 N 3 / 0 8 (2 0 0 6 . 0 1) G O 6 N 3 / 0 8 Q
 G O 6 N 3 / 0 6 3 (2 0 0 6 . 0 1) G O 6 N 3 / 0 6 3

請求項の数 18 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-512164 (P2014-512164)	(73) 特許権者	595020643
(86) (22) 出願日	平成24年5月25日 (2012.5.25)		クアアルコム・インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2014-517973 (P2014-517973A)		QUALCOMM INCORPORATED
(43) 公表日	平成26年7月24日 (2014.7.24)		ED
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/039704		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92
(87) 国際公開番号	W02012/162663		121-1714、サン・ディエゴ、モア
(87) 国際公開日	平成24年11月29日 (2012.11.29)		ハウス・ドライブ 5775
審査請求日	平成26年1月8日 (2014.1.8)	(74) 代理人	100108855
審査番号	不服2016-2933 (P2016-2933/J1)		弁理士 蔵田 昌俊
審査請求日	平成28年2月26日 (2016.2.26)	(74) 代理人	100109830
(31) 優先権主張番号	13/115, 154		弁理士 福原 淑弘
(32) 優先日	平成23年5月25日 (2011.5.25)	(74) 代理人	100158805
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 井関 守三
		(74) 代理人	100194814
			弁理士 奥村 元宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 1次視覚野単純細胞および他の神経回路の入力シナプスの教師なしトレーニングのための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気回路であり、以下を具備する、

複数の網膜神経節細胞 (RGC) 回路であり、ここにおいて前記 RGC 回路の各々が、出力で、その RGC 回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力 of 合計を生成することと、

複数の1次視覚野細胞 (V1) 回路であり、ここにおいて前記 V1 回路の各々が、前記 RGC 回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成することと、および

重み付けされた出力の他の合計を生成するために前記出力に適用された重みを調整するように構成された回路、ここにおいて

前記重みの各々の前記調整が、すくなくともその重みが適用される前記出力の1つの符号および前記他の合計の符号に基づく。

【請求項2】

請求項1に記載の電気回路において、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の値に基づく、

上記電気回路。

【請求項3】

請求項1に記載の電気回路において、その出力および前記他の合計がどちらも正またはどちらも負である場合、その重みが増加し、

その出力の符号および前記他の合計の符号が同じではない場合、その重みが低減する、

上記電気回路。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の電気回路において、その V 1 回路によって生成された前記他の合計が閾値を超える場合、その V 1 回路が信号を出力する、

上記電気回路。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の電気回路において、前記回路が、バイナリシフト演算を実行することによって前記重みの各々を調整するように構成される、

上記電気回路。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の電気回路において、前記受容体回路からの前記入力、ラプラシアン窓関数に従って重み付けされる、

上記電気回路。

【請求項 7】

神経システムを実装するための方法であって、以下を具備する、

前記神経システムにおける複数の網膜神経節細胞 (R G C) 回路の各 R G C 回路の出力で、その R G C 回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力の合計を生成することと、

前記神経システムにおける複数の 1 次視覚野細胞 (V 1) 回路の各 V 1 回路によって、前記 R G C 回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成することと、および

重み付けされた出力の他の合計を生成するために前記出力に加えられた重みを調整すること、ここにおいて

前記重みの各々の前記調整が、少なくともその重みが適用される前記出力の 1 つの符号および前記他の合計の符号に基づく。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法であって、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の値に基づく、

上記方法。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の方法であって、その出力と前記他の合計がどちらも正またはどちらも負である場合、その重みが増加し、

その出力の符号および前記他の合計の符号が同じではない場合、その重みが低減する

上記方法。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の方法であって、

その V 1 回路によって生成された前記他の合計が閾値を超える場合、その V 1 回路の出力で信号を生成することをさらに具備する。

【請求項 11】

請求項 7 に記載の方法であって、前記重みの各々を調整することが、

バイナリシフト演算を実行することを具備する。

【請求項 12】

請求項 7 に記載の方法であって、前記受容体回路からの前記入力、ラプラシアン窓関数に従って重み付けされる、

上記方法。

【請求項 13】

装置であって、以下を具備する、

前記装置における複数の網膜神経節細胞 (R G C) 回路の各 R G C 回路の出力で、その R G C 回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力の合計を生成するための手段と、

10

20

30

40

50

前記装置における複数の 1 次視覚野細胞 (V 1) 回路の各 V 1 回路によって、前記 R G C 回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成するための手段と、および 重み付けされた出力の他の合計を生成するために前記出力に加えられた重みの調整手段、ここにおいて

前記重みの各々の前記調整が、少なくともその重みが適用される前記出力の 1 つの符号および前記他の合計の符号に基づく。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の装置であって、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の値に基づく、

上記装置。

10

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載の装置であって、その出力と前記他の合計がどちらも正またはどちらも負である場合、その重みが増加し、

その出力の符号および前記他の合計の符号が同じではない場合、その重みが低減する

上記装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 3 に記載の装置であって、その V 1 回路によって生成された前記他の合計が閾値を超える場合、その V 1 回路の出力で信号を生成するための手段

をさらに具備する。

【請求項 1 7】

請求項 1 3 に記載の装置であって、前記重みの各々を調整するための手段が、

バイナリシフト演算を実行するための手段

を具備する。

20

【請求項 1 8】

請求項 1 3 に記載の装置であって、前記受容体回路からの前記入力が、ラプラシアン窓関数に従って重み付けされる、

上記装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示のいくつかの態様は、一般に、神経システム工学に関し、より詳細には、1 次視覚野細胞および他の神経回路の入力シナプスの教師なしトレーニングのための方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

画像認識および運動検出システムは、マシンビジョン (machine vision) (すなわち、人工知能 (A I)) 技術に基づくもの、および視覚野技術 (すなわち、生物学的に妥当なシステム) を利用するものに分割することができる。マシンビジョンシステムは、十分に確立されたトレーニングの方法があるが、認識精度は低い。たとえば、イヌをネコと区別することは、50 / 50 の結果を有するマシンビジョンシステムでは困難な作業のみである。

