**专利申请明细表**

**兹全权委托北京博思佳知识产权代理有限公司办理下列申请专利有关事项**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 发 明 名 称 | | 一种用于流图处理的硬件加速方法 | | |
| 第一  申请人 | 姓名或名 称 | 之江实验室 | | |
| 地址、邮编 | 默认：浙江省杭州市余杭区之江实验室南湖总部，311121  日本专利：之江实验室 中国310023浙江省杭州市余杭区文一西路1818号 | | |
| 企业机构代码或身份证号 | 12330000MB1478604D | | |
| 第二  申请人  （如果为多个申请单位共同申请，可填） | 姓名或名 称 | 华中科技大学 | | |
| 地址、邮编 | 地址：湖北省武汉市洪山区珞喻路1037号，430074 | | |
| 企业机构代码或身份证号 | 12100000441626842D | | |
| 发明人  或设计人 | 姓 名 | 张宇、何东皓、赵进、张湛 | 第一发明人身份证号 | 431122198707170515 |
| 专利负责人 | 姓名 | 吴梅英，18662590857，wumeiying@zhejianglab.com  地址：浙江省杭州市余杭区之江实验室南湖总部主楼1402办公室，311100 | | |
| 地址、邮编 |
| 电话/E-mail |
| 技术（撰写）  联系人 | 姓名 | 何东皓，15962196897，hdh@hust.edu.cn  地址：浙江省杭州市余杭区之江实验室南湖总部11号楼B座B102室，311121 | | |
| 地址、邮编 |
| 电话/E-mail |
| 申请专利类型 | | 🗹发明　　　　　实用新型　　　　外观设计 | | |
| 催缴费联系人电话、Email、地址 | | 吴梅英，18662590857，wumeiying@zhejianglab.com，地址：浙江省杭州市余杭区之江实验室南湖总部主楼1402办公室，311100 | | |

注：

1、红色字体部分需要填写或选择

**说 明 书 摘 要**

本发明公开了一种用于流图处理的硬件加速方法。该方法主要包括图数据初始化、图结构变化的增量处理和图顶点状态的计算收敛。在图数据初始化阶段，将图结构，初始顶点状态以及初始事件列表写入主存中。在图结构变化的增量处理阶段，该方法将图算法分为两类进行处理，一类为累积更新算法，另一类为选择更新算法。在累计更新算法中，当一批图更新到达时，将更新边的源顶点的所有出边删除，即生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点的贡献；在选择更新算法中，当一批图更新到达时，将插入的边直接表示为增量进行传递处理，对于删除的边，首先需要识别受删除边影响的顶点，根据删除的边生成带删除标记的增量并沿着图拓扑进行传播，被这些增量传播到的顶点需要将自身状态重置。在图顶点状态的计算收敛阶段，顶点根据上一阶段产生的增量进行计算，直至状态收敛，如果顶点状态并未收敛到最终结果，这些顶点需要请求相邻顶点的状态从而最终更新为正确的值。本发明能够有效利用上一次图快照中的顶点状态，从而减少了冗余计算提高了内存带宽利用率，实现了高效的流图处理。同时，在本发明中，高度数顶点的状态值存储在高速缓存中，并且在图处理时高度数顶点的访问频率高于一般顶点，因此能有效减少内存访问开销。

**权 利 要 求 书**

1、一种高效的流图处理硬件加速方法，是应用在动态图处理过程中，当图更新以批次传递进来时，该方法能高效的对这批图更新进行处理，从而将图中的顶点状态在图结构变化后重新更新为正确的值，所述方法包括以下步骤：

（1）图数据初始化。将图结构，初始顶点状态以及初始图结构更新数据写入内存中。根据顶点度数，将高度数顶点标记为热顶点并存入高速缓存中。

（2）图结构变化的增量处理。将图算法分为两类进行处理，一类为累积更新算法，另一类为选择更新算法。根据不同的算法，将插入边与删除边表示为对应的增量进行传播处理。在累计更新算法中，当一批图更新到达时，将更新边的源顶点的所有出边删除，即生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点的贡献；在选择更新算法中，当一批图更新到达时，将插入的边直接表示为增量进行传递处理，对于删除的边，首先需要识别受删除边影响的顶点，根据删除的边生成带删除标记的增量，下述删除增量，并沿着图拓扑进行传播，被这些增量传播到的顶点需要将自身状态重置。

