



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115859783 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 28

(21) 申请号 202211447961.8

G06F 18/214 (2023.01)

(22) 申请日 2022.11.18

G06N 3/04 (2023.01)

G06N 3/08 (2023.01)

(71) 申请人 中广核研究院有限公司

地址 518048 广东省深圳市福田区上步中路1001号深圳科技大厦

申请人 中国广核集团有限公司

中国广核电力股份有限公司

(72) 发明人 李文淮 陈澍 丁鹏 于枫婉

夏文卿 刘敏 胡硕文 段承杰

崔大伟 林继铭

(74) 专利代理机构 华进联合专利商标代理有限公司 44224

专利代理师 姚姝娅

(51) Int. Cl.

G06F 30/27 (2020.01)

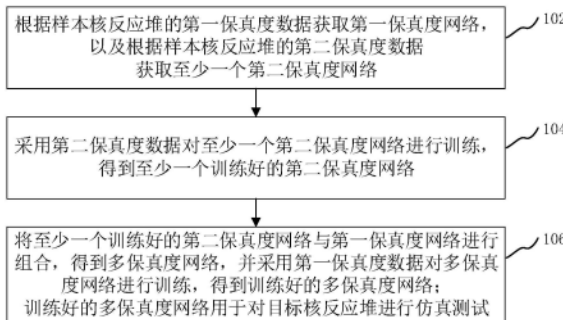
权利要求书2页 说明书14页 附图3页

(54) 发明名称

用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法和装置

(57) 摘要

本申请涉及一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法和装置。所述方法包括：根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络，以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络；采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练，得到至少一个训练好的第二保真度网络；将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合，得到多保真度网络，并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练，得到训练好的多保真度网络；训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。采用本方法能够根据不同保真度数据之间的耦合，输出最终的仿真结果，从而在保证仿真精度的同时提高仿真效率。



1. 一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法,其特征在于,所述方法包括:
根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据所述样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

采用所述第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

将至少一个训练好的第二保真度网络与所述第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用所述第一保真度数据对所述多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;所述训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络之前,还包括:

获取所述样本核反应堆的多个数据集;

确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为所述第一保真度数据;

将所述多个数据集中,除所述第一保真度数据以外的数据,作为所述第二保真度数据。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络,包括:

对所述第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;

根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;所述第二保真度网络的数量和所述保真度等级的数量相同;

所述采用所述第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络,包括:

分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将至少一个训练好的第二保真度网络与所述第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,包括:

将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到所述第一保真度网络的其中一个输入端;

将所述第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为所述多保真度网络的输入端,将所述第一保真度网络的输出端作为所述多保真度网络的输出端,得到所述多保真度网络。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用所述第一保真度数据对所述多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络,包括:

将所述多保真度网络作为生成器网络,并根据所述生成器网络获取对应的判别器网络;

根据所述生成器网络和所述判别器网络构建生成对抗网络;

采用所述第一保真度数据对所述生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;

从所述训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为所述训练好的多保真

度网络。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

获取所述目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;

将所述控制参数和所述第一时刻状态参数输入所述训练好的多保真度网络,得到所述目标核反应堆的第二时刻状态参数;

基于所述第二时刻状态参数得到所述目标核反应堆的仿真测试结果。

7. 一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置,其特征在于,所述装置包括:

获取模块,用于根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据所述样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

训练模块,用于采用所述第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

组合模块,用于将至少一个训练好的第二保真度网络与所述第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用所述第一保真度数据对所述多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;所述训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

8. 一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至6中任一项所述的方法的步骤。

9. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至6中任一项所述的方法的步骤。

10. 一种计算机程序产品,包括计算机程序,其特征在于,该计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至6中任一项所述的方法的步骤。

用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法和装置

技术领域

[0001] 本申请涉及核电厂反应堆堆芯设计及运行技术领域,特别是涉及一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品。

背景技术

[0002] 核反应堆在设计及运行过程中,均需要针对反应堆实际或假定的运行条件进行模拟,以验证设计或运行反应堆的安全性。一方面,针对设计的反应堆,需要在各种假定的事故条件下,对反应堆的各种运行边界及运行后果进行定量评估,以保证设计反应堆的安全性;另一方面,在运行的反应堆中,需要进行各种模拟计算,使得设计计算的参数与实际运行的参数在一定误差范围内是吻合的,进而保证设计反应堆与实际反应堆的一致性,从而保证运行反应堆在各种事故条件下也有足够的安全边界。此外,一些跟反应堆运行安全直接相关的参数(例如,燃料棒包壳温度等)并不能直接测量,而必须通过一些可测量的反应堆流体参数(如温度、压力等)或者中子探测器读数(如表征裂变反应率),结合反应堆的仿真模型推衍得到。这些模型都是近似的对真实反应堆过程的抽象,只能部分的模拟堆内中子行为以及燃料行为。如核设计软件包PCM中采用了等效均匀化假设和中子扩散近似以实现三维堆芯的模拟。点堆方程虽没有空间分布但常用于基于测量功率变化的反应性以及氡毒的反演监测。这些模型统称为状态转移模型,表示堆芯状态由于控制动作转移到下一时刻状态的变化过程。状态转移模型既用于当前时刻下非可测量变量的状态分布,也用于后续时刻堆芯状态的预测,存在未知的误差。

