(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114897173 B
(45)授权公告日 2023.05.30

(21)申请号 202210542423.0
(22)申请日 2022.05.18
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114897173 A
(43)申请公布日 2022.08.12
(73)专利权人 北京大学
地址 100091 北京市海淀区颐和园路5号
(72)发明人 袁骁 黄一鸣
(74)专利代理机构 北京亿腾知识产权代理事务所(普通合伙) 11309
专利代理师 周良玉
(51)Int.Cl.
G06N 10/60(2022.01)

(56)对比文件
CN 104616498 A,2015.05.13
CN 107851218 A,2018.03.27
CN 110612540 A,2019.12.24
US 2021174236 A1,2021.06.10
WO 2022077797 A1,2022.04.21

审查员 董立波

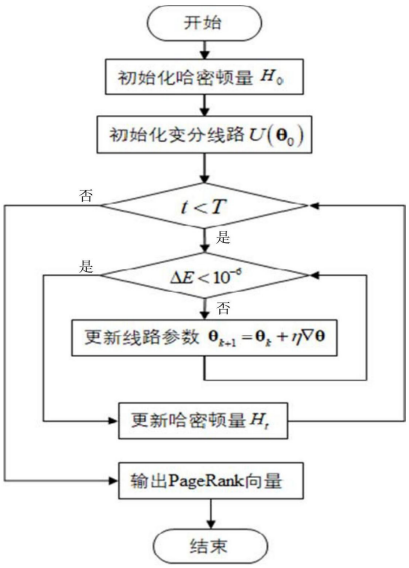
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

基于变分量子线路确定PageRank的方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种基于变分量子线路确定PageRank的方法及装置。方法包括:根据预先获取的谷歌矩阵,构建量子系统绝热演化的哈密顿量,哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量;其中,谷歌矩阵用于表征网页间的链接关系,目标哈密顿量根据谷歌矩阵确定;构建变分量子线路,通过变分量子线路生成在绝热演化时间内量子系统对应的变分量子态;根据变分量子线路生成的,绝热演化完成后量子系统的终末量子态,确定PageRank向量。本发明提供的方法,通过变分量子算法来实现绝热演化过程,一方面克服了基于量子绝热演化算法需要时刻保证较大能量间隙的限制,另一方面继承了量子绝热演化算法带来的多项式级加速。



CN 114897173 B

1.一种基于变分量子线路确定PageRank的方法，其特征在于，所述方法包括：

根据预先获取的Google矩阵，构建量子系统绝热演化的哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量；其中，所述Google矩阵用于表征网页间的链接关系，所述目标哈密顿量根据所述Google矩阵确定；其中，所述目标哈密顿量表示为如下公式

$$H^p=\left(\mathbb{I}-G_c\right)^{\dagger}\left(\mathbb{I}-G_c\right)$$

式中，H^p表征目标哈密顿量，$\mathbb{I}$表征单位矩阵，G_c表征所述Google矩阵；

构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态；

根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度。

2.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，量子系统的初始量子态对应所述绝热演化的初始哈密顿量的最小本征态，终末量子态对应所述目标哈密顿量的最小本征态，所述目标哈密顿量的基态对应所述Google矩阵的最大本征态。

3.根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述绝热演化的哈密顿量通过下式表示：

$H=(1-s)H^i+sH^p$

式中，H表征哈密顿量，s表征绝热演化的时间，H^i表征初始哈密顿量，H^p表征目标哈密顿量。

4.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述变分量子线路包括：

一个或多个对量子比特进行操作的线路，所述线路包括单量子门和多量子门；

其中，所述单量子门为用于操控单个量子比特的逻辑门，所述多量子门为操控多个量子比特的逻辑门。

5.根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述单量子门包括，R_Y逻辑门与R_Z逻辑门，所述R_Y逻辑门表征量子比特在Y轴上的旋转，所述R_Z逻辑门表征量子比特在Z轴上的旋转。

6.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态，具体包括：

在所述绝热演化的时间内，若当前的量子系统的能量值和上一量子系统的能量值的差值不小于设定的阈值，则对所述变分量子线路中的参数进行更新，直到该差值小于所述阈值；

在所述差值小于所述阈值的情况下，通过当前参数下的所述变分量子线路生成当前时刻的系统的基态。

7.根据权利要求6所述的方法，其特征在于，对所述变分量子线路中的参数进行更新，具体包括：

利用梯度下降的方式，更新所述变分量子线路的参数。

8.一种基于变分量子线路的PageRank装置，其特征在于，所述装置包括：

获取模块，用于获取Google矩阵，其中，所述Google矩阵用于表征网页间的链接关系；

第一构建模块，用于构建目标任务相关的绝热演化哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量；其中，所述目标哈密顿量根据所述Google矩阵确定；其中，所述目标哈密顿量表示为如下公式

$$H^{p}=\left(\mathbb{I}-G_{c}\right)^{\dagger}\left(\mathbb{I}-G_{c}\right)$$

式中，H^{p}表征目标哈密顿量，$\mathbb{I}$表征单位矩阵，G_{c}表征所述Google矩阵；

第二构建模块，用于构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内量子系统对应的变分量子态；

输出模块，用于根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度。

9.一种计算设备，包括处理器和存储器，其中，所述存储器中存储有计算机程序指令，所述计算机程序指令被所述处理器运行时，执行如权利要求1-7中任一项所述的方法。

基于变分量子线路确定PageRank的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及量子计算领域，尤其涉及一种基于变分量子线路确定PageRank的方法及装置。

