



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114896079 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 24

(21) 申请号 202210590406.4

(22) 申请日 2022.05.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114896079 A

(43) 申请公布日 2022.08.12

(73) 专利权人 上海壁仞智能科技有限公司
地址 201100 上海市闵行区陈行公路2388号16幢13层1302室

(72) 发明人 请求不公布姓名

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105
专利代理师 侯鉴玻

(51) Int. Cl.
G06F 9/52 (2006.01)
G06F 9/50 (2006.01)
G06F 9/48 (2006.01)
G06N 3/0464 (2023.01)
G06N 3/08 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 113721987 A, 2021.11.30
CN 113760495 A, 2021.12.07
CN 103917959 A, 2014.07.09
CN 107548490 A, 2018.01.05
CN 110647404 A, 2020.01.03
CN 112214243 A, 2021.01.12
CN 112749019 A, 2021.05.04
US 2020151028 A1, 2020.05.14
US 2021124627 A1, 2021.04.29
Conor Hetland. Paths to Fast Barrier Synchronization on the Node. 《HPDC '19: Proceedings of the 28th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing》. 2019, 109-120.
阳瑞. 面向分布式机器学习框架的通信优化技术研究. 《中国优秀硕士学位论文数据库 信息科技辑》. 2021, (第2021年第04期期), 全文.

审查员 胡宇航

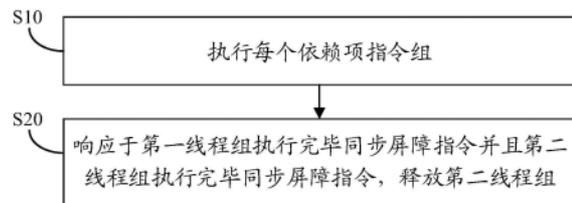
权利要求书3页 说明书13页 附图8页

(54) 发明名称

指令执行方法、处理器和电子装置

(57) 摘要

一种指令执行方法、处理器和电子装置。该指令执行方法用于工作组中的多个工作子组，每个工作子组对应一个父线程组。父线程组包括多个依赖线程组。每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组。每个依赖项指令组包括第一线程组、第二线程组和同步屏障指令，该同步屏障指令的同步范围为同一个父线程组包括的多个依赖线程组。该方法包括：执行每个依赖项指令组；响应于第一线程组执行完毕同步屏障指令并且第二线程组执行完毕同步屏障指令，释放第二线程组。该指令执行方法通过将同步屏障指令的同步范围限制在同一个执行单元上运行的同一个父线程组对应的多个子线程组中，缩小了同步屏障指令的同步范围，从而减小了指令执行进程中存在的延迟。



1. 一种指令执行方法,用于工作组中的多个工作子组,其中,所述多个工作子组中的每个工作子组对应一个父线程组,所述父线程组包括多个依赖线程组,所述多个依赖线程组用于运行相应的所述父线程组所对应的工作子组的任务,同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组在同一个执行单元上运行,

所述多个依赖线程组中的每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组,所述至少一个依赖项指令组中的每个依赖项指令组包括同步屏障指令,所述同步屏障指令的同步范围为同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组,

所述每个依赖线程组包括第一线程组和第二线程组,所述第一线程组和所述第二线程组配置为分别执行所述每个依赖项指令组中的所述同步屏障指令,

所述方法包括:

执行所述每个依赖项指令组;

响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令,所述第二线程组退出等待模式。

2. 根据权利要求1所述的指令执行方法,还包括:

响应于所述第一线程组未执行完毕所述同步屏障指令或者所述第二线程组未执行完毕所述同步屏障指令,所述第二线程组进入所述等待模式。

3. 根据权利要求1所述的指令执行方法,其中,所述每个依赖项指令组还包括生产者指令组和消费者指令组,所述生产者指令组包括至少一条生产者指令,所述消费者指令组包括至少一条消费者指令,所述第一线程组配置为执行所述生产者指令组以生成执行结果,所述第二线程组配置为执行所述消费者指令组以使用所述执行结果。