[0003] 目前已有大量的反应堆理论研究成果,包括高保真度模型(如蒙特卡罗方法、输运理论或扩散近似等)和低保真度模型(如点堆动力学等),但是这些模型都是采用单一保真度的数据建模得到,在使用过程中均存在较大的缺陷。较高保真度的数理方程模型计算效率难以满足实时性要求,较低保真度引入过多简化假设难以满足精度要求。

[0004] 因此,目前的核反应堆仿真无法在保证精度的同时提高仿真效率。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对上述技术问题,提供一种能够在保证仿真精度的同时提高仿真效率的用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法、装置、计算机设备、计算机可读存储介质和计算机程序产品。

[0006] 第一方面,本申请提供了一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法。所述方法包括:

[0007] 根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

[0008] 采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

[0009] 将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度

网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0010] 在其中一个实施例中,根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络之前,还包括:

[0011] 获取样本核反应堆的多个数据集;

[0012] 确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;

[0013] 将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0014] 在其中一个实施例中,根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络,包括:

[0015] 对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;

[0016] 根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同;

[0017] 采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络,包括:

[0018] 分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0019] 在其中一个实施例中,将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,包括:

[0020] 将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;

[0021] 将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。

[0022] 在其中一个实施例中,采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络,包括:

[0023] 将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;

[0024] 根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;

[0025] 采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;

[0026] 从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络。

[0027] 在其中一个实施例中,方法还包括:

[0028] 获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;

[0029] 将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;

[0030] 基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0031] 第二方面,本申请还提供了一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置。所述装置包括:

[0032] 获取模块,用于根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

[0033] 训练模块,用于采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

[0034] 组合模块,用于将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0035] 第三方面,本申请还提供了一种计算机设备。所述计算机设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

[0036] 根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

[0037] 采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

[0038] 将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0039] 第四方面,本申请还提供了一种计算机可读存储介质。所述计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现以下步骤:

[0040] 根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

[0041] 采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

[0042] 将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0043] 第五方面,本申请还提供了一种计算机程序产品。所述计算机程序产品,包括计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以下步骤:

[0044] 根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;

[0045] 采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;

[0046] 将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0047] 上述用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品,根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保

真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。这样,通过多保真度网络对目标核反应堆进行仿真时,第二保真度网络能够先根据输入参数得到参考仿真结果,将输入参数和仿真结果一起输入第一保真度网络中,第一保真度网络能够根据不同保真度数据之间的耦合,输出最终的仿真结果,从而在保证仿真精度的同时提高仿真效率。

附图说明

- [0048] 图1为一个实施例中用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法的流程示意图;
- [0049] 图2为一个实施例中第二保真度网络的结构示意图;
- [0050] 图3为一个实施例中多保真度网络的结构示意图;
- [0051] 图4为另一个实施例中生成对抗网络训练的流程示意图;
- [0052] 图5为一个实施例中用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置的结构框图;
- [0053] 图6为一个实施例中计算机设备的内部结构图。

具体实施方式

[0054] 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,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0055] 在一个实施例中,如图1所示,提供了一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法,本实施例以该方法应用于计算机设备进行举例说明,可以理解的是,该计算机设备具体可以是终端或服务器。其中,终端可以但不限于各种工业计算机。服务器可以用独立的服务器或者是多个服务器组成的服务器集群来实现。本实施例中,该方法包括以下步骤:

[0056] 步骤102,根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络。

[0057] 其中,第一保真度数据是指高保真度数据,可以通过高保真度软件生成;第二保真度数据是指,与第一保真度数据相比,数据精度较低的低保真度数据,可以通过低保真度软件快速生成。第一保真度数据和第二保真度数据均包括样本核反应堆的输入输出的多项控制参数和状态参数,具体包括:1) 反应性参数,如控制棒棒位等;2) 功率参数,如功率水平、功率分布;3) 核子密度参数,如每个组件轴向高度上核子密度(包括裂变核素、次锕系核素、轻核实等等);4) 宏观或微观反应截面;5) 热工参数,如冷却剂温度、压力、流量等,燃料或材料的温度等等。其中,反应性参数和功率参数可以作为输入参数,其他状态参数作为输出参数。

[0058] 可选的,根据目标核反应堆的仿真需求,以及第一保真度数据的数据类型,选择一个合适的神经网络作为第一保真度网络。同样的,根据目标核反应堆的仿真需求,以及第二保真度数据的数据类型,选择另一个或多个合适的神经网络分别作为第二保真度网络。

[0059] 步骤104,采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一

个训练好的第二保真度网络。

[0060] 可选的,可以直接采用所有第二保真度数据对一个第二保真度网络进行训练,得到一个训练好的第二保真度网络。也可以先对第二保真度数据进行精度区分,针对样本核反应堆的状态特性,对第二保真度数据中的每一组数据进行精度评分,然后根据精度评分将所有数据分为多个保真度等级,准备和保真度等级相同数量的第二保真度网络,分别采用一个保真度等级的数据对每个第二保真度网络进行训练。例如,将第二保真度数据按照精度区分为两个部分,将精度较高的数据作为中保真度数据,将精度较低的数据作为低保真度数据,准备两个第二保真度网络:中保真度网络和低保真度网络,采用中保真度数据对中保真度网络进行训练,得到训练好的中保真度网络,同时采用低保真度数据对低保真度网络进行训练,得到训练好的低保真度网络。