背景技术

[0002] PageRank算法是一种用以分析和度量网页相关性和重要性的著名算法。该算法帮助搜索引擎，根据用户检索信息，对网页进行重要性划分，并让搜索引擎以此作为网页推荐的依据。然而，随着互联网的发展，如今搜索引擎需要对海量网页进行检索，这让PageRank算法在计算上面临巨大的挑战。

[0003] 随着量子计算技术飞速的发展，含噪声的中等规模量子设备(Noisy Intermediate-Scale Quantum,NISQ)成为研究量子化学、量子多体物理等问题的一个重要新工具。量子算法已经被理论证明在许多特定问题上具有经典算法无法比拟的优越性，例如，大数分解、模拟量子系统，求解线性方程等问题。绝热量子计算被证明在某些特定的网络拓扑结构下，可能为PageRank算法带来多项式级的加速。但是，依据绝热定理，整个绝热演化过程需满足绝热条件，即演化的快慢由问题对应的哈密顿量的基态与激发态间的能量间隙决定。

[0004] 但是，实际应用中量子绝热演化要受到基态和激发态的能量间隙的制约，当基态与激发态能量间隙过小时，首先需要足够长的时间进行演化；其次由于能量间隙过小，很难确保系统在演化过程中一直保持在基态。

[0005] 同时，在现有使用量子绝热演化来实现寻找PageRank向量的工作，需要实现哈密顿量模拟。如果直接使用量子线路进行哈密顿量的模拟，则量子线路的深度会非常深。在现有无容错的量子设备上，会出现噪声累计，最终导致较大误差。

[0006] 此外，这些具有多项式或指数加速的量子算法往往需要在容错量子计算机上才能展现出这一优势。目前，容错量子计算机的实现道路上，我们仍然有许多困难需要克服。

发明内容

[0007] 有鉴于此，本申请实施例提供了一种基于变分量子线路确定PageRank的方法及装置。

[0008] 第一方面，本申请提供一种基于变分量子线路确定PageRank的方法，包括：

[0009] 根据预先获取的Google矩阵，构建量子系统绝热演化的哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量；其中，所述Google矩阵用于表征网页间的链接关系，所述目标哈密顿量根据所述Google矩阵确定；

[0010] 构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态；

[0011] 根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度。

[0012] 优选地，量子系统的初始量子态对应所述绝热演化的初始哈密顿量的最小本征态，终末量子态对应所述目标哈密顿量的最小本征态，所述目标哈密顿量的基态对应所述Google矩阵的最大本征态。

[0013] 优选地，所述绝热演化的哈密顿量通过下式表示：

[0014] $H=(1-s)H^{i}+sH^{p}$

[0015] 式中，H表征哈密顿量，s表征绝热演化的时间，H^{i}表征初始哈密顿量，H^{p}表征目标哈密顿量。

[0016] 优选地，所述目标哈密顿量表示为如下公式

[0017] $H^{p}=\left(\mathbb{I}-G_{c}\right)^{\dagger}\left(\mathbb{I}-G_{c}\right)$

[0018] 式中，H^{p}表征目标哈密顿量，$\mathbb{I}$表征单位矩阵，G_{c}表征所述Google矩阵。

[0019] 优选地，所述变分量子线路包括：

[0020] 一个或多个对量子比特进行操作的线路，所述线路包括单量子门和多量子门；

[0021] 其中，所述单量子门为用于操控单个量子比特的逻辑门，所述多量子门为操控多个量子比特的逻辑门。

[0022] 优选地，所述单量子门包括，R_{Y}逻辑门与R_{Z}逻辑门，所述R_{Y}逻辑门表征量子比特在Y轴上的旋转，所述R_{Z}逻辑门表征量子比特在Z轴上的旋转。

[0023] 优选地，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态，具体包括：

[0024] 在所述绝热演化的时间内，若当前的量子系统的能量值和上一量子系统的能量值的差值不小于设定的阈值，则对所述变分量子线路中的参数进行更新，直到该差值小于所述阈值；

