

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年10月20日(20.10.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/166881 A1

- (51) 国際特許分類:
G06N 3/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/061840
- (22) 国際出願日: 2015年4月17日(17.04.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: COCORO SB株式会社(COCORO SB CORP.) [JP/JP]; 〒1057309 東京都港区東新橋1-9-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 筒井 多志志(TSUTSUI Takashi); 〒1057317 東京都港区東新橋一丁目9番1号 ソフトバンクモバイル株式会社内 Tokyo (JP). 朝長 康介(TOMONAGA Kosuke); 〒1057317 東京都港区東新橋一丁目9番1号 ソフトバンクモバイル株式会社内 Tokyo (JP). 三平 悠磨(MIHIRA Yuma); 〒1057317 東京都港区東新橋一丁目9番
- 1号 ソフトバンクモバイル株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 龍華国際特許業務法人(RYUKA IP LAW FIRM); 〒1631522 東京都新宿区西新宿1-6-1 新宿エルタワー22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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー

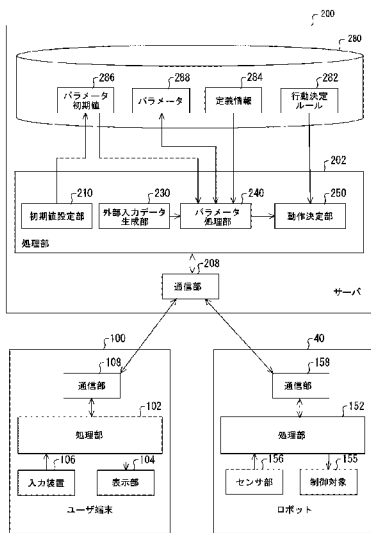
[続葉有]

(54) Title: PROCESSING SYSTEM AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 処理システム及びプログラム

(57) Abstract: A processing system for processing the parameters of a plurality of artificial neurons and a plurality of artificial synapses constituting a neural network, wherein the processing system is provided with a storage unit for storing definition information in which the state of an object to be controlled is defined for each of the plurality of artificial neurons, a processing unit for processing the parameter value of each of the plurality of artificial neurons and the parameter value of one or more artificial synapses connected to the input of each artificial neuron using a data access structure accessible in batchwise data units for each artificial neuron, and a motion determination unit for determining the motion of the object to be controlled on the basis of the active state of at least some of the plurality of artificial neurons determined by the parameter value of the at least some artificial neurons and the state defined for the at least some artificial neurons.

(57) 要約: 処理システムは、ニューラルネットワークを構成する複数の人工ニューロン及び複数の人工シナプスのパラメータを処理する処理システムであって、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンに対して制御対象の状態を定義した定義情報を格納する格納部と、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンの入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、人工ニューロン毎に一括的なデータ単位でアクセス可能なデータアクセス構造を用いて処理する処理部と、複数の人工ニューロンのうちの少なくとも一部の人工ニューロンのパラメータの値によって定められる前記少なくとも一部の人工ニューロンの活性状態と、前記少なくとも一部の人工ニューロンに定義されている状態とに基づいて、前記制御対象の動作を決定する動作決定部とを備える。



- 40 Robot
- 100 User terminal
- 102, 152, 202 Processing unit
- 104 Display unit
- 106 Input device
- 108, 158, 208 Communication unit
- 155 Object to be controlled
- 156 Sensor unit
- 200 Server
- 210 Initial value setting unit
- 230 External input data generation unit
- 240 Parameter processing unit
- 250 Motion determination unit
- 282 Motion determination rule
- 284 Definition information
- 286 Parameter initial value
- 288 Parameter

WO 2016/166881 A1

ロシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 処理システム及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、処理システム及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] ユーザ情報、機器情報及び自身の現在の感情状態を入力して次回の感情状態を出力するニューラルネットを備える感情生成装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。また、方向性人工シナプス接続性を有するレイヤ・ニューラルネット関係を有する複数の電子ニューロンを含む連想メモリに時空パターンを記憶する技術が知られている（例えば、特許文献2参照）。

[先行技術文献]

[特許文献]

[特許文献1] 特開平10-254592号公報

[特許文献2] 特表2013-535067号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] ニューラルネットワークを構成する個々の人工ニューロン及び人工シナプスのパラメータを効率的に処理することができないという課題があった。

課題を解決するための手段

[0004] 本発明の第1の態様においては、ニューラルネットワークを構成する複数の人工ニューロン及び複数の人工シナプスのパラメータを処理する処理システムであって、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンに対して制御対象の状態を定義した定義情報を格納する格納部と、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンの入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、人工ニューロン毎に一括的なデータ単位でアクセス可能なデータアクセス構造を用いて処理する処理部と、複数の人工ニューロンのうちの少なくとも一部の人工ニューロンのパラメ

ータの値によって定められる少なくとも一部の人工ニューロンの活性状態と、少なくとも一部の人工ニューロンに定義されている状態とに基づいて、制御対象の動作を決定する動作決定部とを備える処理システムが提供される。

[0005] 処理部による処理は、複数の人工ニューロン及び人工シナプスのパラメータの値を人工ニューロン毎に更新すること、複数の人工ニューロン及び人工シナプスのパラメータの現在の値を人工ニューロン毎に一括的にユーザに提示すること、及び、複数の人工ニューロン及び人工シナプスのパラメータの値を人工ニューロン毎に一括的にユーザに提示してユーザからパラメータの値の入力を受け付けることを含んでよい。

[0006] 処理部は、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、テーブルの複数の行に複数の人工ニューロンの複数の行を対応づけた形式でユーザに提示してよく、提示されたパラメータの値を変更するためのテーブルに対するユーザ入力を受け付けてよい。

[0007] 処理部は、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値に一括的なデータ単位でアクセス可能なデータ構造を生成してよく、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値に、データ構造を通じて複数の人工ニューロンに人工ニューロン毎にアクセスして、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を時間的に更新してよい。

[0008] 処理部は、時間的に更新される複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、テーブルの複数の行に複数の人工ニューロンの複数の行を対応づけた形式でユーザに提示してよい。

[0009] 人工ニューロンのパラメータは、閾値、活性状態、最後に活性化した時刻

、出力、最後に活性化した時刻における出力、及び活性化時の出力の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含んでよく、人工シナプスのパラメータは、接続された人工ニューロンへの結合係数、人工シナプスが結びつけている2つの人工ニューロンが最後に同時に活性化した時刻である同時活性化時刻、当該同時活性化時刻における結合係数、及び同時の活性化が生じた後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つと、人工シナプスの識別情報とを含んでよい。

[0010] 複数の人工ニューロンには、内分泌物質の発生状態が定義された人工ニューロンである内分泌人工ニューロンが含まれてよく、格納部は、内分泌人工ニューロンに人工シナプスで直接接続されていない他の人工ニューロン及び人工シナプスの少なくとも一方のパラメータに、内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方が与える影響を定めた影響定義情報を更に格納してよく、処理部は、内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方と、影響定義情報とに基づいて、内分泌人工ニューロンに人工シナプスで直接接続されていない他の人工ニューロン及び人工シナプスの少なくとも一方のパラメータを更新してよい。

[0011] 内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方が影響を与える他の人工ニューロンのパラメータは、他の人工ニューロンの閾値、活性状態、及び、活性化時の出力の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含んでよく、内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方が影響を与える人工シナプスのパラメータは、当該人工シナプスの結合係数、及び、当該人工シナプスが結びつけている2つの人工ニューロンが最後に同時に活性化した後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含んでよい。

[0012] 複数の人工ニューロンには、制御対象の現在の感情が定義された人工ニューロンである感情人工ニューロンを更に含んでよく、影響定義情報は、報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロンの活性状態が感情人工ニューロンの閾値に与える影響を定めた情報を含んでよく、処理部は、内分泌人工ニュー

ーロンが活性化した場合に、影響定義情報に従って、感情人工ニューロンの閾値を更新してよい。

[0013] 処理部は、複数の人工ニューロンのうちの一部の人工ニューロンのパラメータを、他の人工ニューロンのパラメータの更新頻度より高い頻度で更新してよい。

[0014] 処理部は、処理システムにおいて演算に利用可能なリソース量が予め定められた値より小さい場合に、一部の人工ニューロンのパラメータを、他の人工ニューロンのパラメータの更新頻度より高い頻度で更新してよい。

[0015] 複数の人工ニューロンには、優先順位が予め割り当てられていてよく、処理部は、複数の人工ニューロンの中から、処理システムにおいて演算に利用可能なリソース量の範囲内でパラメータを更新可能な一部の人工ニューロンを優先順位に従って選択してよく、選択した一部の人工ニューロンのパラメータを、他の人工ニューロンのパラメータの更新頻度より高い頻度で更新してよい。

[0016] ニューラルネットワークは、制御対象の状態が定義されていない人工ニューロンである非定義人工ニューロンを1以上含んでよく、処理部は、報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロンが活性化した場合に、非定義人工ニューロンのうち、当該内分泌人工ニューロン及び当該内分泌人工ニューロンと同時に活性状態にある他の人工ニューロンを接続する1以上の非定義人工ニューロンに接続された人工シナプスの結合係数を高めてよい。

[0017] 処理部は、報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロンと当該内分泌人工ニューロンと同時に活性状態にある他の人工ニューロンとの間を接続するルートのうち、非定義人工ニューロンに接続された人工シナプスの結合係数を考慮した人工ニューロン間の距離がより近いルートをより優先して選択してよく、選択したルートを提供する非定義人工ニューロンに接続された人工シナプスの結合係数を高めてよい。

[0018] 本発明の第2の態様によれば、コンピュータを、上記処理システムとして機能させるためのプログラムが提供される。

[0019] なお、上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものである。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1]本実施形態に係るシステム20の一例を概略的に示す。
- [図2]サーバ200、ユーザ端末100及びロボット40のブロック構成を概略的に示す。
- [図3]ニューラルネットワーク300を概略的に示す。
- [図4]ユーザ端末100に表示されるパラメータ編集画面を概略的に示す。
- [図5]ロボット40が起動又はリセットされた場合のサーバ200の動作フローを概略的に示す。
- [図6]人工シナプスの結合係数の計算を概略的に説明する図である。
- [図7]結合係数の増減パラメータとして関数 h_{ij} が定義されている場合の結合係数の時間発展を概略的に示す。
- [図8]時刻 t_2 で更に同時発火した場合の結合係数の時間発展を概略的に示す。
- [図9]結合係数の増減関数の他の例を概略的に示す。
- [図10]パラメータに与えられる化学的影響を定義する影響定義情報を概略的に示す。
- [図11]出力及びステータスを計算するフローチャートを示す。
- [図12]人工ニューロンが発火しない場合の出力の計算例を概略的に説明する図である。
- [図13]人工ニューロンが発火する場合の出力の計算例を概略的に説明する図である。
- [図14]人工ニューロンの増減パラメータとして関数が定義されている場合の結合係数の時間発展を概略的に示す。
- [図15]増減パラメータとしての関数の他の例を概略的に示す。
- [図16]ユーザ端末100が表示するパラメータビューワの画面例を概略的に

示す。

[図17]ニューラルネットワークをグラフィカルに編集する場合に提示される画面を概略的に示す。

[図18]人工シナプスを編集する編集画面の一例である。

[図19]人工ニューロンの出力の表示例を概略的に示す。

[図20]人工シナプスを電気信号が伝搬する様子の表示例を概略的に示す。

[図21]人工シナプスによる人工ニューロン間の結合状態の表示例を概略的に示す。

[図22]人工ニューロンの配置の表示例を概略的に示す。

[図23]内分泌人工ニューロンが影響する人工ニューロンの範囲の表示例を概略的に示す。

[図24]人工ニューロンのパラメータを計算する優先順位を定めた優先人工ニューロン情報を概略的に示す。

[図25]システム20に係るソフトウェアアーキテクチャを概略的に示す。

[図26]複数の人工ニューロンに対して更新計算を行う前の状態を概略的に示す。

[図27]パラメータの値の更新処理をマルチプロセス処理によって並列に行う方法を示す。

[図28]更新計算の途中における計算状態を概略的に示す。

[図29]サブシステム間で分散制御を行うためのニューラルネットワークの構成を概略的に示す。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0022] 図1は、本実施形態に係るシステム20の一例を概略的に示す。システム20は、サーバ200と、ユーザ端末100aと、ユーザ端末100bと、

ロボット40a及びロボット40bと、サーバ200とを備える。ユーザ端末100a、ユーザ端末100b及び、ロボット40a及びロボット40bは、通信網90を通じてサーバ200と通信して情報のやりとりを行う。

[0023] なお、ユーザ30aは、ロボット40a及びユーザ端末100aのユーザである。ユーザ30bは、ロボット40b及びユーザ端末100bのユーザである。ロボット40bは、ロボット40aと略同一の機能を有する。また、ユーザ端末100bは、ユーザ端末100aと略同一の機能を有する。そのため、ロボット40a及びロボット40bをロボット40と総称し、ユーザ端末100a及びユーザ端末100bをユーザ端末100と総称して、システム20を説明する。

[0024] システム20は、ロボット40の状態を決定するためのニューラルネットワークのパラメータを処理する。ニューラルネットワークのパラメータとは、ニューラルネットワークを構成する複数の人工ニューロン及び複数の人工シナプスのパラメータを含む。

[0025] 具体的には、ユーザ端末100は、ユーザ30からの入力に基づいて、ニューラルネットワークのパラメータの初期値を設定して、サーバ200に送信する。ロボット40は、ロボット40に設けられたセンサで検出されたセンサ情報を、サーバ200に送信する。サーバ200は、ニューラルネットワークの初期値情報と、ロボット40から取得したセンサ情報とに基づいて、ニューラルネットワークを用いて、ロボット40の状態を決定する。例えば、サーバ200は、ロボット40の周囲の状況、ロボット40自身の感情、及びロボット40自身の内分泌物質の生成状態を、ニューラルネットワークを用いて計算する。そして、サーバ200は、ロボット40の周囲の状況、及びロボット40自身の感情、及びロボット40自身の内分泌物質の生成状態に基づいて、ロボット40の行動内容を決定する。なお、内分泌物質とは、神経伝達物質及びホルモン等、体内で分泌されシグナルを伝達する物質を意味する。また、内分泌とは、内分泌物質が体内で分泌されることを意味する。

[0026] 例えば、サーバ200は、眠気に対応する内分泌物質が生成される状態であると判断した場合、ロボット40が眠くなった場合の行動を行わせる。また、サーバ200は、嬉しいという感情が生じる状態であると判断した場合、嬉しさを表す言葉をロボット40に発声させる。

[0027] なお、ロボット40自身の内分泌物質とは、ロボット40の行動に影響を及ぼす情報の1つであり、ロボット40が内分泌物質を実際に発生するということを意味していない。ロボット40自身の感情も同様に、ロボット40の行動に影響を及ぼす情報の1つであり、ロボット40が実際に感情を有しているということを意味していない。

[0028] 図2は、サーバ200、ユーザ端末100及びロボット40のブロック構成を概略的に示す。ユーザ端末100は、処理部102と、表示部104と、入力装置106、通信部208とを有する。ロボット40bは、センサ部156と、処理部152と、制御対象155と、通信部158とを有する。サーバ200は、処理部202と、格納部280と、通信部208とを有する。処理部202は、初期値設定部210と、外部入力データ生成部230と、パラメータ処理部240と、動作決定部250とを含む。格納部280は、行動決定ルール282、定義情報284、パラメータ初期値286、及び最新のパラメータ288を格納する。

[0029] ユーザ端末100において、入力装置106は、ユーザ30からニューラルネットワークのパラメータの初期値の入力を受け付けて、処理部102に出力する。処理部102は、CPU等のプロセッサで形成される。処理部102は、入力装置106から取得したパラメータの初期値を、通信部108からサーバ200に送信させる。通信部108は、サーバ200からニューラルネットワークのパラメータを受信する。処理部102は、通信部108が受信したパラメータを、表示部104に表示させる。

[0030] ロボット40において、センサ部156は、カメラ、3D深度センサ、マイク、タッチセンサ、レーザ測距計、超音波測距計等の各種のセンサを含む。センサ部156で検出されたセンサ情報は、処理部152に出力される。

処理部152は、CPU等のプロセッサで形成される。処理部152は、センサ部156から取得したセンサ情報を、通信部158からサーバ200に送信させる。通信部158は、サーバ200から動作内容を示す情報を受信する。処理部152は、通信部158が受信した動作内容を、制御対象155を制御する。制御対象155は、スピーカ、ロボット40の各部を駆動するモータ、表示装置、発光装置等を含む。一例として、発声内容を示す情報をサーバ200から受信した場合、処理部152は、受信した発生内容に従って、スピーカから音声を出力させる。

[0031] サーバ200において、通信部208は、ユーザ端末100又はロボット40から受信した情報を処理部202に出力する。初期値設定部210は、通信部208で受信したパラメータの初期値を、格納部280内のパラメータ初期値286に格納する。外部入力データ生成部230は、通信部208が受信したセンサ情報を処理して、ニューラルネットワークの外部からの入力情報を生成して、パラメータ処理部240に出力する。

[0032] パラメータ処理部240は、格納部280に格納されているニューラルネットワークのパラメータ288と、定義情報284とに基づいて、ニューラルネットワークに基づく処理を行う。ニューラルネットワークは、生体の脳機能の一部を計算機の処理で模擬的に実現するためのモデルである。まずここで、ニューラルネットワークに関する技術的背景及び課題を説明する。

[0033] 脳には、大別して二つの機能があると考えられる。一つは記憶や学習、予測や計画を始めとする様々な情報処理であり、もう一つは情報処理の調節機能である。

[0034] 脳における情報処理は、シナプス結合によって繋がった膨大な数のニューロンによって実現されることが考えられる。ヒトの脳には、全体で千数百億個のニューロンが存在すると考えられている。一方で、情報処理の調節機能は、例えばヒトの脳の広範囲調節系のように、脳の特定部位に存在する比較的少数のニューロンによって実現されていると考えられる。具体的には、脳の特定部位のニューロンが、特定の明確な行き先ニューロンを持つことなく脳の

広範な領域に向かって分枝する軸索を有しており、その軸索から放出される様々な神経伝達物質の作用によって、情報処理の調節機能が実現されると考えられる。ヒトの広範囲調節系には数千個程度のニューロンが存在すると考えられている。すなわち、脳の特定部位に存在する比較的少数のニューロンのそれぞれが十万個以上の他のニューロンと接触しており、脳の特定部位のニューロンが放出する神経伝達物質がシナプス間隙のみならず脳内の多数のニューロンにも作用することによって、情報処理の調節機能が実現されると考えられる。