[0061] 步骤106,将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0062] 可选的,将每一个训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的输入端;将第一保真度网络的输入端、以及每一个训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。多保真度网络在训练时,输入数据先输入到每一个训练好的第二保真度网络中,每一个训练好的第二保真度网络输出各自的仿真结果,将这些仿真结果作为参考数据,和输入数据共同输入第一保真度网络中,第一保真度网络结合参考数据,对输入数据进行处理,输出一个仿真数据,将仿真数据和输入数据对应的标签数据进行对比,调整第一保真度网络的权重参数。待第一保真度网络输出的仿真数据和输入数据对应的标签数据的对比结果满足仿真需求时,完成训练,得到训练好的多保真度网络。整个训练过程中,各训练好的第二保真度网络不做调整,即第一保真度数据仅用于训练第一保真度网络。

[0063] 在一个可行的实施方式中,获取目标核反应堆的控制参数和当前状态参数,然后将控制参数和当前状态参数输入训练好的多保真度网络,多保真度网络能够输出的预测状态参数,预测状态参数能够表征目标核反应堆在控制参数的影响下状态参数产生的变化,基于预测状态参数就可以对目标核反应堆进行仿真测试,从而确定对目标核反应堆最佳的控制方式和控制参数。

[0064] 上述用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法中,根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。这样,通过多保真度网络对目标核反应堆进行仿真时,第二保真度网络能够先根据输入参数得到参考仿真结果,将输入参数和仿真结果一起输入第一保真度网络中,第一保真度网络能够根据不同保真度数据之间的耦合,输出最终的仿真结果,从而在保证仿真精度的同时提高仿真效率。

[0065] 在一个实施例中,根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度

网络之前,还包括:获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0066] 可选的,可以通过多种不同保真度的软件生成样本核反应堆的第一保真度数据和第二保真度数据,这些软件是基于数学物理方程,进行推到计算的。也可以人工获取部分运行工况下的实测数据,实测数据本身,可以作为最高级别的保真度而存在,也可以作为低保真度数据而存在,基于数据获取的本质以及数据获取条件而定,因此需要对这些数据进行保真度划分,将高保真度的数据作为第一保真度数据,其余数据作为第二保真度数据。不同保真度数据之间需要统一数据格式。

[0067] 具体的,定义样本核反应堆的状态空间参数为 $x \in R^{d_x}$,利用高保真度软件,生成高保真度数据集。因为高保真度仿真软件的计算精度较高,但计算效率较低。例如进行典型一次反应堆状态点的计算,大约为几分钟或几小时不等。因此高保真度数据就相对于稀缺。假设高保真度仿真软件的输入为 $x^{high} \in R^{d_x}$,输出为 $y^{high} \in R^{d_y}$,得到高保真度的输入输出对:

$(x^{high}, y^{high}) \in R^{d_x, d_y}$,由于反应堆的过程本质上可以看作一个马尔可夫过程,因此其输入状态空间与输出状态空间本质上可以是一致的。同理,构建中保真度的输入输出对: $(x^{mid}, y^{mid}) \in R^{d_x, d_y}$,以及低保真度的输入输出对: $(x^{low}, y^{low}) \in R^{d_x, d_y}$ 。

[0068] 本实施例中,通过获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。能够得到不同保真度的数据。

[0069] 在一个实施例中,根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络,包括:对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同。

[0070] 进一步的,采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络,包括:分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0071] 可选的,以第二保真度网络包含中保真度网络和低保真度网络为例,对于两个第二保真度网络,选用标准的神经网络,对输入输出进行拟合训练,实现 $(x^{mid}, y^{mid}) \in R^{d_x, d_y}$ 和 $(x^{low}, y^{low}) \in R^{d_x, d_y}$ 的网络构建。如图2所示,神经网络的层数(或称深度)m,以及每个层的节点数(或称宽度)n,激活函数ReLU或者leakyReLU,学习率,优化算法Adam或SGD等,为神经网络训练的超参数,可根据不同的问题来设置,也可以根据超参数优化算法HP0来最终确定相关参数。神经网络的构建和训练等方法可以根据数据类型、训练需求等进行选择,这里不再赘述。可以采用一些深度学习开源平台,包括PaddlePaddle、Pytorch、Tensorflow等,可以很容易实现一个优化的神经网络模型以表征低保真度数据或中保真度数据的内在关系。

[0072] 本实施例中,通过对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网

络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同;分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。能够得到多个训练好的第二保真度网络。

[0073] 在一个实施例中,将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,包括:将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。

[0074] 可选的,以第一保真度网络为高保真度网络,第二保真度网络包含中保真度网络和低保真度网络为例,由于本身低保真度网络存在大量的数据,而高保真度的数据量相对较少,直接针对高保真度数据源进行训练将带来较大的过拟合误差。因此,将高保真输入数据 x^{high} 投入到已经训练好的低保真度网络、中保真度网络等,获得这几个非高保真度网络等级下的输出 $\bar{y}_{\text{low}}^{\text{high}}$ 和 $\bar{y}_{\text{mid}}^{\text{high}}$ 。事实上, $\bar{y}_{\text{low}}^{\text{high}}$ 或 $\bar{y}_{\text{mid}}^{\text{high}}$ 与真实 y^{high} 的差异,表征了低保真度网络扩展到高保真度数据的误差。