4. 根据权利要求3所述的指令执行方法,其中,

利用共享存储空间接收并存储所述执行结果,以使所述第二线程组在执行所述消费者指令组的过程中使用所述执行结果。

5. 根据权利要求3所述的指令执行方法,其中,所述执行单元包括至少一个计数器,

所述执行所述每个依赖项指令组包括:

使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值。

6. 根据权利要求5所述的指令执行方法,其中,所述使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值包括:

使所述计数器的计数值初始化为预设初始值;

使所述第一线程组执行所述生产者指令组;

使所述第一线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加步长值;

使所述第二线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加所述步长值。

7. 根据权利要求6所述的指令执行方法,其中,所述响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令,所述第二线程组退出等待模式,包括:

响应于所述计数器的计数值达到预设阈值,使所述第二线程组退出所述等待模式并执行所述消费者指令组。

8. 根据权利要求5所述的指令执行方法,其中,所述使所述第一线程组和所述第二线程

组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值包括：

使所述计数器的计数值初始化为预设初始值；

使所述第二线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加步长值；

响应于所述计数器的计数值没有达到预设阈值，使所述第二线程组进入所述等待模式；

使所述第一线程组执行所述生产者指令组；

使所述第一线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加所述步长值。

9. 根据权利要求8所述的指令执行方法，其中，所述响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令，所述第二线程组退出等待模式，包括：

响应于所述计数器的计数值达到所述预设阈值，使所述第二线程组退出所述等待模式并执行所述消费者指令组。

10. 根据权利要求5所述的指令执行方法，其中，所述生产者指令组包括第一生产者指令和第二生产者指令，

所述使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值包括：

使所述计数器的计数值初始化为预设初始值；

使所述第一线程组执行所述第一生产者指令；

使所述第二线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值加步长值；

响应于所述计数器的计数值没有达到预设阈值，使所述第二线程组进入所述等待模式；

使所述第一线程组执行所述第二生产者指令；

使所述第一线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值加所述步长值。

11. 根据权利要求10所述的指令执行方法，其中，所述消费者指令组包括第一消费者指令，

所述响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令，释放所述第二线程组，包括：

响应于所述计数器的计数值达到所述预设阈值，使所述第二线程组执行所述第一消费者指令。

12. 一种处理器，包括：

至少一个计算单元，所述至少一个计算单元中的每个计算单元配置为执行至少一个工作组，

所述每个计算单元包括至少一个执行单元，所述至少一个执行单元中的每个执行单元配置为执行至少一个工作子组，

所述至少一个工作子组中的每个工作子组对应一个父线程组，所述父线程组包括多个依赖线程组，所述多个依赖线程组用于运行相应的所述父线程组所对应的工作子组的任务，同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组在同一个所述执行单元上运行，

所述多个依赖线程组中的每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组，所述至少一个依赖项指令组中的每个依赖项指令组包括同步屏障指令，所述同步屏障指令的同步

范围为同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组，

所述每个依赖线程组包括第一线程组和第二线程组，所述第一线程组和所述第二线程组配置为分别执行所述每个依赖项指令组中的所述同步屏障指令，

所述每个依赖线程组还配置为，响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令，所述第二线程组退出等待模式。

13. 根据权利要求12所述的处理器，其中，所述每个执行单元包括至少一个计数器，

所述每个依赖线程组还配置为，使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值。

14. 根据权利要求12所述的处理器，其中，所述每个依赖项指令组还包括生产者指令组和消费者指令组，所述生产者指令组包括至少一条生产者指令，所述消费者指令组包括至少一条消费者指令，

所述第一线程组配置为执行所述生产者指令组，所述第二线程组配置为执行所述消费者指令组。

15. 根据权利要求14所述的处理器，还包括共享存储空间，

其中，所述共享存储空间配置为接收并存储所述第一线程组执行所述生产者指令组所生成的执行结果，以供所述第二线程组在执行所述消费者指令组的过程中使用。

16. 一种电子装置，包括如权利要求12-15任一所述的处理器。

指令执行方法、处理器和电子装置

技术领域

[0001] 本公开的实施例涉及一种指令执行方法、处理器和电子装置。

背景技术

[0002] 在当前的计算设备中,诸如中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、图形处理器(Graphics Processing Unit,GPU)、通用图形处理器(General-purpose Computing on Graphics Processing Units,GPGPU)等数据处理集成电路可以执行程序以完成诸如卷积神经网络(Convolutional Neural Network,CNN)运算、人工智能(Artificial Intelligence)运算等各种功能。对于当前的计算设备和应用程序,高效的多线程性能正变得越来越重要。