[0035] 脳における情報処理の例としては、ヒトの視覚野における視覚情報の処理が挙げられる。ヒトの視覚情報は網膜から視神経を経て第一次視覚野に伝わり、そこから背側皮質視覚路で動きに関する情報処理が行われ、腹側皮質視覚路で顔認識のような動き以外の情報に関する情報処理が行われると考えられる。一方、情報処理における調節機能の例としては、ヒトが眠気を感じている場合の情報処理が挙げられる。眠気の発生には、アセチルコリンやノルアドレナリンやセロトニンのような神経伝達物質を放出する広範囲調節系が関係していると考えられる。これにより、眠気のような指令は意思決定のように脳の広範な領域で受け取られるメッセージとなり得る。

[0036] ここで、ニューラルネットワークの例として、一部の脳機能を模擬的に実現するために、人工シナプスによって結合された複数の人工ニューロンからなるネットワークを前提としたものを考える。このニューラルネットワークの例における応用例としては、深層学習に基づくパターン認識や自己組織化マップを用いたデータ・クラスタリング等が挙げられ、これらは画像認識や語彙の分類といった脳の情報処理を擬似的に実現するものといえる。

[0037] ニューラルネットワークには、Hebbの法則やスパイクタイミング依存可塑性(spike timing-dependent plasticity; STDP)に基づく学習則を適用できる。Hebbの法則とは、あるニューロンの発火が他のニューロンを発火させると、これらの2つのニューロンの結合が強まるという法則である。Hebbの法則に基づいて、人工シ

ナプスの前後の人工ニューロンが同時発火した場合に当該人工シナプスの結合を強めるという処理を、ニューラルネットワークに組み込むことができる。STDPは、シナプスの増強・減弱が、当該シナプスの前側のニューロン及び後側のニューロンのスパイク発生タイミングの順序に依存する現象である。STDPに基づいて、人工シナプスの前側のニューロンが後側のニューロンより先行して発火した場合に当該人工シナプスの結合を強め、人工シナプスの後側の人工ニューロンが前側の人工ニューロンより先行して発火した場合に当該人工シナプスの結合を弱めるという処理を、ニューラルネットワークに組み込むことができる。また、自己組織化マップにおいては、複数の人工ニューロンで形成されるニューラルネットワークにおいて、重みベクトルから入力ベクトルに最も近い勝者ベクトルを選び、重みをさらに入力ベクトルに近づくように更新する学習則がある。

[0038] なお、上記の特許文献1のように複数の感覚情報から感情ラベルを出力するニューラルネットワークの例においては、感情ラベルをフィードバックすることによって、入力が同じであっても感情ラベルと入力に応じて異なる感情ラベルを出力することができる場合があるが、特許文献1のニューラルネットワークは、そのような処理を組み込むことができる構成を有していない。また、特許文献1のニューラルネットワークでは、感情と神経伝達物質等の内分泌物質の関係はなく、また、感情によって情報処理が調節されることもない。

[0039] 特許文献1に記載のニューラルネットワークで実現される情報処理や、上述したニューラルネットワークの例で実現されるパターン認識やデータ・クラスタリング等の様々な情報処理の他に、擬似的な神経伝達物質等の内分泌物質が脳内の広範な領域で分泌されることで人工ニューロンや人工シナプスの性質がニューラルネットワークの一部で動的に変化しながら情報処理が調節される機能を実現するには、三つの課題がある。すなわち、第一に、脳機能の大部分について動作原理が明らかにされていないために多くの仮説が存在する中で、アナログコンピュータのように人工ニューロンを試行錯誤しな

がら人工シナプスで結合してニューラルネットワークの挙動を効率的に確かめることができない。第二に、様々な脳部位のニューロンの活動電位やシナプス結合に関して異なるヒステリシス特性を持つ数式モデルがいくつか提案されているにも関わらず、ヒステリシスを持つ数式や数式のパラメータを人工ニューロンや人工シナプスごとに効率的に記述することができない。第三に、擬似的な内分泌物質が脳内の広範な領域で分泌されることによって多数の人工ニューロンや人工シナプスのパラメータがニューラルネットワークの一部で動的に変化するような挙動を、大規模計算によって効率的にシミュレートすることができず、マルチプロセス・マルチスレッド処理や分散コンピューティングに依っても効率的に処理できない。以下に、上述したニューラルネットワークに関する技術的背景及び課題に関連して、システム20の動作をより詳しく説明する。

[0040] 図3は、ニューラルネットワーク300を概略的に示す。ニューラルネットワーク300は、人工ニューロン1と、人工ニューロン2と、人工ニューロン3と、人工ニューロン4と、人工ニューロン5と、人工ニューロン6と、人工ニューロン7と、人工ニューロン8と、人工ニューロン9を含む複数の人工ニューロンを含む。ニューラルネットワーク300は、人工シナプス301と、人工シナプス302と、人工シナプス303と、人工シナプス304と、人工シナプス305と、人工シナプス306と、人工シナプス307と、人工シナプス308と、人工シナプス309と、人工シナプス310と、人工シナプス311とを含む複数の人工シナプスを含む。人工ニューロンは、生体におけるニューロンに対応する。人工シナプスは、生体におけるシナプスに対応する。

[0041] 人工シナプス301は、人工ニューロン4と人工ニューロン1とを接続する。人工シナプス301は、一方向に接続する人工シナプスである。人工ニューロン4は、人工ニューロン1の入力に接続される人工ニューロンである。人工シナプス302は、人工ニューロン1と人工ニューロン2とを接続する。人工シナプス302は、双方向に接続する人工シナプスである。人工ニ

ニューロン1は、人工ニューロン2の入力に接続される人工ニューロンである。人工ニューロン2は、人工ニューロン1の入力に接続される人工ニューロンである。

[0042] なお、本実施形態において、人工ニューロンを N で表し、人工シナプスを S で表す場合がある。また、各人工ニューロンを識別する場合、上付きの数字を識別文字として用いる。任意の人工ニューロンを表す場合、整数 i や j を識別数字として用いる場合がある。例えば、 N^i は任意の人工ニューロンを表す。

[0043] また、人工シナプスを、人工シナプスに接続されている2つの人工ニューロンのそれぞれの識別数字 i 及び j を用いて識別する場合がある。例えば、 S^{41} は、 N^1 と N^4 とを接続する人工シナプスを表す。一般には、 S^{ij} は、 N^i の出力を N^j に輸入する人工シナプスを表す。なお、 S^{ji} は、 N^j の出力を N^i に輸入する人工シナプスを表す。

[0044] 図3において、A~Gは、ロボット40の状態が定義されていることを表す。ロボット40の状態とは、ロボット40の感情、内分泌物質の生成状態、ロボット40の周囲の状況等を含む。一例として、 N^4 、 N^6 、及び N^7 は、ロボット40の状況を表す概念が定義された概念人工ニューロンである。例えば、 N^4 は、「ベルが鳴った」という状況が割り当てられた概念人工ニューロンである。 N^6 は、「充電が開始された」という状況が割り当てられた概念人工ニューロンである。 N^7 は、「蓄電量が閾値以下」という状況が割り当てられた概念人工ニューロンである。

[0045] N^1 及び N^3 は、ロボット40の感情が定義された感情人工ニューロンである。 N^1 は、「嬉しい」という感情が割り当てられた感情人工ニューロンである。 N^3 は、「悲しい」という感情が割り当てられた感情人工ニューロンである。

[0046] N^2 及び N^5 は、ロボット40の内分泌状態が定義された内分泌人工ニューロンである。 N^5 は、ドーパミンの発生状態が割り当てられた内分泌人工ニューロンである。ドーパミンは、報酬系に関与する内分泌物質の一例である。

すなわち、 N^5 は、報酬系に関与する内分泌人工ニューロンの一例である。 N^2 は、セロトニンの発生状態が割り当てられた内分泌人工ニューロンである。セロトニンは、睡眠系に関与する内分泌物質の一例である。すなわち、 N^2 は、睡眠系に関与する内分泌人工ニューロンの一例である。

[0047] 格納部280内の定義情報284には、ニューラルネットワークを構成する複数の人工ニューロンの各人工ニューロンに対して、上述したようなロボット40の状態を定義する情報が格納される。このように、ニューラルネットワーク300には、概念人工ニューロン、感情人工ニューロン、内分泌人工ニューロンを含む。概念人工ニューロン、感情人工ニューロン、内分泌人工ニューロンは、概念、感情及び内分泌等の意味が明示的に定義された人工ニューロンである。このような人工ニューロンをエクスプリシット人工ニューロンと呼ぶ場合がある。

[0048] これに対し、 N^8 や N^9 は、ロボット40の状態が定義されていない人工ニューロンである。また、 N^8 や N^9 は、概念、感情及び内分泌等の意味が明示的に定義されていない人工ニューロンである。このような人工ニューロンをインプリシット人工ニューロンと呼ぶ場合がある。

[0049] ニューラルネットワーク300のパラメータとしては、ニューラルネットワークの各 N^i への入力である $I_{t,i}$ と、ニューラルネットワークの外部から N^i への入力である $E_{t,i}$ と、 N^i のパラメータと、 S^i のパラメータとを含む。

[0050] N^i のパラメータは、 N^i のステータスを表す $S_{t,i}$ と、 N^i が表す人工ニューロンの出力を表す V_{i,m_t} と、 N^i の発火の閾値を表す $T_{i,t}$ と、 N^i が最後に発火した時刻である最終発火時刻を表す t_f と、最終発火時刻における人工ニューロン N^i の出力を表す $V_{i,m_{t_f}}$ と、出力の増減パラメータである $a_{t,i}$ 、 $b_{t,i}$ 、 $h_{t,i}$ とを含む。出力の増減パラメータは、人工ニューロンの発火時の出力の時間発展を定めるパラメータの一例である。なお、本実施形態において、下付きの添え字の t は、時刻の進展とともに更新され得るパラメータであることを表す。

[0051] $S^{i,j}$ のパラメータは、 $S^{i,j}$ の人工シナプスの結合係数を表す $B S_{t,i,j}$ と、

S_{ij} が接続している N_i 及び N_j が最後に同時に発火した時刻である最終同時発火時刻を表す t_{of} と、最終同時発火時刻における結合係数を表す $B S_{ij} t_{of}$ と、結合係数の増減パラメータである $a_{t^{ij}}$ 、 $b_{t^{ij}}$ 、 $h_{t^{ij}}$ とを含む。結合係数の増減パラメータは、人工シナプスが結びつけている2つの人工ニューロンが最後に同時に発火した後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの一例である。

[0052] パラメータ処理部240は、外部入力データ生成部230からの入力と、ニューラルネットワークに基づいて上述したパラメータを更新して、各人工ニューロンの活性化の状態を決定する。動作決定部250は、ニューラルネットワーク内の複数の人工ニューロンのうちの少なくとも一部の人工ニューロンのパラメータの値によって定められる少なくとも一部の人工ニューロンの活性状態と、定義情報284によって少なくとも一部の人工ニューロンに定義されている状態とに基づいて、ロボット40の動作を決定する。なお、活性状態とは、活性化した状態又は活性化していない状態をとり得る。本実施形態において、活性化することを「発火」と呼び、活性化していないことを「未発火」と呼ぶ場合がある。なお、後述するように、「発火」の状態を、出力が上昇中であるか否かに応じて「上昇相」と「下降相」とに分ける。「未発火」と、「上昇相」及び「下降相」とは、ステータス S_{t^i} によって表される。

[0053] 図4は、ユーザ端末100に表示されるパラメータ編集画面を概略的に示す。ユーザ端末100は、サーバ200から受信した時刻 t におけるパラメータのうち、ユーザが編集可能なパラメータを表示する。

[0054] パラメータ編集画面400は、 N_i のそれぞれについて、 N_i の閾値及び増減パラメータ、並びに、 N_i に接続される全ての人工ニューロンの識別情報、結合係数及び増減パラメータのそれぞれに値を入力するための入力欄を含む。また、パラメータ編集画面400は、保存ボタン及びリセットボタンを含む。ユーザ30は、入力装置106を用いて、各入力欄に初期値を入力することができる。

- [0055] 保存ボタンが押された場合、処理部102は、パラメータ編集画面400で設定されている初期値を、通信部108を通じてサーバ200へ送信させる。サーバ200において、ユーザ端末100から送信された初期値は、格納部280内のパラメータ初期値286に格納される。また、パラメータ編集画面400のリセットボタンが押された場合、処理部102は、入力欄内の設定値を、予め定められた初期値に設定する。
- [0056] このように、処理部102は、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、テーブルの複数の行に複数の人工ニューロンの複数の行を対応づけた形式でユーザに提示する。そして、処理部102は、提示されたパラメータの値を変更するためのテーブルに対するユーザ入力を受け付ける。このように、処理部102は、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンの入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、人工ニューロン毎に一括的なデータ単位でアクセス可能なデータアクセス構造を用いてユーザ30に提示し、ユーザ30から値の入力を受け付けることができる。
- [0057] 図5は、ロボット40が起動又はリセットされた場合のサーバ200の動作フローを概略的に示す。サーバ200は、ロボット40が起動又はリセットされたことが受信すると、パラメータ処理部240は、ニューラルネットワークのパラメータの初期設定を行う。例えば、パラメータ処理部240は、格納部280からパラメータの初期値を取得して、ニューラルネットワークのパラメータデータを所定のデータ構造で生成する(S502)。また、時刻 t_0 におけるニューラルネットワークのパラメータの値を設定する。初期設定が完了すると、S504において、時刻 t に関するループを開始する。
- [0058] S510において、パラメータ処理部240は、時間ステップ t_{n+1} における、人工シナプスの電氣的影響による変化に対応するパラメータを計算する。具体的には、任意の S_{ij} の $BS_{t_{ij}}$ を計算する。
- [0059] S520において、パラメータ処理部240は、時間ステップ t_{n+1} にお

る、内分泌物質による化学的影響による変化に対応するパラメータを計算する（S520）。具体的には、内分泌人工ニューロンが影響を及ぼす N^i 及び S^{ij} のパラメータの変化を計算する。より具体的には、時間ステップ t_{n+1} における、内分泌人工ニューロンが影響を及ぼす人工ニューロン N^i の出力の増減パラメータや閾値と、内分泌人工ニューロンが影響を及ぼす S^{ij} の結合係数の増減パラメータや結合係数を計算する。

[0060] S530において、パラメータ処理部240は、ニューラルネットワークの外部からの入力を取得する。具体的には、パラメータ処理部240は、外部入力データ生成部230の出力を取得する。

[0061] S540において、パラメータ処理部240は、時間ステップ t_{n+1} における、 N^i の出力を計算する。具体的には、 V^i 及びステータス S_{t^i} を計算する。そして、S550において、時刻 t_{n+1} における各パラメータの値を、格納部280のパラメータ288に格納する。また、時刻 t_{n+1} における各パラメータの値を、ユーザ端末100に送信する。

[0062] S560において、パラメータ処理部240は、ループを終了するか否かを判断する。例えば、時間ステップが表す時刻が所定の時刻に達した場合や、パラメータ更新の計算を停止することをユーザ端末100から指示された場合に、ループを終了すると判断する。ループを終了しない場合、S510に戻り、更に次の時間ステップの計算を行う。ループを終了する場合、このフローを終了する。

[0063] 図6は、人工シナプスの結合係数の計算を概略的に説明する図である。ここでは、増減パラメータの初期値として定数 a^{ij} 及び b^{ij} が定義されている場合を説明する。

[0064] 時刻 t_n の時間ステップにおいて、 S^{ij} の両端の N^i 及び N^j がいずれも発火している場合、パラメータ処理部240は、時刻 t_{n+1} における $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ を、 $BS_{t_{n+1}}^{ij} = BS_{t_n}^{ij} + a_{t_n}^{ij} \times (t_{n+1} - t_n)$ により計算する。一方、時刻 t_n の時間ステップにおいて S^i 及び S^j がいずれも発火していない場合、時刻 t_{n+1} における結合係数 $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ を、 $BS_{t_{n+1}}^{ij} = BS_{t_n}^{ij} +$

$b_{t_n}^{ij} \times (t_{n+1} - t_n)$ により計算する。また、 $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ が負の値になる場合は、 $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ は 0 とする。なお、 BS^{ij} が正の値の S^{ij} では、 $a_{t_{ij}}$ が正の値であり、 $b_{t_{ij}}$ は負の値である。 BS^{ij} が負の値の S^{ij} では、 $a_{t_{ij}}$ は正の値であり、 $b_{t_{ij}}$ は負の値である。

[0065] 図 6 に示されるように、時刻 t_0 で両端の人工ニューロンが同時発火しているので、 $BS_{t_{ij}}$ は単位時間当たり $a_{t_0}^{ij}$ で増加する。また、時刻 t_1 で同時発火していないので、 $BS_{t_{ij}}$ は、単位時間当たり $|b_{t_1}^{ij}|$ で減少する。また、時刻 t_4 で同時発火したことにより、 $BS_{t_{ij}}$ は単位時間当たり $a_{t_4}^{ij}$ で増加する。

[0066] 図 7 は、結合係数の増減パラメータとして関数 $h_{t_{ij}}$ が定義されている場合の結合係数の時間発展を概略的に示す。 $h_{t_{ij}}$ は、 t_{cf} からの経過時間 Δt ($= t - t_{cf}$) ≥ 0 において定義される。 $h_{t_{ij}}$ は、少なくとも Δt の関数であり、実数の値をとる。

[0067] 図 7 に示す関数 700 は、 $h_{t_{ij}}$ の一例である。関数 700 は、時刻 t_{cf} における結合係数 $BS_{t_{cf}}^{ij}$ 及び Δt の関数である。関数 700 は、 Δt が所定の値より小さい範囲で場合に単調増加し、 Δt が所定の値より大きい場合に単調減少して 0 に向けて漸減する。関数 700 は、 $\Delta t = 0$ において値 $BS_{t_{cf}}^{ij}$ をとる。

[0068] 図 7 は、結合係数の増減パラメータとして関数 700 が定義されており、時刻 t_0 において両端の N^i 及び N^j が同時発火した場合の結合係数を示す。パラメータ処理部 240 は、関数 700 と Δt とに基づいて、時刻 $t_1 \sim$ 時刻 t_6 の各時刻の $BS_{t_{ij}}$ を算出する。時刻 $t_1 \sim$ 時刻 t_6 の時間範囲内では、 N^i 及び N^j は同時発火していない。そのため、例えば、時刻 t_2 以降、結合係数は単調に減少する。