[0075] 进一步,通过第一保真度网络的学习训练,能够修正相关的误差。因此构建第一保真度网络,如图3所示,将低保真度网络的输出和中保真度网络的输出网络映射到高保真度网络的其中一项输入上,组合得到多保真度网络。其中,多保真度网络的深度和宽度 m^{high} 和 n^{high} ,以及激活函数、训练超参数等,需要根据具体核反应堆的状态参数而确定,这里不再赘述。

[0076] 本实施例中,将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。多保真度网络能够结合不同保真度网络的输出结果得到最终的仿真结果,且通过大量低保真度的数据训练得到多保真度网络中的第二保真度网络部分,能够大幅提高训练的计算效率和精度,以满足实时性要求。

[0077] 在一个实施例中,采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络,包括:将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络。

[0078] 可选的,以第一保真度网络为高保真度网络,第二保真度网络包含中保真度网络和低保真度网络为例,如图3所示,基于生成器网络的输出 \bar{y}^{high} 和 y^{high} ,传统的神经网络训练

直接利用 \bar{y}^{high} 和 y^{high} 的偏差,如L1loss损失函数: $L_1(\bar{y}^{\text{high}}, y^{\text{high}}) = \sum_{i=0}^m |\bar{y}_i^{\text{high}} - y_i^{\text{high}}|$,就可直接开展训练。

[0079] 基于上述做法,在真实的样本中加入人工精心设计好的噪声,合成一个新的输入数据(或称为对抗数据),将导致整个生产器网络预测错误。即在对抗数据面前,深度生成器网络是脆弱的,可以轻易迷惑这些深度神经网络。深度神经网络对对抗样本的预测错误率

非常高,在人类认为几乎无法判别原样本和对抗样本的区别的情况下(偏差非常小),原本的深度神经网络的功能已经失效,不能作为反应堆后续状态预测的基础。特别是,在核电厂实际测量过程中,所有的测量参数都伴随着随机的可能消除的误差,一些潜在的误差扰动可能导致深度神经网络模型预测的灾难性错误结果。提升神经网络的对抗鲁棒性(抵御对抗样本的能力)对反应堆预测模型的开发直观重要。因此,基于对抗学习的思想,新增一个判别器。利用对抗训练的方法,提升神经网络对抗样本欺骗的能力。对抗训练的基本思想是在网络训练过程中,不断生成并学习对抗样本。使得通过生成器 $G(X)$ 生成的反应堆状态标签,能够欺骗判别器,与真实的反应堆状态标签一致。即判别器 $D(Y)$ 的输出则是判断来自真实标签的可能性。判别器的网络结构、学习率等超参数根据具体的实际场景调整。

[0080] 进一步的,如图4所示,对于生成器 $G(X)$ 来说,需要不断的欺骗判别器 D ,使得 $\log(D(G(X)))$ 达到最大,即使得 \bar{y}^{high} 与 y^{high} 尽量的接近。对于判别器 D 来说,需要不断的学习,防止被生成器欺骗,此时,针对真正输入 y^{high} 需要达到最大化的判断正确为真,同时,针对假的输入 \bar{y}^{high} 实现最大的判断为假。使得 $\log(D(Y)) + \log(1 - D(G(X)))$ 最大化。具体的训练过程,是先训练判别器 D ,然后训练生成器 G ,直到判别器 D 与生成器 G 达到一个纳什均衡。

[0081] 本实施例中,将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络。能够得到训练好的多保真度网络,训练好的多保真度网络能够结合不同保真度网络的输出结果得到输入数据对应的仿真结果。

[0082] 训练好的多保真网络用于对目标核反应堆进行仿真测试,即,目标核反应堆可以通过训练好的多保真网络进行仿真测试,以实现目标反应堆状态变化的模拟。具体地,在一个实施例中,目标核反应堆通过训练好的多保真网络进行仿真测试的步骤包括:获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0083] 可选的,以第一保真度网络为高保真度网络,第二保真度网络包含中保真度网络和低保真度网络为例,通过低保真度网络、中保真度网络,以及高保真网络组合得到的多保真度网络,可以实现对反应堆状态变化 \bar{y}^{high} 的模拟。如图3所示,在实际应用过程中,向多保真度网络输入 x^{high} , x^{high} 包括目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数,是先由低保真度网络、中保真度网络处理输入数据 x^{high} ,分别输出 \bar{y}_{low}^{high} 和 \bar{y}_{mid}^{high} ,然后将 x^{high} 输入高保真度网络,同时也将 \bar{y}_{low}^{high} 和 \bar{y}_{mid}^{high} 输入高保真度网络,高保真度网络输出反应堆状态仿真变化 \bar{y}^{high} , \bar{y}^{high} 包括目标核反应堆的第二时刻状态参数。其中,第一时刻和第二时刻之间的关系,取决于多保真度网络在训练过程中,训练数据 (x^{high}, y^{high}) 中 x^{high} 和 y^{high} 之间的时刻关系。

