

(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
2022 年 3 月 10 日 (10.03.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/048280 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06N 10/00 (2019.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/103305
- (22) 国际申请日: 2021 年 6 月 29 日 (29.06.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010923077.1 2020年9月4日 (04.09.2020) CN
- (71) 申请人: 苏州浪潮智能科技有限公司(SUZHOU INSPUR INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。
- (72) 发明人: 张新(ZHANG, Xin); 中国江苏省苏州市吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 赵雅倩(ZHAO, Yaqian); 中国江

苏省苏州市吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 李仁刚(LI, Rengang); 中国江苏省苏州市吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 姜金哲(JIANG, Jinzhe); 中国江苏省苏州市吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 李辰(LI, Chen); 中国江苏省苏州市吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 北京连和连知识产权代理有限公司(LIAN & LIEN IP ATTORNEYS); 中国北京市东城区东长安街1号东方广场E1座12层1207-1208单元, Beijing 100738 (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,

(54) Title: DISTRIBUTED QUANTUM COMPUTING SIMULATION METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 一种分布式的量子计算仿真方法和装置

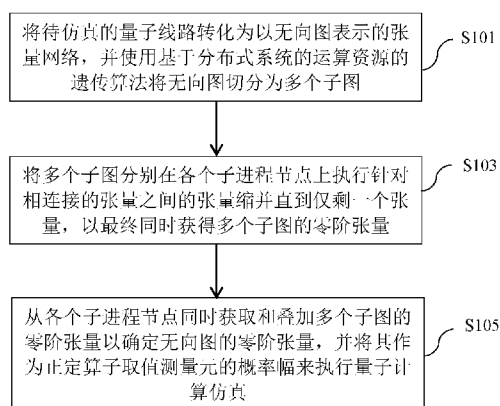


图 1

- S101 Convert a quantum circuit to be simulated into a tensor network represented by an undirected graph, and segment the undirected graph into a plurality of sub-graphs by means of a genetic algorithm based on operation resources of a distributed system
- S103 Respectively perform, on sub-process nodes, tensor contraction between connected tensors for the plurality of sub-graphs until only one tensor is left for each sub-graph, so as to finally obtain zero-order tensors of the plurality of sub-graphs at the same time
- S105 Acquire and superpose the zero-order tensors of the plurality of sub-graphs from the sub-process nodes at the same time to determine a zero-order tensor of the undirected graph, and use the zero-order tensor as a probability amplitude of a positive definite operator-valued measure element to execute quantum computing simulation

(57) Abstract: A distributed quantum computing simulation method and device. The method comprises: converting a quantum circuit to be simulated into a tensor network represented by an undirected graph, and segmenting the undirected graph into a plurality of sub-graphs by means of a genetic algorithm based on operation resources of a distributed system (S101); respectively performing, on sub-process nodes, tensor contraction between connected tensors for the plurality of sub-graphs until only one tensor is left for each sub-graph, so as to finally obtain zero-order tensors of the plurality of sub-graphs at the same time (S103); and acquiring and superposing the zero-order tensors of the plurality of sub-graphs from the sub-process nodes at the same time to determine a zero-order tensor of the undirected graph, and using the zero-order tensor as a probability amplitude of a positive definite operator-valued measure element to execute quantum computing simulation (S105). According to the method, single-amplitude strategy quantum computing simulation based on a density matrix can be executed on a distributed computing system, and the universality and usability of single-amplitude strategy quantum computing simulation are improved.

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, 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)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格 (细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种分布式的量子计算仿真方法和装置, 方法包括: 将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络, 并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图 (S101); 将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量, 以最终同时获得多个子图的零阶张量 (S103); 从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量, 并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真 (S105)。该方法能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真, 提高单振幅策略量子计算仿真的泛用性和易用性。

一种分布式的量子计算仿真方法和装置

本申请要求于 2020 年 09 月 04 日提交中国国家知识产权局，申请号为 202010923077.1，发明名称为“一种分布式的量子计算仿真方法和装置”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

本发明涉及量子计算领域，更具体地，特别是指一种分布式的量子计算仿真方法和装置。

背景技术

量子计算是利用量子纠缠和态叠加原理的新型计算模式，会带来强大的量子并行性，为后摩尔时代算力不足的问题带来新的解决方案。其实，费恩曼针对经典计算机仿真量子体系内存开销指数增长的问题，早在几十年前就提出量子计算的概念。经过几十年的发展，量子计算无论在硬件还是算法都取得很大的进展，尤其是随着谷歌宣称实现“量子霸权”，量子计算走进公众视野。然而，整体而言，量子计算仍处于初级阶段，距离大规模可容错的量子计算机还有很长的路要走。在这种背景下，基于经典计算机构建量子计算仿真平台有很重要的意义：（1）可以为量子算法提供验证平台，而且也能为量子软件、量子容错的可靠性做验证；（2）帮助理解经典计算和量子计算的界限，促进量子计算领域的发展。

