

基于图数据的任务调度方法、装置、存储介质和设备

本申请要求于 2018 年 05 月 16 日提交的申请号为 201810466739.X、发明名称为“基于图数据的任务调度方法和装置”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

本申请涉及图计算技术领域，特别是涉及一种基于图数据的任务调度方法、装置、存储介质和设备。

背景技术

随着计算机技术的发展，出现了以“图论”为基础的对现实世界的一种图结构的抽象表达，以及在这种数据结构上的计算模式，也就是图计算。在应用中，可以用图数据表示社交网络、商品购买关系、道路交通网络、通信网络等信息，而基于图数据的计算需求也越来越多，越来越复杂。

传统的基于图数据的计算通常是依赖于分布式计算架构，而当前主流的图数据的任务调度方法是中心化的调度方法。比如，基于调度队列和调度资源池的 MapReduce（映射归约编程模型）集群调度算法，通常使用参数服务器统一进行计算任务的调度和控制。

然而，使用参数服务器统一进行计算任务的调度和控制时，计算任务的处理效率依赖于参数服务器的设置和性能，一旦数据量过大或参数服务器的容错无法得到保证，则会导致图数据的处理效率无法得到保障，且所有在进行中的计算任务都会报错。特别是当处理超大规模数据量的计算任务时，传统的基于中心化的任务调度方法存在计算任务的调度效率低的问题。

发明内容

基于此，有必要针对传统的基于中心化的计算任务调度方法存在计算任务的调度效率低的技术问题，提供一种基于图数据的任务调度方法、装置、存储介质和设备。

一方面，提供了一种基于图数据的任务调度方法，应用于计算节点，所述方法包括：

获取从待处理的图数据中划分出的子图数据；

执行对于所述子图数据中图节点的单位计算任务；

获取第一量化值，所述第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

获取第二量化值，所述第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

确定所述子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值；

当所述第二量化值和所述第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行所述图节点和所述第一量化值的交换。

一方面，提供了一种基于图数据的任务调度装置，包括：

获取模块，用于获取从待处理的图数据中划分出的子图数据；

执行模块，用于执行对于所述获取模块得到的所述子图数据中图节点的单位计算任务；

所述获取模块，还用于获取第一量化值，所述第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

所述获取模块，还用于获取第二量化值，所述第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

确定模块，用于确定所述子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值；

交换模块，用于在所述获取模块得到的所述第二量化值和所述确定模块得到的所述第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行所述图节点和所述第一量化值的交换。

一方面，提供了一种计算机可读存储介质，所述存储介质中存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集，所述至少一条指令、所述至少一段程序、所述代码集或指令集由处理器加载并执行以实现所述基于图数据的任务调度方法。

一方面，提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述计算机程序被所述处理器执行时，使得所述处理器执行上述基于图数据的任务调度方法。

通过将待处理的图数据分割成多个子图数据，再对该多个子图数据进行分布式处理，可大大提高图数据的处理效率。通过分别获取第一量化值、第二量化值和第三量化值，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换。其中，第一量化值和第二量化值可以衡量计算节点的计算能力，第三量化值可以衡量计算节点的负载状态，这样，可将计算节点的计算能力和负载状态用和单位计算任

务相应的量化值量化表示，准确又直观。通过在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换，来保持第二量化值和第三量化值满足均衡条件，这样，可以不需要依赖特定的服务器或节点分配任务，而是通过计算节点之间彼此协调分配图节点，并动态调整分配，实现自组织的负载均衡，避免了特定服务器的单点故障和网络拥塞问题，大大提高了任务的调度效率。并且，采用这样自组织的动态任务调度方法，能够适应更大规模集群的计算任务调度，动态增减计算节点的数量均不会对已有的计算任务造成影响，具有高可扩展性。

附图说明

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。

图 1 为一个实施例中基于图数据的任务调度方法的应用环境图；

图 2 为一个实施例中基于图数据的任务调度方法的流程示意图；

图 3 为一个实施例中子图数据的示意图；

图 4 为一个实施例中获取已形成相应区块链数据且已完成的单位计算任务所对应的第一量化值步骤的流程示意图；

图 5 为一个实施例中确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值步骤的流程示意图；

图 6 为一个实施例中判断第二量化值和第三量化值是否符合均衡条件步骤的流程示意图；

图 7 为一个实施例中在计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换的步骤的流程示意图；

图 8 为另一个实施例中基于图数据的任务调度方法的流程示意图；

图 9 为一个实施例中基于图数据的任务调度装置的结构框图；

图 10 为另一个实施例中基于图数据的任务调度装置的结构框图；

图 11 为一个实施例中计算机设备的结构框图。

具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本申请实施方式作进一步地详细描述。

图 1 为一个实施例中基于图数据的任务调度方法的应用环境图。参照图 1, 该基于图数据的任务调度方法应用于分布式的图计算系统。该分布式的图计算系统包括控制节点 110、计算节点 120 和数据仓库 130。控制节点 110 和计算节点 120 通过区块链网络连接, 控制节点 110 和计算节点 120 分别通过网络与数据仓库 130 连接。控制节点 110 可以通过终端来实现, 该终端可以是台式终端或移动终端, 移动终端比如手机、平板电脑或笔记本电脑等。控制节点 110 可以理解成为一个用于观察和修改执行状态的终端, 而非调度的核心。计算节点 120 可以通过部署在一个或多个服务器上的程序来实现, 比如图 1 所示的计算节点 a、b、c 等分别分布在高性能计算机 1 至高性能计算机 N 上。其中, 分布在同一网络中的不同的高性能计算机由于性能不同, 会占有不同数量的计算节点。所有的控制节点 110 和计算节点 130 都可以直接访问数据仓库 130, 比如, 读取计算任务的算法的可执行文件和输入, 并将计算结果存储在指定位置。数据仓库 130 可以是集中式的存储设备, 也可以是分布式的存储集群或设备。在一个实施例中, 该分布式的图计算系统有多个计算节点, 该基于图数据的任务调度方法可应用于任一计算节点上。

如图 2 所示, 在一个实施例中, 提供了一种基于图数据的任务调度方法。本实施例主要以该方法应用于上述图 1 中的计算节点 120 来举例说明。参照图 2, 该基于图计算的任务调度方法包括如下步骤:

202, 获取从待处理的图数据中划分出的子图数据。

其中, 图数据是采用图结构组织起来的结构化数据, 通过应用图形理论来存储实体之间的关系信息。通常, 图数据由图节点和图节点间的边构成。图节点是图数据中的顶点, 可以用来表示图数据中的主体。比如, 当用图数据存储社会网络中个体之间的信息时, 可以用图数据中的不同图节点表示不同的个体; 或者当用图数据表示商品购买关系时, 每个用户和每个商品均是一个图节点。其中, 图节点可以包含图节点的节点标识和节点属性等信息。图节点间的边是图数据中的边, 可以用来表示图数据中不同主体之间的关系。比如, 当用图数据存储社会网络中个体之间的信息时, 用图数据中的不同图节点表示不同的个体, 可以用图数据中的边表示个体之间的关系, 如好友关系; 当用图数据表示商品购买关系时, 每个用户和每个商品均是一个图节点, 用户购买商品表示成一条边等。

在数学上, 图结构可以使用二元组 $G = \langle V, E \rangle$ 来表示, 其中, $V = \{V_i\}_{i=1}^N$ 表示图数据中的 N 个图节点的集合, $E = \{e_{ij}\} = \left\{ (v_i, v_j) \right\}_{m=1}^M$ 表示图节点之间的连接边。

待处理的图数据是计算节点待处理的图数据。

子图数据是从待处理的图数据划分出的部分图数据。可选的, 可以将一个大的图切割成为一定数量的子图, 使得子图内部的边尽可能稠密, 子图之间的边尽可能稀疏。请参考图 3,

其示出了将一个图切割为 5 个子图的示意图。

在一个实施例中，在图的规模较小时，可以通过 N-cut 算法切割子图；在图的规模较大时，可以通过近似算法切割子图。另外，在分割子图时，除了需要考虑上述分割要求外，还需要考虑负载均衡，因此，还需要增加一个附加条件，即，切割形成的子图的大小与计算节点的能力相匹配。

在一个实施例中，各个计算节点可以是部署在一个或多个服务器上的程序，计算节点可通过区块链这一媒介构成一个虚拟的网络结构。计算节点可通过将数据、任务执行日志或计算节点状态等信息写入新区块，并将新区块加入区块链网络，以方便进行计算节点彼此间的通信协调，以完成子图数据所对应的计算任务，进而完成待处理图数据所对应的计算任务。其中，区块链网络是运行区块链技术的载体和组织方式，是各个计算节点的外部通信模块所构成的一个去中心化的分布式数据库。