[0069] 図 8 は、時刻 t_2 で N^i 及び N^j が更に同時発火した場合の結合係数の時間発展を概略的に示す。結合係数は、時刻 t_0 から時刻 t_2 までは、図 7 と同様に計算される。時刻 t_2 において N^i 及び N^j が更に同時発火すると、パラメータ処理部 240 は、 $h_{t_{ij}}(t - t_2, BS_{t_2}^{ij})$ に従って時刻 $t_3 \sim t_6$ の各時

刻の結合係数を計算する。このように、同時発火が繰り返される毎に、結合係数が高まる。これにより、生体におけるHebbの法則のように、人工シナプス結合を強化するような効果が得られる。一方、図6及び図7に示すように、同時発火しない時間が長くなると、人工シナプス結合が減衰するような効果が得られる。

[0070] 図9は、結合係数の増減関数 $h_{t_{cf}^{ij}}$ の他の例を概略的に示す。関数910、関数920は、それぞれ $h_{t_{cf}^{ij}}$ の一例である。

[0071] 関数910は、時刻 t_{cf} における結合係数 $BS_{t_{cf}^{ij}}$ 及び Δt の関数である。関数910は、 $\Delta t = 0$ において値 $BS_{t_{cf}^{ij}}$ をとる。また、関数910は、 Δt が所定の値より小さい範囲で場合に単調増加し、 Δt が所定の値より大きい場合に単調減少して0に向けて漸減する。

[0072] 関数920は、 Δt のみの関数である。関数920は、 $\Delta t = 0$ において値0をとる。また、関数920は、 Δt が所定の値より小さい範囲で場合に単調増加し、 Δt が所定の値より大きい場合に単調減少して0に向けて漸減する。このように、本実施形態によれば、 $h_{t_{cf}^{ij}}$ を比較的に自由に定義できるので、学習効果を比較的に自由に制御できる。

[0073] 図10は、パラメータに与えられる化学的影響を定義する影響定義情報を概略的に示す。この影響定義情報は、図5のS520のパラメータの変化の計算に用いられる。定義情報は、内分泌人工ニューロンの出力に関する条件と、影響を与える人工ニューロン又は人工シナプスを特定する情報と、影響内容を定める式を含む。

[0074] 図10の例において、内分泌人工ニューロン N^2 は、眠気の内分泌物質が割り当てられた内分泌人工ニューロンである。内分泌人工ニューロン N^2 に関する定義情報は、「 $V_{m_{t_n^2}} > T_{t_n^2}$ 」の条件、内分泌人工ニューロン N^2 が影響を与える人工ニューロンとして「感情人工ニューロン N^1 及び N^3 」、影響内容を定める式として「 $T_{t_{n+1}^i} = T_{t_n^i} \times 1.1$ 」が定められている。これにより、パラメータ処理部240は、 $V_{m_{t_n^2}}$ が $T_{t_n^2}$ を超える場合、時刻 t_{n+1} の感情人工ニューロン N^1 及び N^3 の閾値を、10%上昇させる。これによ

り、例えば、眠気が生じた場合に、感情人工ニューロンを発火させにくくすることができる。例えば、「蓄電量が閾値以下」であることが定義された概念人工ニューロン N^7 の出力を、内分泌人工ニューロン N^2 の入力に接続したニューラルネットワークを定めることで、蓄電量が低くなると感情が高まりにくくなる現象を体現することが可能になる。

[0075] また、内分泌人工ニューロン N^5 は、報酬系の内分泌物質が割り当てられた内分泌人工ニューロンである。報酬系の内分泌物質としては、ドーパミン等を例示できる。内分泌人工ニューロン N^5 に関する第1の定義情報は、「 $V_{m_{t_n^5}} > T_{t_n^5}$ 及び $V_{m_{t_n^4}} > T_{t_n^4}$ 」の条件、内分泌人工ニューロン N^5 が影響を与える人工シナプスとして「 S^{49} 及び S^{95} 」、影響内容を定める式として「 $a_{t_{n+1}^{ij}} = a_{t_n^{ij}} \times 1.1$ 」という式が定められている。これにより、パラメータ処理部240は、 $V_{m_{t_n^5}}$ が $T_{t_n^5}$ を超え、かつ、 $V_{m_{t_n^4}}$ が $T_{t_n^4}$ を超える場合、時刻 t_{n+1} の人工シナプス S^{49} 及び S^{95} の増減パラメータを10%上昇させる。

[0076] これにより、報酬系の内分泌人工ニューロンが発火した場合に、「ベルが鳴った」という状況が定義された概念人工ニューロン N^4 が発火していると、インプリシット人工ニューロン N^9 を介した概念人工ニューロン N^4 と N^5 との結合を強めることができる。これにより、「ベルが鳴った」場合に報酬系の内分泌人工ニューロン N^5 が発火し易くなる。

[0077] また、内分泌人工ニューロン N^5 に関する第2の定義情報は、「 $V_{m_{t_n^5}} > T_{t_n^5}$ 」の条件、内分泌人工ニューロン N^5 が影響を与える人工ニューロンとして「 N^1 」、影響内容を定める式として「 $T_{t_{n+1}^i} = T_{t_n^i} \times 1.1$ 」という式が定められている。これにより、パラメータ処理部240は、 $V_{m_{t_n^5}}$ が $T_{t_n^5}$ を超える場合、時刻 t_{n+1} の人工ニューロン N^1 の増減パラメータを10%低下させる。これにより、報酬系の内分泌人工ニューロン N^5 が発火した場合に、嬉しいという感情が発火し易くなる。

[0078] このような報酬系の内分泌人工ニューロンに関する影響を定めた定義によれば、ベルを鳴らしながらロボット40を充電するという行為を繰り返すと

、ベルを鳴らしただけでロボット40が嬉しさを表す行動をとる、というような実装が可能になる。

[0079] なお、影響定義情報は、図10の例に限られない。例えば、条件として、人工ニューロンの出力が閾値以下であるという条件を定義してよい。また、人工ニューロンのステータスに関する条件、例えば、上昇相、下降相又は未発火に関する条件を定義してよい。また、影響範囲は、人工ニューロンや人工シナプスを直接指定する他に、「特定の人工ニューロンに接続された全人工シナプス」というような定義を行うこともできる。また、影響の式については、対象が人工ニューロンの場合、閾値を定数倍にするの他に、閾値に定数を加えることや、出力の増減パラメータを定数倍するような式を定義してよい。また、対象が人工シナプスの場合、増減パラメータを定数倍することの他に、結合係数を定数倍するような式を定義してよい。

[0080] 影響定義情報は、格納部280の定義情報284内に格納される。このように、格納部280は、内分泌人工ニューロンに人工シナプスで直接接続されていない他の人工ニューロン及び人工シナプスの少なくとも一方のパラメータに、内分泌人工ニューロンの出力及び発火状態の少なくとも一方が与える影響を定めた影響定義情報を格納する。そして、パラメータ処理部240は、内分泌人工ニューロンの出力及び発火状態の少なくとも一方と、当該影響定義情報とに基づいて、内分泌人工ニューロンに人工シナプスで直接接続されていない他の人工ニューロン及び人工シナプスの少なくとも一方のパラメータを更新する。また、内分泌人工ニューロンの出力及び発火状態の少なくとも一方が影響を与える他の人工ニューロンのパラメータは、他の人工ニューロンの閾値、発火状態、及び、発火時の出力の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含むことができる。また、内分泌人工ニューロンの出力及び発火状態の少なくとも一方が影響を与える人工シナプスのパラメータは、当該人工シナプスの結合係数、及び、当該人工シナプスが結びつけている2つの人工ニューロンが最後に同時に発火した後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含むことができる。また、影響定義

情報は、報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロンの発火状態が感情人工ニューロンの閾値に与える影響を定めた情報を含み、パラメータ処理部240は、当該内分泌人工ニューロンが発火した場合に、影響定義情報に従って、感情人工ニューロンの閾値を更新する。

[0081] 図11は、 $V_{t_{n+1}}^i$ 及び $S_{t_{n+1}}^i$ を計算するフローチャートを示す。本フローチャートの処理は、図5のS540内の処理の一部に適用できる。S1100において、パラメータ処理部240は、 $S_{t_n}^i$ が未発火を示すか否かを判断する。

[0082] $S_{t_n}^i$ が未発火を示す場合、パラメータ処理部240は、 N^i への入力 $I_{t_{n+1}}^i$ を計算する(S1110)。具体的には、ニューラルネットワークの外部からの入力が N^i に接続されていない場合、 $I_{t_{n+1}}^i = \sum_j B S_{t_{n+1}}^{ji} \times V_{m_{t_n}}^j \times f(S_{t_n}^j)$ によって計算する。ニューラルネットワークの外部からの入力が N^i に接続されている場合、 $I_{t_{n+1}}^i = \sum_j B S_{t_{n+1}}^{ji} \times V_{m_{t_n}}^j \times f(S_{t_n}^j) + E_{t_{n+1}}^i$ によって計算する。ここで、 $E_{t_{n+1}}^i$ は、ニューラルネットワークの外部からの時刻 t_n における入力である。

[0083] また、 $f(S)$ は、 S が未発火を表す値の場合は0を返し、 S が上昇相又は下降相を示す値の場合は1を返す。このモデルは、ニューロンが発火した場合のみシナプスが活動電位を伝達するモデルに対応する。なお、 $f(S) = 1$ を返してもよい。これは、ニューロンの発火状態によらず膜電位を伝達するモデルに対応する。

[0084] S1112において、パラメータ処理部240は、 $I_{t_{n+1}}^i$ が $T_{t_{n+1}}^i$ を超えるか否かを判断する。 $I_{t_{n+1}}^i$ が $T_{t_{n+1}}^i$ を超える場合、パラメータ処理部240は、 $V_{m_{t_{n+1}}}^i$ を増減パラメータに基づいて算出するとともに、 $V_{m_{t_{n+1}}}^i$ に応じて $S_{t_{n+1}}^i$ を上昇相又は下降相に示す値に設定し(S1114)、このフローを終了する。

[0085] S1100において、 $S_{t_n}^i$ が上昇相又は下降相である場合、パラメータ処理部240は、 $V_{m_{t_{n+1}}}^i$ を算出する(S1120)。そして、パラメータ処理部240は、 t_{n+1} までに $V_{m_t}^i$ が V_{min} に達した場合は、 $S_{t_{n+1}}^i$ を未

発火の値に設定し、 t_{n+1} までに $V_{m_t^i}$ が V_{min} に達していない場合は、 $S_{t_{n+1}^i}$ を上昇相又は下降相の値に設定して、このフローを終了する。なお、パラメータ処理部240は、 t_{n+1} までに $V_{m_t^i}$ が V_{max} に達した場合は $S_{t_{n+1}^i}$ に下降相の値を設定し、 t_{n+1} までに $V_{m_t^i}$ が V_{max} に達していない場合は $S_{t_{n+1}^i}$ に上昇相の値を設定する。

[0086] このように、 N^i が発火している場合は、たとえ出力が閾値以下になっても、 N^i の出力は入力に依存しない。このような期間は、生体のニューロンにおける絶対不応期に対応する。

[0087] 図12は、 N^i が発火しない場合の V_{t^i} の計算例を概略的に説明する図である。

[0088] 時刻 t_0 の時間ステップにおいて N^i は未発火である。時刻 t_1 の $I_{t_1^i}$ が $T_{t_1^i}$ 以下である場合、パラメータ処理部240は、時刻 t_1 における $V_{t_1^i}$ を、 $V_{t_1^i} = I_{t_1^i}$ により計算し、時刻 t_0 から t_1 までの期間の V_{t^i} を、 $V_{t^i} = I_{t_0^i}$ により計算する。また、同様に、パラメータ処理部240は、時刻ステップ t_n で計算した V_{t_n} の値を次の時刻ステップまで維持し、 $V_{t_{n+1}}$ において、 $I_{t_{n+1}}$ に変化させる。

[0089] 図13は、 N^i が発火する場合の V_{t^i} の計算例を概略的に説明する図である。図13は、定数 a^i 及び b^i が定義されている場合の計算例である。

[0090] 時刻 t_0 の時間ステップにおいて、 N^i は未発火である。時刻 t_1 の $I_{t_1^i}$ が $T_{t_1^i}$ を超える場合、パラメータ処理部240は、時刻 t_1 における $V_{t_1^i}$ を、 $V_{t_1^i} = I_{t_1^i}$ により計算し、時刻 t_0 から t_1 までの期間の V_{t^i} を、 $V_{t^i} = I_{t_0^i}$ により計算する。なお、ここでは、時刻 t_1 の $I_{t_1^i}$ が V_{max} 以下であるとする。時刻 t_1 の $I_{t_1^i}$ が V_{max} を超える場合は、 $I_{t_1^i} = V_{max}$ とする。

[0091] パラメータ処理部240は、図13に示されるように、時刻 t_1 以降、 V_{t^i} が V_{max} に達する時刻まで、 V_{t^i} を単位時間当たり a_{t^i} で増加させる。また、パラメータ処理部240は、この期間の N^i のステータス S_{t^i} を上昇相に決定する。

[0092] また、 V_{t^i} が V_{max} に達すると、 V_{t^i} が V_{min} に達するまで、 V_{t^i} を

単位時間当たり $|b_{t^i}|$ 減少させる。また、パラメータ処理部 240 は、この期間の N^i のステータスを下降相に決定する。そして、 V_{t^i} が V_{min} に達すると、次の時刻における $V_{t_6^i}$ を、 $V_{t_6^i} = I_{t_6^i}$ により計算する。また、 V_{t^i} が V_{min} に達した後のステータスを未発火に決定する。

[0093] なお、 N^i のステータスが下降相にある場合、算出された $V_{m_t^i}$ が T_{t^i} を下回ったとしても、 $V_{m_t^i}$ は I_{t^i} に依存しない。パラメータ処理部 240 は、 $V_{m_t^i}$ が T_{t^i} を下回ったとしても、 $V_{m_t^i}$ が V_{min} に達するまで、増減パラメータに従って $V_{m_t^i}$ を算出する。

[0094] 図 14 は、 N^i の増減パラメータとして関数 h_{t^i} が定義されている場合の結合係数の時間発展を概略的に示す。一般に、 h_{t^i} は、発火時刻 t_f からの経過時間 $\Delta t (= t - t_f) \geq 0$ において定義される。 h_{t^i} は、少なくとも Δt の関数である。 h_{t^i} は実数の値をとり、 h_{t^i} の値域は V_{min} 以上 V_{max} 以下である。

[0095] 図 14 に示す関数 1400 は、 h_{t^i} の一例である。関数 1400 は、時刻 t_f における $V_{m_{t_f^i}}$ 及び Δt の関数である。関数 1400 は、 Δt が所定の値より小さい範囲で場合に単調増加し、 Δt が所定の値より大きい場合に単調減少する。関数 1400 は、 $\Delta t = 0$ において値 $V_{m_{t_f^i}}$ をとる。

[0096] 図 14 は、出力の増減パラメータとして関数 1400 が定義されており、時刻 t_1 において N^i が発火した場合の出力を示す。パラメータ処理部 240 は、関数 1400、 Δt 及び $V_{m_{t_f^i}}$ に基づいて、時刻 $t_1 \sim$ 時刻 t_5 の各時刻の $V_{m_t^i}$ を計算する。 $V_{m_t^i}$ は時刻 t_5 で V_{min} に達しているため、時刻 t_6 では $V_{m_t^i} = I_{t_6^i}$ となる。

[0097] 図 15 は、増減パラメータとしての関数 h_{t^i} の他の例を概略的に示す。関数 1510 及び関数 1520 は、それぞれ h_{t^i} の一例である。

[0098] 関数 1510 は、時刻 t_f における出力 $V_{m_{t_f^i}}$ 及び Δt の関数である。関数 1510 は、 $\Delta t = 0$ において値 $V_{m_{t_f^i}}$ となる関数である。また、関数 1510 は、 Δt が所定の値より小さい範囲で場合に単調増加し、 Δt が所定の値より大きい場合に単調減少する関数である。

[0099] 関数 1520 は、 Δt のみの関数である。関数 1520 は、 $\Delta t = 0$ において値 V_{min} となる関数である。また、関数 920 は、 Δt が所定の値より小さい範囲で場合に単調増加し、 Δt が所定の値より大きい場合に単調減少する関数である。

[0100] 以上に説明したように、パラメータ処理部 240 は、ニューロンの活動電位の変化をモデルにして出力を計算することができる。そのため、出力の上昇及び下降を表現できる。また、発火後の出力の変化を増減パラメータによって比較的に自由に表現できる。これにより、状態を表現する幅を広げることができる。

[0101] なお、図 6 等に示したように、増減パラメータとして a^{ij} 及び b^{ij} を用いた場合、結合係数は時間の経過と共に直線的に変化する。また、図 13 等に示したように、 a^i 及び b^i を用いた場合、出力は時間の経過と共に直線的に変化する。しかし、 a^{ij} 及び b^{ij} のような係数を、直線以外の関数の係数に適用してよい。また、複数の係数群として、多項式や他の関数等に適用してもよい。例えば、 $a_1 \times \Delta t + a_2 \times e^{\Delta t}$ や、 $b_1 \times \Delta t^2 + b_2 \times \Delta t^{-1}$ 等、係数群として定義できるようにしてよい。これにより、結合係数や出力を比較的に多様な時間発展を実現できる。なお、このような係数によれば、ユーザは比較的簡単にニューラルネットワークの挙動を変えることができる。これらの係数によっても、出力の上昇相及び下降相のヒステリシス特性を比較的容易に実装できる。一方、 h^{ij} や h^i の関数を定義可能にすることで、生体のニューロンの発火状態や生体における学習効果により近い実装が可能になる。

[0102] なお、ニューラルネットワークにおいて、人工ニューロンの発火状態が時間経過とともに一方向に促進され続ける現象が生じる場合がある。例えば強結合の人工シナプスによってループ状に繋がった人工ニューロンがニューラルネットワーク内に存在する場合、ループ状に繋がった人工ニューロンが連続的に発火して、それによってループ内の隣接する人工ニューロンがそれぞれ同時発火して人工ニューロン間の人工シナプスの結合係数が強まることで