[0084] 本实施例中,获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。能够根据不同保真度数据之间

的耦合,输出最终的仿真结果,从而在保证仿真精度的同时提高仿真效率。

[0085] 在一个实施例中,一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建,包括:

[0086] 获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0087] 根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络。对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同。

[0088] 分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0089] 将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。

[0090] 将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络,训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0091] 其中,目标核反应堆通过训练好的多保真网络进行仿真测试的具体步骤包括:获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0092] 应该理解的是,虽然如上所述的各实施例所涉及的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示,但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明,这些步骤的执行并没有严格的顺序限制,这些步骤可以以其它的顺序执行。而且,如上所述的各实施例所涉及的流程图中的至少一部分步骤可以包括多个步骤或者多个阶段,这些步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成,而是可以在不同的时刻执行,这些步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行,而是可以与其它步骤或者其它步骤中的步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

[0093] 基于同样的发明构思,本申请实施例还提供了一种用于实现上述所涉及的用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法的用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置。该装置所提供的解决问题的实现方案与上述方法中所记载的实现方案相似,故下面所提供的的一个或多个用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置实施例中的具体限定可以参见上文中对于用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建方法的限定,在此不再赘述。

[0094] 在一个实施例中,如图5所示,提供了一种用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置500,包括:获取模块501、训练模块502和组合模块503,其中:

[0095] 获取模块501,用于根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以

及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络。

[0096] 训练模块502,用于采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0097] 组合模块503,用于将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0098] 在一个实施例中,获取模块501还用于获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0099] 在一个实施例中,获取模块501还用于对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同。

[0100] 训练模块502还用于分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0101] 在一个实施例中,组合模块503还用于将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。

[0102] 在一个实施例中,组合模块503还用于将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络。

[0103] 在一个实施例中,装置还包括:

[0104] 测试模块504,用于获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0105] 上述用于核反应堆仿真测试的多保真度网络构建装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中,也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中,以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

[0106] 在一个实施例中,提供了一种计算机设备,该计算机设备可以是服务器,其内部结构图可以如图6所示。该计算机设备包括处理器、存储器、输入/输出接口(Input/Output,简称I/O)和通信接口。其中,处理器、存储器和输入/输出接口通过系统总线连接,通信接口通过输入/输出接口连接到系统总线。其中,该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质和内存。该非易失性存储介质存储有操作系统、计算机程序和数据库。该内存为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的数据库用于存储神经网络数据。该计算机设备的输入/输出接口用于处理器与外部设备之间交换信息。该计算机设备的通信接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种用于核反应堆仿真

测试的多保真度网络构建方法。

[0107] 本领域技术人员可以理解,图6中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定,具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0108] 在一个实施例中,提供了一种计算机设备,包括存储器和处理器,存储器中存储有计算机程序,该处理器执行计算机程序时实现以下步骤:根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0109] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0110] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同。

[0111] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0112] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。

[0113] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络。

[0114] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0115] 在一个实施例中,提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现以下步骤:根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,

并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0116] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0117] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的数量相同。

[0118] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:分别采用各保真度等级对应的子数据,对各第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0119] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:将各训练好的第二保真度网络的输出端,分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端;将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端,将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端,得到多保真度网络。

[0120] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:将多保真度网络作为生成器网络,并根据生成器网络获取对应的判别器网络;根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络;采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练,得到训练好的生成对抗网络;从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络,作为训练好的多保真度网络。

[0121] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数;将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络,得到目标核反应堆的第二时刻状态参数;基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0122] 在一个实施例中,提供了一种计算机程序产品,包括计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以下步骤:

[0123] 根据样本核反应堆的第一保真度数据获取第一保真度网络,以及根据样本核反应堆的第二保真度数据获取至少一个第二保真度网络;采用第二保真度数据对至少一个第二保真度网络进行训练,得到至少一个训练好的第二保真度网络;将至少一个训练好的第二保真度网络与第一保真度网络进行组合,得到多保真度网络,并采用第一保真度数据对多保真度网络进行训练,得到训练好的多保真度网络;训练好的多保真度网络用于对目标核反应堆进行仿真测试。

[0124] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:获取样本核反应堆的多个数据集;确定各数据集的精确程度,将精确程度最高的一个数据集中的数据作为第一保真度数据;将多个数据集中,除第一保真度数据以外的数据,作为第二保真度数据。

[0125] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:对第二保真度数据进行等级划分,得到至少一个保真度等级、以及各保真度等级对应的子数据;根据各保真度等级对应的子数据获取对应的第二保真度网络;第二保真度网络的数量和保真度等级的

数量相同。

[0126] 在一个实施例中, 计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤: 分别采用各保真度等级对应的子数据, 对各第二保真度网络进行训练, 得到至少一个训练好的第二保真度网络。

[0127] 在一个实施例中, 计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤: 将各训练好的第二保真度网络的输出端, 分别连接到第一保真度网络的其中一个输入端; 将第一保真度网络的输入端、以及各训练好的第二保真度网络的输入端共同作为多保真度网络的输入端, 将第一保真度网络的输出端作为多保真度网络的输出端, 得到多保真度网络。