在一个实施例中，该分布式的图计算系统中包含控制节点，控制节点可通过与该分布式的图计算系统中的一个或多个计算节点进行通信，以接入此区块链网络。控制节点可通过将与图数据相对应的任务信息记录在新区块中，并将新区块加入区块链网络，在区块链网络中广播该任务信息。这样，在该区块链网络中的所有计算节点均可接收到广播的任务信息。其中，任务信息是与计算任务相关的信息。

在一个实施例中，计算节点可通过定时器或定时程序等来定时查看区块链网络中的最新加入的新区块中记录的任务信息。当检测到该新区块中包含任务信息后，计算节点判断自身的负载状态，当该负载状态指示该计算节点未超载时，可从区块链网络中加载该任务信息。

在一个实施例中，任务信息可以包括任务可执行文件的获取路径、执行计算任务的算法参数、子图数据的获取路径、计算结果的输出路径，以及期望完成时间等。计算节点从区块链网络中加载该任务信息后，可获取图数据所对应的图结构中的子图结构，并根据获取的子图结构从数据仓库中获取相应的子图数据。

在一个实施例中，当从区块链网络中加载该任务信息后，计算节点可根据自身负载状态，从图数据所对应的图结构中随机获取一定数量的图节点及相应的边，构成子图结构。计算节点再根据该任务信息中记载的子图数据的获取路径，从数据仓库中获取该子图结构所对应的子图数据。

在一个实施例中，分布式的图计算系统可按照当前的计算节点的数量，将图数据按预设条件划分成相应数量的子图数据。其中，预设条件可以是平均划分或随机划分等等，本实施例不作限定。

204，执行对于子图数据中图节点的单位计算任务。

其中，单位计算任务是该分布式的图计算系统中的最小计算分配单位，比如在当次迭代计算过程中，某个图节点对应的计算任务。本实施例中，计算节点在获取从图数据中划分出的子图数据后，可对获取的子图数据中的图节点进行相应的计算。

在一个实施例中，计算节点在加载任务信息后，根据任务信息中记载的任务可执行文件的获取路径，以及执行计算任务的算法参数等信息，从数据仓库中拉取任务可执行文件和执行计算任务的算法参数。进一步地，计算节点在获取子图数据后，根据执行计算任务的算法参数，执行拉取的任务可执行文件，以执行对于子图数据中图节点的单位计算任务。

在一个实施例中，对图数据进行的计算是迭代计算，随着算法的迭代更新，每次迭代过程中都会产生新的计算任务。子图数据中的每个图节点可以通过算法驱动源源不断地产生需要完成计算的单位计算任务。

206，获取第一量化值，该第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，该已完成的单位计算任务所对应的量化值。

其中，区块链数据是记录在加入区块链网络中的新区块中的数据，区块链网络中的新区块可以通过广播的方式共享记录的信息。量化值是对单位计算任务进行量化而得到的数值，比如一个单位计算任务对应一个单位的量化值。第一量化值是在计算节点中已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，对该已完成的单位计算任务进行量化而得到的数值。第一量化值可以衡量计算节点的计算能力，与部分已完成的单位计算任务相对应。第一量化值，可以是在区块链网络中进行流通和交换的资源，可以称之为通货值或虚拟货币值等。

本实施例中，计算节点执行对于子图数据中图节点的单位计算任务后，可将部分已完成的单位计算任务所对应数据记录至区块链网络中形成区块链数据，这部分已完成的单位计算任务所对应的量化值即为第一量化值。

在一个实施例中，计算节点执行对于子图数据中图节点的单位计算任务后，完成相应的单位计算任务。当计算节点完成相应的单位计算任务后，可得到对子图数据进行计算的全局计算数据和局部计算数据。其中，全局计算数据是各计算节点对子图数据进行计算的过程中需要进行全局共享并全局更新的数据，全局计算数据的规模是有限的。局部计算数据是各计算节点对子图数据进行计算的过程中仅被少数计算节点使用和更新的数据。

在一个实施例中，计算节点可将全局计算数据记录在新区块中，当新区块通过区块链网络的验证后，将新区块加入区块链网络，此时该全局计算数据形成区块链数据。在一个实施例中，计算节点还可将从上一区块到当前时间的所有相关数据，比如当前的全局计算数据、任务执行日志或计算节点状态记录在新区块并将新区块加入区块链网络，并获得相应的第一量化值。

在一个实施例中，可通过主动广播新区块中记录的相关数据，以便分布式的图计算系统中的所有计算节点共享记录的相关数据，比如记录在新区块中的全局计算数据。或者，也可通过请求的形式扩散新区块中记录的相关数据。其中，以请求的形式扩散是指，计算节点可通过发送请求的方式获取新区块中记录的相关数据。

在一个示例性的应用场景中，在图数据所涉及的图计算问题中，该图数据所对应的图结构通常是较为稀疏的图，使得图数据中的边数 M 远远小于图节点数 N 的两两组合： $M \ll A_n^2$ 。这样，通常需要全局共享的全局计算数据的规模有限，大部分的数据都具有一定的局部性，仅被少数计算节点的计算所使用，即大部分的数据是局部计算数据。采用该分布式的图计算系统，将全局计算数据通过区块链网络进行全局共享，将局部计算数据缓存至相应的计算节点中，并通过请求的形式获取该局部计算数据，避免了大量广播局部计算数据所导致不必要的网络通信开销。

208，获取第二量化值，该第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，该已完成的单位计算任务所对应的量化值。

其中，第二量化值是在计算节点中已完成的单位计算任务所对应的数据未形成区块链数据时，对该已完成的单位计算任务进行量化而得到的数值。第二量化值可以衡量计算节点的计算能力，与计算节点中另一部分已完成的单位计算任务相对应。第二量化值，可以是计算节点当前所拥有的可兑现为第一量化值的资源，可以称之为资产值。当计算节点将已完成的单位计算任务所对应的数据记录在区块链网络中形成区块链数据后，这部分区块链数据所对应的资产值就可转换成区块链网络中流通的相同数额的通货值。

本实施例中，计算节点执行对于子图数据中图节点的单位计算任务后，得到数据。计算节点根据未被记录至区块链网络中的数据，确定该数据所对应的已完成的单位计算任务。计算机节点再对确定的已完成的单位计算任务进行量化，得到第二量化值。在一个实施例中，计算节点执行对于子图数据中图节点的单位计算任务后，完成相应的单位计算任务。当计算节点完成相应的单位计算任务后，也就可以获取已完成的单位计算任务所对应的第二量化值。

在一个实施例中，计算节点将全局计算数据写入新区块前，获取已完成的单位计算任务所对应的历史第二量化值。其中，历史第二量化值，对应将全局计算数据写入新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务。当计算节点将全局计算数据写入新区块，且该新区块通过区块链网络的验证后，从历史第二量化值中扣减生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值，得到当前的第二量化值。

这样，通过将全局计算数据写入新区块以形成区块链数据的方式，可将相应的历史第二量化值转换成第一量化值。通过记账的方式，将未来可兑现的第二量化值，快捷方便地转化

为相应的可流通的第一量化值。这样，第一量化值和当前的第二量化值的总和就可表示计算节点当前的计算能力。

210，确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值。

其中，第三量化值是对计算节点中的未完成的单位计算任务进行量化而得到的数值。第三量化值，可以是计算节点待计算的单位计算任务所对应的数值，可以称之为负债值，可以衡量计算节点的负载状态。当计算节点执行未完成的单位计算任务并完成后，可将该未完成的单位计算任务所对应的第三量化值转换成相同数额的第二量化值，进而再转换成相同数额的第一量化值。

本实施例中，计算节点可实时获取当前的未完成的单位计算任务，根据未完成的单位计算任务，确定第三量化值。在一个实施例中，第一量化值、第二量化值和第三量化值的单位相同，均与单位计算任务相对应。

在一个实施例中，图数据所对应的总任务是一定的，各计算节点中的子图数据所产生的子任务也是一定的。当计算节点通过执行对于子图数据中图节点的单位计算任务时，不断的完成单位计算任务。计算节点可根据子图数据所产生的子任务，以及当前已完成的单位计算任务，获取当前的未完成的单位计算任务，进而确定相应的第三量化值。

在一个实施例中，图数据所对应的总任务是不断变化的，各计算节点中的子图数据所产生的子任务也是不断变化的。计算节点可根据子图数据迭代产生计算任务。随着算法的迭代更新，每次迭代过程中都会产生新的计算任务。子图数据中的每个图节点可以通过算法驱动源源不断地产生需要完成计算的单位计算任务。

在一个实施例中，计算节点可根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、已完成的单位计算任务的内容、区块链网络中共享的全局计算数据，以及局部计算数据，确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值。

212，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换。

其中，均衡条件是预先设置的、用于衡量计算节点当前的计算能力和负载状态之间是否均衡的条件。在一个实施例中，第二量化值和第三量化值符合均衡条件是指，第三量化值的第二总和和第二量化值的第一总和的对比值在指定范围内。其中，对比值是两个数值的差异值，可以通过数学计算来确定。数学计算可以是两个数直接相除、取对数后相除、相减，或进行其他运算后再取对数后相除等等。对比值可以衡量一个数值相对于另一个数值的差异状态。