、人工ニューロンの発火が促進され続ける場合がある。また、ある内分泌人工ニューロンの発火の影響で他の人工ニューロンの閾値が下がり、影響を受けた当該人工ニューロンの発火が当該内分泌人工ニューロンの発火を促進するような場合等も同様である。また逆に、人工シナプスが抑制結合で接続されている場合や内分泌人工ニューロンの発火によって人工ニューロンの閾値を上げる処理が定義されている場合等には、人工ニューロンの発火が時間経過とともに一方向に抑制され続ける場合がある。そこで、パラメータ処理部 240 は、人工ニューロンの発火状態、人工シナプスの結合係数の時間的な変化等を監視して、発火状態が正帰還又は負帰還する人工ニューロンの存在を検出した場合に、人工ニューロンの閾値を人工シナプスの結合係数を調節することで、発火状態が一方向に促進され続けることを抑制してよい。例えば正帰還系を形成する人工ニューロンの閾値を上げたり、正帰還系を形成する人工シナプスの結合係数を下げたりすることによって、発火が促進され続けることを抑制してよい。また、負帰還系を形成する人工ニューロンの閾値を下げたり、負帰還系を形成する人工シナプスの結合係数を上げたりすることによって、発火が抑制され続けることを抑制してよい。

[0103] 図 16 は、ユーザ端末 100 が表示するパラメータビューワの画面例を概略的に示す。通信部 208 は、パラメータ処理部 240 によって更新されたパラメータのデータを、実質的にリアルタイムにユーザ端末 100 に送信する。処理部 102 は、更新されたパラメータのデータを受信すると、2次元のテーブル形式でパラメータを表示する。これにより、ユーザは、パラメータの値が時々刻々変化するパラメータを、ユーザ端末 100 上で確認できる。このように、処理部 102 は、時間的に更新される複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される 1 以上の人工シナプスのパラメータの値を、テーブルの複数の行に複数の人工ニューロンの複数の行を対応づけた形式でユーザに提示する。

[0104] 図 16 や図 4 に示されるように、表示される人工ニューロンのパラメータは、閾値、発火状態、最後に発火した時刻、出力、最後に発火した時刻にお

ける出力、及び発火時の出力の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含む。また、表示される人工シナプスのパラメータは、接続された人工ニューロンへの結合係数、人工シナプスが結びつけている2つの人工ニューロンが最後に同時に発火した時刻である最終同時発火時刻、当該最終同時発火時刻における結合係数、及び同時の発火が生じた後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つと、人工シナプスの識別情報とを含む。

[0105] 図17は、ニューラルネットワークをグラフィカルに編集する場合に提示される画面を概略的に示す。図4において、ニューラルネットワークのパラメータを2次元的なテーブル形式で編集する画面の一例を示した。図17は、ユーザ30がパラメータをよりグラフィカルに編集できる環境を提供する。

[0106] 図17は特に、感情人工ニューロンを編集する画面を一例として示す。図17において、丸形のオブジェクトは人工ニューロンを表す。オブジェクト内には、各感情人工ニューロンに定められた感情を表す文字が表示される。そして、感情人工ニューロン間を結ぶ人工シナプスは、線で表される。

[0107] この編集画面上で、ユーザは、例えばマウス操作やキーボード操作によって、人工ニューロンの追加、削除、パラメータの編集をすることができる。また、ユーザは、例えばマウス操作やキーボード操作によって、人工シナプスの追加、削除、パラメータの値の編集を行うことができる。

[0108] なお、サーバ200は、ニューラルネットワークの計算が開始された後、パラメータ処理部240によって変更されたパラメータの値に基づくニューラルネットワークを、ユーザ端末100にグラフィカルに表示させる。この場合、ニューラルネットワークの人工ニューロン及び人工シナプスの接続関係は、本編集画面と同様にグラフィカルに表示される。パラメータが変更される様子を表す表示例については、図19から図22に関連して説明する。

[0109] 図18は、人工シナプスを編集する編集画面の一例である。図17に示す編集画面1700において、人工シナプスが右クリックされると、人工シナ

プスの編集画面 1800 が表示される。

- [0110] 編集画面 1800 は、選択された人工シナプスが接続する 2 つの人工ニューロンに定められた意味、人工ニューロンの出力が向かう方向、人工シナプスのパラメータの名称及び現在の値、及び、パラメータを変更するための操作部を含む。人工シナプスのパラメータには、結合係数の初期値、増減パラメータ a 及び b のそれぞれの初期値を含む。また、編集画面は、編集をキャンセルすることを指示するキャンセルボタン、編集したパラメータの値で初期値を更新することを指示する更新ボタン、及び、人工シナプスを削除することを指示する削除ボタンを含む。
- [0111] 視覚的にニューラルネットワークのパラメータの初期値を編集することができる。そのため、熟練していないユーザでも、ニューラルネットワークを比較的容易に編集することができる。
- [0112] 図 19 は、人工ニューロンの出力の表示例を概略的に示す。処理部 202 は、各 N^i の $V_{m_t^i}$ の大きさに基づいて、各人工ニューロン N^i を表すオブジェクト内の色を変えてユーザ端末 100 に表示させる。例えば、処理部 102 は、 $V_{m_t^i}$ が大きいほど、オブジェクト内の色を濃くする。これにより、ユーザは、人工ニューロンの出力の変化を容易に認識できる。なお、 $V_{m_t^i}$ が大きいほど、オブジェクト内の色を薄くしてもよい。色の濃さを限らず、色の明るさ、彩度、色自体を $V_{m_t^i}$ に応じて変えてもよい。
- [0113] 図 20 は、人工シナプスを電気信号が伝搬する様子の表示例を概略的に示す。処理部 202 は、各 N^i の発火状態と当該 N^i に接続されている人工シナプスの情報に基づいて、電気信号の伝搬を示すアニメーションをユーザ端末 100 に表示させる。例えば、処理部 202 は、電気信号を表すオブジェクト 2010 の表示位置を、出力側の人工ニューロンから入力側の人工ニューロンへ時間的に移動させる。なお、処理部 202 は、オブジェクト 2010 の位置を算出する時間ステップを、パラメータ計算の時間ステップ $t_{n+1} - t_n$ よりも短くする。このような表示によって、ユーザは、例えばある人工ニューロンの発火がどのようなルートを辿って他の人工ニューロンの発火に結び

つくかを、容易に理解することができる。

[0114] 図21は、人工シナプスによる人工ニューロン間の結合状態の表示例を概略的に示す。処理部202は、各 S_{ij} の $BS_{t_{ij}}$ の符号に基づいて、強結合であるか抑制結合であるかを、人工シナプスを表す線の色を変えてユーザ端末100に表示させる。例えば、処理部202は、 $BS_{t_{ij}}$ が正である場合に、 S_{ij} を表す線を、強結合を表す青色で表示させる。処理部202は、 $BS_{t_{ij}}$ が負である場合に、 S_{ij} を表す線を、抑制結合を表す赤色で表示させる。これにより、ユーザは、人工シナプスが強結合であるか抑制結合であるかを一目で認識できる。

[0115] また、処理部202は、各 S_{ij} の $BS_{t_{ij}}$ の大きさに基づいて、人工シナプスを表す線の幅を変えてユーザ端末100に表示させる。例えば、処理部202は、 $BS_{t_{ij}}$ が大きいほど、 S_{ij} を表す線の幅を大きくする。これにより、ユーザは、人工シナプスによる人工ニューロン間の結合の度合いを一目で認識できる。

[0116] なお、人工ニューロン間に双方向の人工シナプスが定義されている場合、それぞれの人工シナプスを別々の線に表示してよい。また、人工シナプスの入出力の方向を表す矢印などのマークを付加して、人工シナプスが識別できるようにしてよい。

[0117] 図22は、人工ニューロンの配置の表示例を概略的に示す。処理部202、各 S_{ij} の $BS_{t_{ij}}$ 及び人工ニューロン間の接続関係の少なくとも一方に基づいて各人工ニューロン対間の距離を算出し、距離が短い人工ニューロン対をより近くに配置して表示させてよい。

[0118] ここで距離とは、人工ニューロン間の結合の度合いを表す。人工ニューロン間の距離は、人工ニューロン対間に介在する人工シナプスの結合係数が大きいほど短く算出されてよい。また、人工ニューロン対間の距離は、人工ニューロン対の間に直列に介在する人工シナプスの数が少ないほど短く算出されてよい。また、人工ニューロン間の距離は、人工ニューロン対間に並列に介在する人工シナプスの数が多いほど、短く算出されてよい。また、人工ニ

ユーロン対間に1以上の人工ニューロンが接続されている場合、人工ニューロン対間に直列に介在する全ての人工シナプスの BS_{ij} の平均値や最小値等を実効的な結合係数とみなして、当該実効的な結合係数に基づいて距離が算出されてよい。

[0119] 図23は、内分泌人工ニューロンが影響する人工ニューロンの範囲の表示例を概略的に示す。内分泌人工ニューロンのオブジェクトをユーザがマウス操作等で指定すると、処理部202は、選択されたオブジェクトが表す内分泌人工ニューロンから影響を受ける人工ニューロンのオブジェクトを、強調して表示させる。処理部202は、定義情報284に含まれる影響定義情報に基づいて、影響を受ける人工ニューロンを特定する。

[0120] 例えば、 N^2 のオブジェクトが選択された場合、処理部202は、 N^2 によって発火が抑制される N^1 及び N^3 を囲う範囲2310を赤色で表示させる。また、処理部202は、 N^2 によって発火を促進する方向に影響を受ける人工シナプスの線及びオブジェクトを囲う範囲2320を青色で表示させる。これにより、ユーザは、選択した内分泌人工ニューロンがどの人工ニューロンや人工シナプスに化学的な影響を与えるかを容易に認識できる。

[0121] 図24は、人工ニューロンのパラメータを計算する優先順位を定めた優先人工ニューロン情報を概略的に示す。優先人工ニューロン情報は、優先的にパラメータを計算すべき人工ニューロンである優先人工ニューロンを識別する情報に対応づけて、優先順位を示す値及び当該優先人工ニューロンの入力に影響を与える人工ニューロンである関連人工ニューロンを特定する情報を定める。パラメータ処理部240は、サーバ200においてパラメータ更新の計算に利用可能なリソース量に基づいて、パラメータを更新する人工ニューロン及び人工シナプスを、優先順位に従って選択する。

[0122] なお、関連人工ニューロンは、ニューラルネットワークにおける人工ニューロンの接続関係に基づいて、初期設定において設定されてよい。例えば、パラメータ処理部240は、優先人工ニューロンの閾値等に影響を及ぼす内分泌人工ニューロンを、関連人工ニューロンとして設定する。また、パラメ

ータ処理部240は、優先人工ニューロンから信号の入力方向の逆順で人工シナプスを辿っていくことで、優先人工ニューロンの入力に人工シナプスを介して影響を与える1以上の人工ニューロンを特定して、関連人工ニューロンに格納してよい。

[0123] パラメータ処理部240は、優先人工ニューロンをパラメータの更新対象とする場合、優先人工ニューロンに対応する関連人工ニューロンも、パラメータの更新対象とする。ここで、パラメータ処理部240は、サーバ200における利用可能なリソース量に基づいて、パラメータの更新対象とする更新対象人工ニューロンの数の上限値を決定する。そして、パラメータ処理部240は、パラメータの更新対象とする人工ニューロン数が、決定した上限値以下になるよう、優先順位の降順で優先人工ニューロン選択することによって、更新対象人工ニューロンを決定してよい。

[0124] そして、パラメータ処理部240は、例えば、図5のS510において $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ を計算する場合、更新対象人工ニューロンの入力に接続されている人工シナプスの $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ の値のみを更新し、他の人工シナプスの $BS_{t_{n+1}}^{ij}$ の値は計算せずに $BS_{t_n}^{ij}$ の値を維持する。同様に、S520及びS540においても、更新対象人工ニューロンのパラメータの値、及び、更新対象人工ニューロンの入力に接続されている人工シナプスのパラメータの値のみを更新対象とし、他のパラメータの値は更新せず、値を維持する。更新対象人工ニューロン以外のパラメータの値も維持される。

[0125] これにより、サーバ200で利用可能なリソースが少なくなった場合に、重要な人工ニューロンについては高い更新頻度を維持できる。例えば、サーバ200で利用可能なリソースが少なくなった場合に、危険の有無を判断する機能を維持することができる。なお、パラメータ処理部240は、サーバ200で利用可能なリソースが十分な場合は、全人工ニューロン及び全人工シナプスのパラメータを更新してよい。

[0126] 図25は、システム20に係るソフトウェアアーキテクチャを示す。上記の説明では主として、人工ニューロン及び人工シナプスのパラメータの編集

処理、更新処理及び表示処理の内容を説明した。ここでは、各処理を行うソフトウェア上の主体に関連する事項を説明する。

[0127] サーバ200において、処理部202には、パラメータ処理部240の機能を担う複数の更新エージェント2400と、ユーザ端末100との間のデータ入出力を担う入出力エージェント2450a及び2450bが実装される。入出力エージェント2450aは、ユーザ端末100の処理部102に実装されるエディタ機能部からパラメータの初期値を受信して、データ構造2500に格納する処理を行う。入出力エージェント2450aは、パラメータ処理部240によって更新されたパラメータをユーザ端末100に送信して、処理部102に実装されるビューワ機能部に表示させる処理を行う。エディタ機能部及びビューワ機能部は、例えばウェブブラウザによって処理部102に実装される。ユーザ端末100とサーバ200との間でやりとりされるデータは、HTTPプロトコルに従って転送されてよい。

[0128] 複数の更新エージェント2400は、それぞれデータ構造2500に人工ニューロン単位でアクセスして、人工ニューロン単位でパラメータの更新計算を行う。複数の更新エージェント2400は、それぞれ、ニューラルネットワークのパラメータを格納したデータ構造2500にアクセスできる。また、複数の更新エージェント2400は、それぞれパラメータの更新計算を行うことができる。複数の更新エージェント2400の処理は、それぞれ別個のプロセスによって実行されてよい。また、複数の更新エージェント2400は、それぞれ1つのプロセス内の複数のスレッドに実行されてよい。

[0129] データ構造2500は、図16に関連して説明した情報と同様に、人工ニューロン単位で一括してアクセス可能な形式で生成される。パラメータ処理部240は、図5のS502の初期処理において、データ構造2500を処理部202内のメモリに生成してよい。データ構造2500は、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値に一括的なデータ単位でアクセス可能な構造を持つ。そして、更新エージェント2400は、複

数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値に、データ構造2500を通じて複数の人工ニューロンに人工ニューロン毎にアクセスして、複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を時間的に更新する。そのため、複数の更新エージェント2400は、パラメータの値を時間的に更新する処理を並列に行うことができる。

[0130] 図25から図27は、パラメータの値の更新処理をマルチプロセス処理によって並列に行う方法を示す。複数のプロセスで並列に行う場合、データ構造2500は共有メモリとして確保したメモリ領域内に形成されてよい。図26は、複数の人工ニューロンに対して更新計算を行う前の状態を概略的に示す。4つのプロセス1は、どの人工ニューロンのパラメータ計算を行うかを個々に決定する。図27に示すように、時刻 t_1 において、プロセス1が、未計算の N^1 の行のデータを読み出して、 N^1 のパラメータの更新計算を開始する。時刻 t_2 において、プロセス2が、未計算の N^2 の行のデータを読み出して、 N^2 のパラメータの更新計算を開始する。時刻 t_3 において、プロセス3が、未計算の N^3 の行のデータを読み出して、 N^3 のパラメータの更新計算を開始する。時刻 t_4 において、プロセス4は、未計算の N^1 の行のデータを読み出して、 N^1 のパラメータの更新計算を開始する。

[0131] 時刻5において、プロセス1は、 N^1 のパラメータの計算が完了すると、 N^1 のパラメータが未計算であることを確認した上で、 N^1 の行のデータをロックして計算結果を書込み、 N^1 の行のデータをアンロックする。時刻 t_5 において、プロセス1は N^1 の行のデータをロックして、計算結果を書込み、 N^1 の行のデータをアンロックする。同様に、プロセス2及びプロセス3も、各人工ニューロンについての計算が完了すると、各人工ニューロンの行のデータに計算結果を書込む。図28には、時刻 t_6 における計算状態が概略的に示されている。

[0132] ここで、図26を参照して、時刻 t_7 において、プロセス4が N^1 において

パラメータの計算が完了すると、N¹のパラメータが未計算であることを判断する。プロセス4は、N¹のパラメータが計算済であることを認識すると、プロセス4が行ったN¹の計算結果を破棄する。続いて、プロセス4は、N⁵が未計算であると判断して、N⁵の行のデータを読み出して、N⁵のパラメータの更新計算を開始する。

[0133] このように、データ構造2500によれば、マルチプロセス処理によって、プロセス毎に未計算の人工ニューロンを選択して計算を開始して、計算が最も早く完了したプロセスのみが計算結果を書込むように実装できる。

[0134] なお、上記のように各プロセスが個々に人工ニューロンを選択して関連するパラメータを計算する処理と同様の処理は、図5のS510、S520、S540のそれぞれに適用できる。例えば、図5のS510については、人工ニューロンではなく人工シナプスを選択及び計算の対象とすることで、同様の処理を行うことができる。

[0135] また、マルチプロセス処理によれば、図5のS510の処理とS520の処理とを並列で行うことができる。この場合、並列して行った計算結果を重ね合わせることで、最終的な計算結果を生成してよい。また、S520の処理をあるプロセスが行っている場合に、他のプロセスにおいて、化学的影響による変化の影響を受けない人工ニューロンを選択して、図5のS540の処理を行ってもよい。

[0136] また、同様の処理は、マルチプロセス処理に限らず、マルチスレッドシステムで行うことができる。マルチスレッドシステムでは、上述した各プロセスでの処理を各スレッドに置き換えることで実現できる。

[0137] 図29は、サブシステム間で分散制御を行うためのニューラルネットワークの構成を概略的に示す。上述の実施形態では、単一のサーバ200がニューラルネットワークの処理を実現する。ここでは、3つの独立したサーバによって、1つのニューラルネットワーク2900を構築される例を示す。

[0138] ニューラルネットワーク2900は、サブニューラルネットワーク2910、サブニューラルネットワーク2920及びサブニューラルネットワーク

2930で形成される。サブニューラルネットワーク2910、サブニューラルネットワーク2920及びサブニューラルネットワーク2930の計算は、互いに異なるサーバによって行われる。

[0139] ここで、サブニューラルネットワーク2910の人工ニューロン2914は、サブニューラルネットワーク2920の人工ニューロン2921及びサブニューラルネットワーク2930の人工ニューロン2931と同じ概念が定義された人工ニューロンである。また、サブニューラルネットワーク2920の人工ニューロン2923は、サブニューラルネットワーク2930の人工ニューロン2934と同じ概念が定義された人工ニューロンである。また、サブニューラルネットワーク2910の人工ニューロン2925は、サブニューラルネットワーク2930の人工ニューロン2932と同じ概念が定義された人工ニューロンである。

