

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2021 年 1 月 7 日 (07.01.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/000890 A1

(51) 国际专利分类号:
G06N 3/063 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/099714

(22) 国际申请日: 2020 年 7 月 1 日 (01.07.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910588964.5 2019 年 7 月 2 日 (02.07.2019) CN

(71) 申请人: 深圳忆海原识科技有限公司(NEUROCEAN TECHNOLOGIES INC.) [CN/CN];
中国广东省深圳市龙岗区坂田街道岗头社区天安云谷产业园一期 2 栋 201,
Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 任化龙(REN, Hualong); 中国广东省深圳市龙岗区坂田街道岗头社区天安云谷产业园一期 2 栋 201, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳中一联合知识产权代理有限公司(SHENZHEN ZHONGYI UNION INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省深圳市福田区园岭街道深南中路 1014 号报春大厦 9 楼 (5 号信箱), Guangdong 518028 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) Title: SPIKING NEURAL NETWORK COMPUTING SYSTEM AND METHOD FOR BRAIN-LIKE INTELLIGENCE AND COGNITIVE COMPUTING

(54) 发明名称: 用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统与方法

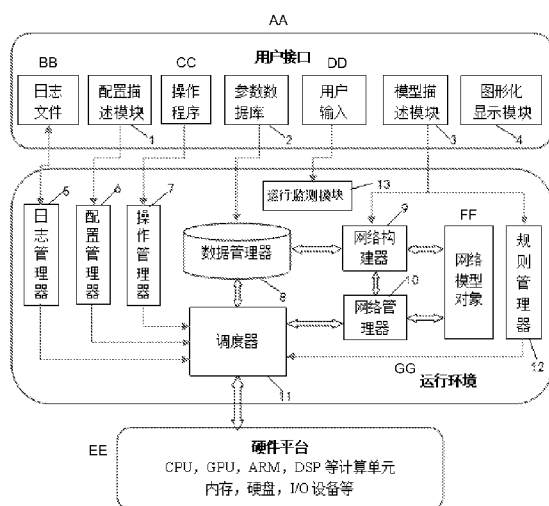


图 1

- 1 Configuration description module
- 2 Parameter database
- 3 Model description module
- 4 Graphical display module
- 5 Log manager
- 6 Configuration manager
- 7 Operation manager
- 8 Data manager
- 9 Network builder
- 10 Network manager
- 11 Scheduler
- 12 Rule manager
- AA User interface
- BB Log file
- CC Operation program
- DD User input
- EE Hardware platform/CPU, GPU, ARM and like computing units/A memory, a hard disk, an I/O device and so on
- FF Network model object
- GG Operating environment

(57) Abstract: A spiking neural network computing system and method for brain-like intelligence and cognitive computing. The system comprises a model description module (3), a parameter database (2), a configuration description module (1), a configuration manager (6), a rule manager (12), a data manager (8), a network builder (9), a network manager (10), an operation manager (7), a scheduler (11), a log manager (5), an operation monitoring module (13) and a graphical display module (4). The system provides the function of automatically executing synapse and neuron cutting and regeneration according to certain conditions and rules, and provides a variety of flexible trigger conditions for starting up cutting and regeneration processes as well as rules for executing the processes, which eliminates the burden of neural network developers needing to write synapse and neuron cutting and regeneration programs by themselves, thereby effectively solving several problems in existing brain-like spiking neural network computing frameworks.

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (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)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法, 该系统包括模型描述模块(3)、参数数据库(2)、配置描述模块(1)、配置管理器(6)、规则管理器(12)、数据管理器(8)、网络构建器(9)、网络管理器(10)、操作管理器(7)、调度器(11)、日志管理器(5)、运行监测模块(13)和图形化显示模块(4), 该系统提供了按照一定条件和规则自动执行突触和神经元裁剪与新生的功能, 并且提供了多种灵活的启动裁剪和新生过程的触发条件与执行过程的规则, 免去了神经网络开发者需要自行编写突触和神经元裁剪与新生程序的负担, 从而有效解决了现有的类脑脉冲神经网络运算框架存在的一些问题。

用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法

[0001] 本申请要求于2019年07月02日在中国专利局提交的、申请号为201910588964.5、发明名称为“用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

[0002] 本申请涉及类脑脉冲神经网络模拟和高性能计算技术领域，具体涉及一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法。

背景技术

[0003] 目前，类脑智能和认知计算以脉冲神经网络为基础，结合生物脑中的多种神经递质、神经调质、受体、电突触、化学突触、树突、神经元、胶质细胞的丰富工作机制进行计算建模，构造成的神经环路、神经核团、脑区和全脑模型，能够模拟生物脑的诸多认知机制和行为，如记忆与学习、模拟情感、导航与计划、运动控制、类脑视觉和类脑听觉、注意力、决策等等，为人工智能系统的发展提供了更广阔的路线。

[0004] 但是，现有的类脑脉冲神经网络运算框架存在着如下问题：

[0005] 1、没有提供统一而灵活的建模方式，也不能支持灵活的网络拓扑结构，因而不能在建模尺度和建模丰富度之间取得统一。例如，在建模尺度方面，现有的类脑脉冲神经网络运算框架大多不能支持并统一在分子尺度、神经递质与神经调质尺度、受体尺度、突触尺度、树突尺度、神经元尺度、胶质细胞尺度、神经环路尺度、神经核团尺度、神经纤维束尺度、脑区尺度、全脑尺度和行为尺度的建模。又如，在建模丰富度方面，现有的类脑脉冲神经网络运算框架往往忽略了支持电突触的建模，也忽略了支持模拟神经调质的工作机制，还忽略了支持模拟树突中多个突触间互相交换信息并进行逻辑运算的机制，也不能支持突触和突触直接连接的拓扑结构等等。

[0006] 2、没有提供模仿生物脑神经系统组织方式的描述方法。

- [0007] 3、没有集成足够丰富的内置功能和灵活的用户接口，如不能支持自动执行突触与神经元的裁剪与新生，需要用户自行编写程序实现相关功能。
- [0008] 4、不能将脉冲神经网络、传统神经网络、以及其他以张量为主要数据表征方式的算法有效地统一结合进行混合运算。
- [0009] 5、不能兼容CPU、ARM、GPU、DSP等芯片架构，对硬件资源的利用也大多不够优化，不适合将中等至大规模类脑神经网络高效运行于通用计算机和嵌入式设备。
- [0010] 上述问题的存在导致现有的类脑脉冲神经网络运算框架硬件平台建模范围有限、兼容性差、运算效率低、开发使用不便捷，很难实现将类脑智能和认知计算低成本大规模地部署于智能玩具、机器人、无人机、IoT设备、智能家居、车载系统等产品中。
- [0011] 因此，如何提供一种灵活高效的用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法是本领域技术人员亟需解决的问题。

发明概述

技术问题

- [0012] 本申请实施例的目的之一在于：提供一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法，该系统提供了统一而灵活的建模方式，而且提供的多层级树状结构的网络描述方式支持生物脑神经系统全尺度的建模和灵活的网络拓扑结构，从而将建模尺度和建模丰富度有机统一，并将各个尺度的全部模型融合为统一的神经网络进行运算，并且支持将数据以张量的形式表征和存储，这也使本系统既可以支持脉冲神经网络，也可以兼容传统神经网络（深度学习）以及其他以张量为主要数据表征方式的算法，还提供了按照一定条件和规则自动执行突触和神经元裁剪与新生的功能，免去了神经网络开发者需要自行实现相关功能的负担，从而有效解决了现有的类脑脉冲神经网络运算框架存在的上述问题。

问题的解决方案

技术解决方案

- [0013] 为解决上述技术问题，本申请实施例采用的技术方案是：

- [0014] 一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，所述系统包括：模型描述模块、参数数据库、配置描述模块、配置管理器、规则管理器、数据管理器、网络构建器、网络管理器、操作管理器、调度器、日志管理器、运行监测模块和图像化显示模块；
- [0015] 所述模型描述模块用于提供用户设计和描述网络模型的接口；
- [0016] 所述参数数据库用于存储网络的各项参数数据，包括初始化参数和运行时参数；参数数据库可选为二进制文件或文本文件；文本文件可采用CSV文件格式或以其他字符分隔数据的文件格式；
- [0017] 所述配置描述模块用于描述当前网络运行环境的配置参数和启动突触和神经元的裁剪与新生的条件；
- [0018] 所述配置管理器用于读取上述配置描述模块，以获取系统配置参数；
- [0019] 所述网络模型对象由网络构建器构造并驻留在内存中，用于表征整个网络，包括所有容器、拓扑关系和参数数据，是调度器调度运行的对象；
- [0020] 所述规则管理器用于读取模型描述模块中用户声明的规则，并在调度器调度网络模型对象的运算时对这些规则进行解释以及仲裁规则间的冲突；
- [0021] 所述数据管理器包括一种或多种解码器和编码器，用于读取、解析参数数据库，转换数据格式，以及将数据序列化；用户可以在数据管理器中添加自定义的解码器和编码器，以读写自定义格式的文件；
- [0022] 所述网络构建器用于读取模型描述模块，解析网络的拓扑结构，并通过数据管理器读取数据文件，在内存中构建网络模型对象；
- [0023] 所述网络管理器用于构建、遍历、访问和更新网络模型对象；
- [0024] 所述操作管理器用于管理所有可在本系统上运行的操作；所有的操作构成了操作库；用户可在模型描述模块中为各个容器指定需要执行的操作，运行时由调度器调度执行相应的操作；
- [0025] 所述调度器用于分配硬件资源和调度运算过程，优化运算效率；
- [0026] 所述日志管理器用于记录系统运行时生成的日志，提示用户系统的工作状态与异常，以便于调试和维护；
- [0027] 所述运行监测模块用于接收和响应用户输入并管理整个系统的运行状态，包含

有默认状态、网络构建状态、网络运行状态和网络暂停状态；

[0028] 所述图像化显示模块用于读取网络数据，并将其显示给用户，以便于开发、监测和调试。

[0029] 可选地，所述模型描述模块包括网络描述单元、汇聚描述单元、流通描述单元，共同用于描述整个网络的各个构成部分与拓扑结构；它们可以选为文本文件，采用嵌套式语法，可以选用XML或JSON的文件格式。