本实施例中，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，可在计算节点之间进行图

节点和第一量化值的交换，以保持第二量化值和第三量化值符合均衡条件。

在一个实施例中，均衡条件所对应的指定范围可以是预设的固定范围，也可以是由随时间变化的函数所确定的范围。

上述基于图数据的任务调度方法，通过将待处理的图数据分割成多个子图数据，再对该多个子图数据进行分布式处理，可大大提高图数据的处理效率。通过分别获取第一量化值、第二量化值和第三量化值，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换。其中，第一量化值和第二量化值可以衡量计算节点的计算能力，第三量化值可以衡量计算节点的负载状态，这样，可将计算节点的计算能力和负载状态用和单位计算任务相应的量化值量化表示，准确又直观。通过在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换，来保持第二量化值和第三量化值满足均衡条件，这样，可以不需要依赖特定的服务器或节点分配任务，而是通过计算节点之间彼此协调分配图节点，并动态调整分配，实现自组织的负载均衡，避免了特定服务器的单点故障和网络拥塞问题，大大提高了任务的调度效率。并且，采用这样自组织的动态任务调度方法，能够适应更大规模集群的计算任务调度，动态增减计算节点的数量均不会对已有的计算任务造成影响，具有高可扩展性。

在一个实施例中，步骤 202 可以包括：获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息；根据任务信息，读取任务可执行文件和从图数据中划分出的子图数据。步骤 204 可以包括：根据子图数据执行任务可执行文件，该任务可执行文件用于指示对于子图数据中图节点的单位计算任务。

本实施例中，计算节点可获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息，并根据该任务信息，从本地或数据仓库中读取任务可执行文件和从图数据中划分出的子图数据。根据该子图数据执行任务可执行文件，以执行对于子图数据中图节点的单位计算任务。

在一个实施例中，该分布式的图计算系统中包含控制节点，控制节点可通过将与图数据相对应的任务信息记录在新区块中，并将新区块加入区块链网络，在区块链网络中广播该任务信息。

在一个实施例中，区块链网络中的所有计算节点均可通过新区块的广播而接收到与图数据相对应的任务信息。

在一个实施例中，计算节点可通过定时器或定时程序等定时查看区块链网络中的最新加入的新区块中记录的信息，以主动获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息。

上述实施例中，获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息，再根据该任务信息，读取任务可执行文件和子图数据，根据子图数据执行该任务可执行文件，可以实现单位

计算任务的执行。其中，任务信息可以是一个很轻（即数据量很小）的文件，这样，通过区块链网络进行任务的发布可大大减少分布式的图计算系统中任务发布和获取的通信量，大大提高了任务发布的效率。

在一个实施例中，步骤 206 可以包括以下步骤：

402，将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块。

在一个实施例中，上述区块链网络可以由一个私有的区块链构成，在区块链网络中记录数据所需的密钥可以根据非对称加密算法标准事先生成，并存储在数据仓库中。计算节点可在需要使用时访问数据仓库以获取相关密钥。其中，非对称加密算法可以是椭圆曲线加密算法或 RSA 加密算法（一种非对称加密算法）等。

在一个实施例中，计算节点可根据相应的共识算法生成新区块。共识算法可以是共识哈希算法等。计算节点可将已完成的单位计算任务所对应的全局计算数据写入新区块。在一个实施例中，计算节点可将全局数据、任务执行日志、图节点的交换数据或计算节点状态等信息写入新区块。

在一个实施例中，当区块链是私有链时，可以缩减共识哈希算法的位数，以提高处理效率，达到提升系统吞吐量的目的。比如，在缩减共识哈希算法的位数时，可以使用 128 位的 SHA（Secure Hash Algorithm，安全哈希算法）而不是 256 位的 SHA；也可以调节共识哈希算法为 POS（Proof of Work，工作量证明），使用币龄=第三量化值*年龄来决定下一个新区块的生成者。一般而言，当图数据的交换量在每秒 100 万次以上时，能够使得分布式的图计算系统达到较好的通信效率。在一个示例中，可以采用下面的分段函数作为共识哈希函数的位数标准：

$$\text{Hash}(k) = \begin{cases} 128 & \overline{D_k} / \overline{C_k} > \eta \\ 64 & \overline{D_k} / \overline{C_k} \leq \eta, \text{age}(D_k) < \delta \\ 32 & \text{age}(D_k) \geq \delta \end{cases}$$

其中， $\overline{D_k}$ 表示提供待交换的图节点的第一方 k 中的图节点的平均第三量化值； $\overline{C_k}$ 表示提供待交换的图节点的第一方 k 中的图节点的平均第二量化值； $\text{age}(D_k)$ 表示提供待交换的图节点的第一方 k 中的图节点的平均币龄； η 和 δ 分别为阈值。

在一个实施例中，各计算节点可默认允许当前拥有的第一量化值最多的计算节点生成新区块。在这种情况下第一量化值的产生将会分配到第一量化值最少的计算节点上，从而实现更高的协调效率。这里的第一量化值也可替换为第二量化值或第三量化值。

在一个实施例中，对于共识哈希函数，也可以采用限制共识前缀 0 的数量来控制复杂度，与位数控制类似，约束哈希结果前缀 0 的数量越多，共识问题的难度就越大。

404, 当新区块通过区块链网络的验证后, 将新区块加入区块链网络并形成区块链数据, 生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

在一个实施例中, 当计算节点产生的新区块通过区块链网络的验证后, 计算节点可将该新区块加入区块链网络, 此时写入该新区块中的全局计算数据形成区块链数据。计算节点可生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

上述实施例中, 将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块, 将新区块加入区块链网络并形成区块链数据, 当新区块通过区块链网络的验证后, 以快速便捷地生成第一量化值, 该第一量化值可以在区块链网络中进行流通和交换。

在一个实施例中, 步骤 210 包括以下步骤:

502, 从区块链网络获取最新的全局计算数据。

在一个实施例中, 计算节点可通过区块链网络获取新区块中记录的最新的全局计算数据。在一个实施例中, 计算节点可通过定时查看新区块的方式, 从区块链网络中获取最新的全局计算数据。

504, 获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据。

在一个实施例中, 计算节点可读取本地缓存的局部计算数据, 或者从子图结构中相邻的计算节点处获取缓存的局部计算数据。

506, 根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、全局计算数据和局部计算数据, 确定第三量化值。

在一个实施例中, 计算节点可根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、全局计算数据和局部计算数据, 确定第三量化值。比如, 可通过如下公式计算图节点 i 的单位计算任务所对应的第三量化值: $D_i^t = f(v_i, C_i^{t-s}, \theta^t, \theta_i^t)$ 。其中, D_i^t 表示当前的单位计算任务所对应的第三量化值; v_i 表示子图数据, 即子图所连接的边、图节点属性信息等; C_i^{t-s} 表示生成当前的单位计算任务所依赖的前 s 个时点的已完成的单位计算任务; θ^t 是当前的全局计算数据, θ_i^t 是当前的局部计算数据。

上述实施例中, 根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、最新的全局计算数据和局部计算数据, 可确定第三量化值, 可以准确高效地预估计算节点在未来一段时间内的负载状态。即使动态变动子图数据中图节点的数量, 或者动态增加边数都不影响当前的全局计算数据和局部计算数据, 计算节点可在已完成的计算任务的基础上进一步计算, 大大提高了对图数据的处理效率。

在一个实施例中, 基于图数据的任务调度方法还包括判断第二量化值和第三量化值是否符合均衡条件的步骤, 该步骤可以包括:

602, 获取子图数据当前的第二量化值的第一总和。

在一个实施例中, 各计算节点可确定当前计算节点内的子图数据中的全部的未形成区块链数据且已完成的单位计算任务, 进而确定第二量化值的第一总和。

604, 获取子图数据当前的第三量化值的第二总和。

在一个实施例中, 各计算节点可确定当前计算节点内的子图数据中的全部的未完成的单位计算任务, 进而确定第三量化值的第二总和。

606, 确定第二总和相对于第一总和的对比值。

在一个实施例中, 计算节点可通过将第一总和和第二总和进行数学计算, 以确定第二总和和相对于第一总和的对比值。其中, 数学计算可以是两个数直接相除、取对数后相除、相减, 或进行其他运算后再取对数后相除等等。

在一个实施例中, 考虑到第二量化值和第三量化值均随时间变化而呈指数增长, 因此, 计算节点可分别对第二总和和第一总和取对数后再计算比值, 这样第二总和相对于第一总和的对比值可保持线性变化。

在一个实施例中, 计算节点可根据以下公式计算对比值:

$$\frac{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n D_i^t|}}{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n C_i^t|}}$$

其中, a 和 m 均为常数; $a > 0$, 且 $a \neq 1$; $m \geq 1$; $|\sum_{i=1}^n D_i^t|$ 表示第二总和; $|\sum_{i=1}^n C_i^t|$ 表示第一总和。