构建量子计算仿真平台是一个相对比较新的方向，目前有全振幅和单振幅的模式。全振幅模式需要存储量子态的全部振幅，通过量子门对振幅进行调控，存储一个 N 量子比特的振幅需要的向量维数是 2^N ，存储需求随量子比特的增加指数增加，即使一个大型超算也很难仿真超过 45 量子比特的量子系统。最近，全振幅仿真也取得很大的进展，比如部分振幅仿真，

以及双比特门分解。基于关联电子体系量子态的 MPS(Matrix Product State, 矩阵乘积态) 和 PEPS(Projective Entangled Pair States, 投影纠缠对态) 技术也属于全振幅仿真。这些新技术可以使全振幅仿真的规模突破 45 量子比特。

5 单振幅仿真是最近发展起来的一种策略, 不用存储量子态全部振幅, 只需要计算 POVM(Positive Operator Value Measurement, 正定算子取值测量) 元的概率幅。单振幅策略很容易仿真量子霸权线路, 甚至超过 100 量子比特的浅层量子线路。单振幅模式一般是把量子线路映射为张量网络, 缩并后的零阶张量为所需概率幅。目前有基于路径积分和密度矩阵的两种
10 策略, 基于路径积分策略的研究相对较多, 目前可以仿真 40 层 9*9 量子比特的量子霸权线路, 是最好的结果。

但是对于基于密度矩阵的量子计算仿真策略, 国内外无具体可行的方案运行在分布式超算上, 只有支持多线程的方案, 运行在一个处理器内的多核上。针对现有技术中基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真不支持
15 分布式计算系统的问题, 目前尚无有效的解决方案。

发明内容

有鉴于此, 本发明实施例的目的在于提出一种分布式的量子计算仿真方法和装置, 能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真, 提高单振幅策略量子计算仿真的泛用性和易用性。

20 基于上述目的, 本发明实施例的第一方面提供了一种分布式的量子计算仿真方法, 包括执行以下步骤:

将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络, 并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图;

将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张
25 量缩并直到仅剩一个张量, 以最终同时获得多个子图的零阶张量;

从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图

的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真。

在一些实施方式中，将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络包括：

- 5 将量子线路中的量子比特的输入态、操作门、和测量使用迹运算转化为张量，并在无向图中确定为顶点；

将量子线路中的量子比特的输入态、操作门、和测量之间的连接关系在无向图中确定为对应顶点之间相连的边。

- 10 在一些实施方式中，使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图包括：

基于分布式系统的运算资源确定对无向图执行切分的次数，使得以 4 为底的切分次数的指数幂趋近可用的子进程的数量；

基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合；

将边集合中的边从无向图中切断，并在被切断位置生成两个新顶点；

- 15 为两个新顶点赋予 4 组分的密度算符 $\{|0\rangle\langle 0|, |0\rangle\langle 1|, |1\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ 中之一作为两个新顶点的张量；

基于两个新顶点的张量的密度算符的不同赋值而生成所有可能的组合作为多个子图，其中子图的数量是以 4 为底的切分次数的指数幂。

- 20 在一些实施方式中，基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合，包括：

构建确定数量的无向图作为个体以形成无向图种群，在无向图中随机选择切分次数个边生成边集合，除此之外还包括以下步骤：

计算种群中所有个体的无向图树宽度，并将所有个体依照无向图树宽度的大小而排序；

- 25 使除无向图树宽度最小的个体外的所有个体两两相邻地交换边集合中的部分边以执行染色体变异；

将在除无向图树宽度最小的个体外的所有个体中随机选取的一个边集合中的随机选取的一个边替换为随机选取的另一个边以执行基因突变；

响应于边集合中出现重复的边，而随机选取边集合中不存在的边替代重复的边；

- 5 重复循环执行上述步骤直到循环次数超过预定的最大迭代次数，并返回种群内的最优个体作为边集合。

在一些实施方式中，计算无向图树宽度包括：

基于所有的不同张量缩并顺序对无向图执行树分解以获得多颗树；

基于多颗树各自的结构分别确定所对应的树分解的宽度；

- 10 基于多颗树中树分解的宽度的最小值确定无向图树宽度。

在一些实施方式中，将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量包括：各个子进程节点使用相同的张量缩并顺序分别对多个子图中的不同节点依次执行张量缩并，在单位计算时间内消耗相同的计算资源，并使具有相同计算能力的各个子进程节点同时获得多个子图的零阶张量。

15

在一些实施方式中，将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图，以及从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真的步骤均为在分布式系统的主进程节点上执行。

20

基于上述目的，本发明实施例的第二方面提供了一种分布式的量子计算仿真装置，包括主进程节点和多个子进程节点，其中：

主进程节点配置用于将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图；

25

多个子进程节点配置用于将多个子图分别执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量；

主进程节点还配置用于同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真。

在一些实施方式中，主进程节点使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图包括：

基于分布式系统的运算资源确定对无向图执行切分的次数，使得以 4 为底的切分次数的指数幂趋近可用的子进程的数量；

10 基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合；

将边集合中的边从无向图中切断，并在被切断位置生成两个新顶点；

为两个新顶点赋予 4 组分的密度算符 $\{|0\rangle\langle 0|, |0\rangle\langle 1|, |1\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ 中之一作为两个新顶点的张量；