[0140] 人工ニューロン2914は、人工シナプス2940によって人工ニューロン2931に接続されている。また、人工ニューロン2914は、人工シナプス2960によって人工ニューロン2921に接続されている。また、人工ニューロン2915は、人工シナプス2950によって人工ニューロン2932に接続されている。また、人工ニューロン2923は、人工シナプス2970によって人工ニューロン2934に接続されている。人工シナプス2940、人工シナプス2950、人工シナプス2960及び人工シナプス2970は、ネットワークを介する通信によって実現される。

[0141] 例えば、人工ニューロン2915が「視界にAさんがいる」という状況が定義された概念人工ニューロンである場合、人工ニューロン2932も「視界にAさんがいる」という状況が定義された概念人工ニューロンである。人工ニューロン2915が発火した場合、人工ニューロン2915の出力は、サブニューラルネットワーク2910からサブニューラルネットワーク2930にネットワークを介して送信される。

[0142] なお、1つのサーバで構築されるべきサブニューラルネットワークを構成する複数の人工ニューロンは、人工ニューロン間の距離が予め定められた距

離より短いことが好ましい。また、機能単位にサブニューラルネットワークに分割されてよい。例えば、サブニューラルネットワーク2910は、カメラ映像に基づく空間認識を担う機能部分のニューラルネットワークであってよい。

[0143] なお、各サブニューラルネットワークは、非同期でニューラルネットワークの処理を行ってよい。また、第1のサブニューラルネットワークにおいて、第2のサブニューラルネットワークから受け取った出力が誤っている可能性が高いことを検出した場合、第1のサブニューラルネットワークの処理を行うサーバは、第2のサブニューラルネットワークの処理を行うサーバに、出力に誤りがある旨を通知してよい。例えば、「視界にAさんがいる」という出力が続いた後に、突然に「視界にBさんがいる」という出力を取得した場合、その出力に誤りがあると判断してよい。

[0144] 出力の誤りが通知された場合、第2のサブニューラルネットワークにおいて、誤りが通知された時刻の出力を再度計算して、第1のサブニューラルネットワークに出力してよい。このとき、第2のサブニューラルネットワークでは、先に出力した最も確からしい計算結果を除き、次に最も確からしい計算結果を出力してよい。

[0145] なお、上述した実施形態に係るニューラルネットワークを電気回路とみなすと、上述したサーバ200や図29に関連して説明したサーバの処理により実現されるニューラルネットワークの動作は、アナログコンピュータの動作とみなすことができる。例えば、ニューラルネットワークの人工ニューロンの出力を、アナログコンピュータの電気回路における対応する部分の電圧とみなすことができる。他にも、人工シナプスを伝わる信号を電流とみなすことができ、人工シナプスの結合係数を対応する電気回路の抵抗とみなすことができ、人工ニューロンの出力の増減パラメータや式を回路特性とみなすことができる。また、上述した実施形態に係るニューラルネットワークの接続をグラフィカルに変更する操作は、アナログコンピュータの素子を手でつなぎ変える操作に対応する。また、ニューラルネットワークに入力を加えた

り、パラメータを変更することは、アナログコンピュータの電気回路に電圧をかけたり、電気回路内のポテンショメータ等の値を変更することに対応する。したがって、上述したニューラルネットワークの処理をサーバ200や図29に関連して説明したサーバ等のノイマン型コンピュータにプログラムで実装することは、ニューラルネットワークのアナログコンピュータモデルをノイマン型コンピュータに実装することと同等である。

[0146] 以上に説明した実施形態では、ロボット40とは異なるサーバが、ニューラルネットワークの処理を担う。しかし、ロボット40自身が、ニューラルネットワークの処理を担ってよい。

[0147] なお、ロボット40は、制御対象となる電子機器の一例である。制御対象となる電子機器はロボット40に限られない。様々な電子機器を制御対象として適用できる。

[0148] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

[0149] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階などの各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」などと明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」などを用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

符号の説明

- [0150] 20 システム
30 ユーザ
40 ロボット

- 90 通信網
 - 100 ユーザ端末
 - 50 ロボット
 - 102 処理部
 - 104 表示部
 - 106 入力装置
 - 108 通信部
 - 152 処理部
 - 155 制御対象
 - 156 センサ部
 - 158 通信部
- 200 サーバ
 - 202 処理部
 - 208 通信部
 - 210 初期値設定部
 - 230 外部入力データ生成部
 - 240 パラメータ処理部
 - 250 動作決定部
 - 280 格納部
 - 282 行動決定ルール
 - 284 定義情報
 - 286 パラメータ初期値
 - 288 パラメータ
- 300 ニューラルネットワーク
- 301、302、303、304、305、306、307、308、309、310 人工シナプス
- 400 パラメータ編集画面
- 700、910、920 関数

1400、1510、1520 関数
1700 編集画面
1800 編集画面
2010 オブジェクト
2310 範囲
2320 範囲
2400 更新エージェント
2450 入出力エージェント
2500 データ構造
2900 ニューラルネットワーク
2910 サブニューラルネットワーク
2914、2915 人工ニューロン
2920 サブニューラルネットワーク
2921、2923、2925 人工ニューロン
2930 サブニューラルネットワーク
2931、2932、2934 人工ニューロン
2940、2950、2960、2970 人工シナプス

請求の範囲

- [請求項1] ニューラルネットワークを構成する複数の人工ニューロン及び複数の人工シナプスのパラメータを処理する処理システムであって、
- 前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンに対して制御対象の状態を定義した定義情報を格納する格納部と、
- 前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンの入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、人工ニューロン毎に一括的なデータ単位でアクセス可能なデータアクセス構造を用いて処理する処理部と、
- 前記複数の人工ニューロンのうちの少なくとも一部の人工ニューロンのパラメータの値によって定められる前記少なくとも一部の人工ニューロンの活性状態と、前記少なくとも一部の人工ニューロンに定義されている状態とに基づいて、前記制御対象の動作を決定する動作決定部と
- を備える処理システム。
- [請求項2] 前記処理部による処理は、前記複数の人工ニューロン及び前記人工シナプスのパラメータの値を人工ニューロン毎に更新すること、前記複数の人工ニューロン及び前記人工シナプスのパラメータの現在の値を人工ニューロン毎に一括的にユーザに提示すること、及び、前記複数の人工ニューロン及び前記人工シナプスのパラメータの値を人工ニューロン毎に一括的にユーザに提示してユーザからパラメータの値の入力を受け付けることを含む
- 請求項1に記載の処理システム。
- [請求項3] 前記処理部は、
- 前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される1以上の人工シナプスのパラメータの値を、テーブルの複数の行に前記複数の人工ニューロンの複数の行を対応づけた形式でユーザに提示し、

前記提示されたパラメータの値を変更するための前記テーブルに対するユーザ入力を受け付ける

請求項 1 又は 2 に記載の処理システム。

[請求項4]

前記処理部は、

前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される 1 以上の人工シナプスのパラメータの値に一括的なデータ単位でアクセス可能なデータ構造を生成し、

前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される 1 以上の人工シナプスのパラメータの値に、前記データ構造を通じて前記複数の人工ニューロンに人工ニューロン毎にアクセスして、前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される 1 以上の人工シナプスのパラメータの値を時間的に更新する
請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の処理システム。

[請求項5]

前記処理部は、

前記時間的に更新される前記複数の人工ニューロンの各人工ニューロンのパラメータの値及び各人工ニューロンに入力に接続される 1 以上の人工シナプスのパラメータの値を、テーブルの複数の行に前記複数の人工ニューロンの複数の行を対応づけた形式でユーザに提示する
請求項 4 に記載の処理システム。

[請求項6]

前記人工ニューロンのパラメータは、閾値、活性状態、最後に活性化した時刻、出力、最後に活性化した時刻における出力、及び活性化時の出力の時間発展を定めるパラメータの少なくとも 1 つを含み、

前記人工シナプスのパラメータは、接続された人工ニューロンへの結合係数、前記人工シナプスが結びつけている 2 つの人工ニューロンが最後に同時に活性化した時刻である同時活性化時刻、当該同時活性

化時刻における結合係数、及び同時の活性化が生じた後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つと、前記人工シナプスの識別情報とを含む

請求項1から5のいずれか1項に記載の処理システム。

[請求項7]

前記複数の人工ニューロンには、内分泌物質の発生状態が定義された人工ニューロンである内分泌人工ニューロンが含まれ、

前記格納部は、前記内分泌人工ニューロンに人工シナプスで直接接続されていない他の人工ニューロン及び人工シナプスの少なくとも一方のパラメータに、前記内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方が与える影響を定めた影響定義情報を更に格納し、

前記処理部は、前記内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方と、前記影響定義情報とに基づいて、前記内分泌人工ニューロンに人工シナプスで直接接続されていない前記他の人工ニューロン及び人工シナプスの少なくとも一方のパラメータを更新する

請求項1から6のいずれか1項に記載の処理システム。

[請求項8]

前記内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方が影響を与える前記他の人工ニューロンのパラメータは、前記他の人工ニューロンの閾値、活性状態、及び、活性化時の出力の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含み、

前記内分泌人工ニューロンの出力及び活性状態の少なくとも一方が影響を与える人工シナプスのパラメータは、当該人工シナプスの結合係数、及び、当該人工シナプスが結びつけている2つの人工ニューロンが最後に同時に活性化した後の結合係数の時間発展を定めるパラメータの少なくとも1つを含む

請求項7に記載の処理システム。

[請求項9]

前記複数の人工ニューロンには、前記制御対象の現在の感情が定義された人工ニューロンである感情人工ニューロンを更に含み、

前記影響定義情報は、報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロ

ンの活性状態が前記感情人工ニューロンの閾値に与える影響を定めた情報を含み、

前記処理部は、前記内分泌人工ニューロンが活性化した場合に、前記影響定義情報に従って、前記感情人工ニューロンの閾値を更新する請求項7又は8に記載の処理システム。

[請求項10] 前記処理部は、前記複数の人工ニューロンのうちの一部の人工ニューロンのパラメータを、他の人工ニューロンのパラメータの更新頻度より高い頻度で更新する
請求項1から9のいずれか1項に記載の処理システム。

[請求項11] 前記処理部は、前記処理システムにおいて演算に利用可能なリソース量が予め定められた値より小さい場合に、前記一部の人工ニューロンのパラメータを、他の人工ニューロンのパラメータの更新頻度より高い頻度で更新する
請求項10に記載の処理システム。

[請求項12] 前記複数の人工ニューロンには、優先順位が予め割り当てられており、
前記処理部は、前記複数の人工ニューロンの中から、前記処理システムにおいて演算に利用可能なリソース量の範囲内でパラメータを更新可能な一部の人工ニューロンを前記優先順位に従って選択し、選択した前記一部の人工ニューロンのパラメータを、他の人工ニューロンのパラメータの更新頻度より高い頻度で更新する
請求項10又は11に記載の処理システム。

[請求項13] 前記ニューラルネットワークは、前記制御対象の状態が定義されていない人工ニューロンである非定義人工ニューロンを1以上含み、
前記処理部は、報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロンが活性化した場合に、前記非定義人工ニューロンのうち、当該内分泌人工ニューロン及び当該内分泌人工ニューロンと同時に活性状態にある他の人工ニューロンを接続する1以上の非定義人工ニューロンに接続さ

れた人工シナプスの結合係数を高める

請求項 1 から 1 2 のいずれか 1 項に記載に記載の処理システム。

[請求項14]

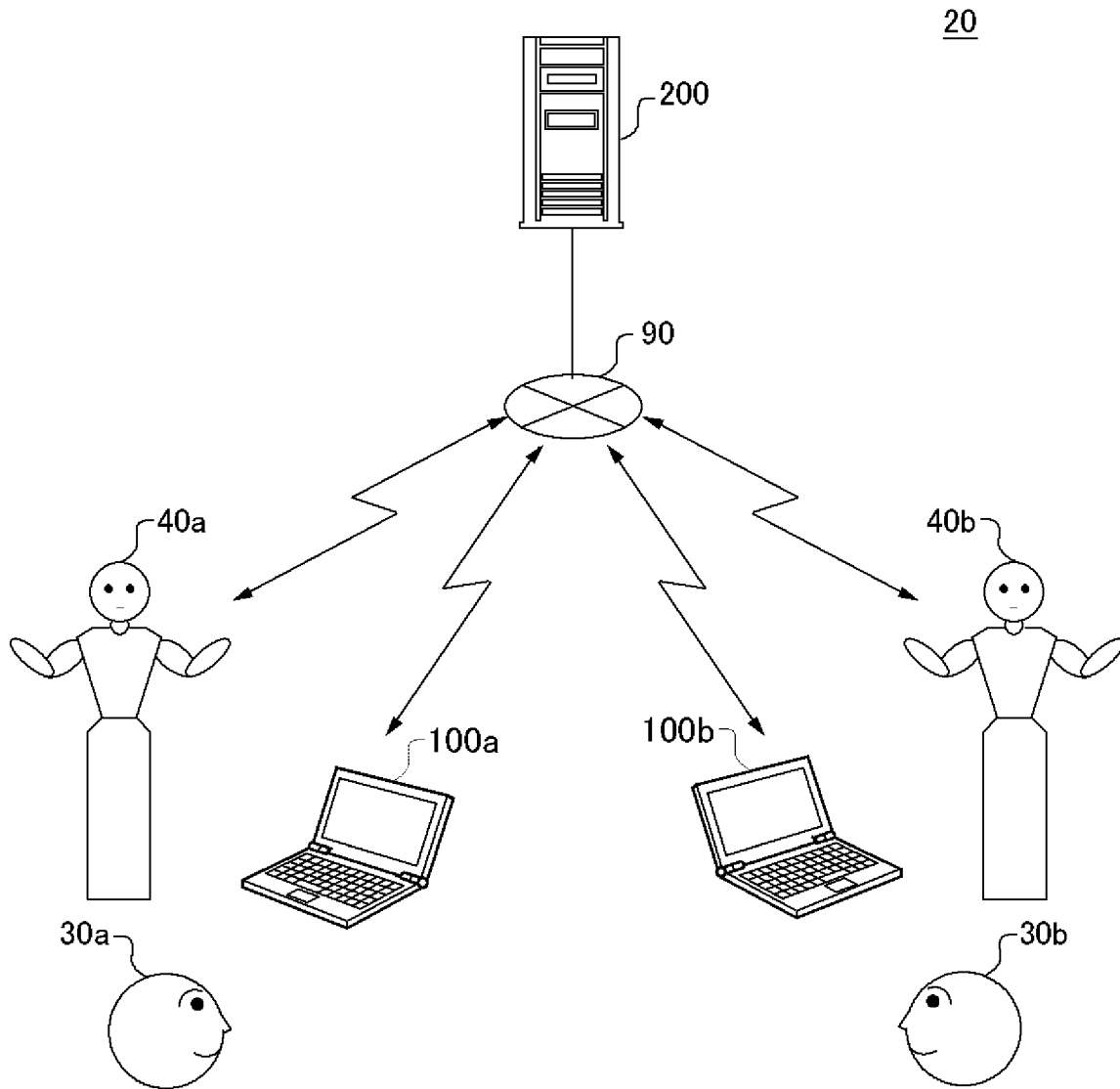
前記処理部は、前記報酬系に関連づけられた内分泌人工ニューロンと当該内分泌人工ニューロンと同時に活性状態にある他の人工ニューロンとの間を接続するルートのうち、前記非定義人工ニューロンに接続された人工シナプスの結合係数を考慮した人工ニューロン間の距離がより近いルートをより優先して選択して、選択したルートを提供する非定義人工ニューロンに接続された人工シナプスの結合係数を高める

請求項 1 3 に記載の処理システム。

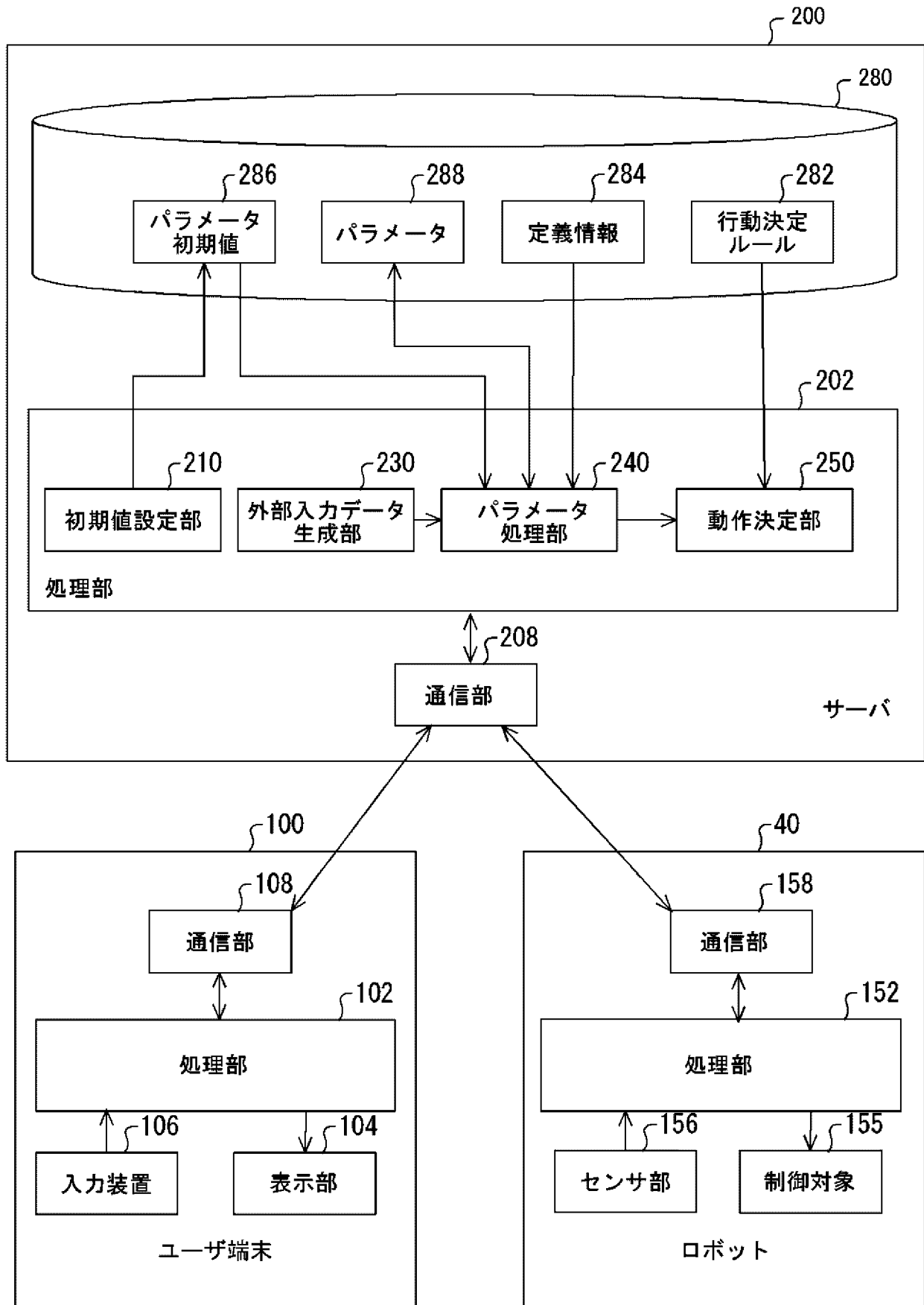
[請求項15]