在另一个实施例中, 可直接将第二总和除以第一总和, 以得到第二总和相对于第一总和的对比值。计算节点可根据以下公式计算对比值:

$$\frac{|\sum_{i=1}^n D_i^t|}{|\sum_{i=1}^n C_i^t|}$$

其中, $|\sum_{i=1}^n D_i^t|$ 表示第二总和; $|\sum_{i=1}^n C_i^t|$ 表示第一总和。

608, 当对比值超出指定范围时, 确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件。

在一个实施例中, 可以预设指定范围, 当对比值超出该指定范围时, 则确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件; 当对比值在该指定范围内时, 则确定第二量化值和第三量化值符合均衡条件。

在一个实施例中, 当对比值为对第二总和和第一总和取对数后再相除所得的值时, 指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间 t 变化的线性减函数, 且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。比如, 可用如下公式表示对比值在指定范围内:

$$\mu(t) < \frac{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n D_i^t|}}{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n C_i^t|}} < \lambda(t)$$

在一个示例性的实施例中, 常数 a 可以为 10, 常数 m 为 1, 则上述公式可简化为

$$\mu(t) < \frac{\lg(1 + \left| \sum_{i=1}^n D_i^t \right|)}{\lg(1 + \left| \sum_{i=1}^n C_i^t \right|)} < \lambda(t)$$

在另一个实施例中，当对比值为第二总和和第一总和的商时，指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间 t 变化的幂函数，且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。比如，可用如下公式表示对比值在指定范围内：

$$\mu(t) < \frac{\left| \sum_{i=1}^n D_i^t \right|}{\left| \sum_{i=1}^n C_i^t \right|} < \lambda(t)$$

在一个实施例中，上述指定范围也可固定范围，比如由第一阈值和第二阈值所确定的固定范围。

在一个实施例中，当对比值小于指定范围的最小值时，将当前的计算节点的第一量化值与其他计算节点的图节点进行交换，以保持交换后重新计算的对比值在指定范围内；当对比值大于指定范围的最大值时，将当前的计算节点的图节点与其他计算节点的第一量化值进行交换，以保持交换后重新计算的对比值在指定范围内。

在一个实施例中，当对比值小于指定范围的最小值时，计算节点会尝试通过第一量化值交换得到新的图节点，并且会优先以较少的第一量化值交换得到新的图节点。当对比值大于指定范围的最大值时，计算节点会尝试将自己拥有的图节点交换出去，并且会优先交换那些可以换得更多第一量化值的图节点。

需要指出的是，在上述的实施例中，对比值是第二总和相对于第一总和的对比值，当对比值小于指定范围的最小值时，将当前的计算节点的第一量化值与其他计算节点的图节点进行交换；当对比值大于指定范围的最大值时，将当前的计算节点的图节点与其他计算节点的第一量化值进行交换，以保持交换后重新计算的对比值在指定范围内。相应的，对比值也可以是第一总和相对于第二总和的对比值，当对比值大于指定范围的最大值时，将当前的计算节点的第一量化值与其他计算节点的图节点进行交换；当对比值小于指定范围的最小值时，将当前的计算节点的图节点与其他计算节点的第一量化值进行交换，以保持交换后重新计算的对比值在指定范围内。

上述实施例中，通过确定子图数据当前的第二量化值的第一总和，以及子图数据当前的第三量化值的第二总和的对比值，判断对比值是否在指定范围内，当对比值超出指定范围时，则确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件。这样，可快速准确的确定第二量化值和第三量化值是否符合均衡条件，以便高效的在计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换，通过计算节点之间彼此协调动态分配图节点，高效地实现了自组织的负载均衡。

在一个实施例中，与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换的步骤可以包括以下步骤：

702, 在计算节点和其他计算节点中, 确定提供待交换的图节点的第一方, 以及换取待交换的图节点的第二方。

在一个实施例中, 当计算节点内的第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时, 计算节点间可互相进行图节点和第一量化值的交换, 以维持各计算节点内的第二量化值和第三量化值符合均衡条件。即, 当前的计算节点可以与其他计算节点交换图节点和第一量化值。这样, 需要在待进行交换的计算节点间, 确定提供待交换的图节点的第一方, 以及换取待交换的图节点的第二方。

704, 确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值。

其中, 预估量化值是预估的、对待交换的图节点所拥有的未完成的单位计算任务进行量化的值。第一预估量化值是提供待交换的图节点的第一方, 对待交换的图节点所拥有的未完成的单位计算任务进行量化的值。预估量化值和第一量化值的单位相同。

在一个实施例中, 当计算节点为第一方时, 计算节点可根据待交换的图节点所对应的第二量化值与第一方所对应的第二量化值的关系, 待交换的图节点所对应的第三量化值与第一方所对应的第三量化值的关系, 确定第一预估量化值。

在一个实施例中, 计算节点可通过以下公式计算第一预估量化值:

$$y_1(v_i, k) = \alpha e^{-\beta \frac{D_i - \overline{D_k}}{C_i - \overline{C_k}}}$$

其中, v_i 表示待交换的图节点; k 表示第一方; $y_1(v_i, k)$ 表示第一方对待交换的图节点的第一预估量化值; D_i 表示待交换的图节点的第三量化值; C_i 表示待交换的图节点的第二量化值; $\overline{D_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第三量化值; $\overline{C_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第二量化值; α 和 β 分别为系统参数; e 为自然常数。

706, 确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值。

其中, 第二预估量化值是换取待交换的图节点的第二方, 对待交换的图节点所拥有的未完成的单位计算任务进行量化的值。

在一个实施例中, 当计算节点为第二方时, 计算节点在确定第二预估量化值时, 可以考虑在换取待交换的图节点后, 第二方所对应的计算节点需要增加的计算任务和减少的通信距离量, 因此, 计算节点可根据待交换的图节点的第三量化值, 以及待交换的图节点与第二方中的图节点间的通信距离, 来确定第二预估量化值。

在一个实施例中, 计算节点可根据以下公式计算第二预估量化值:

$$y_2(v_i, l) = \alpha e^{-\gamma D_i + \sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)}$$

其中, v_i 表示待交换的图节点; l 表示第二方; $y_2(v_i, l)$ 表示第二方对待交换的图节点的第二预估量化值; D_i 表示待交换的图节点的第三量化值; $\sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)$ 表示第二方 l

中的图节点j与待交换的图节点i的通信距离的总和。

在一个实施例中， $\text{dist}(i, j)$ 可表示图节点i和图节点j之间的通信距离。由于计算图中任意两图节点间的通信距离的计算量巨大，因此，计算节点采用数学上的近似方法来计算图节点间的通信距离，比如，可采用局部近似法来计算图节点间的通信距离，可根据以下公式计算图节点间的通信距离：

$$\text{dist}(i, j) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & e_{i,j} \in E \\ 0, & e_{i,j} \notin E \end{cases}$$

其中， $\text{dist}(i, j)$ 表示第二方1中的图节点j与待交换的图节点i间的通信距离； $e_{i,j} \in E$ 表示图节点j与图节点i之间通过边连接； $e_{i,j} \notin E$ 表示图节点j与图节点i之间无边。

也就是，当图节点i和图节点j之间通过边连接时，可近似认为图节点i和图节点j的距离很近。当第二方所对应的计算节点换取了待交换的图节点后，计算节点可减少通信距离，因此，第二预估量化值越高。当图节点i和图节点j之间无边连接时，当第二方所对应的计算节点换取了待交换的图节点后，计算节点并未减少通信距离。

在一个实施例中，计算节点还可采取其他的近似方法来计算图节点间的通信距离，比如判断待计算的两图节点间是否有共同的邻近图节点，当两图节点间存在共同的邻近图节点时，则可认为这两图节点间的通信距离短，当第二方所对应的计算节点换取了待交换的图节点后，计算节点所减少的通信量也更多。还比如，计算节点可根据随机路径图法生成两两图节点间的路径，在同一个路径上的图节点则被认为通信距离短，当第二方所对应的计算节点换取了待交换的图节点后，计算节点所减少的通信量也更多。

708，根据第一预估量化值和第二预估量化值，确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值。

在一个实施例中，计算节点可根据第一预估量化值和第二预估量化值，确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值。比如，计算节点可计算第一预估量化值和第二预估量化值的平均值，将平均值作为与待交换的图节点交换的第一量化值。或者，计算节点也可根据一定的权重比值，对第一预估量化值和第二预估量化值进行加权求和后取平均值，将平均值作为与待交换的图节点交换的第一量化值等。

710，在计算节点和其他计算节点之间，交换待交换的图节点与确定的第一量化值间的交换。

在一个实施例中，在待进行交换的计算节点间，第二方可通过确定的第一量化值换取第一方的待交换的图节点。

上述实施例中，根据第一方对待交换的图节点的第一预估量化值，以及第二方对待交换

的图节点的第二预估量化值，确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值，这样，可以综合考量第一方和第二方的实际情况，在待进行交换的计算节点之间，进行公平的待交换的图节点与第一量化值的交换。