15 基于两个新顶点的张量的密度算符的不同赋值而生成所有可能的组合作为多个子图，其中子图的数量是以 4 为底的切分次数的指数幂。

在一些实施方式中，主进程节点基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合包括：

构建确定数量的无向图作为个体以形成无向图种群，在无向图中随机选择切分次数个边生成边集合，除此之外还包括以下步骤：

20 计算种群中所有个体的无向图树宽度，并将所有个体依照无向图树宽度的大小而排序；

使除无向图树宽度最小的个体外的所有个体两两相邻地交换边集合中的部分边以执行染色体变异；

25 将在除无向图树宽度最小的个体外的所有个体中随机选取的一个边集合中的随机选取的一个边替换为随机选取的另一个边以执行基因突变；

响应于边集合中出现重复的边，而随机选取边集合中不存在的边

替代重复的边；

重复循环执行上述步骤直到循环次数超过预定的最大迭代次数，并返回种群内的最优个体作为边集合。

本发明具有以下有益技术效果：本发明实施例提供的分布式的量子计算仿真方法和装置，通过将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图；将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量；从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真的技术方案，能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真，提高单振幅策略量子计算仿真的泛用性和易用性。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有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发明的一些实施例，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。

- 图 1 为本发明提供的分布式的量子计算仿真方法的流程示意图；
- 图 2 为本发明提供的分布式的量子计算仿真方法的量子线路图；
- 图 3 为本发明提供的分布式的量子计算仿真方法的无向图；
- 图 4 为本发明提供的分布式的量子计算仿真方法的张量缩并示意图；
- 图 5 为本发明提供的分布式的量子计算仿真方法的张量网络切边图。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明实施例进一步详细说明。

需要说明的是，本发明实施例中所有使用“第一”和“第二”的表述均是为了区分两个相同名称非相同的实体或者非相同的参量，可见“第一”“第二”仅为了表述的方便，不应理解为对本发明实施例的限定，后续实施例对此不再一一说明。

5 基于上述目的，本发明实施例的第一个方面，提出了一种能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真的分布式的量子计算仿真方法的一个实施例。图 1 示出的是本发明提供的分布式的量子计算仿真方法的流程示意图。

所述的分布式的量子计算仿真方法，如图 1 所示，包括以下步骤：

10 步骤 S101：将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图；

步骤 S103：将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量；

15 步骤 S105：从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真。

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，可以通过计算机程序来指示相关硬件来完成，程序可存储于一计算机
20 可读取存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法的实施例的流程。其中，存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(ROM)或随机存储记忆体(RAM)等。计算机程序的实施例，可以达到与之对应的前述任意方法实施例相同或者相类似的效果。

25 在一些实施方式中，将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络包括：

将量子线路中的量子比特的输入态、操作门、和测量使用迹运算转化

为张量，并在无向图中确定为顶点；

将量子线路中的量子比特的输入态、操作门、和测量之间的连接关系在无向图中确定为对应顶点之间相连的边。

5 在一些实施方式中，用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图包括：

基于分布式系统的运算资源确定对无向图执行切分的次数，使得以 4 为底的切分次数的指数幂趋近可用的子进程的数量；

基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合；

将边集合中的边从无向图中切断，并在被切断位置生成两个新顶点；

10 为两个新顶点赋予 4 组分的密度算符 $\{|0\rangle\langle 0|, |0\rangle\langle 1|, |1\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ 中之一作为两个新顶点的张量；

基于两个新顶点的张量的密度算符的不同赋值而生成所有可能的组合作为多个子图，其中子图的数量是以 4 为底的切分次数的指数幂。

15 在一些实施方式中，基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合，包括：

构建确定数量的无向图作为个体以形成无向图种群，在无向图中随机选择切分次数个边生成边集合，除此之外还包括以下步骤：

计算种群中所有个体的无向图树宽度，并将所有个体依照无向图树宽度的大小而排序；

20 使除无向图树宽度最小的个体外的所有个体两两相邻地交换边集合中的部分边以执行染色体变异；

将在除无向图树宽度最小的个体外的所有个体中随机选取的一个边集合中的随机选取的一个边替换为随机选取的另一个边以执行基因突变；

25 响应于边集合中出现重复的边，而随机选取边集合中不存在的边替代重复的边；

重复循环执行上述步骤直到循环次数超过预定的最大迭代次数，

并返回种群内的最优个体作为边集合。

在一些实施方式中，计算无向图树宽度包括：

基于所有的不同张量缩并顺序对无向图执行树分解以获得多颗树；

基于多颗树各自的结构分别确定所对应的树分解的宽度；

5 基于多颗树中树分解的宽度的最小值确定无向图树宽度。

在一些实施方式中，将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量包括：各个子进程节点使用相同的张量缩并顺序分别对多个子图中的不同节点依次执行张量缩并，在单位计算时间内消耗相同的计算资源，并使具有相同计算能力的各个子进程节点同时获得多个子图的零阶张量。

在一些实施方式中，将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图，以及从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真的步骤均为在分布式系统的主进程节点上执行。