30

40

【0003】

一方、生物学的に妥当なシステムは、人間の視覚野構造を使用する。これらのシステムに基づく方法は、マシンビジョンシステムよりも正確となることを見込まれる。しかしながら、それらの自己組織化につながる生物学的に妥当なシステムのためのトレーニング方法は、十分には発展していない。これは、視覚野組織および自己トレーニング方法の知識が乏しいことに起因する。

【発明の概要】

【0004】

本開示のいくつかの態様は、電気回路を提供する。電気回路は、一般に、複数の網膜神

50

経節細胞（RGC）回路、ここにおいてRGC回路の各々が、出力で、そのRGC回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力合計を生成する、と、複数の1次視覚野細胞（V1）回路、ここにおいてV1回路の各々が、RGC回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成する、と、および、他の合計を生成するために出力に適用された重みを調整するように構成された回路、ここにおいて重みのうちの1つの調整が、少なくともその重みが適用される出力の1つまたは他の合計のうちの1つに基づく、とを含む。

【0005】

本開示のいくつかの態様は、神経システムを実装するための方法を提供する。方法は、一般に、神経システムにおける複数の網膜神経節細胞（RGC）回路の各RGC回路の出力で、そのRGC回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力合計を生成することと、神経システムにおける複数の1次視覚野細胞（V1）回路の各V1回路によって、RGC回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成することと、他の合計を生成するために出力に適用された重みを調整すること、ここにおいて重みのうちの1つの調整が、少なくともその重みが適用される出力の1つまたは他の合計のうちの1つに基づく、とを含む。

10

【0006】

本開示のいくつかの態様は、装置を提供する。装置は、一般に、装置における複数の網膜神経節細胞（RGC）回路の各RGC回路の出力で、そのRGC回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力合計を生成するための手段と、装置における複数の1次視覚野細胞（V1）回路の各V1回路によって、RGC回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成するための手段と、他の合計を生成するために出力に加えられた重みを調整するための手段、ここにおいて重みのうちの1つの調整が、少なくともその重みが適用される出力の1つまたは他の合計のうちの1つに基づく、とを含む。

20

【0007】

本開示の上述の特徴を詳細に理解することができるように、添付の図面にその一部を示す態様を参照することによって、上記で簡単に要約したもののさらに具体的な説明が得られ得る。しかし、添付の図面は、本開示の特定の典型的な態様のみを示し、したがって、本開示の範囲の限定とみなされてはならず、その理由は、この説明が他の同等の効果のある態様をもたらし得るからであることに留意されたい。

30

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本開示のいくつかの態様による、例示的な神経システムを示す図。

【図2】本開示のいくつかの態様による、異なるタイプの網膜神経節（RG）細胞と接続された受容体の例示的なモデルを示す図。

【図3】本開示のいくつかの態様による、RG細胞と1次視覚野（V1）細胞とを接続するシナプスの符号に応じて、ON細胞またはOFF細胞であり得るRG細胞と接続された受容体の例示的なモデルを示す図。

【図4】本開示のいくつかの態様による、受容体とRG細胞との間の接続の例示的なモデル、およびRG細胞とV1細胞との間の接続の例示的なモデルを示す図。

40

【図5】本開示のいくつかの態様による、RG細胞とV1細胞との間のシナプスの重みのトレーニングのために神経システムで実行され得る例示的な動作を示す図。

【図5A】図5に示される動作を実行することができる例示的な構成要素を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

添付の図面を参照しながら本開示の様々な態様について以下でより十分に説明する。ただし、本開示は、多くの異なる形態で実施され得るものであり、本開示全体にわたって提示する任意の特定の構造または機能に限定されるものと解釈すべきではない。むしろ、これらの態様は、本開示が周到で完全になり、本開示の範囲を当業者に十分に伝えるために与えるものである。本明細書の教示に基づいて、本開示の範囲は、本開示の他の態様とは

50

無関係に実装されるにせよ、本開示の他の態様と組み合わせて実装されるにせよ、本明細書で開示する本開示のいかなる態様をもカバーするものであることを、当業者なら諒解されたい。たとえば、本明細書に記載の態様をいくつ使用しても、装置を実施することができ、または方法を実施することができる。さらに、本開示の範囲は、本明細書に記載の本開示の様々な態様に加えてまたはそれらの態様以外に、他の構造、機能、または構造および機能を使用して実施されるそのような装置またはそのような方法をカバーするものとする。本明細書で開示する本開示の任意の態様が請求項の1つまたは複数の要素によって実施できることを理解されたい。

【0010】

「例示的な」という言葉は、例、事例、または例示として機能することを意味するように本明細書で使用される。「例示的」として本明細書で説明するいかなる態様も、必ずしも他の態様よりも好ましいまたは有利なものと解釈すべきではない。

10

【0011】

本明細書では特定の態様について説明するが、これらの態様の多くの変形体および置換は本開示の範囲内に入る。好ましい態様のいくつかの利益および利点について説明するが、本開示の範囲は特定の利益、使用、または目的に限定されるものではない。むしろ、本開示の態様は、様々な技術、システム構成、ネットワーク、およびプロトコルに広く適用可能であるものとし、そのうちのいくつかを例として図および好ましい態様についての以下の説明で示す。発明を実施するための形態および図面は、限定的なものではなく本開示を説明するものにすぎず、本開示の範囲は添付の特許請求の範囲およびその均等物によ

20

【0012】

例示的な神経システム

図1は、本開示のいくつかの態様による、複数のレベルのニューロンを含む例示的な神経システム100を示す。神経システム100は、シナプス結合のネットワーク104を介して別のレベルのニューロン106に接続されたあるレベルのニューロン102を備え得る。簡単のために、図1には2レベルのニューロンのみが示されているが、代表的な神経システムには、より多くのレベルのニューロンが存在し得る。