コンピュータを、請求項 1 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の処理システムとして機能させるためのプログラム。

[図1]

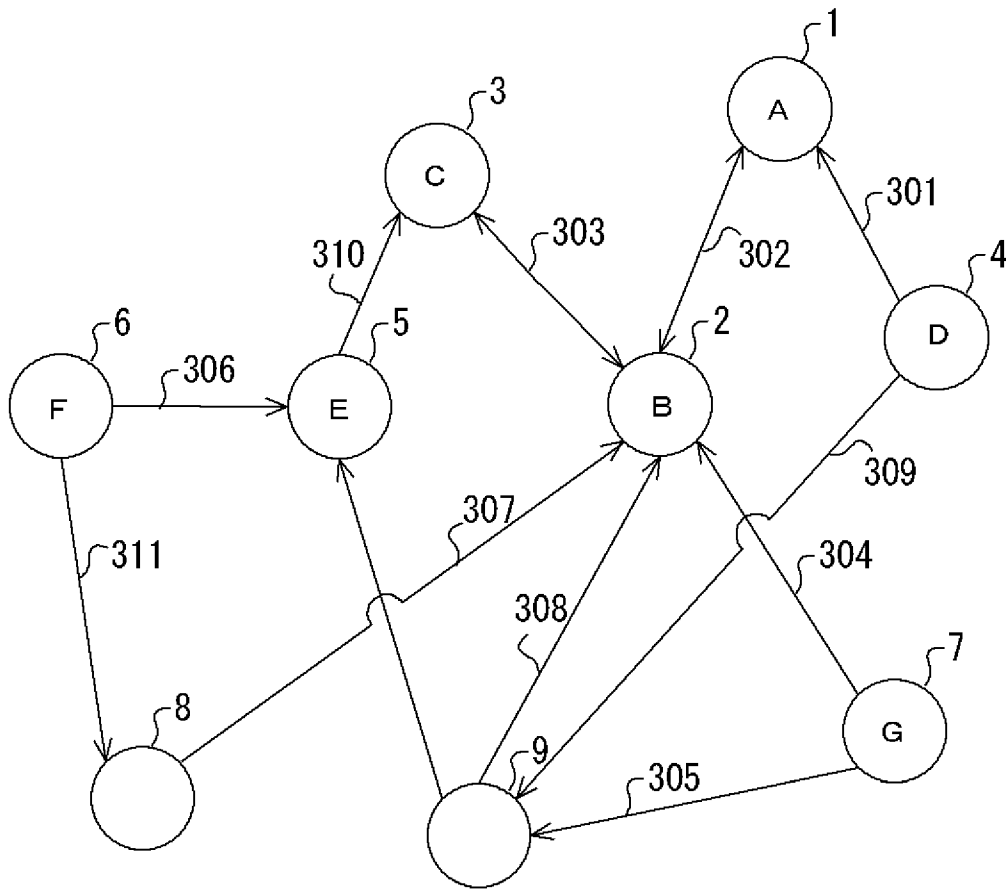


[図2]



[図3]

300



[図4]

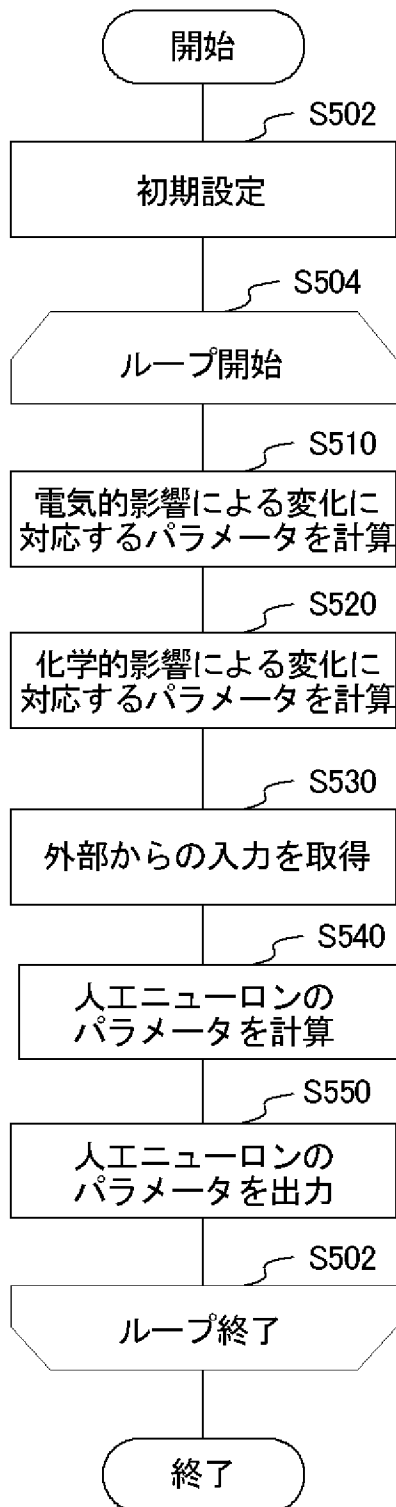
400

N^i	人工ニューロンのパラメータ				N^i に接続された人工シナプス $S^{j_1 i}$ のパラメータ				N^i に接続された人工シナプス $S^{j_2 i}$ のパラメータ				...	
	T_t^i	h_t^i	a_t^i	b_t^i	N^{j_1}	$BS_t^{j_1 i}$	$h_t^{j_1 i}$	$a_t^{j_1 i}$	$b_t^{j_1 i}$	N^{j_2}	$BS_t^{j_2 i}$	$h_t^{j_2 i}$		$a_t^{j_2 i}$
N^1	0.5	-	1.2	-0.4	N^2	0.6	h	-	-	N^4	0.0	-	0.01	-0.1
N^2	0.8	h	-	-	N^1	0.4	-	0.2	-0.05	N^3	1.3	-	0.5	-0.2
N^3	0.1	h	-	-	N^2	2.5	h	-	-	N^5	-0.8	-	-0.3	0.1
N^4	1.2	-	0.2	-0.1	N^1	0.1	-	0.01	-0.01	-	-	-	-	-
...

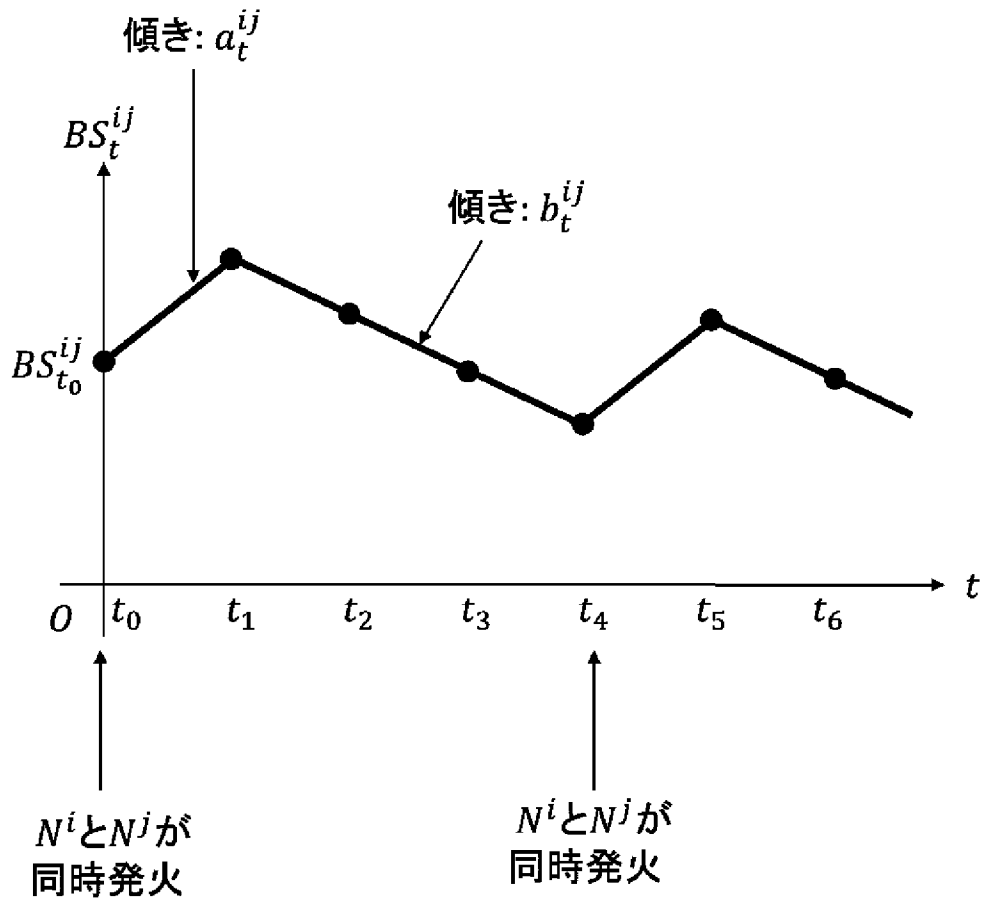
保存

リセット

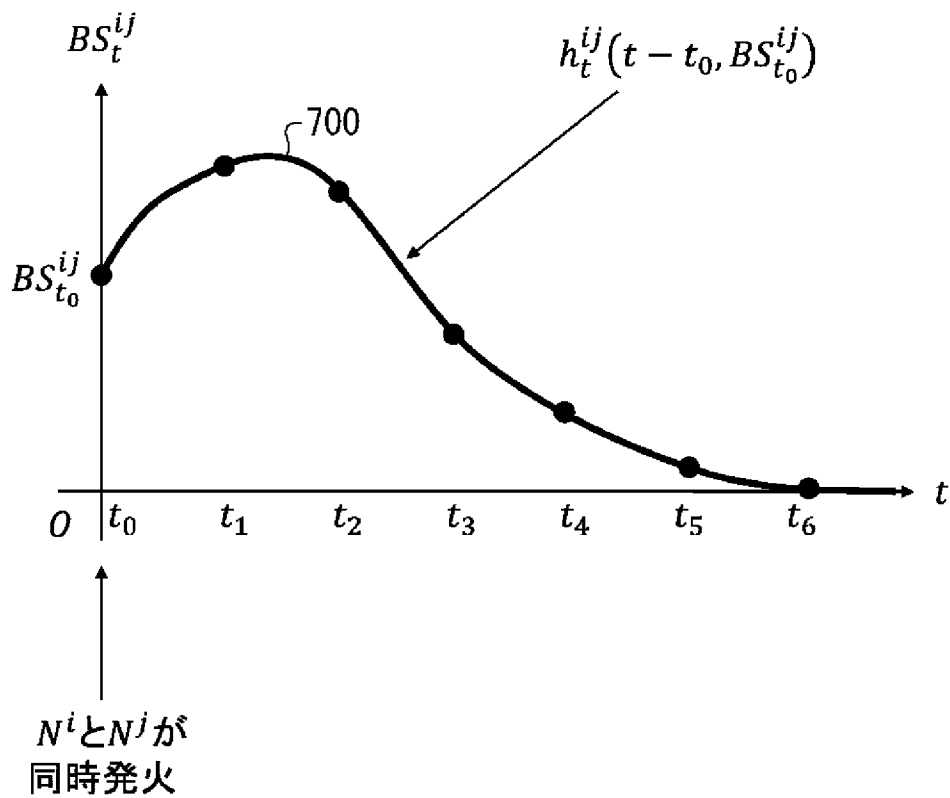
[図5]



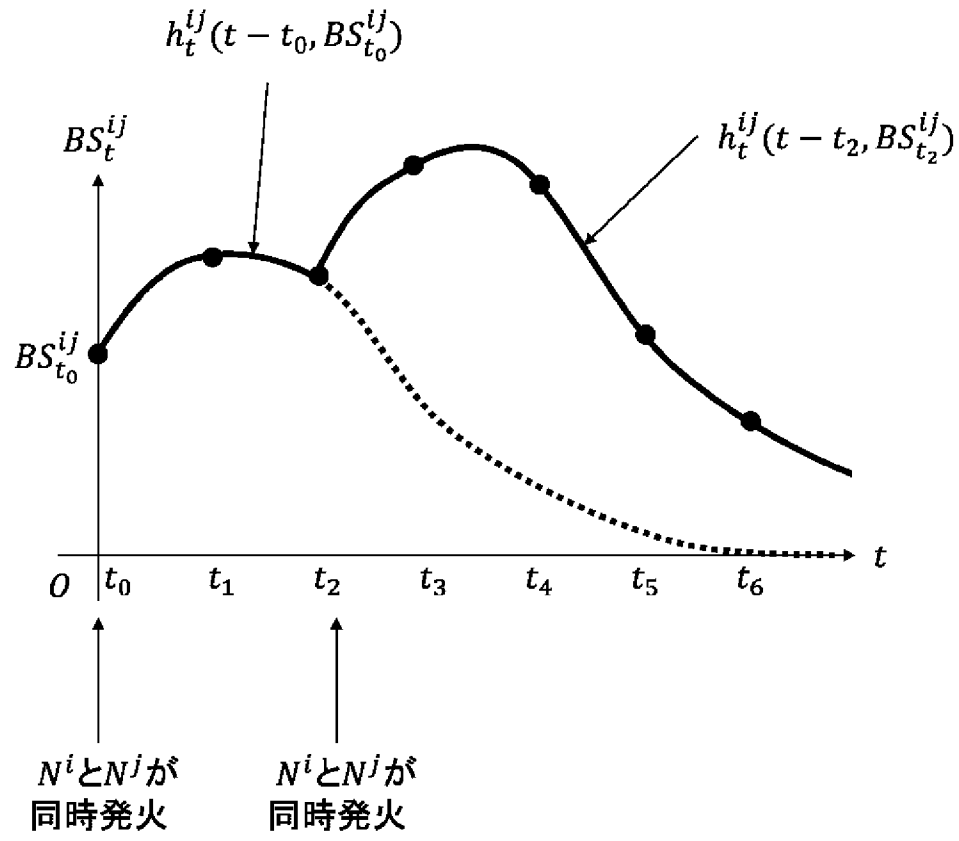
[図6]



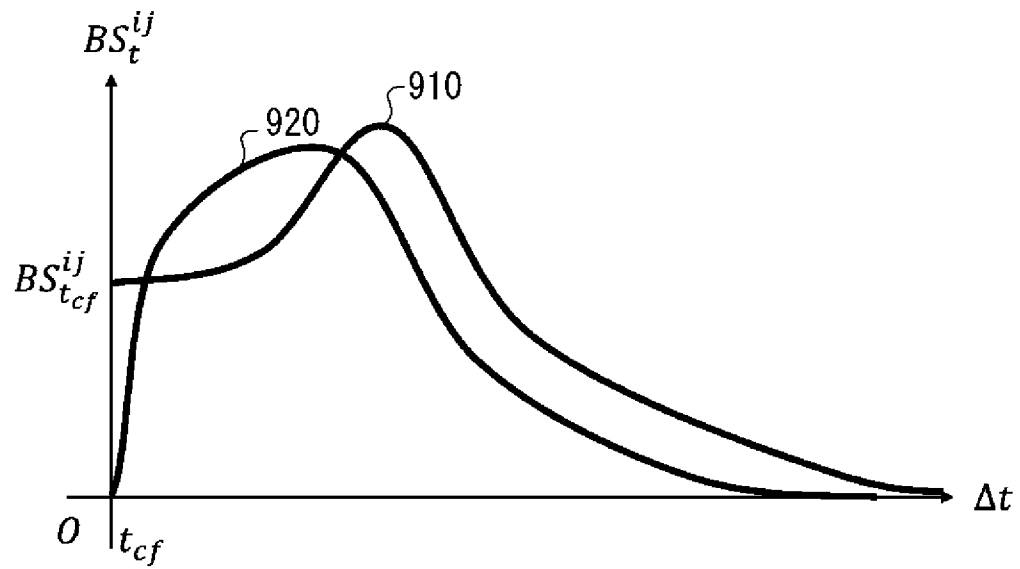
[図7]



[図8]