如图8所示，在一个示例性的实施例中，基于图数据的任务调度方法包括以下步骤：

802，获取区块链网络中广播的与待处理的图数据相对应的任务信息。

804，根据任务信息，读取任务可执行文件和从图数据中划分出的子图数据。

806，根据子图数据执行任务可执行文件，该任务可执行文件用于指示对于子图数据中图节点的单位计算任务。

808，将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块。

810，当新区块通过区块链网络的验证后，将新区块加入区块链网络并形成区块链数据，生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

812，获取将全局计算数据写入新区块前的历史第二量化值；历史第二量化值，对应将全局计算数据写入新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务。

814，从历史第二量化值中扣减第一量化值，得到第二量化值。

816，从区块链网络获取最新的全局计算数据。

818，获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据。

820，根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、全局计算数据和局部计算数据，确定第三量化值。

822，获取子图数据当前的第二量化值的第一总和。

824，获取子图数据当前的第三量化值的第二总和。

826，确定第二总和相对于第一总和的对比值。

828，当对比值超出指定范围时，确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件。

830，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，在计算节点和其他计算节点中，确定提供待交换的图节点的第一方，以及换取得待交换的图节点的第二方。

832，确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值。

834，确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值。

836，根据第一预估量化值和第二预估量化值，确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值。

838，在计算节点和其他计算节点之间，交换待交换的图节点与确定的第一量化值。

上述基于图数据的任务调度方法，通过将待处理图数据分割成多个子图数据，在对该多个子图数据进行分布式处理，可大大提高图数据的处理效率。通过分别获取第一量化值、第

二量化值和第三量化值，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换。其中，第一量化值和第二量化值可以衡量计算节点的计算能力，第三量化值可以衡量计算节点的负载状态，这样，可将计算节点的计算能力和负载状态用和单位计算任务相应的量化值量化表示，准确又直观。通过在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换，来保持第二量化值和第三量化值满足均衡条件，这样，可以不需要依赖特定的服务器或节点分配任务，而是通过计算节点之间彼此协调分配图节点，并动态调整分配，实现自组织的负载均衡，避免了特定服务器的单点故障和网络拥塞问题，大大提高了任务的调度效率。并且，采用这样自组织的动态任务调度方法，能够适应更大规模集群的计算任务调度，动态增减计算节点的数量均不会对已有的计算任务造成影响，具有高可扩展性。

图 8 为一个实施例中基于图数据的任务调度方法的流程示意图。应该理解的是，虽然图 8 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，图 8 中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段，这些子步骤或者阶段并不必在同一时刻执行，而是可以在不同的时刻执行，这些子步骤或者阶段的执行顺序也不必是依次进行，而是可以与其它步骤或者其它步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

在一个示例性的应用场景中，比如 TSP 问题中（Traveling Salesman Problem，旅行推销员问题），可通过上述基于图数据的任务调度方法高效地求得较优解。其中，TSP 问题是指推销员如何在最短距离内走完所有城市（图节点）并回到出发的城市。这是一个 NP（Non-deterministic Polynomial，非确定性多项式）完全问题，一般会求其近似解。通过本方案中的基于图数据的任务调度方法，可将该 TSP 问题拆分成子图中的最短遍历问题，即通过寻找局部最优来近似逼近全局最优解。其中，全局计算数据即为图数据中的路径以及总长度，而局部计算数据则包括各个子图数据中较优的路径长度，以及进入和离开该子图的图节点。计算的过程为不断优化路径选择，计算节点之间彼此协调动态分配图节点，以得到最优情况下的最优子图分割，并求得该情况下的最优解。

为了便于理解，下面以一个形象的示例来描述上述实现过程。我们可以理解成区块链中的每一个通货都对应一个完成的单位计算任务，每个计算节点可以通过算法驱动源源不断地产生需要完成计算的单位计算任务，也就是一个负债产生者。不同的计算节点之间可以使用通货交易这些图节点，这一过程通常包含一个自组织策略。最简单的自组织策略就是自负盈亏，即当计算节点拥有的图节点在单位时间产生的任务量超过周围计算节点的平均产生任务量时，该计算节点处于加速负债状态，需要通过“卖出”自己的图节点以达到自负盈亏，即

未完成的单位计算任务（负债）与已完成的单位计算任务（资产）平衡的过程；而资产盈余的计算节点则可以通过“买入”更多的图节点，实现计算能力的最大化利用。这样，每个计算节点的目标都是实现负债和资产的平衡。其中，计算节点 k 的资产组合可以由三元组 $\left\{ \{V_i\}_{i=k1}^{kn}, \{C_i\}_{i=k1}^{kn}, \{D_i\}_{i=k1}^{kn} \right\}$ 构成，分别代表该计算节点 k 所拥有的图节点及其对应的资产（已完成的单位计算任务）和债务（未完成的单位计算任务）。

图节点的最终交易价格会按照出售价和购买价的平均值进行交易，交易过程中，购买方向出售方实际发送购买价格数量的区块链通货 C ，注意这里的通货 C 虽然与前文提到的图节点的资产和负债的单位相同，但并不是一回事，这里的通货是区块链实际已注册和可流通的货币，而前文提到的资产和负债则是账本上的未来可兑现资产。简单来说，只要计算节点的负债率不超过指定的数值，每一个 C_i 都可以通过记账转化为实际的通货 C 。记账的过程即为计算节点通过增加新区块，将从上一区块到当前时间的所有交易信息（这里包括日志、全局计算参数、节点状态上报）记录在新区块中，并附加在区块链末尾，并从中获得一定量的通货 C 作为奖励的过程，这一奖励值将从计算节点的资产中减记。

如图 9 所示，在一个实施例中，提供了一种基于图数据的任务调度装置 900，包括：获取模块 901、执行模块 902、确定模块 903 和交换模块 904。

获取模块 901，用于获取从待处理的图数据中划分出的子图数据。

执行模块 902，用于执行对于获取模块 901 得到的子图数据中图节点的单位计算任务。

获取模块 901 还用于获取第一量化值，第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，已完成的单位计算任务所对应的量化值。

获取模块 901 还用于获取第二量化值，第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，已完成的单位计算任务所对应的量化值。

确定模块 903，用于确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值。

交换模块 904，用于在获取模块 901 得到的第二量化值和确定模块 903 得到的第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换。

在一个实施例中，获取模块 901，还用于获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息；根据任务信息，读取任务可执行文件和从图数据中划分出的子图数据。执行模块 902，还用于根据子图数据执行任务可执行文件，任务可执行文件用于指示对于子图数据中图节点的单位计算任务。

在一个实施例中，获取模块 901，还用于将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块；当新区块通过区块链网络的验证后，将新区块加入区块链网络并形成区块链数据，生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

在一个实施例中，获取模块 901，还用于获取将全局计算数据写入新区块前的历史第二量化值；历史第二量化值，对应将全局计算数据写入新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务；从历史第二量化值中扣减第一量化值，得到第二量化值。

在一个实施例中，确定模块 903，还用于从区块链网络获取最新的全局计算数据；获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据；根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、全局计算数据和局部计算数据，确定第三量化值。

在一个实施例中，获取模块 901，还用于获取子图数据当前的第二量化值的第一总和；获取子图数据当前的第三量化值的第二总和。确定模块 903，还用于确定第二总和相对于第一总和的对比值；当对比值超出指定范围时，确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件。

在一个实施例中，确定模块 903，还用于根据以下公式计算对比值：

$$\frac{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n d_i^t|}}{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n c_i^t|}}$$

其中，a 和 m 均为常数；a>0，且 a≠1；m≥1； $|\sum_{i=1}^n d_i^t|$ 表示第二总和； $|\sum_{i=1}^n c_i^t|$ 表示第一总和。

在一个实施例中，指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间 t 变化的线性减函数，且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。

在一个实施例中，交换模块 904，还用于在对比值小于指定范围的最小值时，将第一量化值与其他计算节点的图节点进行交换，交换后的对比值在指定范围内；在对比值大于指定范围的最大值时，将图节点与其他计算节点的第一量化值进行交换，交换后的对比值在指定范围内。

在一个实施例中，交换模块 904，还用于在计算节点和其他计算节点中，确定提供待交换的图节点的第一方，以及换取待交换的图节点的第二方；确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值；确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值；根据第一预估量化值和第二预估量化值，确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值；在计算节点和其他计算节点之间，交换待交换的图节点与确定的第一量化值间。

如图 10 所示，在一个实施例中，交换模块 904 还包括计算子模块 905，用于根据以下公式计算第一预估量化值：

$$y_1(v_i, k) = \alpha e^{-\beta \frac{D_i - \overline{D_k}}{C_i - \overline{C_k}}}$$