下面根据具体实施例来进一步阐述本发明的具体实施方式。

张量网络是由不同的张量通过拓扑连接而成，一般可用无向图表示，我们定义为 $G=(V, E)$ ，其中 V 为顶点集合， E 为边的集合。例如，一个形如图 2 所示的量子线路和一个形如图 3 所示的张量网络相对应，根据量子线路构建对应的张量网络是实施张量网络缩并的第一步。在图 2 的量子线路中的每个操作门、输入态、测量都对应到图 3 的无向图中的顶点，量子线路的边对应无向图的边。

张量网络中的张量是具有阶数和维数的数据结构，其中阶数是指一个张量有几条边连接，可以用不同指数索引来表示（如 $ijkl$ 等）；维数是每个索引有几个可能的取址。在量子计算的框架下，张量的维数是一个 4 组

分的密度算符，取值 $\Pi=\{|0\rangle\langle 0|,|0\rangle\langle 1|,|1\rangle\langle 0|,|1\rangle\langle 1|\}$ 。因此对于一个 k 阶张量，我们可以用一个一维阵列存储，需要存储 $4k$ 个复数。

现有技术已经公开了构建张量网络的方法：对于一个单量子比特输入态 ρ ，它的张量是 $\sigma=\text{tr}(\rho\cdot\sigma)$ (其中 $\sigma \in \Pi$)；对于一个单量子比特操作门，它的张量是 $T_{\sigma,\tau}=\text{tr}(\tau^{\wedge}+G(\sigma))$ ；对于一个两量子比特操作门，它的张量是 $T_{(\sigma_1,\sigma_2)(\tau_1,\tau_2)}=\text{tr}((\tau_1\otimes\tau_2)^{\wedge}+G(\sigma_1\otimes\sigma_2))$ ；而量子测量的张量是 $T_{\tau}=\text{tr}(E\cdot\tau)$ 。其中 E 是 POVM 元算符， G 是么正演化算符。

张量缩并是一种张量运算，是将两个张量以如图 4 所示的方式缩并成一个张量。两个连接的张量有内部边和开放边，而张量缩并是把内部边收缩，并将两个顶点合并成一个。如图 4 所示，对于两个张量 e 和 f ， e 是 $x+y$ 阶张量， f 是 $y+z$ 阶张量，缩并后可以得到一个 $x+z$ 阶张量。运算过程如下：

$$g_{i_1,i_2,\dots,i_x,k_1,k_2,\dots,k_z} = \sum_{j_1,j_2,\dots,j_y} e_{i_1,i_2,\dots,i_x,j_1,j_2,\dots,j_y} \cdot f_{j_1,j_2,\dots,j_y,k_1,k_2,\dots,k_z}$$

张量网络中的多个张量依次完成缩并后会得到一个零阶张量，该零阶张量为该 POVM（正定算子取值测量）元对应的概率幅。

张量网络缩并的最大内存开销取决于缩并过程中的最大阶数的张量。一般而言，随着张量网络缩并的进行，中间过程张量的最大阶数会先增大再减小。例如，一个 $3+2$ 阶张量和一个 $2+3$ 阶张量缩并后得到一个 $3+3$ 阶的张量。中间张量的最大阶数和张量缩并的顺序有关，每种缩并的顺序和一个图的树分解相对应，最优的消去顺序就是具有最小树宽的树分解。

设 $G=(V,E)$ 为一个无向图，图 G 的一个结点子集构成一个包 (bag)，记为 B_i ，图 G 的树分解是一棵树 T ，由包 B_i 构成。图 G 的一个树分解可以表示为图的顶点 $V(G)$ 到包 B_i 的映射，并且满足如下条件：

(1) $\bigcup_{i \in V(T)} B_i = V(G)$ ，包中节点的集合能够覆盖图 G 的结点集合；

(2) $\forall \{u, v\} \in E(G)$ ， $\exists i \in V(T)$ ，使得 $\{u, v\} \subseteq B_i$ ，即图 G 中每一条边

的两个结点同时包含在树分解中的某个节点中;

(3) 如果在树 T 中 k 出现在从 i 到 j 的一条路径上, 则 $B_i \cap B_j = B_k$ 。

对于树分解 T , 其宽度定义为 $\max(|B_{v \in V(T)}| - 1)$ 。一个图 G 的树分解不唯一, 图 G 的树宽是指图 G 所有可能的树分解中宽度的最小值, 记为 $\text{tw}(G)$ 。计算树宽和树分解是一个 NP (Non-deterministic Polynomial, 不确定多项式) 难题, 但是在实际的计算中有开源的软件可以应用, 例如 QuickBB。实际上, 张量网络缩并的时间开销也和树宽有关。