（3）图顶点状态的计算收敛。顶点根据上一阶段产生的增量进行计算，直至状态收敛，如果顶点状态并未收敛到最终结果，这些顶点需要请求相邻顶点的状态从而最终更新为正确的值。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述根据顶点度数，将高度数顶点存入高速缓存中包括：

将顶点度数高于一定阈值的顶点标记为热顶点，将这些标记为热顶点的顶点对应的状态值存储在高速缓存中，从而减少访问这些高度数顶点相关数据所需的开销。所述判断顶点是否为热顶点的阈值定义如下，若高速缓存大小为M，一个顶点所需存储空间为v，则高速缓存中能存储的顶点数量为M/v，将图中所有顶点按顶点度数从大到小排列，则将第M/v个顶点对应的度数定义为该阈值。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤（2）在处理累积更新算法时，包括以下子步骤：

（2.1.1）读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器生成对应的增量。

（2.1.2）增量生成器首先将更新边的源顶点的所有出边删除，即根据源顶点在图结构变化前的所有出边生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点在图结构变化之后的贡献。目的顶点相同的增量合并后，将新产生的增量插入到增量队列中，这些增量将由增量处理器进行迭代处理。

4、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤（2）在处理选择更新算法时，包括以下子步骤：

（2.2.1）读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器。

（2.2.2）增量生成器将插入的边直接表示为增量并传递给增量处理器进行迭代处理。

（2.2.3）在插入边处理完之后，增量处理器根据删除的边生成删除增量并插入到增量队列中。

（2.2.4）增量处理器循环处理这些删除增量，直至增量队列中不存在删除增量，将受影响的顶点在内存中的状态重置为初始值，并将这些顶点的ID写入暂存器中去。

5、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤（3）在处理不同算法时有不同的步骤：

（3.1）当处理累积增量算法时，增量处理器直接从增量队列中读取新产生的增量并进行迭代处理，直至增量队列中不再存在增量。

（3.2）当处理选择增量算法时，此时被边删除影响的顶点的状态已重置为初始值，增量处理器从暂存器中读取这些受影响顶点的ID，并为这些顶点的传入边生成增量插入到增量队列中。增量处理器循环处理这些增量，直至增量队列中不存在增量为止，最终将顶点状态更新为正确的值。

6、根据权利要求3-5所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

当需要访问图顶点状态时，如果该顶点为热顶点，则从高速缓存中读取数据，否则直接从内存中读取。

说 明 书

一种用于流图处理的硬件加速方法

**技术领域**

本发明属于动态图处理的硬件加速技术领域，具体涉及一种基于图快照的流图处理硬件方法，通过利用上一次图快照中的顶点状态，将图更新中插入与删除的边表示为增量形式进行计算，从而加速动态图中顶点状态的收敛速度。

**背景技术**

随着大数据时代的来临，图作为一种能够良好表达数据关联性的数据结构，在互联网应用、商业金融、科学计算等许多领域得到了广泛应用，例如商品推荐、 路径预测、金融欺诈检测、社交网络分析等。然而，现有的迭代图分析算法在处理大规模图数据时通常十分耗时，因为它们需要不停地迭代处理图数据直到所有顶点都达到稳定状态。

许多应用在不断变化的图上运行，即随着时间的推移，新的节点和边被添加或删除。顶点状态随着图结构变化而变化，这就意味这上一轮次计算的顶点状态值在图结构变化后都是无效的。一般的解决方法是舍弃之前的计算结果，在图结构变化后从头计算顶点状态的收敛值，然而，一批次的图更新中变化的顶点和边的数量相对于所有顶点与边来说通常非常小，舍弃之前所有的计算结果意味着舍弃了许多任然有效的顶点状态，从而导致许多冗余计算。

基于上述原因，本发明提出了一种基于图快照的流图处理硬件方法，通过利用上一次图快照中的顶点状态，将图更新中插入与删除的边表示为增量形式进行计算，从而有效减少冗余计算，加速动态图中顶点状态的收敛速度。