【0013】

図1に示すように、レベル102における各ニューロンは、前のレベル(図1には図示せず)の複数のニューロンによって生成され得る入力信号108を受信することができる。信号108は、レベル102のニューロンの入力電流を表し得る。この電流は、膜電位に充電するために、ニューロン膜(neuron membrane)に蓄積され得る。膜電位がその閾値に達すると、ニューロンは、点火し、次のレベルのニューロン(たとえば、レベル106)に転送される出力スパイクを生成することができる。

30

【0014】

図1に示すように、あるレベルのニューロンから別のレベルのニューロンへのスパイクの転送は、シナプス結合(または単に「シナプス」)のネットワーク104によって達成され得る。シナプス104は、レベル102のニューロンから出力信号(すなわち、スパイク)を受信し、調整可能なシナプスの重さ

40

【数1】

$$w_1^{(i,i+1)}, \dots, w_P^{(i,i+1)}$$

【0015】

(式中、Pは、レベル102のニューロンとレベル106のニューロンとの間のシナプス

50

結合の総数である)に従って、それらの信号をスケールリングし、スケールリングされた信号をレベル106における各ニューロンの入力信号として結合することができる。レベル106におけるあらゆるニューロンは、対応する結合された入力信号に基づいて、出力スパイク110を生成し得る。出力スパイク110は、次いで、シナプス結合の別のネットワーク(図1には図示せず)を使用して、別のレベルのニューロンに転送され得る。

【0016】

神経システム100は、電気回路によってエミュレートすることができ、たとえば画像およびパターン認識、機械学習、モータ制御など、かなりの適用範囲において利用することができる。神経システム100における各ニューロンは、ニューロン回路として実装され得る。出力スパイクを開始する閾値までチャージされるニューロン膜は、たとえば、そこを

10

【0017】

一態様では、キャパシタは、ニューロン回路の電流積分デバイスとして除去することができ、その代わりにより小さいメモリスタ要素が使用され得る。この手法は、ニューロン回路において、ならびにかさばるキャパシタが電氣的電流積分器として利用される様々な他の用途において適用され得る。さらに、シナプス104の各々は、メモリスタ要素に基づいて実装され得、シナプスの重みの変化は、メモリスタ抵抗の変化に関係し得る。ナノメートルの特徴サイズ

20

【0018】

本開示は、色覚のために利用される1次視覚野(V1)細胞および網膜神経節細胞(RGC)の簡略化された構造を提案し、ここでは、V1細胞およびRGCは、図1の神経システム100のニューロン回路として実装され得る。本開示の一態様では、RGCは、ニューロン102に対応し、V1細胞は、ニューロン106に対応し得る。

【0019】

V1入力シナプス(たとえば、神経システム100のシナプス104)は、単純細胞の出現を達成するために教師なしの方法でのトレーニングされることを必要とし得る。本開示は、V1層内の特徴検出器(単純細胞)の自律的な形成につながり得る、細胞のV1層とRGC層との間の接続のトレーニングの効率的な方法を提案する。提案された手法は、画像認識および運動検出システムのハードウェア効率的な生物学的に妥当な実装を可能にし得る。

30

【0020】

提案された教師なしトレーニング方法は、RGC層とV1層の両方に単純なニューロンモデルを利用することができる。モデルは、単に、各細胞の重み付けされた入力を追加するだけであり、ここにおいて入力

40

【0021】

シナプスの重みの提案されたトレーニング方法は、ソフトウェアおよびハードウェアの効率的な実装に適し得る。さらに、提案されたトレーニング方法は、スパイクタイミング依存可塑性(STDP)トレーニング手法よりもはるかに速く動作し得る。

【0022】

1次視覚野細胞の入力シナプスの教師なしトレーニング方法

いくつかの態様によれば、RGC細胞(RGC)は、ON細胞およびOFF細胞に分割され得る。ON細胞は、背景よりも明るい対象を区別することができる。たとえば、周辺視野はすべてON細胞に基づき、その結果、人間は、暗い背景に対して明るい点をより良く見ることができる。一方、RGC OFF細胞は、背景よりも暗い対象を区別することが

50

できる。R G O N細胞とR G O F F細胞の両方を備える全受容野を照らすことは、R G C発火率に限られた影響を持つことに留意されたい。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、本開示のいくつかの態様による、光受容体 2 0 2 と R G O N細胞 2 0 4 との間の接続の例示的なモデル 2 0 0 a、および光受容体 2 0 6 と R G O F F細胞 2 0 8 との間の接続の例示的なモデル 2 0 0 b を示す。受容体回路 2 0 2 および 2 0 6 は、画像ピクセルの直交するアレイとして編成され得る。したがって、O N細胞およびO F F細胞の受容野は、(円形の代わりに)矩形形状を有することができる。

【 0 0 2 4 】

一態様では、各 R G C は、9つの受容体から入力を受信し得、ここにおいて、図 2 に示すように、受容体に関連付けられた入力の重みは、ラプラシアンフィルタを形成し得る(すなわち、ラプラシアン窓関数が受容体からの信号に適用され得る)。重みは、モデル 2 0 0 a および 2 0 0 b に示すように、受容体が O N R G細胞に接続されているか、O F F R G細胞に接続されているかに依存し得る。図 2 に示す R G細胞 2 0 4 および 2 0 8 が、非常に大きい数の受容体から入力を受信することができるマグノ神経節細胞に対応しない場合があることに留意されたい。

10

【 0 0 2 5 】

本開示の一態様では、R G CアレイにおいてO N細胞とO F F細胞とを混合する代わりに、各 R G細胞(たとえば、図 3 に示すモデル 3 0 0 において受容体 3 0 2 から入力を受信する R G細胞 3 0 4)は、O N細胞またはO F F細胞のいずれかでもよい。これは、R G細胞 3 0 4 を V 1単純細胞 3 1 0 に接続するシナプス 3 0 8 に関連付けられた重み 3 0 6 の符号に依存し得る。