[0128] 在一个实施例中, 计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤: 将多保真度网络作为生成器网络, 并根据生成器网络获取对应的判别器网络; 根据生成器网络和判别器网络构建生成对抗网络; 采用第一保真度数据对生成对抗网络进行训练, 得到训练好的生成对抗网络; 从训练好的生成对抗网络中获取训练好的生成器网络, 作为训练好的多保真度网络。

[0129] 在一个实施例中, 计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤: 获取目标核反应堆的控制参数和第一时刻状态参数; 将控制参数和第一时刻状态参数输入训练好的多保真度网络, 得到目标核反应堆的第二时刻状态参数; 基于第二时刻状态参数得到目标核反应堆的仿真测试结果。

[0130] 需要说明的是, 本申请所涉及的用户信息 (包括但不限于用户设备信息、用户个人信息等) 和数据 (包括但不限于用于分析的数据、存储的数据、展示的数据等), 均为经用户授权或者经过各方充分授权的信息和数据, 且相关数据的收集、使用和处理需要遵守相关国家和地区的相关法律法规和标准。

[0131] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程, 是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成, 所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读存储介质中, 该计算机程序在执行时, 可包括如上述各方法的实施例的流程。其中, 本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、数据库或其它介质的任何引用, 均可包括非易失性和易失性存储器中的至少一种。非易失性存储器可包括只读存储器 (Read-Only Memory, ROM)、磁带、软盘、闪存、光存储器、高密度嵌入式非易失性存储器、阻变存储器 (ReRAM)、磁变存储器 (Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM)、铁电存储器 (Ferroelectric Random Access Memory, FRAM)、相变存储器 (Phase Change Memory, PCM)、石墨烯存储器等。易失性存储器可包括随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM) 或外部高速缓冲存储器等。作为说明而非局限, RAM可以是多种形式, 比如静态随机存取存储器 (Static Random Access Memory, SRAM) 或动态随机存取存储器 (Dynamic Random Access Memory, DRAM) 等。本申请所提供的各实施例中所涉及的数据库可包括关系型数据库和非关系型数据库中至少一种。非关系型数据库可包括基于区块链的分布式数据库等, 不限于此。本申请所提供的各实施例中所涉及的处理器可为通用处理器、中央处理器、图形处理器、数字信号处理器、可编程逻辑器、基于量子计算的数据处理逻辑器等, 不限于此。

[0132] 以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合, 为使描述简洁, 未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述, 然而, 只要这些技术特征的组合不存在矛盾, 都应当认为是本说明书记载的范围。

[0133] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对本申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请的保护范围应以所附权利要求为准。