[0030] 可选地，所述模型描述模块采用模拟生物脑神经系统组织方式的多层级树状结构的网络描述方式；

[0031] 所述汇聚描述单元支持将网络中的节点按照预设层组和模块排列组织，用于表征生物脑中神经元及相关胶质细胞的多层级组织方式（如，核团→脑区→全脑）；

[0032] 所述流通描述单元支持将网络中的边按照拓扑（连接关系）相似性分组和层级排列组织，用于表征生物脑中神经突触的多种组织方式（如树突、神经通路中的投射、神经纤维束等）及相关胶质细胞的突起的组织方式。

[0033] 可选地，所述网络描述单元用于描述Network及Param等容器、描述整个网络的参数与运行规则，并通过链接指向一个或多个汇聚描述单元和流通描述单元；

[0034] 所述汇聚描述单元用于描述Confluence、Module、Layer、Node、NodeParam和Param等容器，并用于描述网络中节点的模块与层组划分关系、各个容器的参数与运行时的规则和命令；

[0035] 所述流通描述单元用于描述Flow、Channel、Link、Edge、EdgeParam和Param等容器，并用于描述网络中边的连接（拓扑）关系、各个容器的参数与运行时的规则和命令。

[0036] 可选地，所述Network表示网络容器，位于树状结构的第一层级（最顶级），用于表征全脑和行为尺度的模型，每个Network可以容纳一个或多个Confluence和Flow；

[0037] 所述Confluence表示汇聚容器，位于树状结构的第二层级，可用于表征脑区尺度的模型，每个Confluence可以容纳一个或多个Module；

[0038] 所述Module表示模块容器，位于树状结构的第三层级，可用于表征神经核团尺

度的模型，每个Module可以容纳一个或多个Layer；

[0039] 所述Layer表示层组容器，位于树状结构的第四层级，可用于表征神经环路尺度的模型，每个Layer可以容纳一个或多个Node；

[0040] 所述Node表示节点容器，位于树状结构的第五层级，可用于表征神经元尺度或胶质细胞尺度的模型，也可用于表征一群神经元或胶质细胞，每个Node可以容纳一个或多个NodeParam；

[0041] 所述Node还可用于表征输入、输出节点，用于对接系统的I/O设备，如摄像头输入、音频输入、传感器输入、控制输出等，读写I/O设备的数据通过该Node的各个NodeParam动态更新；

[0042] 所述NodeParam表示节点参数容器，位于树状结构的第六层级（最低级），可用于表征分子尺度、受体尺度、神经递质或神经调质尺度的模型，也可用于表征一群神经元或胶质细胞模型的参数张量；

[0043] 所述Flow表示流通容器，位于树状结构的第二层级，可用于表征联接脑区间的神经纤维束尺度的模型，每个Flow可以容纳一个或多个Channel；

[0044] 所述Channel表示通道容器，位于树状结构的第三层级，可用于表征由联接神经核团间的轴突构成的传导束的模型，每个Channel可以容纳一个或多个Link；

[0045] 所述Link表示连接容器，位于树状结构的第四层级，可用于表征神经环路中由轴突构成的神经通路的模型，每个Link可以容纳一个或多个Edge；

[0046] 所述Edge表示边容器，位于树状结构的第五层级，可用于表征树突尺度或突触尺度的模型，也可用于表征一群突触或胶质细胞的突起，每个Edge可以容纳一个或多个EdgeParam；

[0047] 所述EdgeParam表示边参数容器，位于树状结构的第六层级（最低级），可用于表征分子尺度、神经递质或神经调质尺度、受体尺度的模型，也可用于表征一群突触或胶质细胞的突起模型的参数张量；

[0048] 所述Param表示一般参数容器，属于辅助容器。根据建模的需要，上述各层级的容器都可以额外带有一个或多个Param，用于以张量的形式容纳参数数据；或者，上述各个层级的容器也可以不带有Param；

[0049] 上述每个容器都有编号和名称，用于在多层级树状结构中索引；

- [0050] 上述每个容器都有一个或多个控制块 (Control Block) 用于存储统计和控制信息, 包括网络的遍历次序与规则、已参与遍历运算的次数、数据是否已入驻主内存、数据是否已入驻协处理器内存、硬盘读写的频次等, 并由规则管理器和调度器管理和更新。
- [0051] 可选地, 所述神经元模型的发放特性可以构建为紧张性发放、快速发放、爆发式发放、峰发放或相位性发放等;
- [0052] 所述神经元模型对于上游输入信号的响应可以构建为不同的神经适应性或敏感性曲线;
- [0053] 所述神经元模型对于下游的作用机制可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的模型;
- [0054] 所述神经元模型可以构建为脉冲神经元模型, 也可以构建为传统神经元模型;
- [0055] 所述胶质细胞模型可以构建为星形胶质细胞、少突胶质细胞、小胶质细胞、施万细胞和卫星细胞模型。
- [0056] 可选地, 所述神经递质或神经调质模型可以构建为兴奋型的、抑制型的或调制型的模型;
- [0057] 所述受体模型可构建为离子型的或代谢型的模型;
- [0058] 所述受体模型对于神经递质或神经调质的响应效果可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的模型。
- [0059] 可选地, 所述树突尺度的模型可以构建为顶树突模型、基树突模型或突棘模型;
- [0060] 所述突触模型可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的。
- [0061] 可选地, 所述分子尺度的模型可以构建为细胞内分子模型、细胞膜中分子模型和细胞间隙分子模型。
- [0062] 可选地, 所述NodeParam、EdgeParam以及Param内部可采用张量 (即多维矩阵) 的形式容纳参数,
- [0063] 所述张量的维度可以是1维或多维, 具体排列和使用方式由用户指定;
- [0064] 所述张量可以配置为4维, 各个参数在张量中的位置可以由坐标 (x, y, z, t) 表示, 其中x, y, z三个维度对应于父级容器中表征的各个神经组织 (如神经元或

突触等)模型的空间排布位置, t 代表时间维度, 可表征时序信息的缓存和延迟, 可用于模拟神经调质对神经元和突触的长时间作用机制(具有延迟性);

[0065] 所述张量中的参数可以由父级容器中全体或部分神经组织(如神经元或突触等)模型共享, 可用于模拟神经调质对目标区域中的全部神经组织的大面积作用。

[0066] 可选地, 所述Flow及其所有子级容器都可以对应于一个或多个上游容器, 和一个或多个下游容器, 并通过上、下游容器的编号或名称对它们进行索引访问,

[0067] 所述上游容器和下游容器都可以是任意层级的容器, 二者可以是同一个或者不同的容器;

[0068] 所述Flow及其所有子级容器都可与其上、下游容器构成信息流动通路, 表征信息在两个信息源(如上游容器和下游容器)间的(单向或双向)流动和处理过程, 网络中的多个容器间可构成信息流动的任意拓扑结构。

[0069] 可选地, 所述信息的流动和处理过程可用于实现神经脉冲通过突触在神经元间传导、突触和突触之间交换信息、神经元与突触可塑性等多种生物脑神经机制。

[0070] 可选地, 所述信息流动的任意拓扑结构, 可用于实现脑神经系统中任意的神经环路连接方式, 包括支持同一个神经元连回自己的反馈连接、同一群(层)的神经元互相之间的连接、不同群(层)神经元之间的任意连接(顺次/前馈、跨层、反馈等), 以及突触和突触的直接连接, 并且允许反馈型连接的无限次循环计算。

[0071] 可选地, 所述系统支持将任何层级(或尺度)的模型分解为数据(data)和操作(operation)两部分的建模设计方式,

[0072] 所述数据可由NodeParam、EdgeParam或Param容纳, 并由对应的参数数据库存储;

[0073] 所述操作是用于访问和更新前述数据的可执行程序(如函数及包含函数的类), 操作可以运行在通用CPU、ARM、DSP、GPU或其他处理器, 以保证所述系统具有一定跨硬件平台通用性。

- [0074] 可选地，所述系统支持用户通过定义一种或多种操作，使同一个Node中的各个神经元（无需通过Edge）直接互相访问和更新彼此的数据，以实现信息的快速交换，用于模拟生物脑神经系统中的电突触。
- [0075] 可选地，所述系统支持用户通过定义一种或多种操作，使同一个Edge中的各个突触直接互相访问和更新彼此的数据，以实现信息的快速交换，用于模拟生物脑神经系统中同一个神经元的树突上多个突触间互相交换信息并进行逻辑运算的情况，包括分流抑制（shunting inhibition）等机制。
- [0076] 可选地，所述系统支持按照预设触发条件和执行规则自动执行突触和神经元的裁剪与新生的功能，
- [0077] 所述触发条件可以由用户在所述配置描述模块中指定；
- [0078] 所述执行规则可以由用户在所述模型描述模块中指定；
- [0079] 所述执行规则可以作用于整个网络模型对象，也可以作用于子网络或特定容器；
- [0080] 所述突触和神经元的裁剪与新生过程由调度器调度执行，可以在网络运行状态时执行，也可在网络暂停状态时执行。
- [0081] 可选地，所述触发条件包括下面的一种或任几种：
- [0082] 用户命令，即用户通过键盘或鼠标及其他方式输入命令给本系统，本系统接收到命令后即刻或第一预设时间后执行裁剪或新生过程；
- [0083] 持续执行，即当网络模型或其子区域达到符合裁剪或新生过程的规则时，就执行裁剪或新生过程；
- [0084] 间隔执行，即系统按照第一预设时间间隔或第一预设遍历周期，适时地自动启动裁剪或新生过程。
- [0085] 可选地，所述裁剪过程的执行规则，分为突触裁剪规则和神经元裁剪规则；
- [0086] 所述突触裁剪规则包括下面的一种或任几种：
- [0087] 某个突触的参数和指定参照突触集合中所有突触参数的统计量达到第一预设数值关系（如某突触的权重小于指定边中全部突触权重平均值的1%），则该突触为待裁剪突触；
- [0088] 某个突触的参数和指定阈值达到第二预设数值关系（如某突触的权重小于10.0

), 则该突触为待裁剪突触;

[0089] 某个突触超过第二预设时间或第二预设遍历周期没有被触发, 则该突触为待裁剪突触;

[0090] 某个突触被其他运算过程标记为可以被裁剪, 则该突触为待裁剪突触; 对于待裁剪突触, 可以对其进行裁剪;

[0091] 所述神经元裁剪规则包括下面的一种或任几种:

[0092] 某个神经元没有输入的突触, 则该神经元为待裁剪神经元;

[0093] 某个神经元没有输出的突触, 则该神经元为待裁剪神经元;

[0094] 某个神经元没有输入及输出的突触, 则该神经元为待裁剪神经元;

[0095] 某个神经元的参数和指定参照神经元集合中所有神经元参数的统计量达到第三预设数值关系 (如某神经元的阈值大于指定节点中全部神经元阈值最大值), 则该神经元为待裁剪神经元;

[0096] 某个神经元的参数和指定阈值达到第四预设数值关系 (如某神经元的阈值大于 1000.0), 则该神经元为待裁剪神经元;

[0097] 某个神经元超过第三预设时间或第三预设遍历周期没有发放, 则该神经元为待裁剪神经元; 某个神经元被其他运算过程标记为可以被裁剪, 则该神经元为待裁剪神经元; 对于待裁剪神经元, 可以对其进行裁剪; 。

[0098] 可选地, 所述新生过程的执行规则, 分为神经元新生规则和突触新生规则;

[0099] 所述神经元新生规则包括下面的一种或任几种:

[0100] 某个节点容器的现存神经元数量和该节点容器的总容量达到第一预设比例或第五预设数值关系, 则以其总容量的第二预设比例或第一预设数量新生神经元; 其中, 第一预设比例与第二预设比例可以相同, 也可以不同;

[0101] 某个节点容器按照第一预设速率, (即按照预设时间间隔或预设遍历周期) 以其总容量的第三预设比例或第二预设数量新生神经元;

[0102] 某个节点容器被其他运算过程标记为需要新生神经元, 并按照第二预设速率 (即每间隔预设时间间隔或预设遍历周期以其总容量的预设比例或数量) 新生神经元;

[0103] 所述突触新生规则包括下面的一种或任几种:

- [0104] 某个边容器的现存突触数量和该边容器的总容量达到第四预设比例或第六预设数值关系，则以其总容量的第五预设比例或第三预设数量新生突触；其中，第四预设比例与第五预设比例可以相同，也可以不同；
- [0105] 某个边容器按照第三预设速率（即按照预设时间间隔或预设遍历周期以其总容量的预设比例或数量）新生突触；
- [0106] 某个边容器被其他运算过程标记为需要新生突触，并按照第四预设速率（即按照预设时间间隔或预设遍历周期以其总容量的预设比例或数量）新生突触；
- [0107] 某个节点容器存在没有输入或输出突触的神经元，则在对应的各个边容器中分别为其新生输入突触或输出突触。
- [0108] 可选地，所述模型描述模块中，用户可以为各个容器指定一条或多条规则，全部规则构成了规则库，
- [0109] 所述规则管理器对所述规则库中的规则按照预设优先级进行排序，当作用于一个容器的多条规则互相之间发生冲突时，只有最高优先级的规则被执行，当一个容器没有指定任何规则时，规则管理器采用默认规则执行；
- [0110] 所述规则库中的规则包括：遍历规则、内存使用规则、数据I/O规则、突触与神经元的裁剪与新生规则；
- [0111] 所述遍历规则可以用于指导调度器按照第二预设时间间隔或第四预设遍历周期重复遍历或跳过遍历网络的全部或特定容器，以将计算资源集中在需要计算密集的子网络，提高数据利用效率；
- [0112] 所述内存使用规则可以用于指导调度器合理安排主内存和协处理器内存的使用；
- [0113] 所述数据I/O规则可以用于指导调度器调度数据在主内存和协处理器内存间，以及内存与硬盘间交换的频次，节省I/O资源，提高整体运算效率。
- [0114] 可选地，所述调度器管理了一个或多个主内存池，和，一个或多个设备内存池，以合理分配网络模型对象在主内存和各个设备内存中的使用情况，
- [0115] 所述主内存池用于管理主内存的使用；
- [0116] 所述设备内存池对应于各个协处理器（可以是ARM, GPU, DSP, ASIC等），用于管理相应设备内存的使用；

- [0117] 所述主内存池和设备内存池的容量上限和下限由用户通过配置描述模块指定。
- [0118] 可选地，所述调度器管理了一个或多个线程池，用于动态安排子线程参与多线程运算，以合理安排主计算单元（可以是CPU、ARM等）和协处理器（可以是ARM、GPU、DSP等）以及I/O设备（硬盘、摄像头、音频输入、控制输出等）的运算负载。
- [0119] 可选地，所述调度器管理了一个或多个节点数据输入缓存器、一个或多个节点数据输出缓存器、一个或多个边数据输入缓存器、一个或多个边数据输出缓存器，用于缓存需要读写硬盘或I/O设备的数据，以使调度器能够根据处理器、硬盘和I/O设备的负载，适时地安排硬盘、I/O设备读写以避免I/O阻塞，
- [0120] 所述各个缓存器的容量、读写硬盘或I/O设备的频次上限和下限、读写硬盘或I/O设备的吞吐量上限和下限，由用户通过配置描述模块指定。
- [0121] 本申请还提供了一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算方法，该方法使用上述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统。
- [0122] 经由上述的技术方案可知，与现有技术相比，本申请公开提供了一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统及方法，该系统提供了统一而灵活的建模方式，而且提供的多层级树状结构的网络描述方式支持生物脑神经系统全尺度的建模和灵活的网络拓扑结构，从而将建模尺度和建模丰富度有机统一，并将各个尺度的全部模型融合为统一的神经网络进行运算，并且支持将数据以张量的形式表征和存储，这也使本系统既可以支持脉冲神经网络，也可以兼容传统神经网络（深度学习）以及其他以张量为主要数据表征方式的算法，还提供了按照一定条件和规则自动执行突触和神经元裁剪与新生的功能，免去了神经网络开发者需要自行实现相关功能的负担。
- [0123] 上述建模设计方式可以是将任何层级（或尺度）的模型分解为数据（data）和操作（operation）两部分。如前所述，数据可由NodeParam、EdgeParam或Param容纳，并由对应的参数数据库存储。操作是可以访问和更新前述数据的可执行程序（如函数及包含函数的类）。

发明的有益效果

对附图的简要说明

附图说明

[0124] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例或示范性技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0125] 图1为本申请提供一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统的整体架构示意图；

[0126] 图2为本申请实施例中一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统的网络层级示意图；

[0127] 图3为本申请实施例中一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统的系统运行过程流程示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

[0128] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

[0129] 为了说明本申请的技术方案，以下结合具体附图及实施例进行详细说明。

[0130] 参见附图1，本申请实施例公开了一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，该系统包括：模型描述模块3、参数数据库2、配置描述模块1、配置管理器6、规则管理器12、数据管理器8、网络构建器9、网络管理器10、操作管理器7、调度器11、日志管理器5、运行监测模块13、图形化显示模块4。

[0131] 上述模型描述模块3包括：网络描述单元、汇聚描述单元、流通描述单元。它们一起描述了整个网络的各个构成部分与拓扑结构。它们优先采用嵌套式语法，可以选用XML或JSON的文件格式。

[0132] 网络描述单元可以用于描述Network及Param等容器，可用于描述整个网络的参数与运行规则，并通过链接指向一个或多个汇聚描述单元和流通描述单元。

[0133] 汇聚描述单元可以用于描述Confluence、Module、Layer、Node、NodeParam和Param等容器，可用于描述网络中节点的模块与层组划分关系、各个容器的参数

与运行时的规则和命令。

[0134] 流通描述单元可以用于描述Flow、Channel、Link、Edge、EdgeParam和Param等容器，可用于描述网络中边的连接（拓扑）关系、各个容器的参数与运行时的规则和命令。

[0135] 参见附图3，模型描述模块3中支持的网络描述方式优先选用多层级树状结构表示，以模仿生物脑神经系统的组织方式：

[0136] 1，上述汇聚描述单元支持将网络中的节点按照预设层组和模块排列组织，可以表征生物脑中神经元及相关胶质细胞的多层级组织方式（如，核团→脑区→全脑）；

[0137] 2，上述流通描述单元支持将网络中的边按照拓扑（连接关系）相似性分组和层级排列组织，可以表征生物脑中神经突触的多种组织方式（如树突、神经通路中的投射、神经纤维束等）及相关胶质细胞的突起的组织方式。这样可使开发、调试、管理和调度运行大规模类脑神经网络更加直观、便捷。

[0138] 具体地，上述多层级树状结构中：

[0139] Network表示网络容器，位于树状结构的第一层级（最顶级），可用于表征全脑和行为尺度的模型。每个Network可以容纳一个或多个Confluence和Flow。

[0140] Confluence表示汇聚容器，位于树状结构的第二层级，可用于表征脑区尺度的模型。每个Confluence可以容纳一个或多个Module。

[0141] Module表示模块容器，位于树状结构的第三层级，可用于表征神经核团尺度的模型。每个Module可以容纳一个或多个Layer。

[0142] Layer表示层组容器，位于树状结构的第四层级，可用于表征神经环路尺度的模型。每个Layer可以容纳一个或多个Node。

[0143] Node表示节点容器，位于树状结构的第五层级，可用于表征神经元尺度或胶质细胞尺度的模型，也可用于表征一群神经元或胶质细胞。神经元模型的发放特性可以构建为紧张性发放、快速发放、爆发式发放、峰发放或相位性发放等，其对于上游输入信号的响应可以构建为不同的神经适应性或敏感性曲线，其对于下游的作用机制可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的模型。胶质细胞模型可以构建为星形胶质细胞、少突胶质细胞、小胶质细胞、施万细

胞和卫星细胞模型等。每个Node可以容纳一个或多个NodeParam。当Node用于表征一群同种类神经元时，其容纳的NodeParam的数量由神经元模型的参数种类的数量决定，即每个种类对应一个NodeParam并将该Node中全部神经元的该类参数以张量排列保存。

[0144] Node还可用于表征输入、输出节点，用于对接系统的I/O设备，如摄像头输入、音频输入、传感器输入、控制输出等。读写I/O设备的数据通过该Node的各个NodeParam动态更新。

[0145] NodeParam表示节点参数容器，位于树状结构的第六层级（最低级），可用于表征分子尺度、受体尺度、神经递质或神经调质尺度的模型，也可用于表征一群神经元或胶质细胞模型的参数张量。神经递质或神经调质模型可以构建为兴奋型的、抑制型的或调制型的模型。受体模型可构建为离子型的或代谢型的，其对于神经递质或神经调质的响应效果可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的模型。