20

【 0 0 2 6 】

図 3 に示すように、R G細胞 3 0 4 に入力され得る受容体 3 0 2 からの入力信号 $x_{i,j}$ に重み w を適用することによって、V 1細胞 3 1 0 の入力 y が取得され得る。

【 数 2 】

$$y = w \cdot \left(x_{0,0} - 1/8 \cdot \sum_{\substack{i=-1 \\ i \neq 0}}^{+1} \sum_{\substack{j=-1 \\ j \neq 0}}^{+1} x_{i,j} \right). \quad (\text{式 1})$$

30

【 0 0 2 7 】

式(1)は、以下のように書き直すことができる。

【 数 3 】

$$y = |w| \cdot \left(\text{sgn}(w) x_{0,0} - 1/8 \cdot \text{sgn}(w) \cdot \sum_{\substack{i=-1 \\ i \neq 0}}^{+1} \sum_{\substack{j=-1 \\ j \neq 0}}^{+1} x_{i,j} \right), \quad (\text{式 2})$$

40

【 0 0 2 8 】

ここにおいて、 $\text{sgn}(w) = +1$ である場合、R G C 3 0 4 は、O N細胞として動作し得、 $\text{sgn}(w) = -1$ である場合、R G C 3 0 4 は、O F F細胞として動作し得る。

【 0 0 2 9 】

本開示の一態様では、図 4 に示したものとしてのニューロンモデルが利用され得る。例示的なモデル 4 0 0 a では、R G C 4 0 4 は、受容体 4 0 2 からのその重み付けされた入

50

力406を合計することができ、次いで、合計結果をその出力408に転送することができる。すなわち、

【数4】

$$y = \sum_{i,j} u_{i,j} \cdot x_{i,j} . \quad (\text{式3})$$

【0030】

10

図4の例示的なモデル400bに示すように、V1細胞414は、RGC412からのその重み付けされた入力416を合計することができる。すなわち、

【数5】

$$z = \sum_{i,j} w_{i,j} \cdot y_{i,j} , \quad (\text{式4})$$

【0031】

式中、式(4)からの重み $w_{i,j}$ の各々は、ONとOFFの両方のRGCをモデル化するためのバイポーラ(bipolar)でもよい。一態様では、V1細胞414の出力418(活性化信号)が閾値と比較され得る。合計結果418が閾値を超える場合、V1細胞414が活性化される(すなわち、点火)。一方、結果418が閾値未満である場合、V1細胞414は休止している。

20

【0032】

本開示の一態様では、RGC-V1接続の重み(すなわち、重み $w_{i,j}$)のみがトレーニングされ得る。図4のモデル400bは、以下のルールを利用することができる。各V1単純細胞の活性化は、対応するRGC出力の重み付け和として計算され得る。V1細胞の活性化が閾値を超える場合、V1細胞は点火し得る。そうでない場合、V1細胞は、そのままであり得(すなわち、V1細胞は、どんな信号も生成しない)、その入力の重みは

30

【0033】

まず、各V1単純細胞の活性化は、対応するRGC出力の重み付け和として計算され得る。次いで、各V1細胞の重みは、対応するRGC出力の符号およびそのV1細胞の活性化の符号に応じて調整され得る。一態様では、RGC出力の符号および活性化の符号が同じである場合、正の増分がRGC出力に適用される重みに追加され得る(すなわち、重みが増加し得る)。別の態様では、RGC出力の符号および活性化の符号が同じではない場合、対応する重みから正の増分が減算され得る(すなわち、重みが低減し得る)。

【0034】

RGC出力 $y_{i,j}$ では、式(4)によって定義されるように、V1細胞の活性化が決定され得る。次いで、本開示の一態様では、RGC-V1の重みは、以下のように調整され得る。

40

【数6】

$$w_{i,j}^{new} = w_{i,j}^{old} + \text{sgn}(y_{i,j}) \cdot \text{sgn}(z) \cdot |\Delta w| . \quad (\text{式5})$$

50

【 0 0 3 5 】

本開示の別の態様では、RGC - V1の重みは、その符号の代わりに活性化の値に基づいて調整され得る。すなわち、

【 数 7 】

$$w_{i,j}^{new} = w_{i,j}^{old} + \text{sgn}(y_{i,j}) \cdot z \cdot |\Delta w|. \quad (\text{式 6})$$

10

【 0 0 3 6 】

式(5)～(6)からの $|w|$ の値は、あらかじめ決定されていてもよい。一態様では、 $|w|$ の値は、 $1/2^N$ の形態とすることができ、ここで、Nは、整数でありうる。活性化値zが2進数として表され得るので、式(6)からの積 $z|w|$ は、値 $|w|$ においてバイナリシフト演算を実行することによって、実装され得る。

【 0 0 3 7 】

図5は、本開示のいくつかの態様による、RGC細胞とV1細胞との間のシナプスの重みのトレーニングのために神経システムで実行され得る例示的な動作500を示す。502で、神経システムにおける複数の網膜神経節細胞(RGC)回路の各RGC回路の出力で、そのRGC回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力の合計が生成され得る。504で、神経システムにおける複数の1次視覚野細胞(V1)回路の各V1回路が、RGC回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成する。506で、他の合計を生成するために出力に適用された重みが調整され得、重みのうちの1つの調整が、少なくともその重みが適用される出力の1つまたは他の合計のうちの1つに基づき得る。