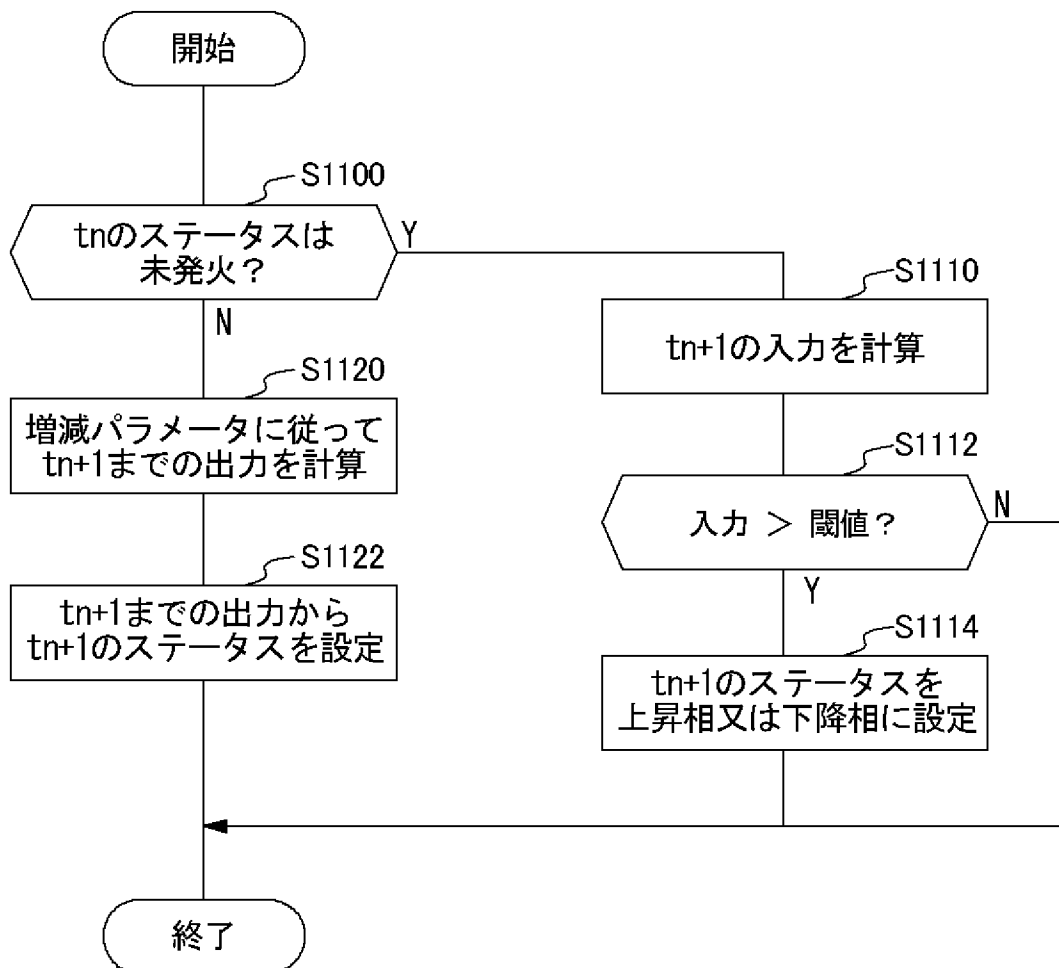
[図9]



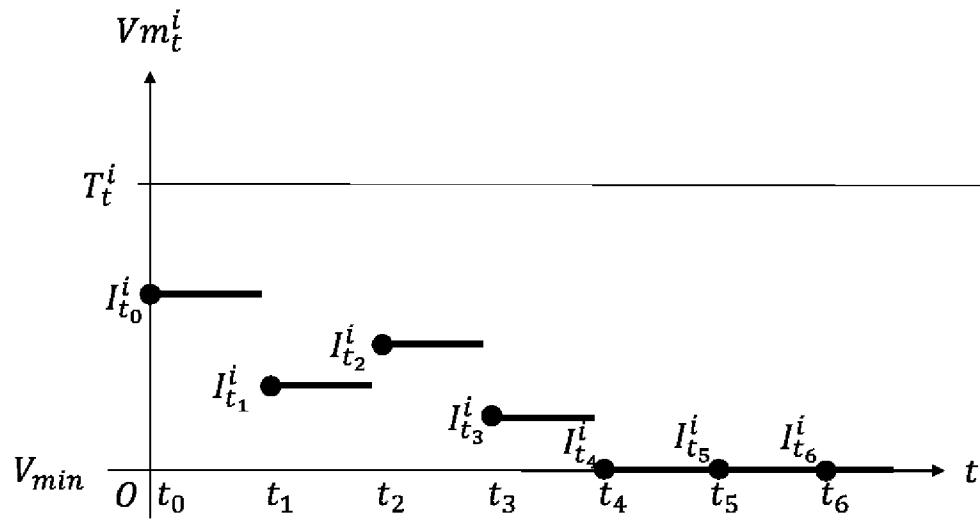
[図10]

条件	影響範囲	影響の式
$Vm_{t_n}^2 > T_{t_n}^2$	N^1, N^3	$T_{t_{n+1}}^i = T_{t_n}^i \times 1.1$ ($i = 1, 3$)
$Vm_{t_n}^5 > T_{t_n}^5$ $Vm_{t_n}^4 > T_{t_n}^4$	S^{49}, S^{95}	$a_{t_{n+1}}^{ij} = a_{t_n}^{ij} \times 1.1$ ($ij = 49, 95$)
$Vm_{t_n}^5 > T_{t_n}^5$	N^1	$T_{t_{n+1}}^i = T_{t_n}^i \times 0.9$ ($i = 1$)
...

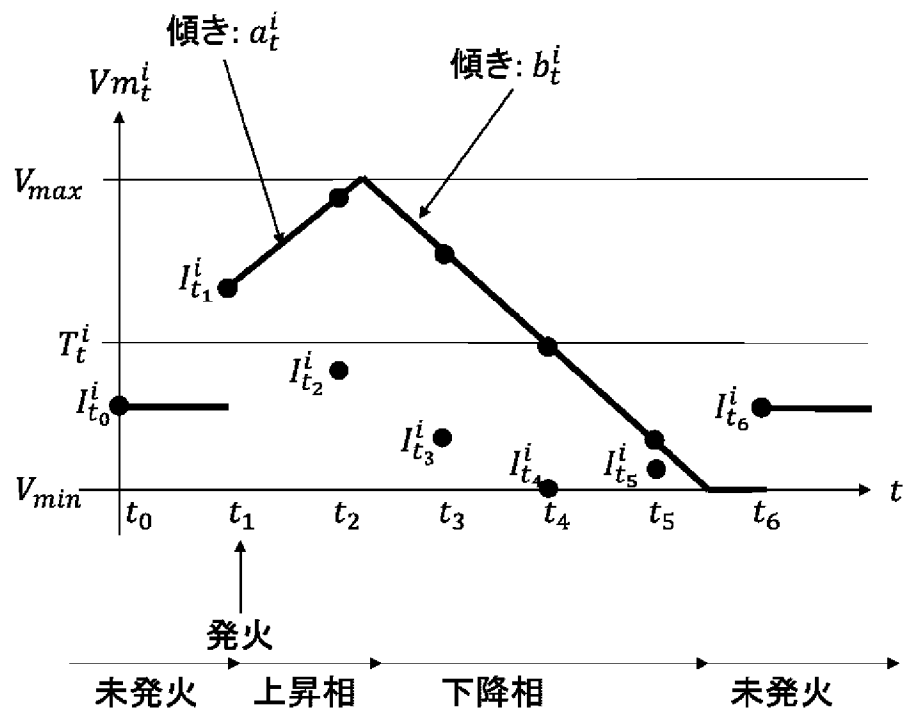
[図11]



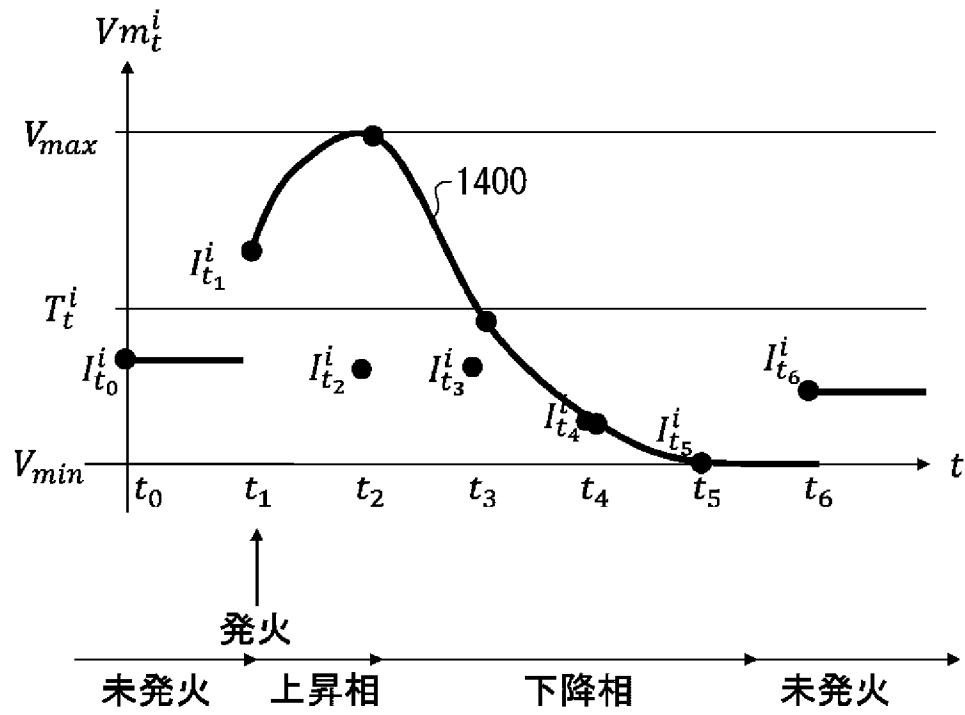
[図12]



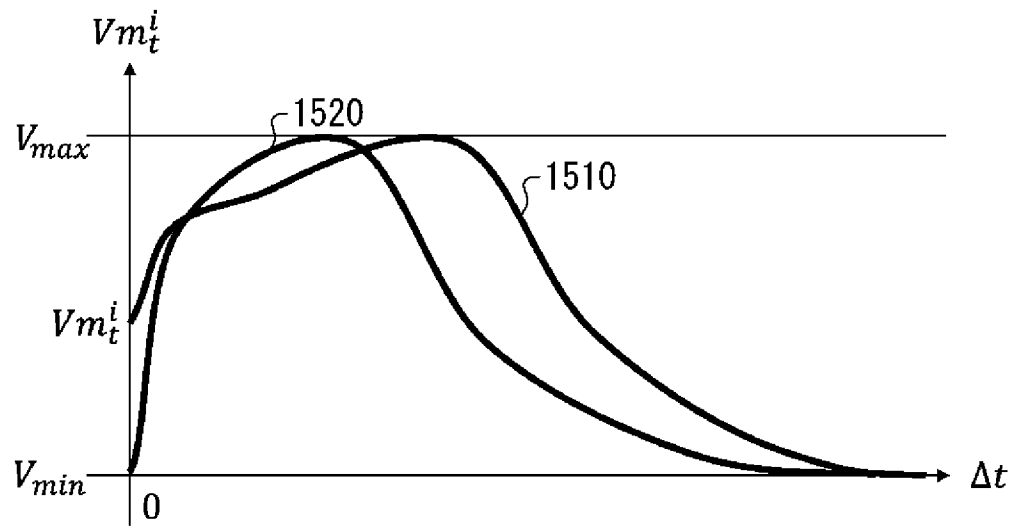
[図13]



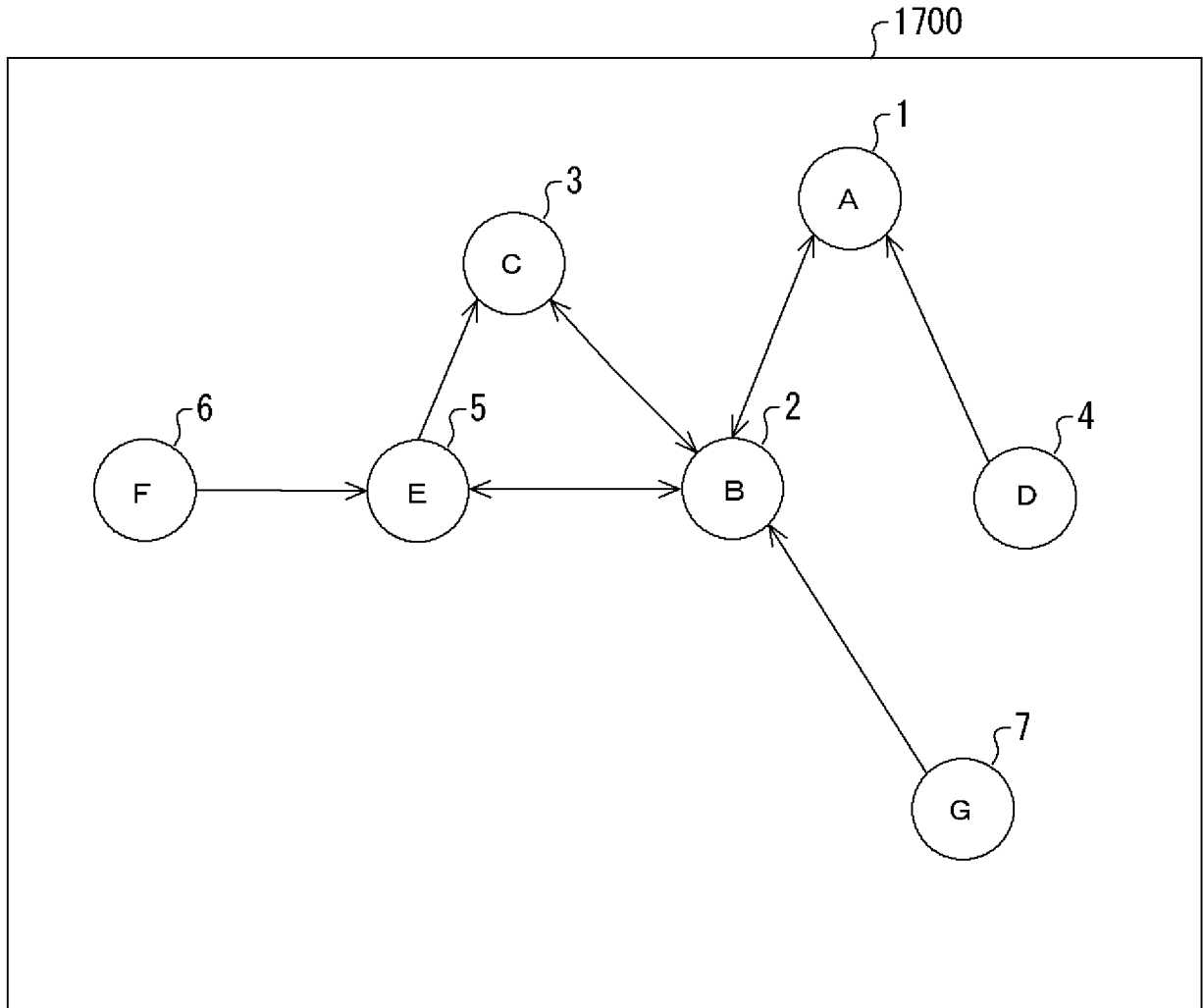
[図14]



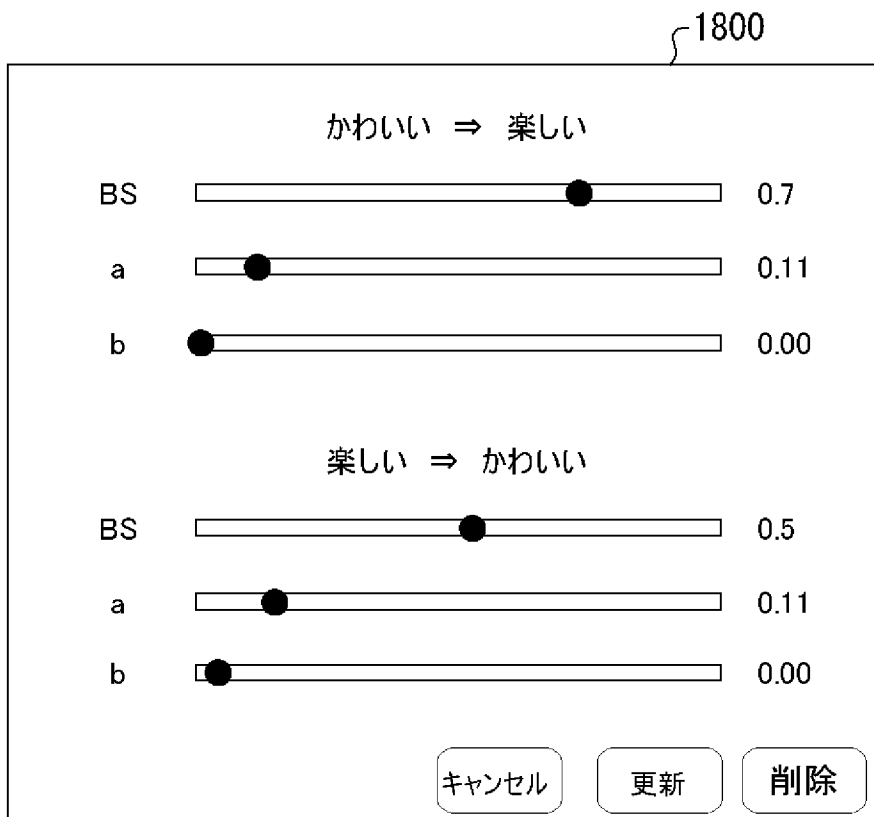
[図15]



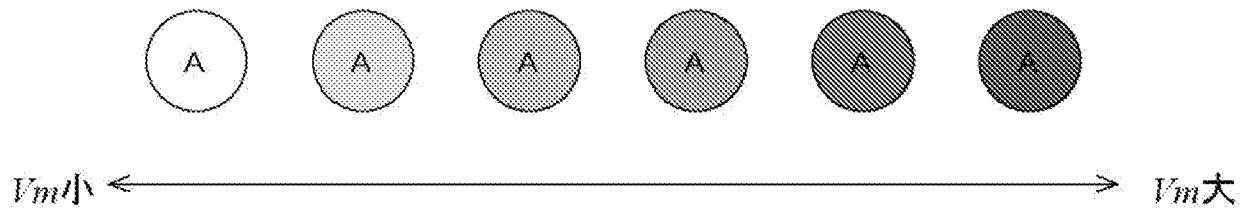
[図17]