[0146] Flow表示流通容器，位于树状结构的第二层级，可用于表征联接脑区间的神经纤维束尺度的模型。每个Flow可以容纳一个或多个Channel。

[0147] Channel表示通道容器，位于树状结构的第三层级，可用于表征由联接神经核团间的轴突构成的传导束的模型。每个Channel可以容纳一个或多个Link。

[0148] Link表示连接容器，位于树状结构的第四层级，可用于表征神经环路中由轴突构成的神经通路的模型。每个Link可以容纳一个或多个Edge。

[0149] Edge表示边容器，位于树状结构的第五层级，可用于表征树突尺度或突触尺度的模型，也可用于表征一群突触或胶质细胞的突起。树突尺度的模型可以构建为顶树突模型、基树突模型或突棘模型。突触模型可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的模型。每个Edge可以容纳一个或多个EdgeParam。当Edge用于表征一群同种类突触时，其容纳的EdgeParam的数量由突触模型的参数种类的数量决定，每个种类对应一个EdgeParam将该Edge中全部突触的该类参数以张量排列保存。

[0150] EdgeParam表示边参数容器，位于树状结构的第六层级（最低级），可用于表征分子尺度、神经递质或神经调质尺度、受体尺度的模型，也可用于表征一群

突触或胶质细胞的突起模型的参数张量。分子尺度的模型可以构建为细胞内分子模型、细胞膜中分子模型和细胞间隙分子模型。神经递质或神经调质模型可以构建为兴奋型的、抑制型的或调制型的模型。受体模型可构建为离子型的或代谢型的模型，其对于神经递质或神经调质的响应效果可以构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的或中性的模型。

[0151] Param表示一般参数容器，属于辅助容器。根据建模的需要，上述各层级的容器都可以额外带有一个或多个Param，用于以张量的形式容纳参数数据；或者，上述各个层级的容器也可以不带有Param；。

[0152] NodeParam、EdgeParam以及Param内部可采用张量（即多维矩阵）的形式容纳参数。张量的维度可以是1维至多维，具体排列和使用方式由用户指定。例如，张量可以是4维，各个参数在张量中的位置可以由坐标（x, y, z, t）表示，其中x, y, z三个维度对应于父级容器中表征的各个神经组织（如神经元或突触等）模型的空间排布位置，t代表时间维度，可表征时序信息的缓存和延迟，可用于模拟神经调质对神经元和突触的长时间作用机制（具有延迟性）。再如，张量中的参数可以由父级容器中全体或部分神经组织（如神经元或突触等）模型共享，可用于模拟神经调质对目标区域中的全部神经组织的大面积作用。

[0153] 上述每个容器都有编号和名称，用于在多层级树状结构中索引。每个容器都有一个或多个控制块（Control Block）用于存储统计和控制信息，如网络的遍历次序与规则、已参与遍历运算的次数、数据是否已入驻主内存、数据是否已入驻协处理器内存、硬盘读写的频次等，并由规则管理器和调度器管理和更新。

[0154] Flow及其所有子级容器都可以对应于一个或多个上游容器，和，一个或多个下游容器，并通过上、下游容器的编号或名称对它们进行索引访问。上游容器和下游容器都可以是任意层级的容器，二者可以是同一个或者不同的容器。因此Flow及其所有子级容器都可与其上、下游容器构成信息流动通路，表征信息在两个信息源（如上游容器和下游容器）间的（单向或双向）流动和处理过程。网络中的多个容器间可构成信息流动的任意拓扑结构。

[0155] 上述信息的流动和处理过程可用于实现神经脉冲通过突触在神经元间传导、突触和突触之间交换信息、神经元与突触可塑性等多种生物脑神经机制。

- [0156] 上述信息流动的任意拓扑结构，可用于实现脑神经系统中任意的神经环路连接方式，包括支持同一个神经元连回自己的反馈连接、同一群（层）的神经元互相之间的连接、不同群（层）神经元之间的任意连接（顺次/前馈、跨层、反馈等），以及突触和突触的直接连接，并且允许反馈型连接的无限次循环计算。
- [0157] 下面详细举例说明：
- [0158] 当一个Edge用于表征一个或多个突触，并且其对应的上、下游容器都是表征一个或多个神经元的Node，那么：
- [0159] 1，如果该Edge的上、下游容器是不同的Node，它们之间的拓扑关系（例如，Node 1 $\rightarrow$ Edge $\rightarrow$ Node 2）可以用于实现不同群（层）神经元之间通过突触的顺向/前馈连接；
- [0160] 2，如果该Edge的上、下游容器是同一个Node，它们之间的拓扑关系（例如，Node 1 $\rightarrow$ Edge $\rightarrow$ Node 1）可用于实现同一群（层）神经元之间通过突触的互相连接，也可以用于实现神经元通过自突触（autapse）连接回自身的反馈连接；
- [0161] 3，如果该Edge的上、下游容器是来自于不同Layer的Node，它们之间的拓扑关系可以用于实现不同层神经元之间通过突触的跨层连接。
- [0162] 当一些Edge分别用于表征一个或多个突触，以及一些Node分别用于表征一个或多个神经元，它们构成的拓扑关系如Node 1 $\rightarrow$ Edge 1 $\rightarrow$ Node N $\rightarrow$ Edge N $\rightarrow$ Node 1，那么：
- [0163] 1，如果各个Node分属不同的Layer，则该拓扑关系可以用于实现不同层神经元之间通过顺馈连接、跨层连接和反馈连接形成的神经环路；
- [0164] 2，如果各个Node属于同一个Layer，则该拓扑关系可以用于实现由一个或多个（或一至多群）不同神经元构成的反馈回路。
- [0165] 在前述例子中，Edge中的突触可以通过访问上、下游容器中的神经元以获取其激发时序信息，结合自身参数（如权重）进行运算并将运算结果传播至上、下游容器中的神经元，可以实现神经脉冲通过突触在神经元间的传导，以及Hebbian、Anti-Hebbian、STDP等长、短时可塑性机制；Node中的神经元可根据接受到的（通过神经递质或神经调制传递的）信息发生功能改变或塑型（神经元可

塑性的一种)。

- [0166] 当一个Edge用于表征一个或多个突触，并且其对应的上、下游容器中至少有一个是表征一个或多个突触的Edge时，它们之间的拓扑关系（例如，Edge 1 -> Edge 2 -> Edge 3）可以用于实现突触和突触间的直接连接关系与直接信息交换。
- [0167] 上述参数数据库用于存储网络的各项参数数据（包括初始化参数和运行时参数）。参数数据库可选为二进制文件或文本文件。文本文件可采用CSV文件格式或以其他字符分隔数据的文件格式。每个容器都可以有一个或多个对应的参数数据库。如可以使NodeParam、EdgeParam或Param容纳的参数由一个或多个参数数据库存储，也可以让多个NodeParam、EdgeParam或Param共享一个或多个参数数据库以存储相同的参数。用户可将网络中各个容器的参数数据库置于模型文件路径中相应的子文件夹。
- [0168] 本系统支持的建模设计方式可以是任何层级（或尺度）的模型分解为数据（data）和操作(operation)两部分。如前所述，数据可由NodeParam、EdgeParam或Param容纳，并由对应的参数数据库存储。操作是可以访问和更新前述数据的可执行程序（如函数及包含函数的类）。
- [0169] 例如，神经元的建模可以用传统神经元模型，将其ReLU激活函数设计为操作，并将其阈值参数设计为数据；神经元的建模也可以用脉冲神经元模型，将其leaky integrate-and-fire model的函数设计为操作，并将其参数设计为数据。
- [0170] 再如，用户可以通过定义一种或多种操作，使同一个Node中的各个神经元（无需通过Edge）直接互相访问和更新彼此的数据，以实现信息的快速交换，可用于模拟生物脑神经系统中的电突触。
- [0171] 又如，用户建模时可以通过定义一种或多种操作，使同一个Edge中的各个突触直接互相访问和更新彼此的数据，以实现信息的快速交换，用于模拟生物脑神经系统中同一个神经元的树突上多个突触间互相交换信息并进行逻辑运算的情况，包括分流抑制（shunting inhibition）等机制。
- [0172] 综上所述，由于本系统提供了灵活而统一的建模方式，而且提供的多层级树状结构的网络描述方式支持生物脑神经系统全尺度的建模和灵活的网络拓扑结构

，从而将建模尺度和建模丰富度有机统一，并将各个尺度的全部模型融合为统一的神经网络进行运算。再加上数据以张量的形式表征和存储，这也使本系统既可以支持脉冲神经网络，也可以兼容传统神经网络（深度学习）以及其他以张量为主要数据表征方式的算法。

- [0173] 上述操作管理器7用于管理所有可在本系统上运行的操作。操作可以是能够运行在通用CPU、ARM、DSP、GPU或其他处理器的程序（包括代码段、函数和类）。所有的操作构成了操作库。操作管理器7提供了编程接口用于根据操作的编号或名称查询和调取指定操作。用户可在模型描述模块中为各个容器指定需要执行的操作，运行时由调度器调度执行相应的操作。这样保证了该系统具有一定跨硬件平台通用性，可以运行在通用CPU、GPU、ARM、DSP等硬件平台上。
- [0174] 上述配置描述模块1用于描述当前网络运行环境的配置参数。诸如系统可用的内存池大小、以何种方式运行（单次、多次，连续运行）、读写硬盘数据的频率上限和下限、启动突触和神经元裁剪与新生过程的条件等等。
- [0175] 上述配置管理器6用于读取上述配置描述模块1，以获取系统配置参数，并提供编程接口给其他组件调用。
- [0176] 上述网络模型对象由网络构建器9构造并驻留在内存中。它表征了整个网络，包括所有容器、拓扑关系和参数数据，是调度器调度运行的对象。
- [0177] 上述规则管理器12用于读取模型描述模块3中用户声明的规则，并在调度器11调度网络模型对象的运算时对这些规则进行解释。用户可以在模型描述模块3中为各个容器指定一条或多条规则。全部规则构成了规则库。规则管理器12对规则库中的规则按照预设优先级进行排序，当作用于一个容器的多条规则互相之间发生冲突时，只有最高优先级的规则被执行。当一个容器没有指定任何规则时，规则管理器12采用默认规则执行。
- [0178] 规则库中的规则包括（但不限于）：遍历规则、内存使用规则、数据I/O规则、突触与神经元的裁剪与新生规则等等。遍历规则可以用于指导调度器按照第二预设时间间隔或第四预设遍历周期重复遍历或跳过遍历网络的全部或特定容器，以将计算资源集中在需要计算密集的子网络，提高数据利用效率；内存使用规则可以用于指导调度器合理安排主内存和协处理器内存的使用；数据I/O规