基于上述张量缩并的具体手段、其计算空间复杂度问题、以及在分布式计算系统上的应用需求, 本发明实施例针对性地提出了更加适应分布式计算系统并且降低树宽的张量网络缩并算法: 不是消去顶点, 而是消去边。在张量网络中, 每条边有四个不同的索引: $|0\rangle\langle 0|$, $|0\rangle\langle 1|$, $|1\rangle\langle 0|$ 和 $|1\rangle\langle 1|$ 。如图 5 所示, 我们可以把这条边切断, 生成 4 个具有不同初始化的子图; 而每个子图缩并后进行加和, 其结果和原始图缩并后的结果一致。其理论计算如下所示,

$$\begin{aligned}
 p &= \sum_{\dots i, j, k, l, o, p, q \dots} \dots T_{i, j, k, l}^m T_{i, o, p, q}^n \dots \\
 &= \sum_{\dots j, k, l, o, p, q \dots} \dots T_{|0\rangle\langle 0|, j, k, l}^m T_{|0\rangle\langle 0|, o, p, q}^n \dots \\
 &\quad + \sum_{\dots j, k, l, o, p, q \dots} \dots T_{|0\rangle\langle 1|, j, k, l}^m T_{|0\rangle\langle 1|, o, p, q}^n \dots \\
 &\quad + \sum_{\dots j, k, l, o, p, q \dots} \dots T_{|1\rangle\langle 0|, j, k, l}^m T_{|1\rangle\langle 0|, o, p, q}^n \dots \\
 &\quad + \sum_{\dots j, k, l, o, p, q \dots} \dots T_{|1\rangle\langle 1|, j, k, l}^m T_{|1\rangle\langle 1|, o, p, q}^n \dots
 \end{aligned}$$

这一事实意味着可以在不同的核上分别计算不同子图的缩并, 实现分布式张量网络缩并。同时必须注意, 切边后的子图有更小的树宽, 这就意味着子图缩并有更小的内存占用和更低的时间算法复杂度。例如, 图 4 中

原始的无向图的树宽为 3，而切边后生成的子图的树宽均是 1。实际上如果有必要，完全可以消去多条边，消去边的数量越多生成子图的树宽就越小，那么生成子图的数量就越多，如果消去 m 条边那么生成子图的数量为 4^m 。本发明实施例旨在生成数量与可用的分布式处理器线程接近的子图；如果生成子图的数量不大于计算核数，那么可以用不同的核计算不同的子图缩并，如果子图的数量大于计算核数，那么需要采用串行的方式。

这将带来多个优选的技术效果。本发明实施例只需要在主进程收集每个子进程缩并后的结果（即，只有一个复数），而进行完全垂直运算的子进程间不需要通信，那么超算节点间的通信将被降低到很低，因此完全不再是瓶颈。同时，每个进程缩并的子图的结构完全一致，因此所用的计算时间也一致，不存在有些进程空闲的情况，进而对于分布式计算系统的利用率也有充分提升。

此时唯一的遗留问题是确定如何切边。选择不同的边消去产生子图的树宽差别很大，因此寻找最优消去边的集合对于提升算法的性能至关重要。寻找最优的集合本身是 NP 难题，当图的规模较大时显然不可能在有限的时间内通过穷举来找到最优的消去边的集合。作为近似的替代，本发明实施例提出了一种基于启发式算法的寻找最优消去边的策略。

首先初始化遗传算法，设置迭代计数器 $t=0$ ，设置最大迭代次数 T ，初始化种群 P ，其中种群 P 具有 N 个个体，每个个体是在无向图中随机选择 M 个边（消去）的集合。

然后重复以下步骤：

第一步：个体评价。计算群体 P 中 N 个个体对应图的树宽，并进行排序。

第二步：交叉运算（染色体变异）。除具有最小树宽的个体外，每相邻的两个个体进行交叉，我们的交叉方式是两个集合中后 $[N]$ 个元素交换，如果交叉后集合内有重复的元素再随机生成一个集合内不存在的元素。

第三步：变异运算（基因突变）。在种群内随机选择一个除最优个体外

的个体进行变异，在该个体边的集合中随机选择一个，再随机生成一个集合内没有的边。

第四步：迭代计数器加一。 $t=t+1$ ，Until（直到） $t>T$ 。

最后循环结束时，对种群内个体进行评价，返回最优个体来执行切边。

5 从上述实施例可以看出，本发明实施例提供的分布式的量子计算仿真方法，通过将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图；将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量；从各个子进程节点
10 同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真的技术方案，能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真，提高单振幅策略量子计算仿真的泛用性和易用性。

需要特别指出的是，上述分布式的量子计算仿真方法的各个实施例中的各个步骤均可以相互交叉、替换、增加、删减，因此，这些合理的排列组合变换之于分布式的量子计算仿真方法也应当属于本发明的保护范围，并且不应将本发明的保护范围局限在所述实施例之上。

基于上述目的，本发明实施例的第二个方面，提出了一种能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真的分布式的量子计算仿真装置的一个实施例。所述的分布式的量子计算仿真装置包括主
20 进程节点和多个子进程节点，其中：

主进程节点配置用于将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图；

25 多个子进程节点配置用于将多个子图分别执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量；

主进程节点还配置用于同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真。

5 在一些实施方式中，主进程节点使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图包括：

基于分布式系统的运算资源确定对无向图执行切分的次数，使得以 4 为底的切分次数的指数幂趋近可用的子进程的数量；

基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合；

将边集合中的边从无向图中切断，并在被切断位置生成两个新顶点；

10 为两个新顶点赋予 4 组分的密度算符 $\{|0\rangle\langle 0|, |0\rangle\langle 1|, |1\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ 中之一作为两个新顶点的张量；