20

【 0 0 3 8 】

要約すると、RGC層においてON細胞とOFF細胞とを混合する代わりに、それらをすべてON/OFF細胞にし、RGC - V1の重みの符号によってそれらのタイプを制御することが、本開示において提案される。図4に示すように、単純な「追加」ニューロンがRGC細胞として利用され得、一方、「追加および点火」ニューロンがV1単純細胞として利用され得る。STD P学習ルールの代わりに、式(5)～(6)によって定義されるRGC - V1の重みについての提案された学習ルールが適用され得る。本開示の一態様では、重みは、正(O N RGC細胞への接続のモデル化)から負(OFF RGC細胞への接続のモデル化)に変化することができ、その逆も同様である。

30

【 0 0 3 9 】

上記で説明した方法の様々な動作は、対応する機能を実行することができる任意の好適な手段によって実行され得る。手段は、限定はしないが、回路、特定用途向け集積回路(ASIC)、またはプロセッサを含む、様々なハードウェアおよび/またはソフトウェア構成要素および/またはモジュールを含むことができる。一般に、図に示される動作がある場合、これらの動作は、同様の番号を有する対応する対のミーンズプラスファンクション(means-plus-function)構成要素を有し得る。たとえば、図5に示す動作500は、図5Aに示す構成要素500Aに対応する。

40

【 0 0 4 0 】

本明細書で使用する際、「決定すること」という用語は、様々なアクションを含む。たとえば、「決定すること」は、算出すること、計算すること、処理すること、導出すること、調査すること、検索すること(たとえば、テーブル、データベース、または別のデータ構造を検索すること)、確認することなどを含み得る。また、「決定すること」は、受信すること(たとえば、情報を受信すること)、アクセスすること(たとえば、メモリ内のデータにアクセスすること)などを含む場合がある。また、「決定すること」は、解決すること、選択すること、選出すること、確立することなどを含むことができる。

50

【 0 0 4 1 】

本明細書で使用する、項目のリスト「少なくとも～のうちの1つ」を指す句は、個々のメンバーを含む、それらの項目の任意の組合せを指す。一例として、「すくなくとも a、b、または c のうちの1つ」は、a、b、c、a～b、a～c、b～c、および a～b～c をカバーするものとする。

【 0 0 4 2 】

上記の方法の様々な動作は、たとえば様々なハードウェアおよび/またはソフトウェア構成要素、回路および/またはモジュールなど、動作を実施することができる任意の好適な手段によって実施することができる。一般に、図に示される任意の動作は、動作を実施することができる対応する機能手段によって実施することができる。

10

【 0 0 4 3 】

本開示に関連して説明された様々な例示的な論理ブロック、モジュール、および回路は、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)または他のプログラマブル論理デバイス(PLD)、個別ゲートまたはトランジスタ論理、個別ハードウェア構成要素、あるいはここで説明された機能を実行するように設計されたそれらの任意の組合せを用いて実装または実行され得る。汎用プロセッサはマイクロプロセッサであり得るが、代替として、プロセッサは、任意の市販のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ、または状態機械であり得る。プロセッサはまた、コンピューティングデバイスの組合せ、たとえば、DSPとマイクロプロセッサとの組合せ、複数のマイクロプロセッサ、DSPコアと連携する1つまたは複数のマイクロプロセッサ、あるいは任意の他のそのような構成として実装され得る。

20

【 0 0 4 4 】

本開示に関連して説明された方法またはアルゴリズムのステップは、ハードウェアで直接実施されるか、プロセッサによって実行されるソフトウェアモジュールで実施されるか、またはその2つの組合せで実施され得る。ソフトウェアモジュールは、当技術分野で知られている任意の形式の記憶媒体内に常駐することができる。使用され得る記憶媒体のいくつかの例には、ランダムアクセスメモリ(RAM)、読取り専用メモリ(ROM)、フラッシュメモリ、EPROMメモリ、EEPROMメモリ、レジスタ、ハードディスク、取外し可能ディスク、CD-ROMなどがある。ソフトウェアモジュールは、単一の命令、または多数の命令を備えることができ、いくつかの異なるコードセグメント上で、異なるプログラム間で、および複数の記憶媒体にわたって分散され得る。記憶媒体は、プロセッサが記憶媒体から情報を読み取り、記憶媒体に情報を書き込むことができるように、プロセッサに結合され得る。代替として、記憶媒体はプロセッサに一体化され得る。

30

【 0 0 4 5 】

本明細書で開示された方法は、記載の方法を達成するための1つまたは複数のステップまたはアクションを備える。方法のステップおよび/またはアクションは、特許請求の範囲から逸脱することなく、互いに交換され得る。言い換えれば、ステップまたはアクションの特定の順序が指定されていない限り、特定のステップおよび/またはアクションの順序および/または使用は、特許請求の範囲から逸脱することなく修正することができる。

40

【 0 0 4 6 】

説明された機能は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組合せで実装され得る。ソフトウェアで実装される場合、機能は、1つまたは複数の命令またはコードとしてコンピュータ可読媒体上に記憶されるか、あるいはコンピュータ可読媒体を介して送信され得る。コンピュータ可読媒体は、ある場所から別の場所へのコンピュータプログラムの転送を可能にする任意の媒体を含む、コンピュータ記憶媒体と通信媒体の両方を含む。記憶媒体は、コンピュータによってアクセスされ得る任意の利用可能な媒体であり得る。限定ではなく例として、そのようなコンピュータ可読媒体は、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROMまたは他の光ディスクストレージ、磁気ディスクストレージまたは他の磁気ストレージデバイス、あるいは命令またはデータ構造の形態