则可以用于指导调度器调度数据在主内存和协处理器内存间，以及内存与硬盘间交换的频次，节省I/O资源，提高整体运算效率。

[0179] 上述数据管理器8包括一种或多种解码器和编码器。解码器用于读取、解析用户指定格式的数据文件并将其内容转换为可供计算机计算的数据类型。编码器用于将内存中的数据按照用户指定格式进行序列化以便写回硬盘。数据文件的文件类型可以是二进制文件，也可以是文本文件（采用Unicode或ASCII格式）。用户可以在数据管理器8中添加自定义的解码器和编码器，以读写自定义格式的文件。

[0180] 上述网络构建器9读取模型描述模块3，解析网络的拓扑结构，并通过数据管理器8读取数据文件，在内存中构建网络模型对象。

[0181] 上述网络管理器10提供了构建网络模型对象的编程接口，该接口通过调用网络构建器9以构建网络模型对象。网络管理器9还提供了访问、遍历和操作网络模型对象的编程接口，包括支持通过编号或名称来查询和更新任意容器、神经元、突触、参数等。支持的遍历顺序包括（但不限于）：

[0182] 1，深度优先遍历；

[0183] 2，广度优先遍历；

[0184] 3，按照模型描述模块中指定的规则进行遍历。

[0185] 遍历的实现方式可以包括（但不限于）：

[0186] 1，循环式遍历；

[0187] 2，递归式遍历。

[0188] 上述调度器11用于分配硬件资源和调度运算过程，保证运算效率最优。调度器11管理了一个或多个主内存池，和，一个或多个设备内存池，以合理分配网络模型对象在主内存和各个设备内存中的使用情况。主内存池用于管理主内存的使用；每个协处理器（可以是ARM, GPU, DSP, ASIC）各有一个或多个对应的设备内存池，用于管理相应设备内存的使用。其容量上限和下限由用户通过配置描述模块1指定。

[0189] 上述调度器11管理了一个或多个线程池，用于动态安排子线程参与多线程运算，以合理安排主计算单元（可以是CPU、ARM等）和协处理器（可以是ARM、GPU

、DSP等)以及I/O设备(硬盘、摄像头、音频输入、控制输出等)的运算负载。

[0190] 上述调度器11管理了一个或多个节点数据输入缓存器、一个或多个节点数据输出缓存器、一个或多个边数据输入缓存器、一个或多个边数据输出缓存器,用于缓存需要读写硬盘或I/O设备的数据。它们优先采用环形队列的数据结构。各个缓存器的容量、读写硬盘或I/O设备的频次上限和下限,读写硬盘或I/O设备的吞吐量上限和下限,由用户通过配置描述模块1指定。调度器11根据处理器、硬盘和I/O设备的负载,适时地安排硬盘、I/O设备读写以避免I/O阻塞。

[0191] 由于使用了调度器11合理分配处理器及协处理器、内存、硬盘、IO设备等硬件资源的使用,使本系统适合在硬件资源(如内存)相对有限的嵌入式设备上高效运行。

[0192] 本系统提供了按照一定触发条件和执行规则自动执行突触和神经元的裁剪与新生的功能。用户可以在配置描述模块1中指定启动裁剪或新生过程的触发条件,并在模型描述模块3中指定裁剪或新生过程的执行规则。执行规则可以作用于整个网络模型对象,也可以作用于子网络或特定容器。裁剪或新生过程由调度器11调度执行,可以在网络运行状态时执行,也可在网络暂停状态时执行。

[0193] 上述启动裁剪或新生过程的触发条件可以包括(但不限于)下面的一种或多种:

[0194] 1, 用户命令,即用户通过键盘或鼠标及其他方式输入命令给本系统,本系统接收到命令后即刻或第一预设时间后执行裁剪或新生过程;

[0195] 2, 持续执行,即只要网络模型或其子区域达到符合裁剪或新生过程的规则就执行裁剪或新生过程;

[0196] 3, 间隔执行,即系统按照第一预设时间间隔或第一预设遍历周期,适时地自动启动裁剪或新生过程。

[0197] 该裁剪过程的执行规则,分为突触裁剪规则和神经元裁剪规则。突触裁剪规则可以包括(但不限于)下面的一种或多种:

[0198] 1, 某个突触的参数和指定参照突触集合中所有突触参数的统计量达到第一预设数值关系(如某突触的权重小于指定边中全部突触权重平均值的1%),则该

突触为待裁剪突触；

[0199] 2, 某个突触的参数和指定阈值达到第二预设数值关系（如某突触的权重小于1 0.0），则该突触为待裁剪突触；

[0200] 3, 某个突触超过第二预设时间或第二预设遍历周期没有被触发，则该突触为待裁剪突触；

[0201] 4, 某个突触被其他运算过程标记为可以被裁剪，则该突触为待裁剪突触；对于待裁剪突触，可以对其进行裁剪。

[0202] 神经元裁剪规则可以包括（但不限于）下面的一种或多种：

[0203] 1, 某个神经元没有输入的突触，则该神经元为待裁剪神经元；

[0204] 2, 某个神经元没有输出的突触，则该神经元为待裁剪神经元；

[0205] 3, 某个神经元没有输入及输出的突触，则该神经元为待裁剪神经元；

[0206] 4, 某个神经元的参数和指定参照神经元集合中所有神经元参数的统计量达到第三预设数值关系（如某神经元的阈值大于指定节点中全部神经元阈值最大值），则该神经元为待裁剪神经元；

[0207] 5, 某个神经元的参数和指定阈值达到第四预设数值关系（如某神经元的阈值大于1000.0），则该神经元为待裁剪神经元；

[0208] 6, 某个神经元超过第三预设时间或第三预设遍历周期没有发放，则该神经元为待裁剪神经元；

[0209] 7, 某个神经元被其他运算过程标记为可以被裁剪，则该神经元为待裁剪神经元；对于待裁剪神经元，可以对其进行裁剪。

[0210] 该新生过程的执行规则，分为神经元新生规则和突触新生规则。神经元新生规则可以包括（但不限于）下面的一种或多种：

[0211] 1, 某个节点容器的现存神经元数量和该节点容器的总容量达到第一预设比例或第五预设数值关系，则以其总容量的第二预设比例或第一预设数量新生神经元；其中，第一预设比例与第二预设比例可以相同，也可以不同；

[0212] 2, 某个节点容器按照第一预设速率，（即按照预设时间间隔或预设遍历周期）以其总容量的第三预设比例或第二预设数量新生神经元；

[0213] 3, 某个节点容器被其他运算过程标记为需要新生神经元，并按照第二预设速

率（即按照预设时间间隔或预设遍历周期以其总容量的预设比例或数量）新生神经元。

[0214] 突触新生规则可以包括（但不限于）下面的一种或多种：

[0215] 1，某个边容器的现存突触数量和该边容器的总容量达到第四预设比例或第六预设数值关系，则以其总容量的第五预设比例或第三预设数量新生突触；其中，第四预设比例与第五预设比例可以相同，也可以不同；

[0216] 2，某个边容器按照第三预设速率（即按照预设时间间隔或预设遍历周期以其总容量的预设比例或数量）新生突触；

[0217] 3，某个边容器被其他运算过程标记为需要新生突触，并按照第四预设速率（即按照预设时间间隔或预设遍历周期以其总容量的预设比例或数量）新生突触；

[0218] 4，某个节点容器存在没有输入或输出突触的神经元，则在对应的各个边容器中分别为其新生输入突触或输出突触。

[0219] 上述调度器负责调度突触和神经元裁剪与新生的执行。当启动突触和神经元裁剪或新生的条件被触发时，调度器从其所管理的线程池中分配一个或多个子线程，各自负责网络模型对象中的部分区域或特定容器。子线程会遍历所辖区域中的各个容器并按照指定的规则执行神经元和/或突触的裁剪和/或新生过程。

[0220] 神经元或突触的新生过程可以为在容器中分配所需内存空间并创建相应对象（new/construct object）；神经元或突触的裁剪过程可以为在容器中析构相应对象（delete/destruct object）并释放占用的内存空间。

[0221] 由于本系统提供了按照一定条件和规则自动执行突触和神经元裁剪与新生的功能，并且提供了多种灵活的启动裁剪和新生过程的触发条件与执行过程的规则，免去了神经网络开发者需要自行编写突触和神经元裁剪与新生程序的负担，提高了开发的灵活性和高效性。突触与神经元的裁剪过程可以和新生过程交替配合使用，可以优化神经网络的编码效率、大幅压缩神经网络的尺寸和所需存储空间、节省了内存并提高了运算效率，使本系统适合在硬件资源有限的嵌入式设备上运行。本系统通过支持突触与神经元的裁剪和新生，有利于模拟生物脑神经系统中丰富的机制（如海马体的突触和神经元的凋亡与新生现象），能

够更好地支持类脑智能和认知计算。

[0222] 上述日志管理器5用于记录系统运行时生成的日志，日志用于提示用户系统的工作状态与异常，以便于调试和维护。日志由一系列字符串和时间戳组成，可以在命令行环境中显示或者保存在文件中用文本浏览器显示。日志管理器由日志记录编程接口和日志管理服务构成。日志记录编程接口由用户在程序中调用，并把日志数据传给日志管理服务。日志管理服务由独立的线程运行以避免阻塞网络运算，它将接收到的日志数据按照时间戳统一排序并缓存在内存中，当缓存的数据量多达一定程度时按照一定顺序保存至硬盘并清理缓存。

[0223] 上述运行监测模块13用于接收和响应用户输入并管理整个系统的运行状态。它采用状态机的设计，包含有默认状态、网络构建状态、网络运行状态、网络暂停状态。它包括一个消息队列用于接收并缓存用户输入的命令，并有一个独立线程用于及时响应队列中的命令，以使状态机在不同的状态间切换。用户可通过键盘、鼠标、编程接口或其他方式输入命令。命令包括（但不限于）：构建网络命令、开始运行命令、暂停运行命令、结束运行命令、突触与神经元裁剪命令以及突触与神经元新生命命令。