基于两个新顶点的张量的密度算符的不同赋值而生成所有可能的组合作为多个子图，其中子图的数量是以 4 为底的切分次数的指数幂。

15 在一些实施方式中，主进程节点基于切分次数使用遗传算法确定对无向图执行切分的边集合包括：

构建确定数量的无向图作为个体以形成无向图种群，在无向图中随机选择切分次数个边生成边集合，除此之外还包括以下步骤：

计算种群中所有个体的无向图树宽度，并将所有个体依照无向图树宽度的大小而排序；

20 使除无向图树宽度最小的个体外的所有个体两两相邻地交换边集合中的部分边以执行染色体变异；

将在除无向图树宽度最小的个体外的所有个体中随机选取的一个边集合中的随机选取的一个边替换为随机选取的另一个边以执行基因突变；

25 响应于边集合中出现重复的边，而随机选取边集合中不存在的边替代重复的边；

重复循环执行上述步骤直到循环次数超过预定的最大迭代次数，

并返回种群内的最优个体作为边集合。

从上述实施例可以看出，本发明实施例提供的分布式的量子计算仿真装置，通过将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将无向图切分为多个子图；将多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得多个子图的零阶张量；从各个子进程节点同时获取和叠加多个子图的零阶张量以确定无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真的技术方案，能够在分布式计算系统上执行基于密度矩阵的单振幅策略量子计算仿真，提高单振幅策略量子计算仿真的泛用性和易用性。

需要特别指出的是，上述分布式的量子计算仿真装置的实施例采用了所述分布式的量子计算仿真方法的实施例来具体说明各模块的工作过程，本领域技术人员能够很容易想到，将这些模块应用到所述分布式的量子计算仿真方法的其他实施例中。当然，由于所述分布式的量子计算仿真方法实施例中的各个步骤均可以相互交叉、替换、增加、删减，因此，这些合理的排列组合变换之于所述分布式的量子计算仿真装置也应当属于本发明的保护范围，并且不应将本发明的保护范围局限在所述实施例之上。

以上是本发明公开的示例性实施例，但是应当注意，在不背离权利要求限定的本发明实施例公开的范围的前提下，可以进行多种改变和修改。根据这里描述的公开实施例的方法权利要求的功能、步骤和/或动作不需以任何特定顺序执行。此外，尽管本发明实施例公开的元素可以以个体形式描述或要求，但除非明确限制为单数，也可以理解为多个。

所属领域的普通技术人员应当理解：以上任何实施例的讨论仅为示例性的，并非旨在暗示本发明实施例公开的范围(包括权利要求)被限于这些例子；在本发明实施例的思路下，以上实施例或者不同实施例中的技术特征之间也可以进行组合，并存在如上所述的本发明实施例的不同方面的许多

其它变化，为了简明它们没有在细节中提供。因此，凡在本发明实施例的精神和原则之内，所做的任何省略、修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明实施例的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种分布式的量子计算仿真方法，其特征在于，包括执行以下步骤：

将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将所述无向图切分为多个子图；

5 将所述多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得所述多个子图的零阶张量；

从各个子进程节点同时获取和叠加所述多个子图的零阶张量以确定所述无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真。

10 2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络包括：

将所述量子线路中的量子比特的输入态、操作门、和测量使用迹运算转化为张量，并在所述无向图中确定为顶点；

15 将所述量子线路中的量子比特的输入态、操作门、和测量之间的连接关系在所述无向图中确定为对应顶点之间相连的边。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将所述无向图切分为多个子图包括：

基于分布式系统的运算资源确定对所述无向图执行切分的次数，使得以 4 为底的切分次数的指数幂趋近可用的所述子进程的数量；

20 基于所述切分次数使用所述遗传算法确定对所述无向图执行切分的边集合；

将所述边集合中的边从所述无向图中切断，并在被切断位置生成两个新顶点；

25 为所述两个新顶点赋予 4 组分的密度算符 $\{|0\rangle\langle 0|, |0\rangle\langle 1|, |1\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ 中之一作为所述两个新顶点的张量；

基于所述两个新顶点的张量的密度算符的不同赋值而生成所有可能的组合作为所述多个子图,其中子图的数量是以4为底的所述切分次数的指数幂。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,基于所述切分次数使用所述遗传算法确定对所述无向图执行切分的边集合,包括:

5 构建确定数量的所述无向图作为个体以形成无向图种群,在所述无向图中随机选择所述切分次数个边生成所述边集合,除此之外还包括以下步骤:

计算所述种群中所有个体的无向图树宽度,并将所有个体依照所述无向图树宽度的大小而排序;

10 使除所述无向图树宽度最小的个体外的所有个体两两相邻地交换所述边集合中的部分边以执行染色体变异;

将在除所述无向图树宽度最小的个体外的所有个体中随机选取的一个边集合中的随机选取的一个边替换为随机选取的另一个边以执行基因突变;

响应于所述边集合中出现重复的边,而随机选取所述边集合中不存在的边替代重复的边;