50

の所望のプログラムコードを搬送または記憶するために使用され得、コンピュータによってアクセスされ得る、任意の他の媒体を備えることができる。また、いかなる接続もコンピュータ可読媒体と適切に呼ばれる。たとえば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、デジタル加入者回線(DSL)、または赤外線(IR)、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術を使用して、ウェブサイト、サーバ、または他のリモートソースから送信される場合、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、DSL、または赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術は、媒体の定義に含まれる。ここで使用されるディスク(disk)およびディスク(disc)は、コンパクトディスク(disc)(CD)、レーザディスク(disc)、光ディスク(disc)、デジタル多用途ディスク(disc)(DVD)、フロッピー(登録商標)ディスク(disk)およびブルーレイ(登録商標)ディスク(disc)を含み、ディスク(disk)は、通常、データを磁氣的に再生し、ディスク(disc)は、データをレーザで光学的に再生する。したがって、いくつかの態様では、コンピュータ可読媒体は、非一時的なコンピュータ可読媒体(たとえば、有形媒体)を備え得る。さらに、他の態様では、コンピュータ可読媒体は、一時的なコンピュータ可読媒体(たとえば、信号)を備え得る。上記の組合せもコンピュータ可読媒体の範囲内に含まれるべきである。

10

【0047】

したがって、いくつかの態様は、本明細書で提示する動作を実行するためのコンピュータプログラム製品を備え得る。たとえば、そのようなコンピュータプログラム製品は、本明細書で説明する動作を実施するために1つまたは複数のプロセッサによって実行可能な命令を記憶(および/またはエンコード)するコンピュータ可読媒体を備え得る。いくつかの態様では、コンピュータプログラム製品はパッケージング材料を含み得る。

20

【0048】

ソフトウェアまたは命令は、伝送媒体を介して送信することもできる。たとえば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、デジタル加入者回線(DSL)、または赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術を使用して、ウェブサイト、サーバ、または他のリモートソースから送信される場合、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、DSL、または赤外線、無線、およびマイクロ波などのワイヤレス技術は、伝送媒体の定義に含まれる。

【0049】

さらに、本明細書で説明する方法および技法を実行するためのモジュールおよび/または他の適切な手段は、適用可能な場合、ユーザ端末および/または基地局によってダウンロードされ得、および/またはその他の方法で得られ得ることを諒解されたい。たとえば、そのようなデバイスは、本明細書で説明する方法を実施するための手段の転送を容易にするために、サーバに結合することができる。代わりに、本明細書で説明した様々な方法は、ユーザ端末および/または基地局が、記憶手段をデバイスに結合したすぐ後、または提供したすぐ後に、様々な方法を得ることができるように、記憶手段(たとえば、RAM、ROM、コンパクトディスク(CD)またはフロッピーディスクなどの物理的記憶媒体など)を介して提供することができる。さらに、本明細書で説明する方法および技法をデバイスに与えるための任意の他の適切な技法を利用することができる。

30

40

【0050】

特許請求の範囲は、上記に示した正確な構成および構成要素に限定されないことを理解されたい。上記の方法および装置の構成、動作および詳細において、特許請求の範囲から逸脱することなく、様々な改変、変更および変形を行うことができる。

【0051】

上記は本開示の態様を対象とするが、本開示の他の態様は、それらの基本的な範囲から逸脱することなく考案することができる。それらの範囲は、特許請求の範囲によって決定される。

以下に、本願の出願当初請求項に記載された発明を付記する。

[1] 電気回路であり、以下を具備する、

50

複数の網膜神経節細胞（RGC）回路であり、ここにおいて前記RGC回路の各々が、出力で、そのRGC回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力の合計を生成することと、

複数の1次視覚野細胞（V1）回路であり、ここにおいて前記V1回路の各々が、前記RGC回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成することと、および他の合計を生成するために前記出力に適用された重みを調整するように構成された回路、ここにおいて

前記重みのうちの1つの前記調整が、すくなくともその重みが適用される前記出力の1つまたは前記他の合計のうちの1つに基づく。

[2][1]に記載の電気回路において、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の符号に基づく、

上記電気回路。

[3][1]に記載の電気回路において、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の値に基づく、

上記電気回路。

[4][1]に記載の電気回路において、その出力および前記他の合計がどちらも正またはどちらも負である場合、その重みが増加し、

その出力の符号および前記他の合計の符号が同じではない場合、その重みが低減する、

上記電気回路。

[5][1]に記載の電気回路において、そのV1回路によって生成された前記他の合計が閾値を超える場合、そのV1回路が信号を出力する、

上記電気回路。

[6][1]に記載の電気回路において、前記回路が、バイナリシフト演算を実行することによって前記重みの各々を調整するように構成される、

上記電気回路。

[7][1]に記載の電気回路において、前記受容体回路からの前記入力、ラプラシアン窓関数に従って重み付けされる、

上記電気回路。

[8]神経システムを実装するための方法であって、以下を具備する、

前記神経システムにおける複数の網膜神経節細胞（RGC）回路の各RGC回路の出力で、そのRGC回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力の合計を生成することと、

前記神経システムにおける複数の1次視覚野細胞（V1）回路の各V1回路によって、前記RGC回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成することと、および

他の合計を生成するために前記出力に加えられた重みを調整すること、ここにおいて

前記重みのうちの1つの前記調整が、すくなくともその重みが適用される前記出力の1つまたは前記他の合計のうちの1つに基づく。

[9][8]に記載の方法であって、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の符号に基づく、

上記方法。

[10][8]に記載の方法であって、その重みの前記調整が、その出力の符号および前記他の合計の値に基づく、

上記方法。

[11][8]に記載の方法であって、その出力と前記他の合計がどちらも正またはどちらも負である場合、その重みが増加し、

その出力の符号および前記他の合計の符号が同じではない場合、その重みが低減する

上記方法。

[12][8]に記載の方法であって、

そのV1回路によって生成された前記他の合計が閾値を超える場合、そのV1回路の出

10

20

30

40

50

力で信号を生成することをさらに具備する。

[1 3] [8] に記載の方法であって、前記重みの各々を調整することが、
バイナリシフト演算を実行することを具備する。

[1 4] [8] に記載の方法であって、前記受容体回路からの前記入力、ラブラ
シアン窓関数に従って重み付けされる、
上記方法。

[1 5] 装置であって、以下を具備する、

前記装置における複数の網膜神経節細胞 (R G C) 回路の各 R G C 回路の出力で、そ
の R G C 回路に関連付けられた受容体回路からの重み付けされた入力の合計を生成するた
めの手段と、