[0224] 下面结合附图3对系统的运行原理做简单的描述：

[0225] S1:系统启动并初始化运行环境；

[0226] S2:运行环境进入默认状态；

[0227] S3:通过配置管理其读取配置描述模块获取配置参数；

[0228] S4:等待命令输入；

[0229] S5:判断是否接收到构建网络命令，直至判断结果为是，进入下一步；

[0230] S6:当接收到构建网络命令时，运行环境切换至网络构建状态；

[0231] S7:初始化网络管理器和规则管理器；

[0232] S8:通过网络构建器读取模型描述模块并构建网络模型对象，通过数据管理器读取参数数据库；

[0233] S9:等待命令输入；

[0234] S10:判断是否收到开始运行命令，当判断结果为否时，返回步骤S9再次等待命令输入，当判断结果为是时，进入下一步；

- [0235] S11:运行环境进入网络运行状态;
- [0236] S12:调度执行;
- [0237] S13:判断是否收到暂停运行命令, 如果判断结果为是, 则进入步骤S14, 如果判断结果为否, 则进入步骤S17;
- [0238] S14:运行环境进入网络暂停状态;
- [0239] S15:等待命令输入;
- [0240] S16:判断是否收到开始运行命令, 如果判断结果为是, 则返回步骤S11, 如果判断结果为否, 返回步骤S15;
- [0241] S17:判断是否达到指定停止条件(包括接收到结束运行命令等), 如果判定结果为否, 返回步骤S12, 如果判定结果为是, 结束运行。
- [0242] 当系统初始化时, 上述状态机在默认状态, 启动消息队列, 开始接收用户输入; 当接收到构建网络命令时, 状态机切换至网络构建状态, 并构建网络模型对象; 当接收到开始运行命令时, 状态机切换至网络运行状态, 并执行网络运算; 当接收到暂停运行命令时, 状态机切换至网络暂停状态, 并暂停网络运算; 当接收到结束运行命令时, 状态机保存网络数据至硬盘, 系统结束并退出。在状态机处于网络运行状态或网络暂停状态时, 如果消息队列中有突触与神经元裁剪命令, 则通过调度器启动突触与神经元裁剪过程; 如果消息队列中有突触与神经元新生命命令, 则通过调度器启动突触与神经元新生过程。由于本系统使用了运行监测模块来管理系统的工作状态, 可以在应用环境不需要网络运算时将系统切换至网络暂停状态, 以节省功耗, 使本系统适用于嵌入式系统。
- [0243] 上述图像化显示模块4用于读取网络数据, 并将其显示给用户, 便于开发、监测和调试。图像化显示模块4可以直接读取网络模型对象在内存中的数据, 也可以读取保存在硬盘的数据。图像化显示模块4采用独立线程以避免阻塞网络运算, 因此它可以在网络调度运行中实时显示, 也可以在网络调度运行结束后显示。
- [0244] 需要说明的是, 上述第一预设时间至第三预设时间、第一预设时间间隔至第二预设时间间隔、第一预设遍历周期至第四预设遍历周期、第一预设数值关系至第六预设数值关系、第一预设比例至第五预设比例、第一预设数量至第三预设

数量，以及第一预设速率至第四预设速率等表述，仅为方便对预设时间、预设时间间隔、预设遍历周期、预设数值关系、预设比例、预设数量以及预设速率的区分，其具体的数值大小或范围可以根据实际需要确定，本申请实施例对此不作限定。另外，上述各个预设时间、预设时间间隔、预设遍历周期、预设数值关系、预设比例、预设数量以及预设速率的数值大小可以是相同的，也可以是不同的。例如，第一预设时间至第三预设时间的时间长短可以是完全相同的，也可以是完全不同的；或者其中部分的时间长短是相同的，而另外一部分的时间长短是不同的。本申请实施例对此亦不作限定。

[0245] 以上仅为本申请的可选实施例而已，并不用于限制本申请。对于本领域的技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的权利要求范围之内。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，包括：
- 模型描述模块，用于提供用户设计和描述网络模型的接口，为网络模型对象指定待执行的操作和规则；
- 参数数据库，用于以参数数据库的形式存储网络模型的各项参数数据；
- 配置描述模块，用于描述当前网络运行环境的配置参数，启动突触和/或神经元的裁剪与新生过程的条件；
- 配置管理器，用于从所述配置描述模块中调取相关配置参数；
- 网络构建器，用于读取模型描述模块，解析网络的拓扑结构，并通过数据管理器读取数据文件，在内存中构建网络模型对象；
- 网络管理器，用于构建、遍历、访问和/或更新网络模型对象；
- 规则管理器，用于读取所述模型描述模块中用户声明的规则，并在调度器调度所述网络模型对象的运算时对用户声明的规则进行解释，并仲裁规则间的冲突；
- 数据管理器，用于读取并解析参数数据库，转换数据格式以及将数据序列化；
- 调度器，用于分配硬件资源和调度运算过程，调度执行相应的操作；
- 操作管理器，用于管理运行的操作；
- 日志管理器，用于记录系统运行时生成的日志，记录系统的工作状态，并对异常状态进行提示；
- 运行监测模块，用于接收并响应用户输入指令，管理系统的运行状态；以及，
- 图形化显示模块，用于读取并显示网络数据。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述模型描述模块包括网络描述单元、汇聚描述单元和流通描述单元；

所述网络描述单元用于描述网络容器和一般参数容器，描述网络的参数与运行规则，并通过链接指向一个或多个汇聚描述单元和流通描述单元；

所述汇聚描述单元用于描述汇聚容器、模块容器、层组容器、节点容器、节点参数容器和一般参数容器中的至少一个容器，并用于描述网络中节点的模块与层组划分关系、各个网络模型对象的参数与运行时的规则和命令；

所述流通描述单元用于描述流通容器、通道容器、连接容器、边容器、边参数容器和一般参数容器中的至少一个容器，并用于描述网络中边的连接关系、各个网络模型对象的参数与运行时的规则和命令。

[权利要求 3] 根据权利要求2所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述模型描述单元采用模拟生物脑神经系统组织方式的多层级树状结构的网络描述方式；所述汇聚描述单元支持将网络中的节点按照预设层组和模块排列组织，用于表征生物脑中神经元及相关胶质细胞的多层级组织方式；所述流通描述单元支持将网络中的边按照拓扑相似性分组和层级排列组织，用于表征生物脑中神经突触的多种组织方式及相关胶质细胞的突起的组织方式。

[权利要求 4] 根据权利要求2所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述网络描述单元、汇聚描述单元和流通描述单元均选用XML和/或JSON的文件格式并采用嵌套式语法。

[权利要求 5] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述参数数据包括初始化参数数据和运行时参数数据。

[权利要求 6] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述参数数据库为二进制文件或文本文件，所述文本文件采用CSV文件格式或以其他字符为分隔数据的文件格式。

[权利要求 7] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络

运算系统，其特征在于，所述网络模型对象包括容器、拓扑关系和/或参数数据，所述网络模型对象是调度器调度运行的对象。

[权利要求 8] 根据权利要求7所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述容器包括编号和/或名称，用于在多层级树状结构中索引。

[权利要求 9] 根据权利要求7所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述容器具有一个或多个控制块，用于存储统计和控制信息。

[权利要求 10] 根据权利要求9所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述控制块包括网络的遍历次序与规则、已参与遍历运算的次数、数据是否已入驻主内存、数据是否已入驻协处理器内存、硬盘读写的频次中的至少一项，并由所述规则管理器和调度器管理和更新。

[权利要求 11] 根据权利要求8或9所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述容器包括：

网络容器，位于树状结构的第一层级，用于表征全脑和行为尺度的模型；

汇聚容器，位于树状结构的第二层级，用于表征脑区尺度的模型；

模块容器，位于树状结构的第三层级，用于表征神经核团尺度的模型；

层组容器，位于树状结构的第四层级，用于表征神经环路尺度的模型；

节点容器，位于树状结构的第五层级，用于表征神经元尺度或胶质细胞尺度的模型，以及用于表征一群神经元或胶质细胞；

节点参数容器，位于树状结构的第六层级，用于表征分子尺度、受体尺度、神经递质或神经调质尺度的模型，和/或，用于表征一群神经元或胶质细胞模型的参数张量；

流通容器，位于树状结构的第二层级，用于表征联接脑区间的神经纤

维束尺度的模型；

通道容器，位于树状结构的第三层级，用于表征由联接神经核团间的轴突构成的传导束的模型；

连接容器，位于树状结构的第四层级，用于表征神经环路中由轴突构成的神经通路的模型；

边容器，位于树状结构的第五层级，用于表征树突尺度或突触尺度的模型，和/或，用于表征一群突触或胶质细胞的突起；

边参数容器，位于树状结构的第六层级，用于表征分子尺度、神经递质或神经调质尺度、受体尺度的模型，以及用于表征一群突触或胶质细胞的突起模型的参数张量；和/或，

一般参数容器，用于以张量的形式容纳参数数据；

所述一般参数容器属于辅助容器，各个层级的容器可额外带有一个或多个所述一般参数容器。

- [权利要求 12] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述神经元模型的发放特性构建为包括紧张性发放、快速发放、爆发式发放、峰发放和/或相位性发放；
- 所述神经元模型对上游输入信号的响应，构建为不同的神经适应性或敏感性曲线；
- 所述神经元模型对下游的作用机制，构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的，和/或中性的模型；
- 所述神经元模型构建为脉冲神经元模型和/或传统神经元模型；
- 所述胶质细胞模型构建为星形胶质细胞模型、少突胶质细胞模型、小胶质细胞模型、施万细胞模型和/或卫星细胞模型。

- [权利要求 13] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述神经递质或神经调质模型构建为兴奋型的、抑制型的，和/或调制型的模型；
- 所述受体模型构建为离子型的，和/或代谢型的模型；
- 所述受体模型对神经递质或神经调质的响应效果，构建为兴奋型的、