发明内容

[0003] 本公开至少一实施例提供一种指令执行方法。该指令执行方法用于工作组中的多个工作子组,其中,所述多个工作子组中的每个工作子组对应一个父线程组,所述父线程组包括多个依赖线程组,所述多个依赖线程组用于运行相应的所述父线程组所对应的工作子组的任务,同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组在同一个执行单元上运行,所述多个依赖线程组中的每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组,所述至少一个依赖项指令组中的每个依赖项指令组包括同步屏障指令,所述同步屏障指令的同步范围为同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组,所述每个依赖线程组包括第一线程组和第二线程组,所述第一线程组和所述第二线程组配置为分别执行所述每个依赖项指令组中的所述同步屏障指令,该方法包括:执行所述每个依赖项指令组;响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令,释放所述第二线程组。

[0004] 例如,本公开至少一实施例提供的指令执行方法,还包括响应于所述第一线程组未执行完毕所述同步屏障指令或者所述第二线程组未执行完毕所述同步屏障指令,所述第二线程组进入等待模式。

[0005] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述每个依赖项指令组还包括生产者指令组和消费者指令组,所述生产者指令组包括至少一条生产者指令,所述消费者指令组包括至少一条消费者指令,所述第一线程组配置为执行所述生产者指令组以生成执行结果,所述第二线程组配置为执行所述消费者指令组以使用所述执行结果。

[0006] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,利用共享存储空间接收并存储所述执行结果,以使所述第二线程组在执行所述消费者指令组的过程中使用所述执行结果。

[0007] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述执行单元包括至少一个计数器,所述执行所述每个依赖项指令组包括:使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值。

[0008] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值包括:使所述计数器的计数值初始化为预设初始值;使所述第一线程组执行所述生产者指令组;使所述第一线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加步长值;使所述第二线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加所述步长值。

[0009] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令,释放所述第二线程组,包括:响应于所述计数器的计数值达到预设阈值,使所述第二线程组执行所述消费者指令组。

[0010] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值包括:使所述计数器的计数值初始化为预设初始值;使所述第二线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加步长值;响应于所述计数器的计数值没有达到预设阈值,使所述第二线程组进入等待模式;使所述第一线程组执行所述生产者指令组;使所述第一线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值增加所述步长值。

[0011] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令,释放所述第二线程组,包括:响应于所述计数器的计数值达到所述预设阈值,使所述第二线程组执行所述消费者指令组。

[0012] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述生产者指令组包括第一生产者指令和第二生产者指令,所述使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值包括:使所述计数器的计数值初始化为预设初始值;使所述第一线程组执行所述第一生产者指令;使所述第二线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值加步长值;响应于所述计数器的计数值没有达到预设阈值,使所述第二线程组进入等待模式;使所述第一线程组执行所述第二生产者指令;使所述第一线程组执行所述同步屏障指令以使所述计数器的计数值加所述步长值。

[0013] 例如,在本公开至少一实施例提供的指令执行方法中,所述消费者指令组包括第一消费者指令,所述响应于所述第一线程组执行完毕所述一条同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述一条同步屏障指令,释放所述第二线程组,包括:响应于所述计数器的计数值达到所述预设阈值,使所述第二线程组执行所述第一消费者指令。