[0025] 在所述差值小于所述阈值的情况下，通过当前参数下的所述变分量子线路生成当前时刻的系统基态。

[0026] 优选地，对所述变分量子线路中的参数进行更新，具体包括：

[0027] 利用梯度下降的方式，更新所述变分量子线路的参数。

[0028] 第二方面，本申请提供一种基于变分量子线路的PageRank装置，包括：

[0029] 获取模块，用于获取Google矩阵，其中，所述Google矩阵用于表征网页间的链接关系；

[0030] 第一构建模块，用于构建所述目标任务相关的绝热演化哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量；其中，所述目标哈密顿量根据所述Google矩阵确定；

[0031] 第二构建模块，用于构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态；

[0032] 输出模块，用于根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度。

[0033] 优选地，量子系统的初始量子态对应所述绝热演化的初始哈密顿量的最小本征态，终末量子态对应所述目标哈密顿量的最小本征态，所述目标哈密顿量的基态对应所述Google矩阵的最大本征态。

[0034] 优选地，所述绝热演化的哈密顿量通过下式表示：

[0035] $H=(1-s)H^{i}+sH^{p}$

[0036] 式中，H表征哈密顿量，s表征绝热演化的时间，H^i表征初始哈密顿量，H^p表征目标哈密顿量。

[0037] 优选地，所述目标哈密顿量表示为如下公式

[0038] $$H^p = (\mathbb{I} - G_c)^\dagger (\mathbb{I} - G_c)$$

[0039] 式中，H^p表征目标哈密顿量，$\mathbb{I}$表征单位矩阵，G_c表征所述Google矩阵。

[0040] 优选地，所述变分量子线路包括：

[0041] 一个或多个对量子比特进行操作的线路，所述线路包括单量子门和多量子门；

[0042] 其中，所述单量子门为用于操控单个量子比特的逻辑门，所述多量子门为操控多个量子比特的逻辑门。

[0043] 优选地，所述单量子门包括，R_Y逻辑门与R_Z逻辑门，所述R_Y逻辑门表征量子比特在Y轴上的旋转，所述R_Z逻辑门表征量子比特在Z轴上的旋转。

[0044] 优选地，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态，具体包括：

[0045] 在所述绝热演化的时间内，若当前的量子系统的能量和上一量子系统的能量的差值不小于设定的阈值，则对所述变分量子线路中的参数进行更新，直到该差值小于所述阈值；

[0046] 在所述差值小于所述阈值的情况下，通过当前参数下的所述变分量子线路生成当前时刻系统的基态。

[0047] 第三方面，本申请提供一种计算设备，包括处理器和存储器，其中，所述存储器中存储有计算机程序指令，所述计算机程序指令被所述处理器运行时，执行如第一方面中任一实施例所述的方法。

[0048] 第四方面，本身请提供一种计算机可读存储介质，包括计算机可读指令，当计算机读取并执行所述计算机可读指令时，使得计算机执行如第一方面任一实施例所述的方法。

[0049] 本申请通过变分量子算法来实现绝热演化过程，从而实现PageRank算法。一方面克服了基于量子绝热演化的PageRank算法需要时刻保证较大能量间隙的限制，另一方面继承了量子绝热演化算法带来的多项式级加速。

附图说明

[0050] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案，下面将对实施例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它的附图。

[0051] 图1为本申请实施例提供的技术方案的应用场景示意图；

[0052] 图2为本申请实施例提供的算法流程示意图；

[0053] 图3为本申请实施例提供的算法步骤示意图；

[0054] 图4为本申请实施例提供的变分量子线路结构示意图；

[0055] 图5为本申请实施例提供的装置示意图；

[0056] 图6为本申请实施例提供的计算机设备结构示意图。

具体实施方式

[0057] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0058] 为便于对本发明实施例的理解，下面将结合附图以具体实施例做进一步的解释说明，实施例并不构成对本发明实施例的限定。

[0059] 图1为本申请实施例提供的技术方案的应用场景示意图。搜索引擎通常依据PageRank算法对网页进行重要性分析，并基于网页信息的Google矩阵，寻找其最大本征值对应的本征向量，即PageRank向量，来显示最佳排序结果。如图1所示，通过本申请的基于变分量子线路的PageRank方法，可以得到目标PageRank向量。此外，需要说明的是，在本申请中，主要以网页重要性为例来进行描述。可以理解的是，网页重要性可以等同的替换为其它各种可能的业务场景中的关系分析，例如节点重要性等。

[0060] 图2为本申请实施例提供的算法流程示意图。如图2所示，本方法将求解Google矩阵最大本征值的任务通过使用量子绝热演化来完成。绝热演化的意思是对量子系统执行一个含时的哈密顿量演化H，如果系统一开始处于初始哈密顿量H^i的基态，经过足够缓慢地演化后，系统将依然处于终末哈密顿量H^p的基态。其中，含时指波函数不再是定态，会随着时间的改变而改变。在本申请中，绝热演化采用虚时演化的方式进行演化。基态用于表征最小本征值的本征态。