抑制型的、调制型的，和/或中性的模型。

- [权利要求 14] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述树突尺度的模型构建为顶树突模型、基树突模型，和/或突棘模型；
所述突触模型构建为兴奋型的、抑制型的、调制型的，和/或中性的模型。
- [权利要求 15] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述分子尺度的模型构建为细胞内分子模型、细胞膜中分子模型，和/或细胞间隙分子模型。
- [权利要求 16] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述节点参数容器、边参数容器以及一般参数容器内部采用张量的形式容纳参数。
- [权利要求 17] 根据权利要求16所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述张量的维度是一维或多维，所述张量的排列和使用方式由用户指定。
- [权利要求 18] 根据权利要求17所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述张量配置为四维，各个参数在张量中的位置由坐标 (x, y, z, t) 表示，其中， x 、 y 、 z 三个维度对应于父级容器中表征的各个神经组织模型的空间排布位置； t 表示时间维度，表征时序信息的缓存和延迟，用于模拟神经调质对神经元和/或突触的长时间作用机制；
所述张量中的参数由父级容器中全体或部分神经组织模型共享，用于模拟神经调质对目标区域中的全部神经组织的大面积作用。
- [权利要求 19] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述流通容器及其所有子级容器均对应于一个或多个上游容器，和，一个或多个下游容器，并通过所述上游容器和所述下游容器的编号或名称对其进行索引访问。
- [权利要求 20] 根据权利要求19所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络

运算系统，其特征在于，所述上游容器和下游容器均是任意层级的容器，二者为同一个或者不同的容器。

[权利要求 21] 根据权利要求11所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述流通容器及其所有子级容器均与其上游容器和下游容器构成信息流动通路，表征信息在两个信息源间的流动和处理过程，网络中的多个容器间构成信息流动的任意拓扑结构。

[权利要求 22] 根据权利要求21所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述信息的流动和处理过程用于实现至少一种生物脑神经机制。

[权利要求 23] 根据权利要求22所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述生物脑神经机制包括神经脉冲通过突触在神经元间传导、突触和突触之间交换信息以及神经元与突触可塑性中的至少一种。

[权利要求 24] 根据权利要求21所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述信息流动的任意拓扑结构，用于实现脑神经系统中任意的神经环路连接方式，包括支持同一个神经元连回自己的反馈连接、同一群的神经元互相之间的连接、不同群神经元之间的任意连接，以及突触和突触的直接连接中的至少一种连接，且允许反馈型连接的无限次循环计算。

[权利要求 25] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述模型描述模块支持将任何层级的模型分解为数据和操作两部分的建模设计方式，
所述数据由节点参数容器、边参数容器，和/或一般参数容器容纳，并由对应的参数数据库存储；
所述操作用于访问和更新所述数据的可执行程序，所述操作运行在通用CPU、ARM、DSP、GPU，和/或其他处理器，保证系统具有跨硬件平台通用性。

[权利要求 26] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络

运算系统，其特征在于，所述模型描述模块支持用户通过定义一种或多种操作，使同一个节点容器中的各个神经元直接互相访问和/或更新彼此的数据，以实现信息的快速交换，用于模拟生物脑神经网络中的电突触。

[权利要求 27] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述模型描述模块支持用户通过定义一种或多种操作，使同一个边容器中的各个突触直接互相访问和/或更新彼此的数据，以实现信息的快速交换，用于模拟生物脑神经网络中同一个神经元的树突上多个突触间互相交换信息并进行逻辑运算的情况，包括分流抑制机制。

[权利要求 28] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述系统支持按照预设触发条件和执行规则自动执行突触和/或神经元的裁剪与新生的功能；
所述触发条件由用户在所述配置描述模块中指定；
所述执行规则由用户在所述模型描述模块中指定；
所述执行规则作用于网络模型对象，和/或，作用于子网络或特定容器；
所述突触和/或神经元的裁剪与新生过程由调度器调度执行，在网络运行状态时执行，和/或在网络暂停状态时执行。

[权利要求 29] 根据权利要求28所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述触发条件包括下面的一种或多种：
用户命令：用户通过键盘或鼠标及其他方式输入命令给系统，系统接收到命令后即刻或第一预设时间后执行裁剪或新生过程；
持续执行：当网络模型或其子区域达到符合裁剪或新生过程的规则时，执行裁剪或新生过程；
间隔执行：系统按照第一预设时间间隔或第一预设遍历周期，自动启动裁剪或新生过程。

[权利要求 30] 根据权利要求28所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络

运算系统，其特征在于，所述裁剪过程的执行规则包括突触裁剪规则和/或神经元裁剪规则；

所述突触裁剪规则包括下面的任意一种或几种：

某个突触的参数和指定参照突触集合中所有突触参数的统计量达到第一预设数值关系，则该突触为待裁剪突触；

某个突触的参数和指定阈值达到第二预设数值关系，则该突触为待裁剪突触；

某个突触超过第二预设时间或第二预设遍历周期没有被触发，则该突触为待裁剪突触；

某个突触被标记为待裁剪，则该突触为待裁剪突触；

所述神经元裁剪规则包括下面的任意一种或几种：

某个神经元没有输入的突触，则该神经元为待裁剪神经元；

某个神经元没有输出的突触，则该神经元为待裁剪神经元；

某个神经元没有输入及输出的突触，则该神经元为待裁剪神经元；

某个神经元的参数和指定参照神经元集合中所有神经元参数的统计量达到第三预设数值关系，则该神经元为待裁剪神经元；

某个神经元的参数和指定阈值达到第四预设数值关系，则该神经元为待裁剪神经元；

某个神经元超过第三预设时间或第三预设遍历周期没有发放，则该神经元为待裁剪神经元；

某个神经元被标记为待裁剪，则该神经元为待裁剪神经元。

[权利要求 31] 根据权利要求28所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述新生过程的执行规则，包括神经元新生规则和/或突触新生规则；

所述神经元新生规则包括下面的任意一种或几种：

某个节点容器的现存神经元数量和该节点容器的总容量达到第一预设比例或第五预设数值关系，则以其总容量的第二预设比例或第一预设数量新生神经元；

某个节点容器按照第一预设速率，以其总容量的第三预设比例或第二预设数量新生神经元；

某个节点容器被标记为待新生神经元，并按照第二预设速率新生神经元；

所述突触新生规则包括下面的任意一种或几种：

某个边容器的现存突触数量和该边容器的总容量达到第四预设比例或第六预设数值关系，则以其总容量的第五预设比例或第三预设数量新生突触；

某个边容器按照第三预设速率新生突触；

某个边容器被标记为待新生突触，并按照第四预设速率新生突触；

某个节点容器存在没有输入或输出突触的神经元，则在对应的各个边容器中分别为其新生输入突触或输出突触。

[权利要求 32] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，系统的运行状态包括默认状态、网络构建状态、网络运行状态和/或网络暂停状态。

[权利要求 33] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述模型描述模型中，用户为各个容器指定一条或多条规则，所述一条或多条规则构成了一个规则库；
所述规则管理器对所述规则库中的规则按照预设优先级进行排序，当作用于一个容器的多条规则互相之间发生冲突时，只有最高优先级的规则被执行，当一个容器没有指定任何规则时，规则管理器采用默认规则执行；

所述规则库中的规则包括：遍历规则、内存使用规则、数据I/O规则，和/或，突触与神经元的裁剪与新生规则；

所述遍历规则用于指导调度器按照第二预设时间间隔或第四预设遍历周期重复遍历或跳过遍历网络的全部或特定容器，以将计算资源集中在计算密集的子网络，提高数据利用效率；

所述内存使用规则用于指导调度器安排主内存和/或协处理器内存的

使用；

所述数据I/O规则用于指导所述调度器调度数据在主内存和协处理器内存间，以及内存与硬盘间交换的频次。

[权利要求 34] 根据权利要求1所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述调度器管理一个或多个主内存池，和，一个或多个设备内存池；

所述主内存池用于管理主内存的使用；

所述设备内存池对应于各个协处理器，用于管理相应设备内存的使用；

所述主内存池和设备内存池的容量上限和下限由用户通过配置描述模块指定。

[权利要求 35] 根据权利要求1或34所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述调度器管理一个或多个线程池，用于动态安排子线程参与多线程运算，以安排主计算单元、协处理器，和/或，I/O设备的运算负载。

[权利要求 36] 根据权利要求35所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，所述调度器管理一个或多个节点数据输入缓存器、一个或多个节点数据输出缓存器、一个或多个边数据输入缓存器以及一个或多个边数据输出缓存器，用于缓存读写硬盘或I/O设备的数据，以使调度器根据处理器、硬盘和/或I/O设备的负载，安排硬盘、I/O设备读写，避免I/O阻塞。

[权利要求 37] 根据权利要求36所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统，其特征在于，各个所述缓存器的容量、读写硬盘或I/O设备的频次上限和下限、读写硬盘或I/O设备的吞吐量上限和下限，由用户通过配置描述模块指定。

[权利要求 38] 一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算方法，其特征在于，所述方法使用如权利要求1至37任一项所述的一种用于类脑智能与认知计算的脉冲神经网络运算系统。