**发明内容**

针对现有的条件，本发明提出一种用于流图处理的硬件方法，解决了存在大量冗余计算、图顶点收敛慢的问题。

为实现上述目的，本发明包括以下步骤：

（1）图数据初始化。将图结构，初始顶点状态以及初始图结构更新数据写入内存中。根据顶点度数，将高度数顶点标记为热顶点并存入高速缓存中。

（2）图结构变化的增量处理。将图算法分为两类进行处理，一类为累积更新算法，另一类为选择更新算法。根据不同的算法，将插入边与删除边表示为对应的增量进行传播处理。在累计更新算法中，当一批图更新到达时，将更新边的源顶点的所有出边删除，即生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点的贡献；在选择更新算法中，当一批图更新到达时，将插入的边直接表示为增量进行传递处理，对于删除的边，首先需要识别受删除边影响的顶点，根据删除的边生成带删除标记的增量，下述删除增量，并沿着图拓扑进行传播，被这些增量传播到的顶点需要将自身状态重置。

（3）图顶点状态的计算收敛。顶点根据上一阶段产生的增量进行计算，直至状态收敛，如果顶点状态并未收敛到最终结果，这些顶点需要请求相邻顶点的状态从而最终更新为正确的值。

优选地，步骤（2）在处理累积更新算法时，包括以下子步骤：

（2.1.1）读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器生成对应的增量。

（2.1.2）增量生成器首先将更新边的源顶点的所有出边删除，即根据源顶点在图结构变化前的所有出边生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点在图结构变化之后的贡献。目的顶点相同的增量合并后，将新产生的增量插入到增量队列中，这些增量将由增量处理器进行迭代处理。

优选地，步骤（2）在处理选择更新算法时，包括以下子步骤：

（2.2.1）读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器。

（2.2.2）增量生成器将插入的边直接表示为增量并传递给增量处理器进行迭代处理。

（2.2.3）在插入边处理完之后，增量处理器根据删除的边生成删除增量并插入到增量队列中。

（2.2.4）增量处理器循环处理这些删除增量，直至增量队列中不存在删除增量，将受影响的顶点在内存中的状态重置为初始值，并将这些顶点的ID写入暂存器中去。

优选地，步骤（3）在处理不同算法时有不同的步骤：

（3.1）当处理累积增量算法时，增量处理器直接从增量队列中读取新产生的增量并进行迭代处理，直至增量队列中不再存在增量。

（3.2）当处理选择增量算法时，此时被边删除影响的顶点的状态已重置为初始值，增量处理器从暂存器中读取这些受影响顶点的ID，并为这些顶点的传入边生成增量插入到增量队列中。增量处理器循环处理这些增量，直至增量队列中不存在增量为止，最终将顶点状态更新为正确的值。

总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，能够取得下列有益效果：

1、冗余计算少：由于本发明在计算图顶点在图结构变化后新的收敛值时，是基于上一次图快照的结果进行计算的，相比于从头开始计算图顶点的状态值，减少了很多无用的冗余计算。

2、顶点收敛速度快：由于本发明中图结构变化后，顶点的状态值基于之前的状态值进行计算，因此相比于重新计算，顶点具有更快的收敛速度。

3、内存访问开销少：在本发明中，高度数顶点的状态值存储在高速缓存中，并且在图处理时高度数顶点的访问频率高于一般顶点，因此能有效减少内存访问开销。

**附图说明**

图1为本发明流图处理的硬件加速流程图。

图2为本发明系统架构图。

图3为本发明流图处理的硬件架构图。

**具体实施方式**

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本方面，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明的各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明提供的用于流图处理的硬件加速方法，其主要思想为：在图结构变化时，基于上一次图快照中的顶点状态，将插入与删除的边表示为增量的形式，从而计算出图结构变化后顶点新的状态值。该硬件加速方法通过利用上一次图快照作为中间结果，避免了从头计算顶点状态，大大加快了图顶点收敛的速度，减少了冗余计算。