15 重复循环执行上述步骤直到循环次数超过预定的最大迭代次数,并返回种群内的最优个体作为所述边集合。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,计算所述无向图树宽度包括:

20 基于所有的不同张量缩并顺序对所述无向图执行树分解以获得多颗树;
基于所述多颗树各自的结构分别确定所对应的所述树分解的宽度;
基于所述多颗树中所述树分解的宽度的最小值确定所述无向图树宽度。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,将所述多个子图分别在各个子进程节点上执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量,以最终同时获得所述多个子图的零阶张量包括:

25 所述各个子进程节点使用相同的张量缩并顺序分别对所述多个子图中的不同节点依次执行张量缩并,在单位计算时间内消耗相同的计算资源,并使

具有相同计算能力的所述各个子进程节点同时获得所述多个子图的零阶张量。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将所述无向图切分为多个子图，以及从各个子进程节点同时获取和叠加所述多个子图的零阶张量以确定所述无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真的步骤均为在分布式系统的主进程节点上执行。

8. 一种分布式的量子计算仿真装置，其特征在于，包括主进程节点和多个子进程节点，其中：

10 所述主进程节点配置用于将待仿真的量子线路转化为以无向图表示的张量网络，并使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将所述无向图切分为多个子图；

所述多个子进程节点配置用于将所述多个子图分别执行针对相连接的张量之间的张量缩并直到仅剩一个张量，以最终同时获得所述多个子图的零阶张量；

15 所述主进程节点还配置用于同时获取和叠加所述多个子图的零阶张量以确定所述无向图的零阶张量，并将其作为正定算子取值测量元的概率幅来执行量子计算仿真。

9. 根据权利要求 8 所述的装置，其特征在于，所述主进程节点使用基于分布式系统的运算资源的遗传算法将所述无向图切分为多个子图包括：

基于分布式系统的运算资源确定对所述无向图执行切分的次数，使得以 4 为底的切分次数的指数幂趋近可用的所述子进程的数量；

基于所述切分次数使用所述遗传算法确定对所述无向图执行切分的边集合；

25 将所述边集合中的边从所述无向图中切断，并在被切断位置生成两个新顶点；

为所述两个新顶点赋予 4 组分的密度算符 $\{|0\rangle\langle 0|, |0\rangle\langle 1|, |1\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ 其中之一作为所述两个新顶点的张量；