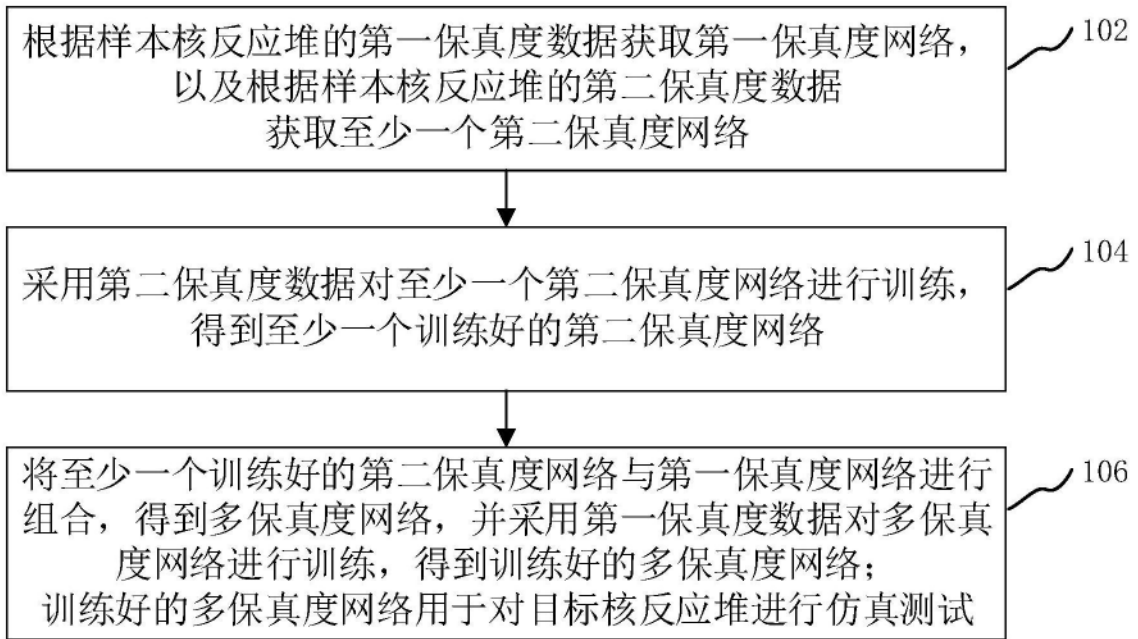


图1

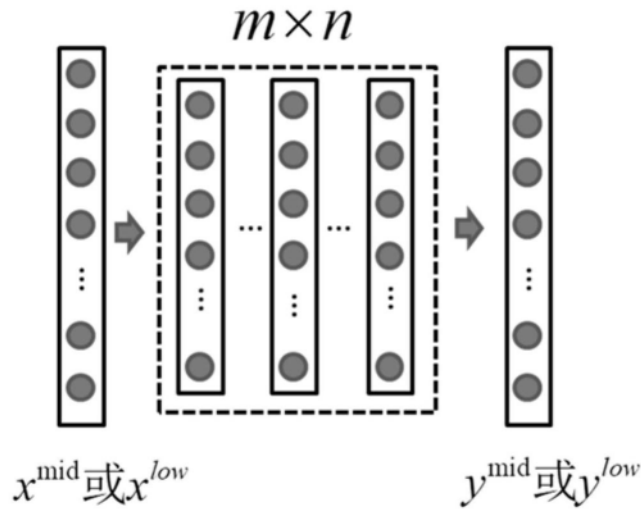


图2

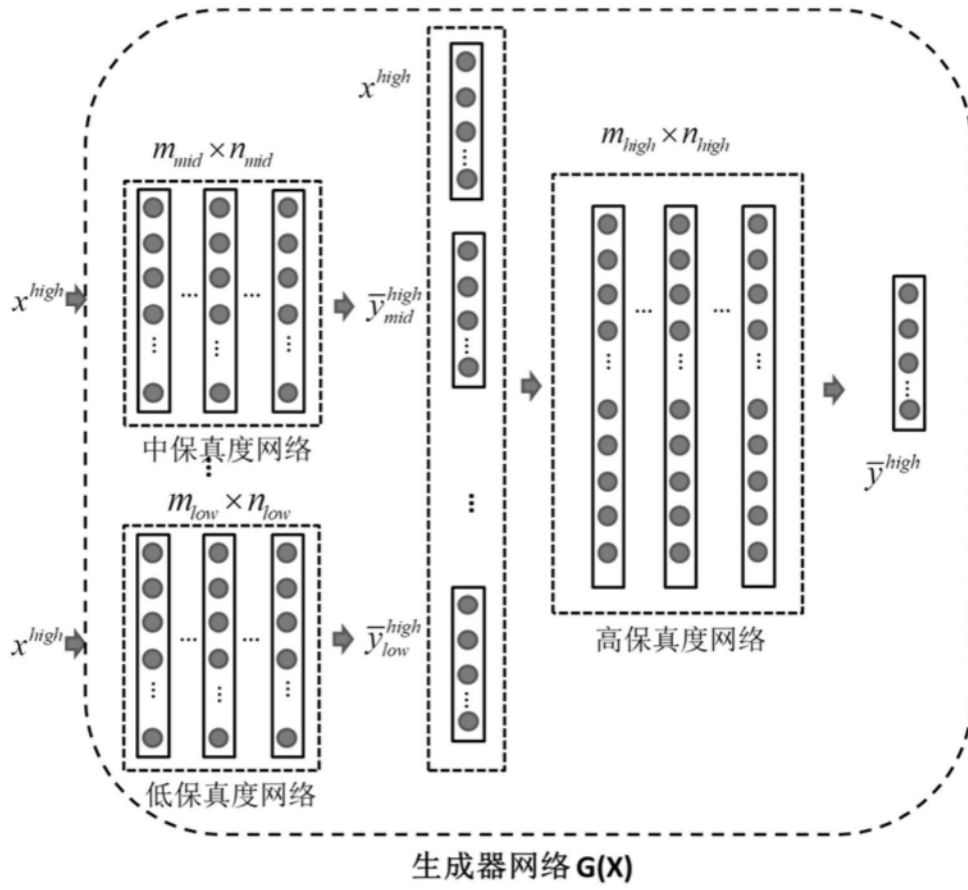


图3