[0061] 因此，可以将寻找PageRank向量的问题，转化为量子绝热演化问题。主要步骤包括：构建目标任务的相关的绝热演化哈密顿量，构建变分量子线路，生成目标任务对应的变分量子态。在演化完成时间之内，如果当前时刻的能量值和上一时刻的能量值之差不小于设定的阈值，则根据参数更新公式对变分量子线路中的参数进行更新。如果当前时刻的能量值和上一时刻的能量值之差小于设定的阈值，则表明能量几乎没有发生变化，更新当前时刻的哈密顿量。不断的重复此过程，直到演化完成，输出PangRank向量。其中，设定的阈值可以为10^{-6}。

[0062] 可以看出，本申请通过变分量子算法和量子绝热演实现了量子版本的PageRank方法。将PageRank向量视作变分量子态，将网页矩阵视作量子绝热演化的目标哈密顿量，将寻找具有最大特征值的PageRank向量的过程视作量子态的绝热演化过程。通过对变分量子态进行绝热演化，最终找到具有最大特征值的变分量子态，即目标PageRank向量。

[0063] 图3为本申请实施例提供的算法步骤示意图，下面将结合图2对图3做进一步的解释与说明。

[0064] 如图3所示，基于变分量子线路的PageRank方法步骤可以包括：

[0065] 步骤S301：根据预先获取的Google矩阵，构建量子系统绝热演化的哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量；其中，所述Google矩阵用于表征网页间的链接关系，所述目标哈密顿量根据所述Google矩阵确定。

[0066] 在一些可能的实施方式中，量子系统的初始量子态对应所述绝热演化的初始哈密顿量的最小本征态，终末量子态对应所述目标哈密顿量的最小本征态，所述目标哈密顿量的基态对应所述Google矩阵的最大本征态。

[0067] 在一些可能的实施方式中，构建量子系统绝热演化哈密顿量依据如下公式：

[0068] $H_t=(1-s)H^i+sH^p$

[0069] 式中，H表征哈密顿量，t表征当前时刻，s表征演化的时间函数且$0\leqslant s\leqslant 1$，H^i表征初始哈密顿量，H^p表征目标哈密顿量。

[0070] H^i表征初始哈密顿量，可选取容易制备的量子态对应的哈密顿量作为H^i，例如

[0071] $$|\varphi_0\rangle=\frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{j=1}^{n}|j\rangle$$

[0072] 则可以得到初始哈密顿量为

[0073] $$H^i=|\varphi_0\rangle\langle\varphi_0|$$

[0074] 量子态是一组量子表征，用来表示量子力学孤立系统的状态。在量子物理中，量子态描述了一个孤立系统的状态，包含了系统所有的信息。如根据玻恩的波函数统计解释，只要知道了系统量子态的信息，就能给出对系统进行测量的结果。

[0075] H^p表征目标哈密顿量，其在数学形式上包含Google矩阵，目标哈密顿量的基态对应于Google矩阵的最大本征态。Google矩阵，是表现网页间链接关系的，如果有N个页面，就可以写出N×N的矩阵，其中的元素P_{ij}表征一个链接关系，如果存在从页i被页j指向的链接，那么P_{ij}就大于0，反之就等于0，同时各列矢量总和为1。目标哈密顿量表示为如下公式：

[0076] $$H^p=\left(\mathbb{I}-G_c\right)^{\dagger}\left(\mathbb{I}-G_c\right)$$

[0077] 式中，G_c表征Google矩阵，$\mathbb{I}$表征单位矩阵。

[0078] 鉴于虚时演化常被用于寻找基态，即最小特征值对应的特征向量，因此，可以通过构建目标哈密顿量，将目标为寻找Google矩阵的最大特征向量的任务，转化为寻找目标哈密顿量的基态的任务。在一些可能的实施方式中，演化的时间函数可以表示为$\frac{t}{T}$，其中，t表征当前时刻，T表征总演化时间。此时的目标任务的绝热演化哈密顿量可以表示为：

[0079] $$H_t=(1-\frac{t}{T})H^i+\frac{t}{T}H^p$$

[0080] 步骤S302：构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态。

[0081] 为了找到每一时刻的本征态，将变分量子线路作用在一个固定的初态上，将输出态作为一个变分的量子态，用于查找每一个时刻的本征态。根据虚时演化算法以及变分原理，就可以找到如何更新变分量子线路中参数的方法，通过迭代更新线路中的参数，最终找到该时刻的基态，即本征值最小的量子态。重复执行这一过程，就可以得到末态哈密顿量的本征态，即目标哈密顿量的本征态。

[0082] 图4为本申请实施例提供的变分量子线路结构示意图。量子线路，即对量子比特进行操作的线路，由量子逻辑门组成。在量子线路中，线路是由时间所连接，遇上逻辑门而被操作。鉴于组成量子线路的每一个量子逻辑门都是一个酉矩阵，所以整个量子线路也是一个酉矩阵。