基于所述两个新顶点的张量的密度算符的不同赋值而生成所有可能的组合作为所述多个子图，其中子图的数量是以 4 为底的所述切分次数的指数幂。

- 5 10. 根据权利要求 9 所述的装置，其特征在于，所述主进程节点基于所述切分次数使用所述遗传算法确定对所述无向图执行切分的边集合包括：

构建确定数量的所述无向图作为个体以形成无向图种群，在所述无向图中随机选择所述切分次数个边生成所述边集合，除此之外还包括以下步骤：

- 10 计算所述种群中所有个体的无向图树宽度，并将所有个体依照所述无向图树宽度的大小而排序；

使除所述无向图树宽度最小的个体外的所有个体两两相邻地交换所述边集合中的部分边以执行染色体变异；

将在除所述无向图树宽度最小的个体外的所有个体中随机选取的一个边集合中的随机选取的一个边替换为随机选取的另一个边以执行基因突变；

- 15 响应于所述边集合中出现重复的边，而随机选取所述边集合中不存在的边替代重复的边；

重复循环执行上述步骤直到循环次数超过预定的最大迭代次数，并返回种群内的最优个体作为所述边集合。

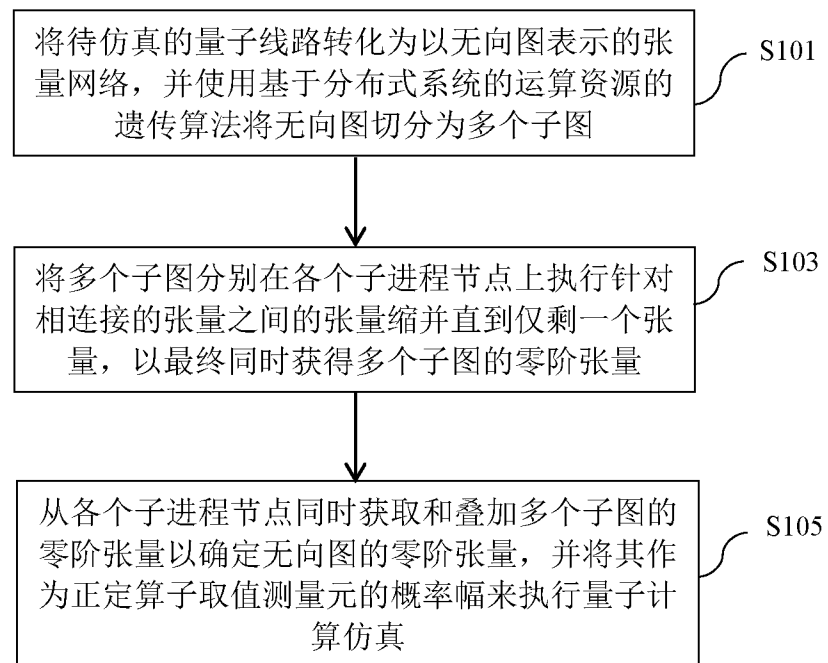


图 1

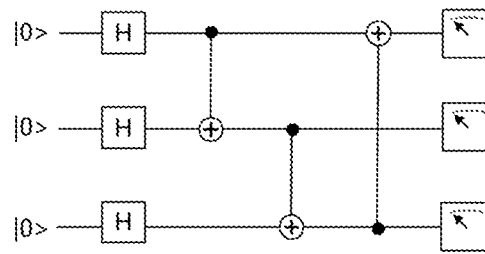


图 2

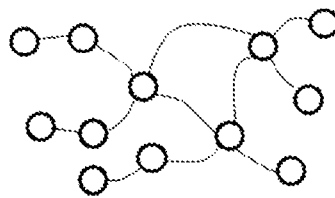


图 3

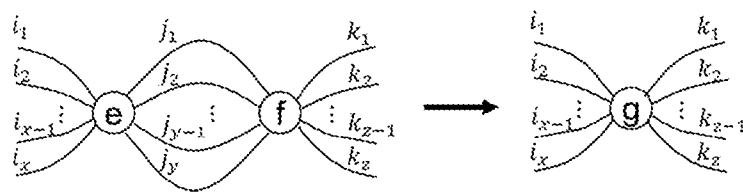


图 4

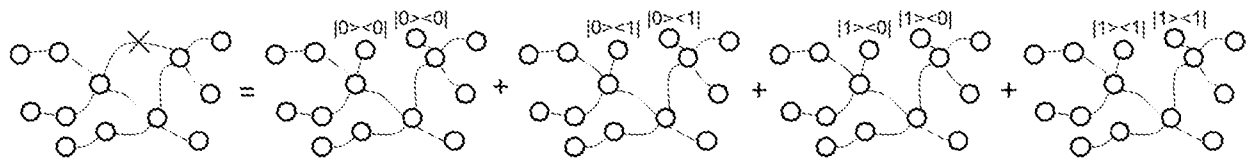


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/103305

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 10/00(2019.01)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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 量子, 仿真, 无向图, 张量, 遗传算法, 切分, 子图, 缩并, 零阶, 正定算子取值测量, 概率幅, quantum, simulation, non-directed, graph, tensor, genetic, algorithm, divide, sub-map, zero, order, POVM, segment, reduction, probability, amplitude

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112132287 A (SUZHOU INSPUR INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 25 December 2020 (2020-12-25) claims 1-10	1-10
A	CN 110428055 A (ALIBABA GROUP HOLDING LIMITED) 08 November 2019 (2019-11-08) description, paragraphs [0037]-[0044] and [0086]-[0110]	1-10
A	CN 107329831 A (BEIJING SIMULATION CENTER) 07 November 2017 (2017-11-07) entire document	1-10
A	US 2020125985 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE) 23 April 2020 (2020-04-23) entire document	1-10

☐ 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

16 August 2021

Date of mailing of the international search report

27 August 2021

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

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/103305

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112132287	A	25 December 2020	None			
CN	110428055	A	08 November 2019	TW	201945962	A	01 December 2019
				US	2019332731	A1	31 October 2019
				WO	2019209628	A1	31 October 2019
				EP	3785187	A1	03 March 2021
CN	107329831	A	07 November 2017	None			
US	2020125985	A1	23 April 2020	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/103305

A. 主题的分类

G06N 10/00 (2019.01) 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))

CNKI, CNPAT, WPI, EP0D0C: 量子, 仿真, 无向图, 张量, 遗传算法, 切分, 子图, 缩并, 零阶, 正定算子
取值测量, 概率幅, quantum, simulation, non-directed, graph, tensor, genetic, algorithm, divide, sub-
map, zero, order, POVM, segment, reduction, probability, amplitude

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 112132287 A (苏州浪潮智能科技有限公司) 2020年 12月 25日 (2020 - 12 - 25) 权利要求1-10	1-10
A	CN 110428055 A (阿里巴巴集团控股有限公司) 2019年 11月 8日 (2019 - 11 - 08) 说明书[0037]-[0044], [0086]-[0110]段	1-10
A	CN 107329831 A (北京仿真中心) 2017年 11月 7日 (2017 - 11 - 07) 全文	1-10
A	US 2020125985 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE) 2020年 4月 23日 (2020 - 04 - 23) 全文	1-10

☐ 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

2021年 8月 16日

国际检索报告邮寄日期

2021年 8月 27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

邹子婷

电话号码 86-(10)-53961440

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/103305

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	112132287	A	2020年 12月 25日	无	
CN	110428055	A	2019年 11月 8日	TW 201945962 A	2019年 12月 1日
				US 2019332731 A1	2019年 10月 31日
				WO 2019209628 A1	2019年 10月 31日
				EP 3785187 A1	2021年 3月 3日
CN	107329831	A	2017年 11月 7日	无	
US	2020125985	A1	2020年 4月 23日	无	