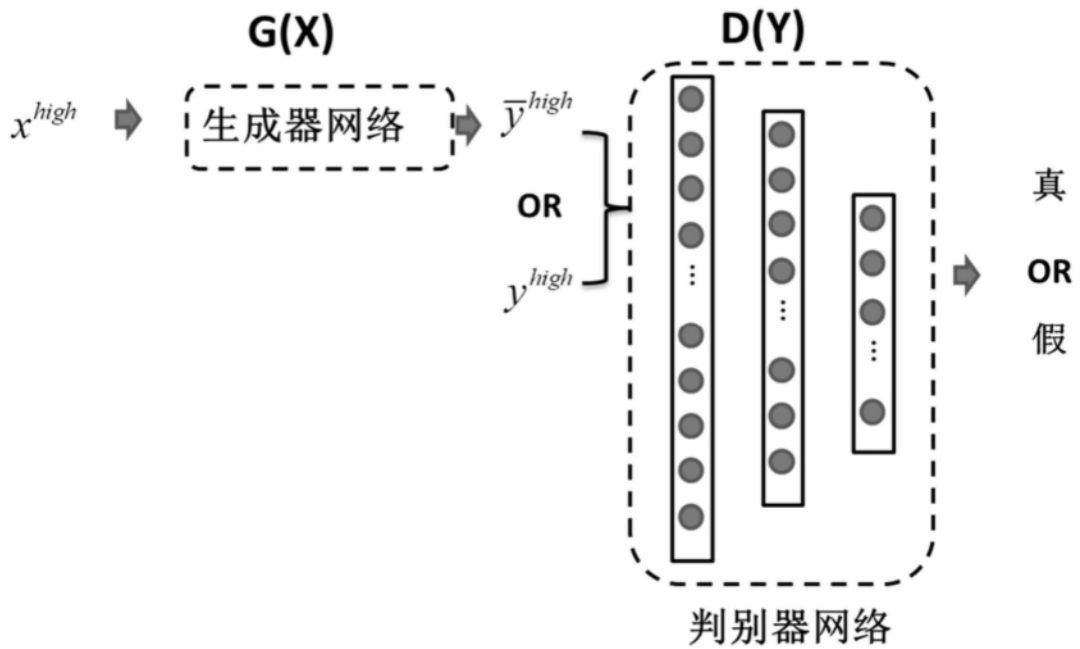


图4

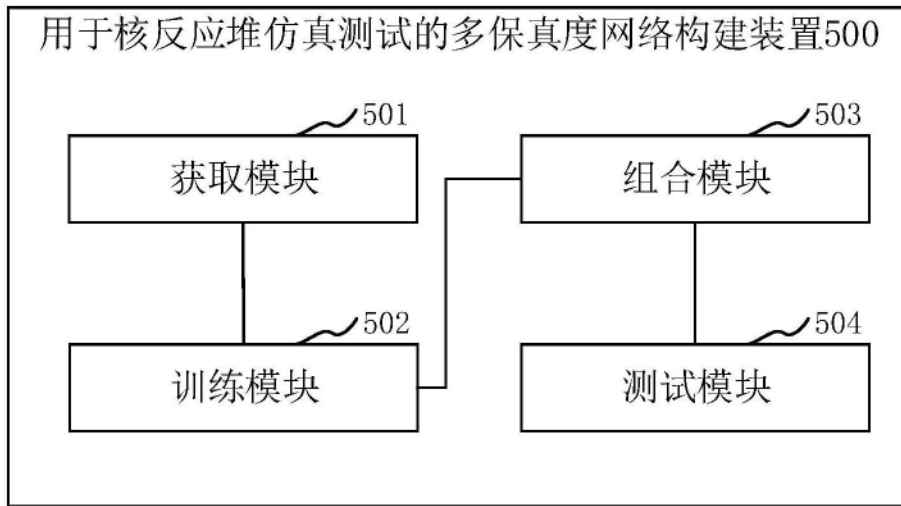


图5

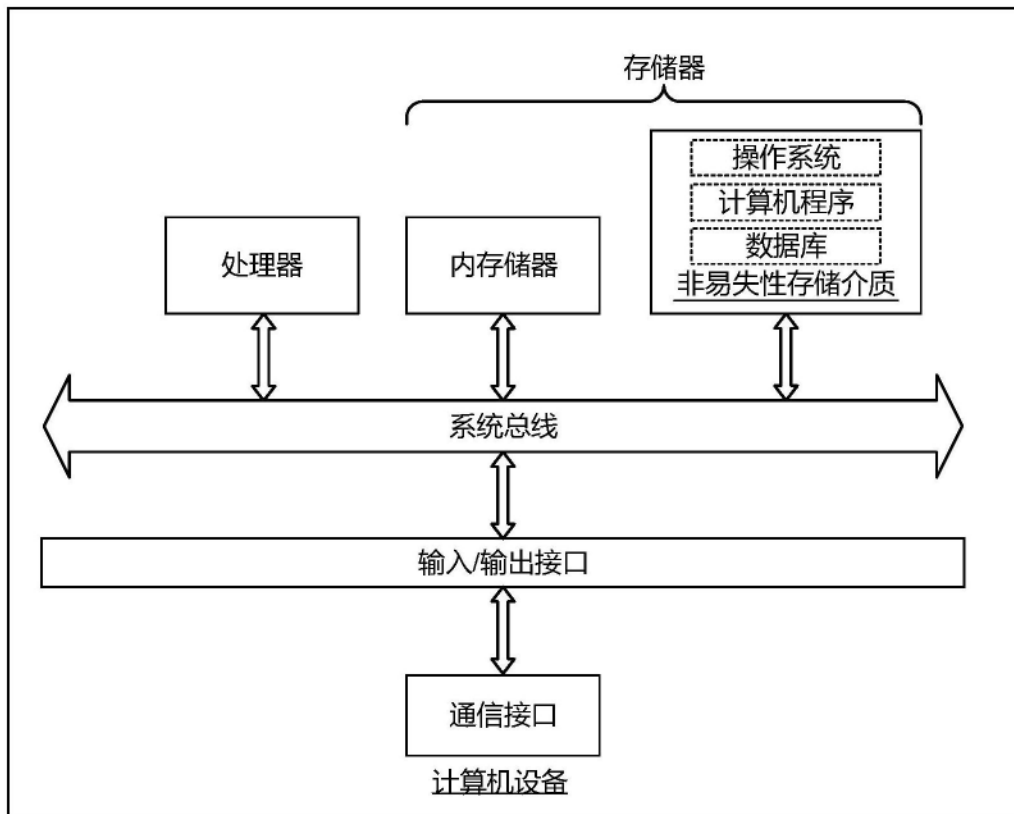


图6