前記装置における複数の 1 次視覚野細胞 (V 1) 回路の各 V 1 回路によって、前記 R
G C 回路のサブセットの重み付けされた出力の別の合計を生成するための手段と、および
他の合計を生成するために前記出力に加えられた重みを調整手段、ここにおいて

前記重みのうちの 1 つの前記調整が、少なくともその重みが適用される前記出力の
1 つまたは前記他の合計のうちの 1 つに基づく。

[1 6] [1 5] に記載の装置であって、その重みの前記調整が、その出力の符号
および前記他の合計の符号に基づく、

上記装置。

[1 7] [1 5] に記載の装置であって、その重みの前記調整が、その出力の符号
および前記他の合計の値に基づく、

上記装置。

[1 8] [1 5] に記載の装置であって、その出力と前記他の合計がどちらも正ま
たはどちらも負である場合、その重みが増加し、

その出力の符号および前記他の合計の符号が同じではない場合、その重みが低減する

上記装置。

[1 9] [1 5] に記載の装置であって、その V 1 回路によって生成された前記他
の合計が閾値を超える場合、その V 1 回路の出力で信号を生成するための手段

をさらに具備する。

[2 0] [1 5] に記載の装置であって、前記重みの各々を調整するための手段が

、
バイナリシフト演算を実行するための手段

を具備する。

[2 1] [1 5] に記載の装置であって、前記受容体回路からの前記入力、ラブラ
シアン窓関数に従って重み付けされる、

上記装置。

10

20

30

【 図 1 】

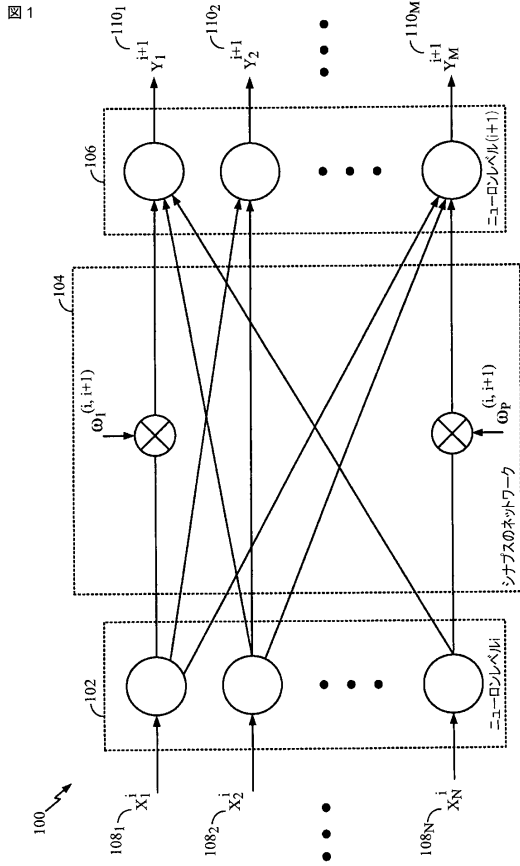


FIG. 1

【 図 2 】

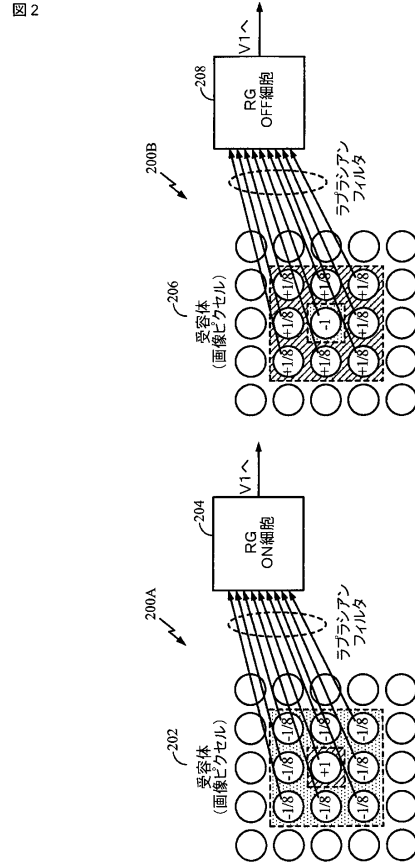


FIG. 2

【 図 3 】

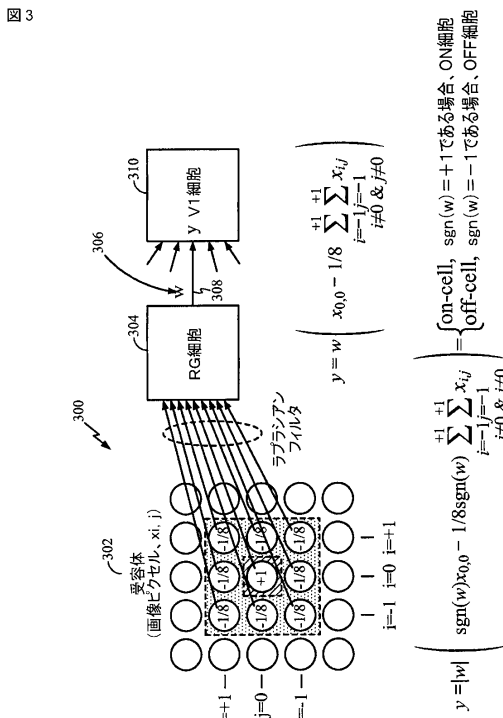


FIG. 3

【 図 4 】

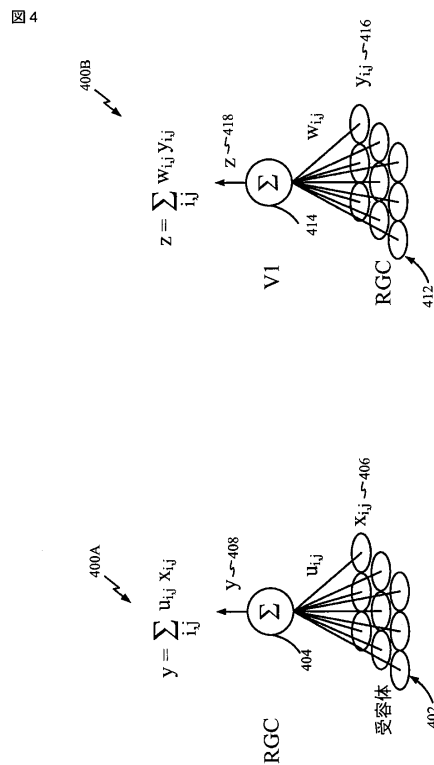


FIG. 4

$$y = |w| \left(\begin{matrix} \text{sgn}(w)x_{0,0} - 1/8\text{sgn}(w) \\ \sum_{i=-1}^{+1} \sum_{j=-1}^{+1} x_{i,j} \\ \sum_{i \neq 0 \& j \neq 0}^{i=+1, j=+1} x_{i,j} \end{matrix} \right) = \begin{cases} \text{on-cell, } \text{sgn}(w) = +1 \text{ である場合、ON細胞} \\ \text{off-cell, } \text{sgn}(w) = -1 \text{ である場合、OFF細胞} \end{cases}$$