其中， v_i 表示待交换的图节点；k 表示第一方； $y_1(v_i, k)$ 表示第一方对待交换的图节点的第一预估量化值； D_i 表示待交换的图节点的第三量化值； C_i 表示待交换的图节点的第二量化值； $\overline{D_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第三量化值； $\overline{C_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第二量化值； α 和 β 分别为系统参数；e 为自然常数。

在一个实施例中，交换模块 904 还包括：

第二计算子模块 906，用于根据以下公式计算第二预估量化值：

$$y_2(v_i, l) = \alpha e^{-\gamma D_i + \sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)}$$

其中， v_i 表示待交换的图节点； l 表示第二方； $y_2(v_i, l)$ 表示第二方对待交换的图节点的第二预估量化值； D_i 表示待交换的图节点的第三量化值； $\sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)$ 表示第二方 l 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 的通信距离的总和。

在一个实施例中，第二计算模块 906，还用于根据以下公式计算通信距离：

$$\text{dist}(i, j) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & e_{i, j} \in E \\ 0, & e_{i, j} \notin E \end{cases}$$

其中， $\text{dist}(i, j)$ 表示第二方 l 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 间的通信距离； $e_{i, j} \in E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间通过边连接； $e_{i, j} \notin E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间无边。

上述基于图数据的任务调度装置，通过将待处理的图数据分割成多个子图数据，再对该多个子图数据进行分布式处理，可大大提高图数据的处理效率。通过分别获取第一量化值、第二量化值和第三量化值，当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换。其中，第一量化值和第二量化值可以衡量计算节点的计算能力，第三量化值可以衡量计算节点的负载状态，这样，可将计算节点的计算能力和负载状态用和单位计算任务相应的量化值量化表示，准确又直观。通过在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换，来保持第二量化值和第三量化值满足均衡条件，这样，可以不需要依赖特定的服务器或节点分配任务，而是通过计算节点之间彼此协调分配图节点，并动态调整分配，实现自组织的负载均衡，避免了特定服务器的单点故障和网络拥塞问题，大大提高了任务的调度效率。并且，采用这样自组织的动态任务调度方法，能够适应更大规模集群的计算任务调度，动态增减计算节点的数量均不会对已有的计算任务造成影响，具有高可扩展性。

图 11 示出了一个实施例中计算机设备的内部结构图。该计算机设备可以是图 1 中的计算节点 120 所分布的计算机设备。如图 11 所示，该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器和网络接口。其中，存储器包括非易失性存储介质和内存储器。该计算机设备的非易失性存储介质存储有操作系统，还可存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时，可使得处理器实现基于图数据的任务调度方法。该内存储器中也可储存有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时，可使得处理器执行基于图数据的任务调度方法。

本领域技术人员可以理解，图 11 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，计算机设备可以包括比图 11 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。

在一个实施例中，本申请提供的基于图数据的任务调度装置可以实现为一种计算机程序的形式，计算机程序可在如图 11 所示的计算机设备上运行。计算机设备的存储器中可存储组成该基于图数据的任务调度装置的各个程序模块，比如，图 9 所示的获取模块、执行模块、确定模块和交换模块。各个程序模块构成的计算机程序使得处理器执行本说明书中描述的本申请各个实施例的基于图数据的任务调度方法中的步骤。

例如，图 11 所示的计算机设备可以通过如图 9 所示的基于图数据的任务调度装置中的获取模块执行步骤 202、206 和 208。计算机设备可通过执行模块执行步骤 204。计算机设备可通过确定模块执行步骤 210。计算机设备可通过交换模块执行步骤 212，执行细节详见上述步骤中的描述。

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，存储器中储存有计算机程序，计算机程序被处理器执行时，使得处理器执行以下步骤：获取从待处理的图数据中划分出的子图数据；执行对于子图数据中图节点的单位计算任务；获取第一量化值，第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，已完成的单位计算任务所对应的量化值；获取第二量化值，第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，已完成的单位计算任务所对应的量化值；确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值；当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行获取从待处理的图数据中划分出的子图数据的步骤时可以执行以下步骤：获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息；根据任务信息，读取任务可执行文件和从图数据中划分出的子图数据；计算机程序使得处理器在执行对于子图数据中图节点的单位计算任务的步骤时可以执行以下步骤：根据所子图数据执行任务可执行文件，任务可执行文件用于指示对于子图数据中图节点的单位计算任务。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行获取第一量化值的步骤时可以执行以下步骤：将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块；当新区块通过区块链网络的验证后，将新区块加入区块链网络并形成区块链数据，生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行获取第二量化值的步骤时可以执行以下步骤：获取将全局计算数据写入新区块前的历史第二量化值；历史第二量化值，对应将全局计算数据写入新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务；从历史第二量化值中扣减第一量化值，得到第二量化值。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值的步骤时可以执行以下步骤：从区块链网络获取最新的全局计算数据；获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据；根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、全局计算数据和局部计算数据，确定第三量化值。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器还执行以下步骤：获取子图数据当前的第二量化值的第一总和；获取子图数据当前的第三量化值的第二总和；确定第二总和相对于第一总和的对比值；当对比值超出指定范围时，确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行确定第二总和相对于第一总和的对比值的步骤时可以执行以下步骤：根据以下公式计算对比值：

$$\frac{\log_a^{m+1} \left| \sum_{i=1}^n d_i^t \right|}{\log_a^{m+1} \left| \sum_{i=1}^n c_i^t \right|}$$

其中，a和m均为常数； $a > 0$ ，且 $a \neq 1$ ； $m \geq 1$ ； $\left| \sum_{i=1}^n d_i^t \right|$ 表示第二总和； $\left| \sum_{i=1}^n c_i^t \right|$ 表示第一总和。

在一个实施例中，指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间t变化的线性减函数，且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换的步骤时可以执行以下步骤：当对比值小于指定范围的最小值时，将第一量化值与其他计算节点的图节点进行交换，交换后的对比值在指定范围内；当对比值大于指定范围的最大值时，将图节点与其他计算节点的第一量化值进行交换，交换后的对比值在指定范围内。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换的步骤时可以执行以下步骤：在计算节点和其他计算节点中，确定提供待交换的图节点的第一方，以及换取待交换的图节点的第二方；确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值；确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值；根据第一预估量化值和第二预估量化值，确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值；在计算节点和其他计算节点之间，交换待交换的图节点与确定的第一量化值间。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值的步骤时可以执行以下步骤：根据以下公式计算第一预估量化值：

$$y_1(v_i, k) = \alpha e^{-\beta \frac{d_i - \bar{d}_k}{c_i - c_k}}$$

其中, v_i 表示待交换的图节点; k 表示第一方; $y_1(v_i, k)$ 表示第一方对待交换的图节点的第一预估量化值; D_i 表示待交换的图节点的第三量化值; C_i 表示待交换的图节点的第二量化值; $\overline{D_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第三量化值; $\overline{C_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第二量化值; α 和 β 分别为系统参数; e 为自然常数。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值的步骤时可以执行以下步骤: 根据以下公式计算第二预估量化值:

$$y_2(v_i, 1) = \alpha e^{-\gamma D_i + \sum_{j \in 1} \text{dist}(i, j)}$$

其中, v_i 表示待交换的图节点; 1 表示第二方; $y_2(v_i, 1)$ 表示第二方对待交换的图节点的第二预估量化值; D_i 表示待交换的图节点的第三量化值; $\sum_{j \in 1} \text{dist}(i, j)$ 表示第二方 1 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 的通信距离的总和。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行确定换取待交换的图节点的第二方中的图节点与待交换的图节点的通信距离的总和的步骤时可以执行以下步骤: 根据以下公式计算通信距离:

$$\text{dist}(i, j) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & e_{i, j} \in E \\ 0, & e_{i, j} \notin E \end{cases}$$

其中, $\text{dist}(i, j)$ 表示第二方 1 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 间的通信距离; $e_{i, j} \in E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间通过边连接; $e_{i, j} \notin E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间无边。

上述计算机设备, 通过将待处理图数据分割成多个子图数据, 再对多个子图数据进行分布式处理, 可大大提高图数据的处理效率。通过分别获取第一量化值、第二量化值和第三量化值, 当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时, 在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换。其中, 第一量化值和第二量化值可以衡量计算节点的计算能力, 第三量化值可以衡量计算节点的负载状态, 这样, 可将计算节点的计算能力和负载状态用和单位计算任务相应的量化值量化表示, 准确又直观。通过在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换, 来保持第二量化值和第三量化值满足均衡条件, 这样, 可以不需要依赖特定的服务器或节点分配任务, 而是通过计算节点之间彼此协调分配图节点, 并动态调整分配, 实现自组织的负载均衡, 避免了特定服务器的单点故障和网络拥塞问题, 大大提高了任务的调度效率。并且, 采用这样自组织的动态任务调度方法, 能够适应更大规模集群的计算任务调度, 动态增减计算节点的数量均不会对已有的计算任务造成影响, 具有高可扩展性。