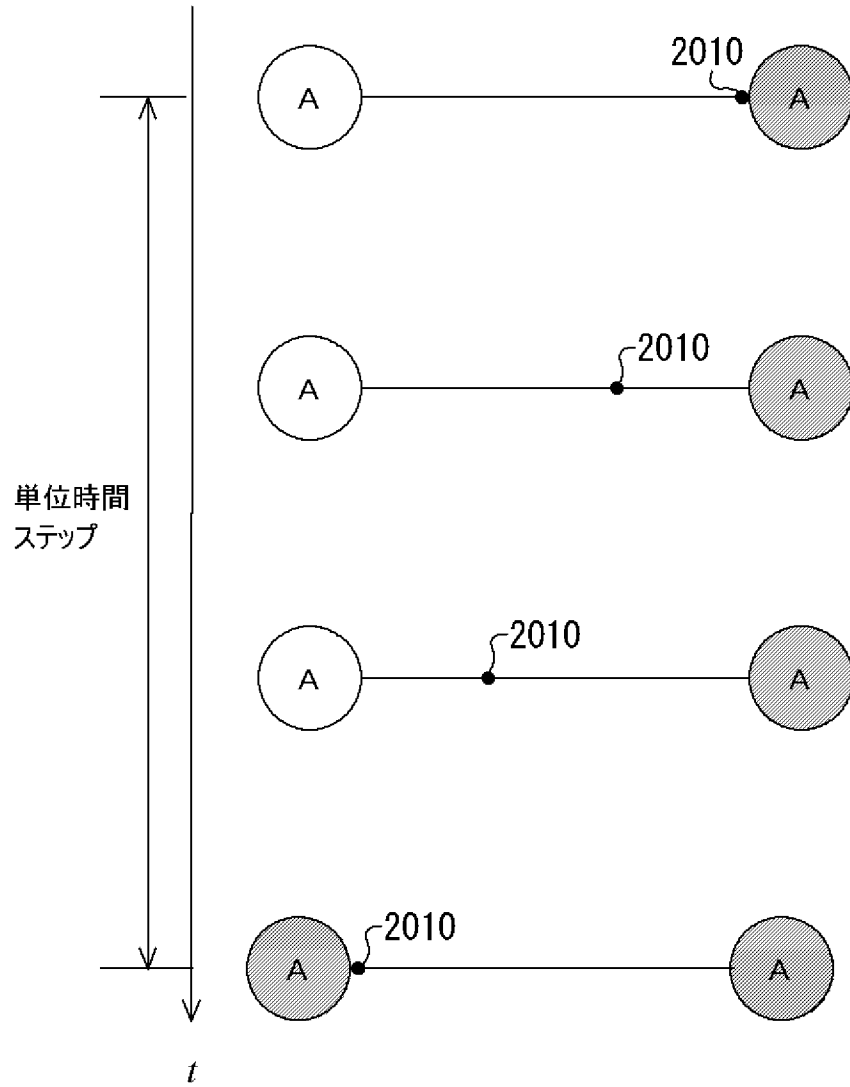
[図18]



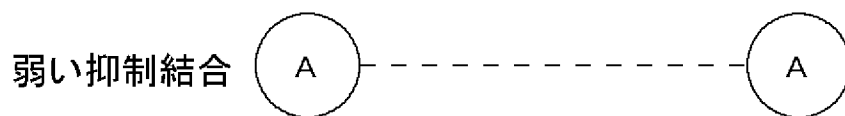
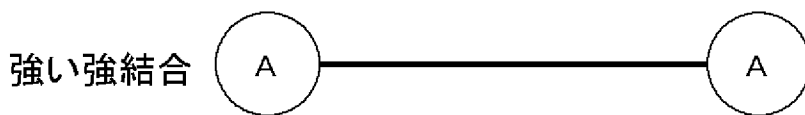
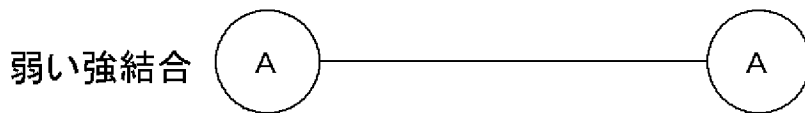
[図19]



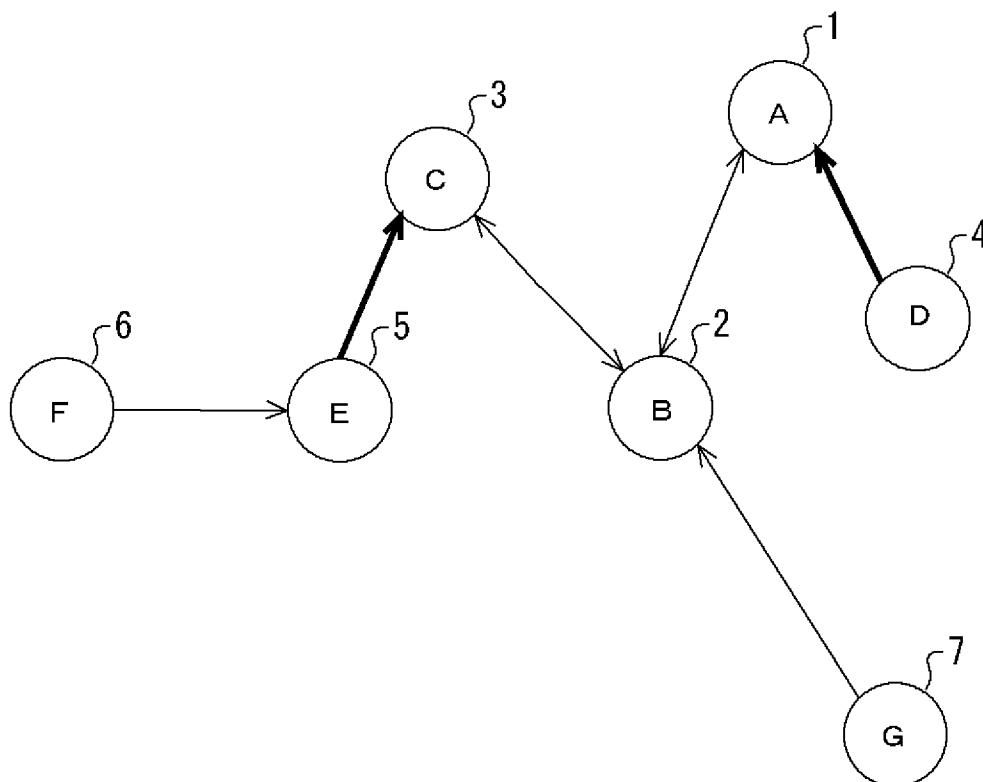
[図20]



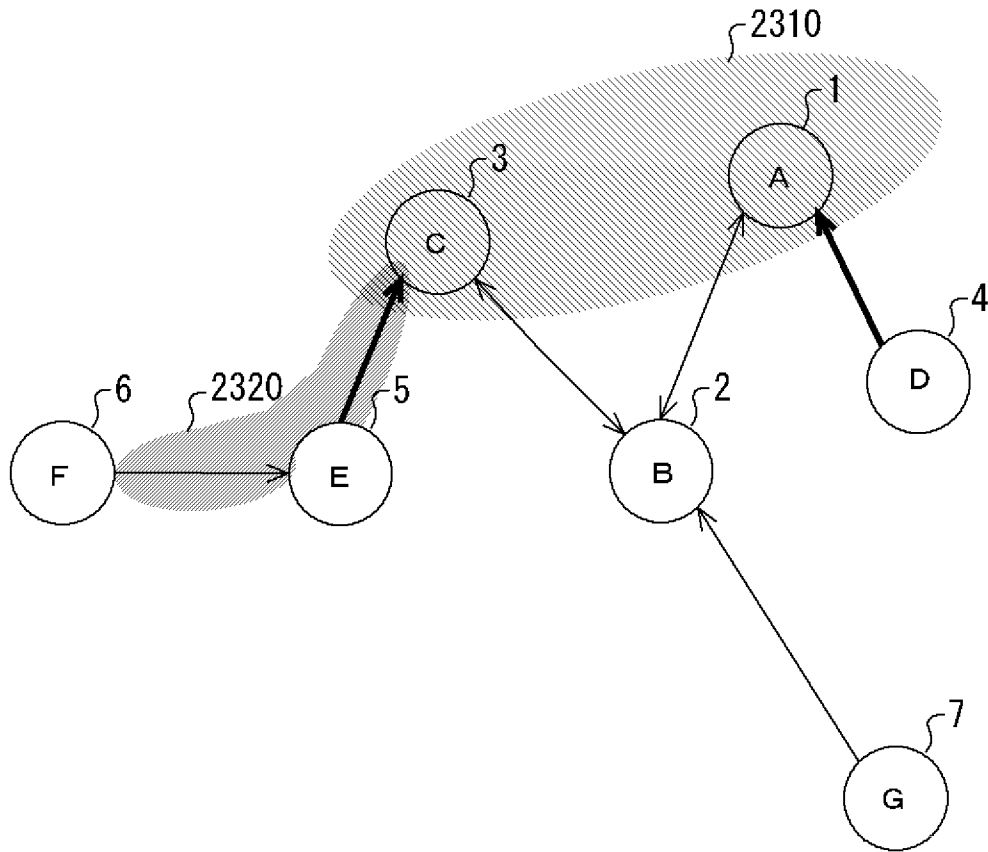
[図21]



[図22]



[図23]



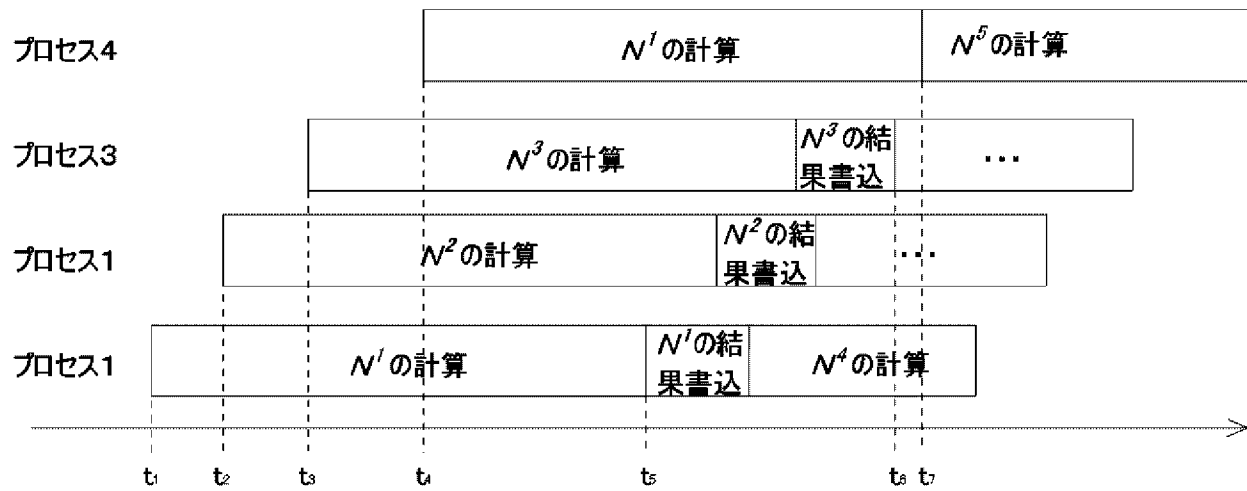
[図24]

優先人工ニューロン	優先順位	関連人工ニューロン
N^{10}	1	N^{12}, N^{13}
N^{11}	2	N^{13}, N^{14}
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

[図26]

人工ニューロン	人工ニューロンのパラメータ	人工シナプス1のパラメータ	人工シナプス2のパラメータ	人工シナプス3のパラメータ	人工シナプス4のパラメータ
N1	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算
N2	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算
N3	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算
N4	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算
N5	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算

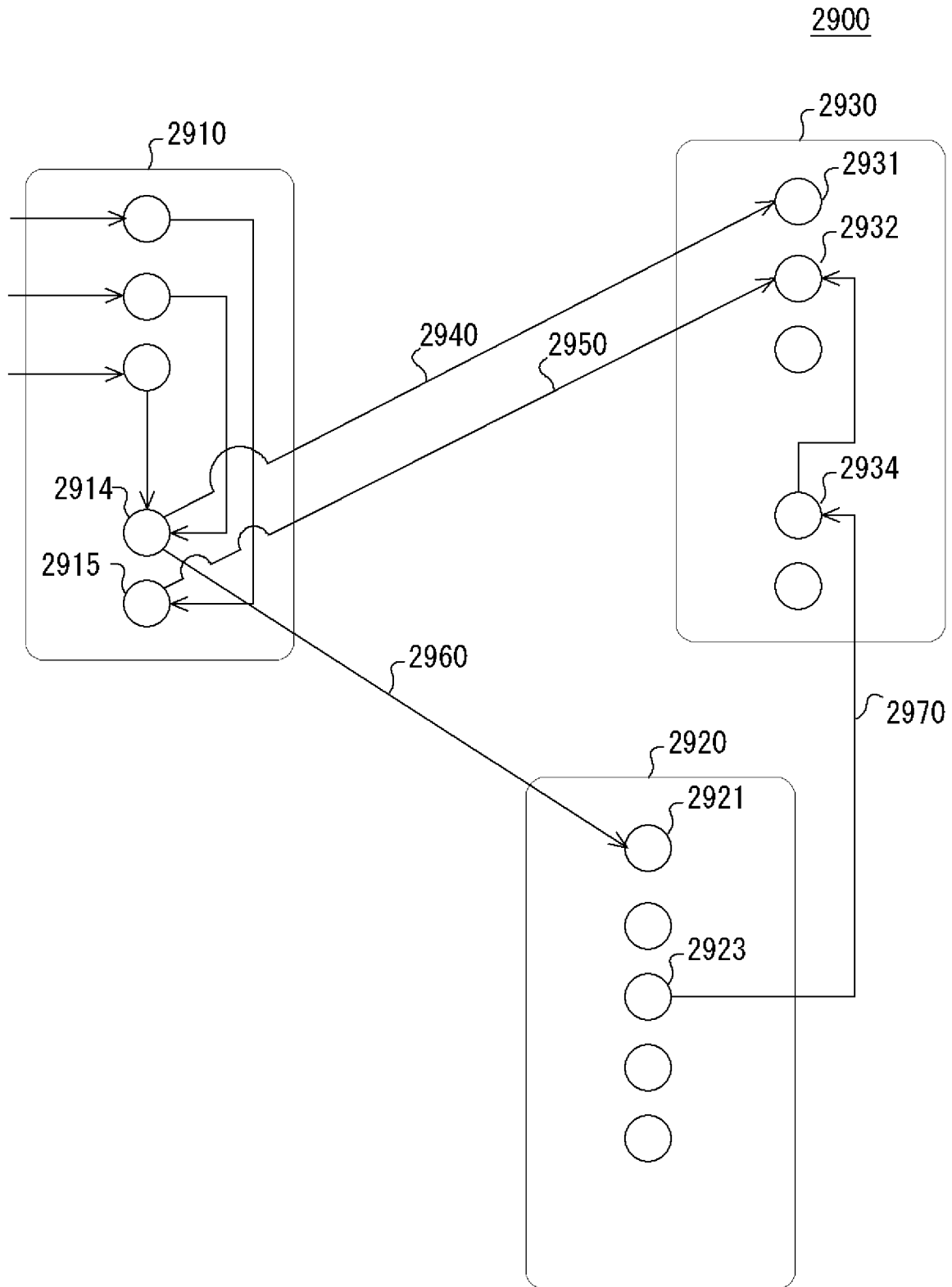
[図27]



[図28]

人工ニューロン	人工ニューロンのパラメータ	人工シナプス1のパラメータ	人工シナプス2のパラメータ	人工シナプス3のパラメータ	人工シナプス4のパラメータ
N1	計算済	計算済	計算済	計算済	計算済
N2	計算済	計算済	計算済	計算済	計算済
N3	計算済	計算済	計算済	計算済	計算済
N4	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算
N5	未計算	未計算	未計算	未計算	未計算

[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/061840

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06N3/10(2006.01) i</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>														
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06N3/02-3/10, G06F9/46-9/54</p> <p>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 1996-2015 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>														
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2009-522684 A (VISEL, Thomas, A.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0092] to [0111], [0193] to [0207] & WO 2007/081307 A1</td> <td align="center">1-15</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2013-529342 A (The Regents of the University of California), 18 July 2013 (18.07.2013), abstract; paragraphs [0030] to [0041] & US 2011/0289034 A1 & US 2014/0172763 A1 & WO 2011/146147 A1 & CA 2799167 A1 & CN 102947818 A & KR 10-2013-0111956 A</td> <td align="center">1-15</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2010-287062 A (Honda Motor Co., Ltd.), 24 December 2010 (24.12.2010), paragraphs [0009] to [0016] (Family: none)</td> <td align="center">1-15</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	JP 2009-522684 A (VISEL, Thomas, A.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0092] to [0111], [0193] to [0207] & WO 2007/081307 A1	1-15	A	JP 2013-529342 A (The Regents of the University of California), 18 July 2013 (18.07.2013), abstract; paragraphs [0030] to [0041] & US 2011/0289034 A1 & US 2014/0172763 A1 & WO 2011/146147 A1 & CA 2799167 A1 & CN 102947818 A & KR 10-2013-0111956 A	1-15	A	JP 2010-287062 A (Honda Motor Co., Ltd.), 24 December 2010 (24.12.2010), paragraphs [0009] to [0016] (Family: none)	1-15
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
A	JP 2009-522684 A (VISEL, Thomas, A.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0092] to [0111], [0193] to [0207] & WO 2007/081307 A1	1-15												
A	JP 2013-529342 A (The Regents of the University of California), 18 July 2013 (18.07.2013), abstract; paragraphs [0030] to [0041] & US 2011/0289034 A1 & US 2014/0172763 A1 & WO 2011/146147 A1 & CA 2799167 A1 & CN 102947818 A & KR 10-2013-0111956 A	1-15												
A	JP 2010-287062 A (Honda Motor Co., Ltd.), 24 December 2010 (24.12.2010), paragraphs [0009] to [0016] (Family: none)	1-15												
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>														
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>										
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>													
<p>Date of the actual completion of the international search 03 July 2015 (03.07.15)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 21 July 2015 (21.07.15)</p>												
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan</p>		<p>Authorized officer</p> <p>Telephone No.</p>												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/061840

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6-52140 A (Mikuni Corp.), 25 February 1994 (25.02.1994), paragraphs [0003] to [0007]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G06N3/10(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（IPC）） Int.Cl. G06N3/02-3/10, G06F9/46-9/54		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015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 請求項の番号
A	JP 2009-522684 A (ヴィゼル、トーマス・エイ) 2009.06.11, 【0092】 - 【0111】 , 【0193】 - 【0207】 & WO 2007/081307 A1	1 - 15
A	JP 2013-529342 A (ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ カリフォルニア) 2013.07.18, 【要約】 , 【0030】 - 【0041】 & US 2011/0289034 A1 & US 2014/0172763 A1 & WO 2011/146147 A1 & CA 2799167 A1 & CN 102947818 A & KR 10-2013-0111956 A	1 - 15
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 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 03.07.2015	国際調査報告の発送日 21.07.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 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） 多賀 実 電話番号 03-3581-1101 内線 3545	5B 9367

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 請求項の番号
A	JP 2010-287062 A (本田技研工業株式会社) 2010.12.24, 【0009】 - 【0016】 (ファミリーなし)	1 - 15
A	JP 6-52140 A (株式会社ミクニ) 1994.02.25, 【0003】 - 【0007】 , 図 1-5 (ファミリーなし)	1 - 15