[0083] 如图4所示，变分量子线路U(θ)包括量子比特，每条线路表征一个量子比特，θ表征每一个含参量子门的参数，R_Y逻辑门表征量子比特在Y轴上的旋转，R_Z逻辑门表征量子比特在Z轴上的旋转，受控非门(controlled-NOT gate，CNOT gate)，输入是两个量子比特，一个

是控制比特，一个是受控比特，CNOT对控制比特不进行任何变换操作，受控比特根据控制比特进行量子态的翻转。控制比特表示为图4中带有填充小点的线，称为控制量子位，与填充小点相连的带有较大的未填充圆的线，称为目标量子位，为受控比特。每个量子比特上分别作用R_Y逻辑门与R_Z逻辑门，再将CNOT门作用在任意相邻量子比特，将这种排布重复L此后，构成一个完整的变分量子线路U(θ)。

[0084] 每个时刻τ对应的变分量子态为$\left|\varphi_\tau\right\rangle = U\left(\boldsymbol{\theta}_\tau\right)\left|0\right\rangle$，其中$\theta_\tau = (\theta_1^\tau, \theta_2^\tau, \ldots, \theta_n^\tau)$。

[0085] 举例来说，如果系统为4个量子比特的系统，则变分量子线路由4条实线表示，同时，系统的初态为|0000>，将其简写为|0>。

[0086] 因为变分量子线路U作用在0态上，因此是一个含参数的量子态，要找到对应当前时刻哈密顿量的基态，因此选择从薛定谔方程出发，通过利用虚时演化变分原理，使量子线路演化的方向和薛定谔方程的方向是一致的，即根据哈密顿量的演化方向和量子线路作用之后的演化方向保持一致，使$\delta\left\|\left(\partial/\partial\tau + H_t - E_\tau\right)\left|\varphi_\tau\right\rangle\right\| = 0$，式中，δ表征量子线路演化的方向和薛定谔方程的方向的差，τ表征对应的时刻，H_t表征当前时刻的哈密顿量，Eτ表征当前时刻的能量，φ_τ表征变分量子态，其中，$\left|\varphi_\tau\right\rangle = U\left(\boldsymbol{\theta}_\tau\right)\left|0\right\rangle$。

[0087] 因此可得

[0088] $$\sum_j A_{ij}\left(\nabla_\tau \theta_j\right) = C_i$$

[0089] 其中，

[0090] $$A_{ij} = \mathcal{R}\left(\frac{\partial\left\langle\varphi_\tau\right|}{\partial\theta_i^\tau}\frac{\partial\left|\varphi_\tau\right\rangle}{\partial\theta_j^\tau}\right)$$

[0091] $$C_i = \mathcal{R}\left(-\frac{\partial\left\langle\varphi_\tau\right|}{\partial\theta_i^\tau}H_t\left|\varphi_\tau\right\rangle\right)$$

[0092] 式中，R表征实数部分。因此可得

[0093] $$\nabla_\tau \boldsymbol{\theta} = A^{-1}C$$

[0094] A和C是一个关于变分量子线路中参数θ的一个方程组，将这个关于θ的方程组求解后，通过梯度下降的算法更新公式，就可以得到量子线路中的参数梯度下降更新方法，最终一步一步找到对应当前时刻哈密顿量的本征态。

[0095] 在一个较为具体的示例中，若当前的量子系统的能量和上一量子系统的能量的差值不小于设定的阈值，则对所述变分量子线路中的参数θ进行更新，直到该差值小于所述阈值。

[0096] 在所述差值小于所述阈值的情况下，通过当前参数下的所述变分量子线路生成当前时刻系统的基态。

[0097] 其中，设定的阈值可以为10^{-6}。

[0098] 在一个具体的实施例中，更新变分量子线路的线路参数θ的更新公式为：

[0099] $$\boldsymbol{\theta}_{k+1} = \boldsymbol{\theta}_k + \eta\cdot\nabla_\tau\boldsymbol{\theta}$$

[0100] 式中，θ_k表征当前参数，θ_{k+1}表征下一参数，η表征更新步长。

[0101] 步骤S303：根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度。

[0102] 本申请通过变分量子算法来实现绝热演化过程，从而实现PageRank算法。在本申请中，目标为求解PageRank对应的谷歌矩阵的本征值对应的本征向量，通过量子计算的方式来求解这个问题，所以采用将本征值对应的本征向量等同于物理系统中哈密顿量的本征态的求解方法。哈密顿量对应需要求解的PageRank的谷歌矩阵，那么其对应的最大本征值对应的本征态就是需要求解的最大本征向量。因此可以将这个问题转化为一个绝热演化的问题。构建绝热演化的哈密顿量，因为绝热演化的条件是每一个时刻都处于本征态上，那么最终演化的哈密顿量也处于本征态上，因此根据这一原理来进行求解本征向量的问题。又因为是要求解最大本征值，所以将最终的谷歌矩阵变换为目标哈密顿量的形式。通过采用虚时演化的方法进行绝热演化，同时结合变分量子线路来实现整体的过程。