一种计算机可读存储介质, 存储有计算机程序, 该计算机程序被处理器执行时实现以下

步骤：获取从待处理图的数据中划分出的子图数据；执行对于子图数据中图节点的单位计算任务；获取第一量化值，第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，已完成的单位计算任务所对应的量化值；获取第二量化值，第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，已完成的单位计算任务所对应的量化值；确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值；当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行获取从待处理的图数据中划分出的子图数据的步骤时可以执行以下步骤：获取区块链网络中广播的与图数据相对应的任务信息；根据任务信息，读取任务可执行文件和从图数据中划分出的子图数据；计算机程序使得处理器在执行对于子图数据中图节点的单位计算任务的步骤时可以执行以下步骤：根据所子图数据执行任务可执行文件，任务可执行文件用于指示对于子图数据中图节点的单位计算任务。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行获取第一量化值的步骤时可以执行以下步骤：将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块；当新区块通过区块链网络的验证后，将新区块加入区块链网络并形成区块链数据，生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行获取第二量化值的步骤时可以执行以下步骤：获取将全局计算数据写入新区块前的历史第二量化值；历史第二量化值，对应将全局计算数据写入新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务；从历史第二量化值中扣减第一量化值，得到第二量化值。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行确定子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值的步骤时可以执行以下步骤：从区块链网络获取最新的全局计算数据；获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据；根据子图数据、已完成的单位计算任务的数量、全局计算数据和局部计算数据，确定第三量化值。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器还执行以下步骤：获取子图数据当前的第二量化值的第一总和；获取子图数据当前的第三量化值的第二总和；确定第二总和相对于第一总和的对比值；当对比值超出指定范围时，确定第二量化值和第三量化值不符合均衡条件。

在一个实施例中，计算机程序使得处理器在执行确定第二总和相对于第一总和的对比值的步骤时可以执行以下步骤：根据以下公式计算对比值：

$$\frac{\log_a^{m+1} \left| \sum_{i=1}^n D_i^t \right|}{\log_a^{m+1} \left| \sum_{i=1}^n C_i^t \right|}$$

其中，a和m均为常数；a>0，且a≠1；m≥1； $\left| \sum_{i=1}^n D_i^t \right|$ 表示第二总和； $\left| \sum_{i=1}^n C_i^t \right|$ 表示第一总和。

在一个实施例中, 指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间 t 变化的线性减函数, 且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换的步骤时可以执行以下步骤: 当对比值小于指定范围的最小值时, 将第一量化值与其他计算节点的相应图节点进行交换, 交换后的对比值在指定范围内; 当对比值大于指定范围的最大值时, 将图节点与其他计算节点的第一量化值进行交换, 交换后的对比值在指定范围内。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行与其他计算节点进行图节点和第一量化值的交换的步骤时可以执行以下步骤: 在计算节点和其他计算节点中, 确定提供待交换的图节点的第一方, 以及换取待交换的图节点的第二方; 确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值; 确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值; 根据第一预估量化值和第二预估量化值, 确定用于与待交换的图节点交换的第一量化值; 在计算节点和其他计算节点之间, 交换待交换的图节点与确定的第一量化值间。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行确定第一方对待交换的图节点的第一预估量化值的步骤时可以执行以下步骤: 根据以下公式计算第一预估量化值:

$$y_1(v_i, k) = \alpha e^{-\beta \frac{D_i - \overline{D_k}}{C_i - \overline{C_k}}}$$

其中, v_i 表示待交换的图节点; k 表示第一方; $y_1(v_i, k)$ 表示第一方对待交换的图节点的第一预估量化值; D_i 表示待交换的图节点的第三量化值; C_i 表示待交换的图节点的第二量化值; $\overline{D_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第三量化值; $\overline{C_k}$ 表示第一方 k 中的图节点的平均第二量化值; α 和 β 分别为系统参数; e 为自然常数。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行确定第二方对待交换的图节点的第二预估量化值的步骤时可以执行以下步骤: 根据以下公式计算第二预估量化值:

$$y_2(v_i, l) = \alpha e^{-\gamma D_i + \sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)}$$

其中, v_i 表示待交换的图节点; l 表示第二方; $y_2(v_i, l)$ 表示第二方对待交换的图节点的第二预估量化值; D_i 表示待交换的图节点的第三量化值; $\sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)$ 表示第二方 l 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 的通信距离的总和。

在一个实施例中, 计算机程序使得处理器在执行确定换取待交换的图节点的第二方中的图节点与待交换的图节点的通信距离的总和的步骤时可以执行以下步骤: 根据以下公式计算通信距离:

$$\text{dist}(i, j) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & e_{i, j} \in E \\ 0, & e_{i, j} \notin E \end{cases}$$

其中, $\text{dist}(i, j)$ 表示第二方 l 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 间的通信距离;

$e_{i,j} \in E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间通过边连接; $e_{i,j} \notin E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间无边。

上述计算机可读存储介质, 通过将待处理图数据分割成多个子图数据, 再对多个子图数据进行分布式处理, 可大大提高图数据的处理效率。通过分别获取第一量化值、第二量化值和第三量化值, 当第二量化值和第三量化值不符合均衡条件时, 在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换。其中, 第一量化值和第二量化值可以衡量计算节点的计算能力, 第三量化值可以衡量计算节点的负载状态, 这样, 可将计算节点的计算能力和负载状态用和单位计算任务相应的量化值量化表示, 准确又直观。通过在计算节点与其他计算节点之间进行图节点和第一量化值的交换, 来保持第二量化值和第三量化值满足均衡条件, 这样, 可以不需要依赖特定的服务器或节点分配任务, 而是通过计算节点之间彼此协调分配图节点, 并动态调整分配, 实现自组织的负载均衡, 避免了特定服务器的单点故障和网络拥塞问题, 大大提高了任务的调度效率。并且, 采用这样自组织的动态任务调度方法, 能够适应更大规模集群的计算任务调度, 动态增减计算节点的数量均不会对已有的计算任务造成影响, 具有高可扩展性。

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, 所述的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。

以上所述仅为本申请的较佳实施例, 并不用以限制本申请, 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保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种基于图数据的任务调度方法，应用于计算节点，所述方法包括：

获取从待处理的图数据中划分出的子图数据；

执行对于所述子图数据中图节点的单位计算任务；

获取第一量化值，所述第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

获取第二量化值，所述第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

确定所述子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值；

当所述第二量化值和所述第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行所述图节点和所述第一量化值的交换。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述获取从待处理的图数据中划分出的子图数据，包括：

获取区块链网络中广播的与所述图数据相对应的任务信息；

根据所述任务信息，读取任务可执行文件和从所述图数据中划分出的子图数据；

所述执行对于所述子图数据中图节点的单位计算任务，包括：

根据所述子图数据执行所述任务可执行文件，所述任务可执行文件用于指示对于所述子图数据中图节点的单位计算任务。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述获取第一量化值，包括：

将已完成的单位计算任务相应的全局计算数据写入新区块；

当所述新区块通过区块链网络的验证后，将所述新区块加入所述区块链网络并形成所述区块链数据，生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述获取第二量化值，包括：

获取将所述全局计算数据写入所述新区块前的历史第二量化值；所述历史第二量化值，对应将所述全局计算数据写入所述新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务；

从所述历史第二量化值中扣减所述第一量化值，得到所述第二量化值。

5、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述确定所述子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值，包括：

从区块链网络获取最新的全局计算数据；

获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据；

根据所述子图数据、已完成的单位计算任务的数量、所述全局计算数据和局部计算数据，确定所述第三量化值。

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：

获取所述子图数据当前的第二量化值的第一总和；

获取所述子图数据当前的第三量化值的第二总和；

确定所述第二总和相对于所述第一总和的对比值；

当所述对比值超出指定范围时，确定所述第二量化值和所述第三量化值不符合所述均衡条件。

7、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述确定所述第二总和相对于所述第一总和的对比值，包括：

根据以下公式计算所述对比值：

$$\frac{\log_a^{m+1} \left| \sum_{i=1}^n D_i^t \right|}{\log_a^{m+1} \left| \sum_{i=1}^n C_i^t \right|}$$

其中，a和m均为常数； $a > 0$ ，且 $a \neq 1$ ； $m \geq 1$ ； $\left| \sum_{i=1}^n D_i^t \right|$ 表示所述第二总和； $\left| \sum_{i=1}^n C_i^t \right|$ 表示所述第一总和。

8、根据权利要求7所述的方法，其特征在于，所述指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间t变化的线性减函数，且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。

9、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述与其他计算节点进行所述图节点和所述第一量化值的交换，包括：