$$y = \sum_{i,j} u_{i,j} x_{i,j}$$

$$z = \sum_{i,j} w_{i,j} y_{i,j}$$

【図5】

図5

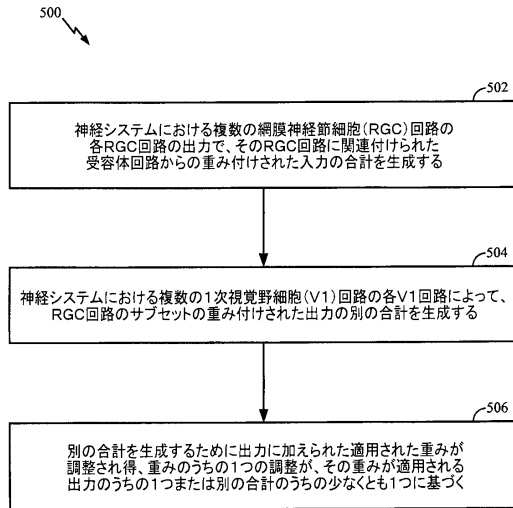


FIG. 5

【図5A】

図5A

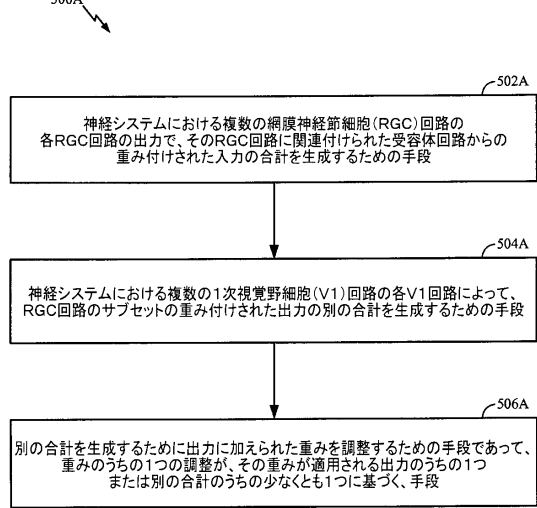


FIG. 5A

フロントページの続き

(72)発明者 アパリン、ブラディミル
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 2 1 2 1 - 1 7 1 4、サン・ディエゴ、モアハウス・ド
ライブ 5 7 7 5

合議体

審判長 石井 茂和

審判官 須田 勝巳

審判官 辻本 泰隆

- (56)参考文献 特開平7 - 1 9 1 9 5 0 (J P , A)
田嶋寛之, 外 1 名, “ シナプス競合学習による V 1 野の方位選択性コラム形成モデル”, 電子情
報通信学会技術研究報告, 社団法人電子情報通信学会, 2 0 0 1 年 0 3 月 0 8 日, 第 1 0 0 巻,
第 6 8 7 号, p p . 1 4 1 - 1 4 8
加藤聡, 外 1 名, “ 第 1 次視覚野 - 下部側頭葉皮質 I T 野の神経結合モデル”, 電子情報通信学
会技術研究報告, 社団法人電子情報通信学会, 1 9 9 6 年 1 2 月 1 4 日, 第 9 6 巻, 第 4 3 0 号
, p p . 1 1 9 - 1 2 6
川崎紀宏, 外 2 名, “ 内部パターンを用いた逐次学習可能なカオス連想メモリ”, 電気学会論文
誌, (社) 電気学会, 2 0 0 2 年 0 1 月 0 1 日, 第 1 号, p p . 1 3 3 - 1 4 0
北出喜章, 外 2 名, “ 大脳のコラム構造を模した追加記憶モデル”, 電子情報通信学会技術研究
報告, 社団法人電子情報通信学会, 1 9 9 8 年 0 3 月 1 9 日, 第 9 7 巻, 第 6 2 3 号, p p . 2
6 9 - 2 7 6
梶真寿, “ 連合野の視覚情報処理”, システム / 制御 / 情報, システム制御情報学会, 1 9 9 5
年 0 8 月 1 5 日, 第 3 9 巻, 第 8 号, p p . 1 7 - 2 2
中内茂樹, 外 1 名, “ ニューラルネットワークとその応用”, 電気学会論文誌 C 電子・情報・
システム部門誌, 社団法人電気学会, 1 9 9 6 年 0 6 月 2 0 日, 第 7 号, p p . 7 2 7 - 7 3 3

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

G06N 3/00-99/00