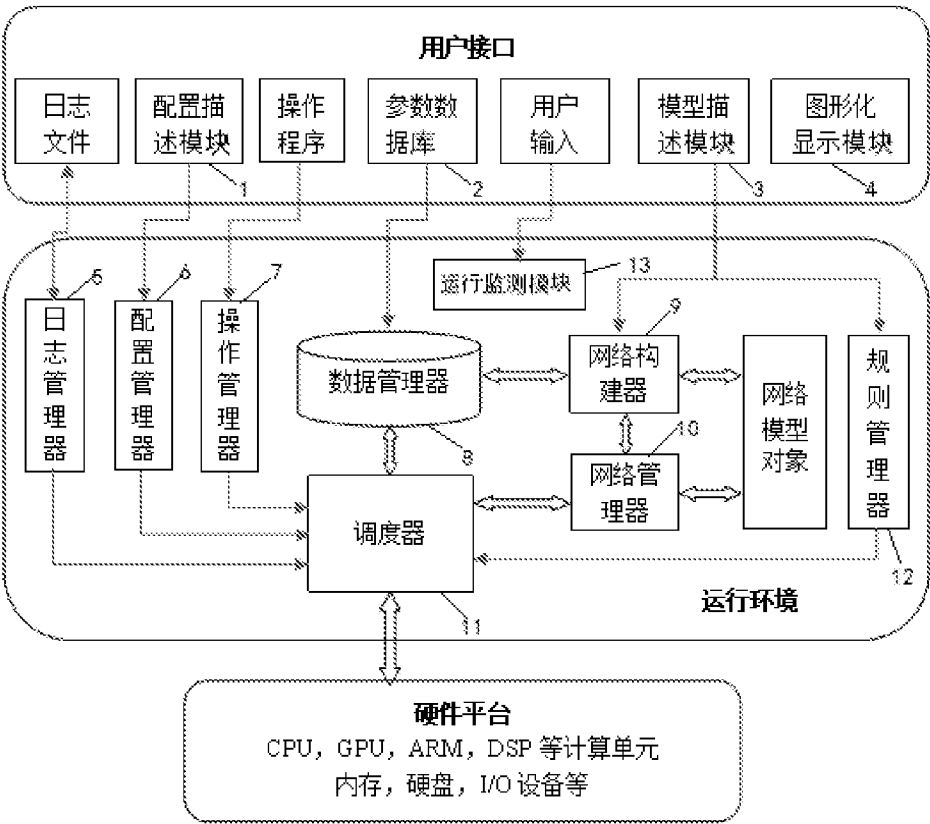


图 1

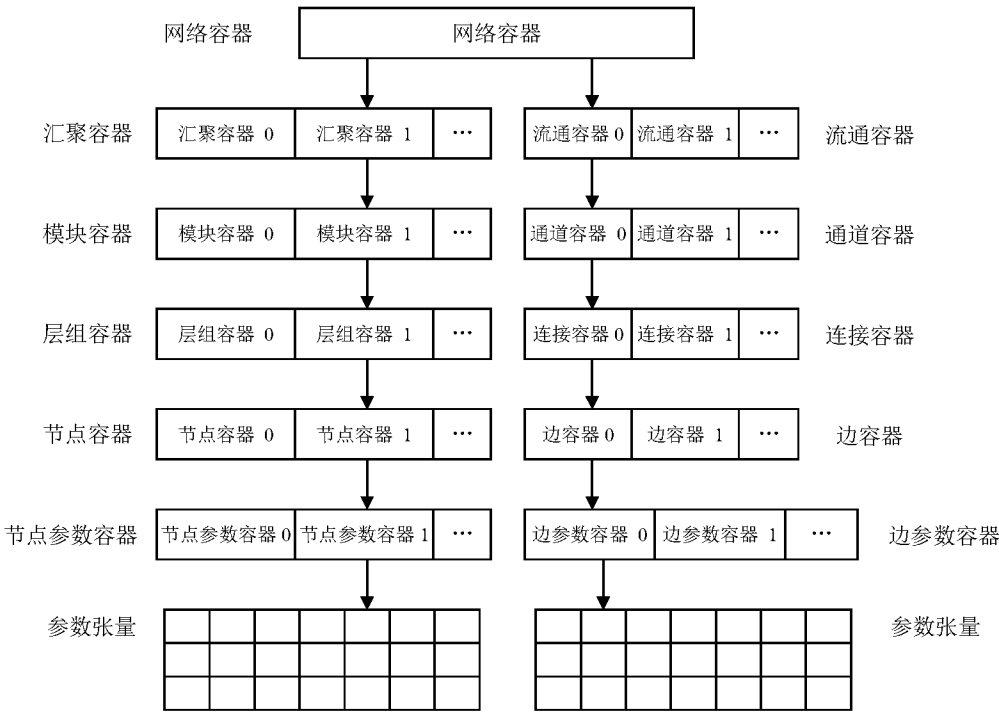


图 2

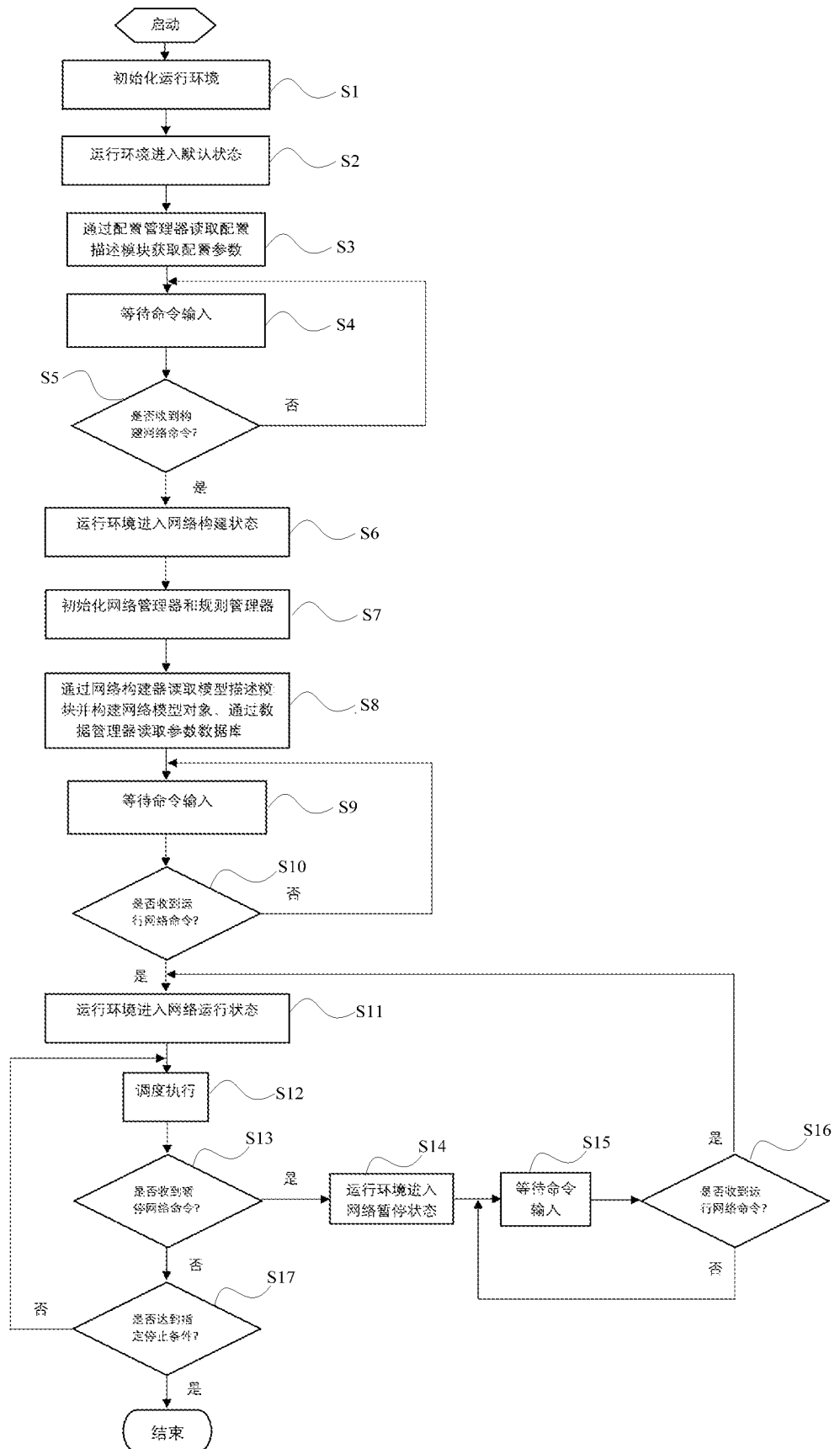


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/099714

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 3/063(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06N

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: 类脑, 脉冲神经网络, 突触, 神经元, 框架, 架构, 裁剪, 新生, brain like, pulse neural network, spiking neural network, SNN, synapse, neuron, framework, prune, newborn

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110322010 A (SHENZHEN YIHAI YUANZHI TECHNOLOGY CO., LTD.) 11 October 2019 (2019-10-11) claims 1-38	1-38
A	CN 108182473 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 19 June 2018 (2018-06-19) description, paragraphs 25-46	1-38
A	CN 109858620 A (BEIJING LYNXI TECHNOLOGY CO., LTD.) 07 June 2019 (2019-06-07) entire document	1-38
A	US 2012109864 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 03 May 2012 (2012-05-03) entire document	1-38
A	CN 108985447 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 11 December 2018 (2018-12-11) entire document	1-38



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 September 2020

Date of mailing of the international search report

13 October 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/099714

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110322010	A	11 October 2019	None			
CN	108182473	A	19 June 2018	None			
CN	109858620	A	07 June 2019	WO	2020134824	A1	02 July 2020
US	2012109864	A1	03 May 2012	JP	2013546065	A	26 December 2013
				CN	103201610	A	10 July 2013
				WO	2012055593	A1	03 May 2012
				EP	2635889	A1	11 September 2013
				US	2014188771	A1	03 July 2014
CN	108985447	A	11 December 2018	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/099714

A. 主题的分类

G06N 3/063 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

G06N

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNPAT, CNKI, EPDOC, WPI: 类脑, 脉冲神经网络, 突触, 神经元, 框架, 架构, 裁剪, 新生, brain like, pulse neural network, spiking neural network, SNN, synapse, neuron, framework, prune, newborn

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 110322010 A (深圳忆海原识科技有限公司) 2019年 10月 11日 (2019 - 10 - 11) 权利要求1-38	1-38
A	CN 108182473 A (中国科学院自动化研究所) 2018年 6月 19日 (2018 - 06 - 19) 说明书第25-46段	1-38
A	CN 109858620 A (北京灵汐科技有限公司) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文	1-38
A	US 2012109864 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 2012年 5月 3日 (2012 - 05 - 03) 全文	1-38
A	CN 108985447 A (华中科技大学) 2018年 12月 11日 (2018 - 12 - 11) 全文	1-38

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 9月 21日

国际检索报告邮寄日期

2020年 10月 13日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

董立波

电话号码 86- (10) -53961431

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/099714

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110322010	A	2019年 10月 11日	无			
CN	108182473	A	2018年 6月 19日	无			
CN	109858620	A	2019年 6月 7日	WO	2020134824	A1	2020年 7月 2日
US	2012109864	A1	2012年 5月 3日	JP	2013546065	A	2013年 12月 26日
				CN	103201610	A	2013年 7月 10日
				WO	2012055593	A1	2012年 5月 3日
				EP	2635889	A1	2013年 9月 11日
				US	2014188771	A1	2014年 7月 3日
CN	108985447	A	2018年 12月 11日	无			