当所述对比值小于所述指定范围的最小值时，将所述第一量化值与所述其他计算节点的图节点进行交换，交换后的所述对比值在所述指定范围内；

当所述对比值大于所述指定范围的最大值时，将所述图节点与所述其他计算节点的第一量化值进行交换，交换后的所述对比值在所述指定范围内。

10、根据权利要求1至9任一项所述的方法，其特征在于，所述与其他计算节点进行所述图节点和所述第一量化值的交换，包括：

在所述计算节点和所述其他计算节点中，确定提供待交换的图节点的第一方，以及换取所述待交换的图节点的第二方；

确定所述第一方对所述待交换的图节点的第一预估量化值；

确定所述第二方对所述待交换的图节点的第二预估量化值；

根据所述第一预估量化值和所述第二预估量化值，确定用于与所述待交换的图节点交换

的第一量化值；

在所述计算节点和所述其他计算节点之间，交换所述待交换的图节点与确定的所述第一量化值。

11、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述确定所述第一方对所述待交换的图节点的第一预估量化值，包括：

根据以下公式计算所述第一预估量化值：

$$y_1(v_i, k) = \alpha e^{-\beta \frac{D_i - \overline{D_k}}{C_i - \overline{C_k}}}$$

其中， v_i 表示所述待交换的图节点； k 表示所述第一方； $y_1(v_i, k)$ 表示所述第一方对所述待交换的图节点的第一预估量化值； D_i 表示所述待交换的图节点的第三量化值； C_i 表示所述待交换的图节点的第二量化值； $\overline{D_k}$ 表示所述第一方 k 中的图节点的平均第三量化值； $\overline{C_k}$ 表示所述第一方 k 中的图节点的平均第二量化值； α 和 β 分别为系统参数； e 为自然常数。

12、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述确定所述第二方对所述待交换的图节点的第二预估量化值，包括：

根据以下公式计算所述第二预估量化值：

$$y_2(v_i, l) = \alpha e^{-\gamma D_i + \sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)}$$

其中， v_i 表示所述待交换的图节点； l 表示所述第二方； $y_2(v_i, l)$ 表示所述第二方对所述待交换的图节点的第二预估量化值； D_i 表示所述待交换的图节点的第三量化值； $\sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)$ 表示所述第二方 l 中的图节点 j 与所述待交换的图节点 i 的通信距离的总和。

13、根据权利要求 12 所述的方法，其特征在于，

根据以下公式计算所述通信距离：

$$\text{dist}(i, j) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & e_{i, j} \in E \\ 0, & e_{i, j} \notin E \end{cases}$$

其中， $\text{dist}(i, j)$ 表示所述第二方 l 中的图节点 j 与待交换的图节点 i 间的通信距离； $e_{i, j} \in E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间通过边连接； $e_{i, j} \notin E$ 表示图节点 j 与图节点 i 之间无边。

14、一种基于图数据的任务调度装置，包括：

获取模块，用于获取从待处理的图数据中划分出的子图数据；

执行模块，用于执行对于所述获取模块得到的所述子图数据中图节点的单位计算任务；

所述获取模块，还用于获取第一量化值，所述第一量化值是将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

所述获取模块，还用于获取第二量化值，所述第二量化值是未将已完成的单位计算任务所对应的数据形成区块链数据时，所述已完成的单位计算任务所对应的量化值；

确定模块，用于确定所述子图数据中未完成的单位计算任务所对应的第三量化值；

交换模块，用于在所述获取模块得到的所述第二量化值和所述确定模块得到的所述第三量化值不符合均衡条件时，与其他计算节点进行所述图节点和所述第一量化值的交换。

15、根据权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述获取模块，还用于：

获取区块链网络中广播的与所述图数据相对应的任务信息；

根据所述任务信息，读取任务可执行文件和从所述图数据中划分出的子图数据；

所述执行模块，还用于：

根据所述子图数据执行所述任务可执行文件，所述任务可执行文件用于指示对于所述子图数据中图节点的单位计算任务。

16、根据权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述获取模块，还用于：

将已完成的单位计算任务相应全局计算数据写入新区块；

当所述新区块通过区块链网络的验证后，将所述新区块加入所述区块链网络并形成所述区块链数据，生成与写入的全局计算数据相应的单位计算任务所对应的第一量化值。

17、根据权利要求 16 所述的装置，其特征在于，所述获取模块，还用于：

获取将所述全局计算数据写入所述新区块前的历史第二量化值；所述历史第二量化值，对应将所述全局计算数据写入所述新区块前未形成区块链数据且已完成的单位计算任务；

从所述历史第二量化值中扣减所述第一量化值，得到所述第二量化值。

18、根据权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述确定模块，还用于：

从区块链网络获取最新的全局计算数据；

获取已完成的单位计算任务相应的局部计算数据；

根据所述子图数据、已完成的单位计算任务的数量、所述全局计算数据和局部计算数据，确定所述第三量化值。

19、根据权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述获取模块，还用于：

获取所述子图数据当前的第二量化值的第一总和；

获取所述子图数据当前的第三量化值的第二总和；

所述确定模块，还用于：

确定所述第二总和相对于所述第一总和的对比值；

在所述对比值超出指定范围时，确定所述第二量化值和所述第三量化值不符合所述均衡条件。

20、根据权利要求 19 所述的装置，其特征在于，所述确定模块，还用于：

根据以下公式计算所述对比值：

$$\frac{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n D_i^t|}}{\log_a^{m+|\sum_{i=1}^n C_i^t|}}$$

其中，a 和 m 均为常数； $a > 0$ ，且 $a \neq 1$ ； $m \geq 1$ ； $|\sum_{i=1}^n D_i^t|$ 表示所述第二总和； $|\sum_{i=1}^n C_i^t|$ 表示所述第一总和。

21、根据权利要求 20 所述的装置，其特征在于，所述指定范围的最小值 $\mu(t)$ 和最大值 $\lambda(t)$ 均是随时间 t 变化的线性减函数，且 $\mu(t) < \lambda(t)$ 。

22、根据权利要求 19 所述的装置，其特征在于，所述交换模块，还用于：

在所述对比值小于所述指定范围的最小值时，将所述第一量化值与所述其他计算节点的图节点进行交换，交换后的所述对比值在所述指定范围内；

在所述对比值大于所述指定范围的最大值时，将所述图节点与所述其他计算节点的第一量化值进行交换，交换后的所述对比值在所述指定范围内。

23、根据权利要求 14 至 22 任一项所述的装置，其特征在于，所述交换模块，还用于：

在所述计算节点和所述其他计算节点中，确定提供待交换的图节点的第一方，以及换取所述待交换的图节点的第二方；

确定所述第一方对所述待交换的图节点的第一预估量化值；

确定所述第二方对所述待交换的图节点的第二预估量化值；

根据所述第一预估量化值和所述第二预估量化值，确定用于与所述待交换的图节点交换的第一量化值；

在所述计算节点和所述其他计算节点之间，交换所述待交换的图节点与确定的所述第一量化值。

24、根据权利要求 23 所述的装置，其特征在于，所述交换模块，还包括：

第一计算子模块，用于根据以下公式计算所述第一预估量化值：

$$y_1(v_i, k) = \alpha e^{-\beta \frac{D_i - \overline{D_i}}{C_i - C_k}}$$

其中， v_i 表示所述待交换的图节点；k 表示所述第一方； $y_1(v_i, k)$ 表示所述第一方对所述待交换的图节点的第一预估量化值； D_i 表示所述待交换的图节点的第三量化值； C_i 表示所

述待交换的图节点的第二量化值； $\overline{D_k}$ 表示所述第一方k中的图节点的平均第三量化值； $\overline{C_k}$ 表示所述第一方k中的图节点的平均第二量化值； α 和 β 分别为系统参数；e为自然常数。

25、根据权利要求23所述的装置，其特征在于，所述交换模块，还包括：

第二计算子模块，用于根据以下公式计算所述第二预估量化值：

$$y_2(v_i, l) = \alpha e^{-\gamma D_i + \sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)}$$

其中， v_i 表示所述待交换的图节点；l表示所述第二方； $y_2(v_i, l)$ 表示所述第二方对所述待交换的图节点的第二预估量化值； D_i 表示所述待交换的图节点的第三量化值； $\sum_{j \in l} \text{dist}(i, j)$ 表示所述第二方l中的图节点j与所述待交换的图节点i的通信距离的总和。

26、根据权利要求25所述的装置，其特征在于，

所述第二计算子模块，还用于根据以下公式计算所述通信距离：

$$\text{dist}(i, j) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & e_{i, j} \in E \\ 0, & e_{i, j} \notin E \end{cases}$$

其中， $\text{dist}(i, j)$ 表示所述第二方l中的图节点j与待交换的图节点i间的通信距离； $e_{i, j} \in E$ 表示图节点j与图节点i之间通过边连接； $e_{i, j} \notin E$ 表示图节点j与图节点i之间无边。

27、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，所述计算机程序被所述处理器执行时，使得所述处理器执行如权利要求1至13中任一项所述的基于图数据的任务调度方法。

28、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述存储介质中存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集，所述至少一条指令、所述至少一段程序、所述代码集或指令集由处理器加载并执行以实现如权利要求1至13中任一项所述的基于图数据的任务调度方法。