[0103] 本方法基于变分算法的思想，即使绝热演化过程中系统的基态与激发态能量间隙很小的情况下，依然可以得到目标PageRank向量的近似解。一方面，可以克服基于量子绝热演化的PageRank算法需要时刻保证较大能量间隙的限制，另一方面，可以继承量子绝热演化算法带来的多项式级加速。

[0104] 本申请中的模型由经典和量子两部分组成，目标函数的优化由经典优化器负责，模型的构建由含参数的量子线路负责。同时，相较于常规的量子算法需要在容错量子计算机上进行，本申请在满足表达能力的情况下，拥有较浅的量子线路深度以及更少的噪音。可以在近期的NISQ量子设备上实现，具有实际的应用价值。

[0105] 基于上述实施例中提供的一种基于变分量子线路的PageRank方法，本实施例中提供一种基于变分量子线路的PageRank装置，具体地，图5示出了该基于变分量子线路的PageRank装置的可选的结构框图，该装置被分割成一个或多个程序模块，一个或者多个程序模块被存储于存储介质中，并由一个或多个处理器所执行，以完成本发明。本发明所称的程序模块是指能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，比程序本身更适合描述基于变分量子线路的PageRank装置在存储介质中的执行过程，以下描述将具体介绍本实施例各程序模块的功能。该装置具体包括：

[0106] 获取模块501，用于获取Google矩阵，其中，所述Google矩阵用于表征网页间的链接关系。

[0107] 第一构建模块502，用于构建所述目标任务相关的绝热演化哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量；其中，所述目标哈密顿量根据所述Google矩阵确定。

[0108] 在一些可能的实施例中，量子系统的初始量子态对应所述绝热演化的初始哈密顿量的最小本征态，终末量子态对应所述目标哈密顿量的最小本征态，所述目标哈密顿量的基态对应所述Google矩阵的最大本征态。

[0109] 在一些较为具体的实施例中，绝热演化哈密顿量记为H，初始哈密顿量记为H^i，目标哈密顿量记为H^p，哈密顿量H表示为

[0110] $H=(1-s)H^i+sH^p$

[0111] 式中，s表征绝热演化的时间。

[0112] 在一些较为具体的实施例中，目标哈密顿量表示为如下公式

[0113] $H^p=\left(\mathbb{I}-G_c\right)^\dagger\left(\mathbb{I}-G_c\right)$

[0114] 式中，H^p表征目标哈密顿量，Ⅱ表征单位矩阵，G_c表征所述Google矩阵。

[0115] 第二构建模块503，用于构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态。

[0116] 在一些可能的实施例中，变分量子线路包括：

[0117] 一个或多个对量子比特进行操作的线路，线路可以包括单量子门和多量子门；

[0118] 其中，单量子门为用于操控单个量子比特的逻辑门，多量子门为操控多个量子比特的逻辑门。

[0119] 在一些较为具体的实施例中，单量子门包括，R_Y逻辑门与R_Z逻辑门，R_Y逻辑门表征量子比特在Y轴上的旋转，R_Z逻辑门表征量子比特在Z轴上的旋转。

[0120] 在一些较为具体的示例中，在所述绝热演化的时间内，若当前的量子系统的能量和上一量子系统的能量的差值不小于设定的阈值，则对所述变分量子线路中的参数进行更新，直到该差值小于所述阈值；

[0121] 在所述差值小于所述阈值的情况下，通过当前参数下的所述变分量子线路生成当前时刻的系统基态。

[0122] 输出模块504，用于根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度。

[0123] 图6示出了本说明书实施例所提供的一种计算机设备结构示意图。该计算机设备主要用于对目标函数进行优化。该计算机设备可以包括：处理器610、存储器620、输入/输出接口630、通信接口640和总线650。其中处理器610、存储器620、输入/输出接口630和通信接口640通过总线650实现彼此之间在设备内部的通信连接。该计算机设备可以用于执行前述图2所示的方法。

[0124] 处理器610可以采用通用的CPU(Central Processing Unit，中央处理器)、微处理器、应用专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit，ASIC)、或者一个或多个集成电路等方式实现，用于执行相关程序，以实现本说明书实施例所提供的技术方案。

[0125] 存储器620可以采用ROM(Read Only Memory，只读存储器)、RAM(Random Access Memory，随机存取存储器)、静态存储设备，动态存储设备等形式实现。存储器620可以存储操作系统和其他应用程序，在通过软件或者固件来实现本说明书实施例所提供的技术方案时，相关的程序代码保存在存储器620中，并由处理器610来调用执行。