实施例所提供的用于流图处理的硬件加速方法，其流程如图1所示，包括图数据初始化阶段，图结构变化的增量处理阶段和图顶点状态的计算收敛阶段。具体如下：

（1）图数据初始化。将图结构，初始顶点状态以及初始图结构更新数据写入内存中。根据顶点度数，将高度数顶点标记为热顶点并存入高速缓存中。

（2）图结构变化的增量处理。将图算法分为两类进行处理，一类为累积更新算法，另一类为选择更新算法。根据不同的算法，将插入边与删除边表示为对应的增量进行传播处理。在累计更新算法中，当一批图更新到达时，将更新边的源顶点的所有出边删除，即生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点的贡献；在选择更新算法中，当一批图更新到达时，将插入的边直接表示为增量进行传递处理，对于删除的边，首先需要识别受删除边影响的顶点，根据删除的边生成带删除标记的增量，下述删除增量，并沿着图拓扑进行传播，被这些增量传播到的顶点需要将自身状态重置。

在处理累积更新算法时，包括如下子步骤：

（2.1.1）读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器生成对应的增量。

（2.1.2）增量生成器首先将更新边的源顶点的所有出边删除，即根据源顶点在图结构变化前的所有出边生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点在图结构变化之后的贡献。目的顶点相同的增量合并后，将新产生的增量插入到增量队列中，这些增量将由增量处理器进行迭代处理。

在处理选择更新算法时，包括如下子步骤：

（2.2.1）读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器。

（2.2.2）增量生成器将插入的边直接表示为增量并传递给增量处理器进行迭代处理。

（2.2.3）在插入边处理完之后，增量处理器根据删除的边生成删除增量并插入到增量队列中。

（2.2.4）增量处理器循环处理这些删除增量，直至增量队列中不存在删除增量，将受影响的顶点在内存中的状态重置为初始值，并将这些顶点的ID写入暂存器中去。

（3）图顶点状态的计算收敛。顶点根据上一阶段产生的增量进行计算，直至状态收敛，如果顶点状态并未收敛到最终结果，这些顶点需要请求相邻顶点的状态从而最终更新为正确的值。在处理不同算法时有不同的步骤：

（3.1）当处理累积增量算法时，增量处理器直接从增量队列中读取新产生的增量并进行迭代处理，直至增量队列中不再存在增量。

（3.2）当处理选择增量算法时，此时被边删除影响的顶点的状态已重置为初始值，增量处理器从暂存器中读取这些受影响顶点的ID，并为这些顶点的传入边生成增量插入到增量队列中。增量处理器循环处理这些增量，直至增量队列中不存在增量为止，最终将顶点状态更新为正确的值。

本专利对于现有图算法均表现出良好的性能，以下以PageRank算法为例，详细描述本发明的实施过程：将一个页面看作一个顶点，页面之间的相互链接用有向图中定点的出度和入度表示。在图结构变化后重新计算顶点的收敛值之前，图顶点在上一次图快照中的状态值、图结构数据以及初始图结构更新数据在图数据初始化阶段首先被写入内存中。在图结构变化的增量处理阶段，读取器从内存中读取初始图结构更新数据，包括插入与删除的边，并将读取出的图数据传送给增量生成器生成对应的增量。增量生成器首先将更新边的源顶点的所有出边删除，即根据源顶点在图结构变换前的所有出边生成相应的负增量来抵消顶点原本的贡献，之后，将更新后仍然存在的边重新插入，即重新生成相应的增量来表示顶点在图结构变化之后的贡献。目的顶点相同的增量合并后，将新产生的增量插入到增量队列中，这些增量将由增量处理器进行迭代处理。最后，在图顶点状态的计算收敛阶段，增量处理器直接从增量队列中读取新产生的增量并进行迭代处理，直至增量队列中不再存在增量。相比较而言，本发明提出的用于流图处理的硬件加速方法，通过利用上一次图快照中的顶点状态值作为中间结果进行计算，能够有效的加速顶点收敛速度并减少冗余计算。同时，将高度数顶点的状态值存储在高速缓存中，因此能有效减少内存访问开销。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作任何修改，等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

**说 明 书 附 图**

图示

描述已自动生成

图1



图2

图示

描述已自动生成

图3