[0126] 输入/输出接口630用于连接输入/输出模块，以实现信息输入及输出。输入/输出模ss块可以作为组件配置在设备中(图中未示出)，也可以外接于设备以提供相应功能。其中输入设备可以包括键盘、鼠标、触摸屏、麦克风、各类传感器等，输出设备可以包括显示器、扬声器、振动器、指示灯等。

[0127] 通信接口640用于连接通信模块(图中未示出)，以实现本设备与其他设备的通信交互。其中通信模块可以通过有线方式(例如USB、网线等)实现通信，也可以通过无线方式(例如移动网络、WIFI、蓝牙等)实现通信。

[0128] 总线650包括一通路，在设备的各个组件(例如处理器610、存储器620、输入/输出接口630和通信接口640)之间传输信息。

[0129] 需要说明的是，尽管上述设备仅示出了处理器610、存储器620、输入/输出接口630、通信接口640以及总线650，但是在具体实施过程中，该设备还可以包括实现正常运行

所必需的其他组件。此外，本领域的技术人员可以理解的是，上述设备中也可以仅包含实现本说明书实施例方案所必需的组件，而不必包含图中所示的全部组件。

[0130] 需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者装置不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者装置所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括要素的过程、方法、物品或者装置中还存在另外的相同要素。

[0131] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分步骤可以通过硬件来完成，也可以通过程序来指令相关的硬件完成，程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

[0132] 以上的具体实施方式，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上仅为本发明的具体实施方式而已，并不用于限定本发明的保护范围，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

Google 矩阵
基于变分量子线路的PageRank方法
目标PageRank向量

图1

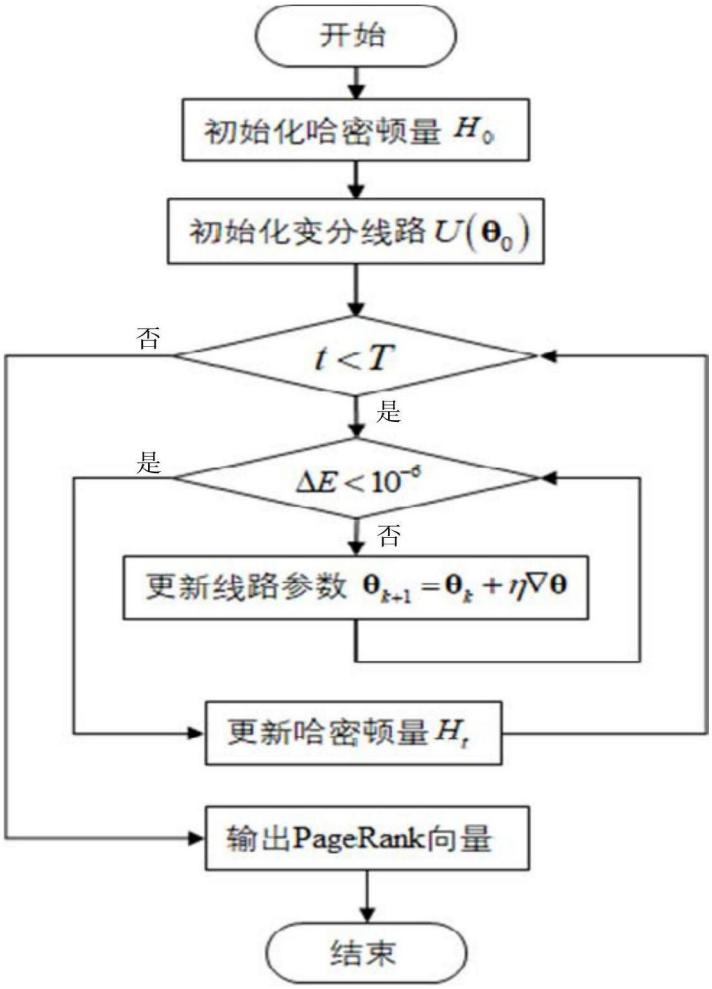

开始
初始化哈密顿量 H_0
初始化变分线路 $U(\boldsymbol{\theta}_0)$
$t<T$
否
是
$\Delta E<10^{-6}$
是
否
更新线路参数 $\boldsymbol{\theta}_{k+1}=\boldsymbol{\theta}_k+\eta\nabla\boldsymbol{\theta}$
更新哈密顿量 H_t
输出PageRank向量
结束

图2

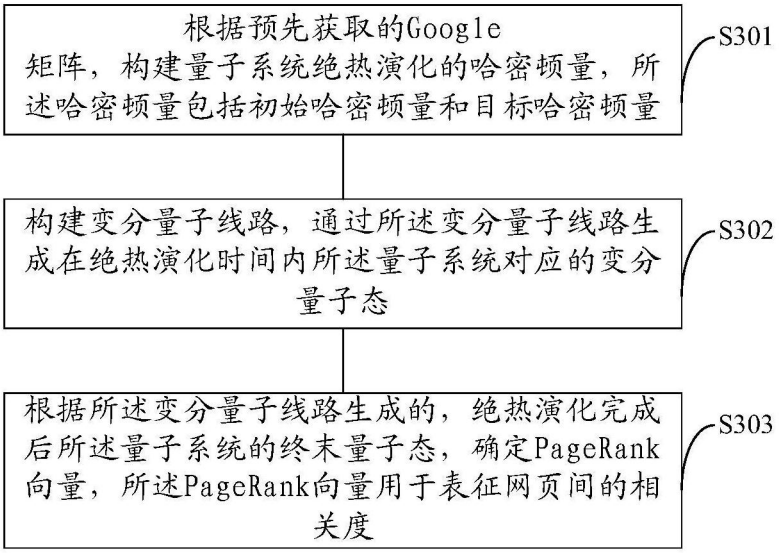

根据预先获取的Google矩阵，构建量子系统绝热演化的哈密顿量，所述哈密顿量包括初始哈密顿量和目标哈密顿量
S301
构建变分量子线路，通过所述变分量子线路生成在绝热演化时间内所述量子系统对应的变分量子态
S302
根据所述变分量子线路生成的，绝热演化完成后所述量子系统的终末量子态，确定PageRank向量，所述PageRank向量用于表征网页间的相关度
S303

图3

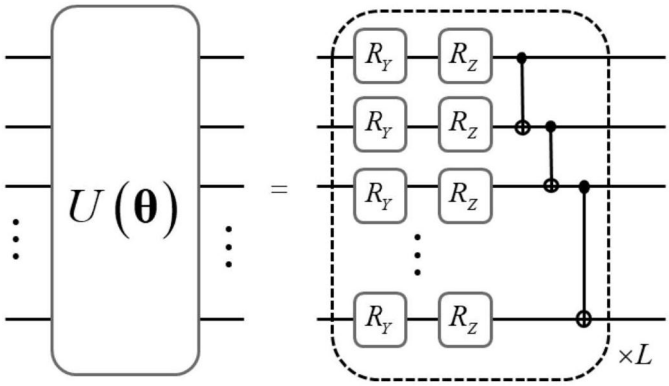

U(θ)
=
R_Y
R_Z
×L

图4

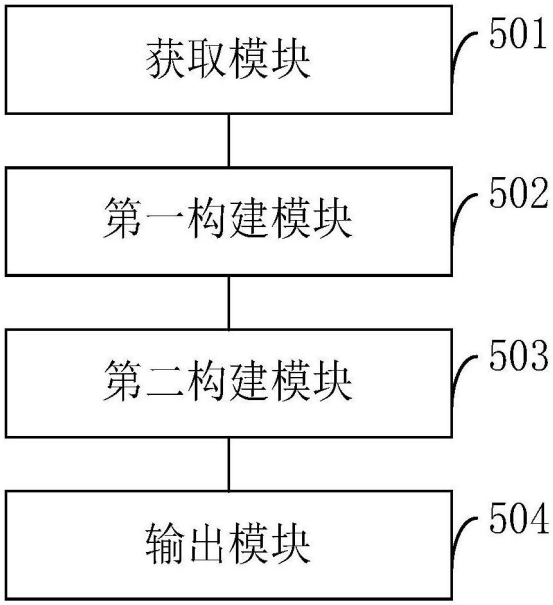

获取模块
501
第一构建模块
502
第二构建模块
503
输出模块
504

图5

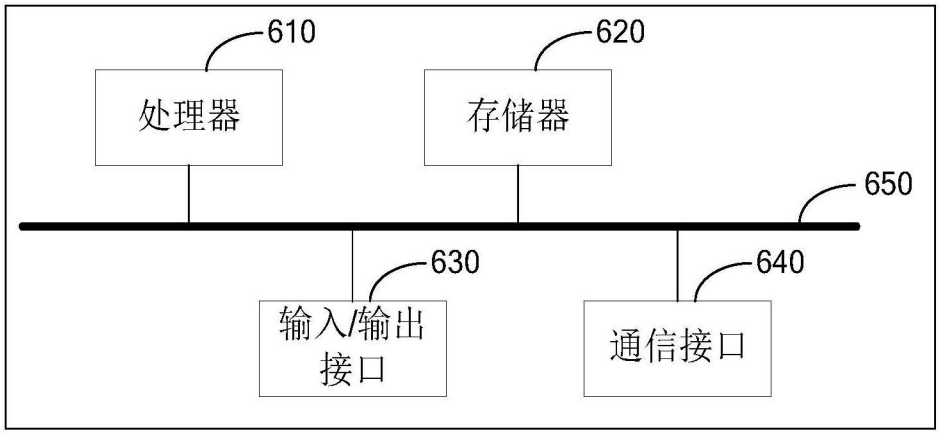

610
处理器
620
存储器
650
630
输入/输出
接口
640
通信接口

图6