[0014] 本公开至少一实施例提供一种处理器,该处理器包括:至少一个计算单元,所述至少一个计算单元中的每个计算单元配置为执行至少一个工作组,所述每个计算单元包括至少一个执行单元,所述至少一个执行单元中的每个执行单元配置为执行至少一个工作子组,所述至少一个工作子组中的每个工作子组对应一个父线程组,所述父线程组包括多个依赖线程组,所述多个依赖线程组用于运行相应的所述父线程组所对应的工作子组的任务,同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组在同一个所述执行单元上运行,所述多个依赖线程组中的每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组,所述至少一个依赖项指令组中的每个依赖项指令组包括同步屏障指令,所述同步屏障指令的同步范围为同一个所述父线程组包括的所述多个依赖线程组,所述每个依赖线程组包括第一线程组和第

二线程组,所述第一线程组和所述第二线程组配置为分别执行所述每个依赖项指令组中的所述同步屏障指令,所述每个依赖线程组还配置为,响应于所述第一线程组执行完毕所述同步屏障指令并且所述第二线程组执行完毕所述同步屏障指令,释放所述第二线程组。

[0015] 例如,在本公开至少一实施例提供的处理器中,所述每个执行单元包括至少一个计数器,所述每个依赖线程组还配置为,使所述第一线程组和所述第二线程组分别执行所述同步屏障指令以改变所述计数器的计数值。

[0016] 例如,在本公开至少一实施例提供的处理器中,所述每个依赖项指令组还包括生产者指令组和消费者指令组,所述生产者指令组包括至少一条生产者指令,所述消费者指令组包括至少一条消费者指令,所述第一线程组配置为执行所述生产者指令组,所述第二线程组配置为执行所述消费者指令组。

[0017] 例如,在本公开至少一实施例提供的处理器中,例如,在本公开至少一实施例提供的处理器中,

[0018] 例如,本公开至少一实施例提供的处理器,还包括共享存储空间,其中,所述共享存储空间配置为接收并存储所述第一线程组执行所述生产者指令组所生成的执行结果,以供所述第二线程组在执行所述消费者指令组的过程中使用。

[0019] 本公开至少一实施例还提供一种电子装置,该电子装置包括本公开任一实施例提供的处理器。

附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本公开实施例的技术方案,下面将对实施例的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅涉及本公开的一些实施例,而非对本公开的限制。

[0021] 图1A为一种线程调度网格的示意图;

[0022] 图1B为一种线程组执行过程的示意图;

[0023] 图1C为另一种线程组执行过程的示意图;

[0024] 图2A为一种依赖关系中指令执行过程的示意图;

[0025] 图2B为一种同步屏障指令同步范围的示意图;

[0026] 图3为本公开至少一个实施例提供的一种依赖线程组执行过程的示意图;

[0027] 图4为本公开至少一个实施例提供的一种指令执行方法的流程示意图;

[0028] 图5为本公开至少一个实施例提供的一种同步屏障指令同步范围的示意图;

[0029] 图6为本公开至少一个实施例提供的一种依赖线程组中依赖项指令组执行过程的示意图;

[0030] 图7为图4中步骤S10的另一示例的示例性流程图;

[0031] 图8为图4中步骤S10的又一示例的示例性流程图;

[0032] 图9为图4中步骤S10的再一示例的示例性流程图;

[0033] 图10为本公开至少一个实施例提供的一种处理器的示意框图;

[0034] 图11为本公开至少一个实施例提供的另一种处理器的示意框图;

[0035] 图12为本公开至少一个实施例提供的一种电子装置的示意框图;以及

[0036] 图13为本公开至少一个实施例提供的另一种电子装置的示意框图。

具体实施方式

[0037] 为使本公开实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本公开实施例的附图,对本公开实施例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公开的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于所描述的本公开的实施例,本领域普通技术人员在无需创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本公开保护的范围。

[0038] 除非另外定义,本公开使用的技术术语或者科学术语应当为本公开所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本公开中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性,而只是用来区分不同的组成部分。同样,“一个”、“一”或者“该”等类似词语也不表示数量限制,而是表示存在至少一个。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同,而不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接,而是可以包括电性的连接,不管是直接的还是间接的。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系,当被描述对象的绝对位置改变后,则该相对位置关系也可能相应地改变。

[0039] 下面通过几个具体的实施例对本公开进行说明。为了保持本公开实施例的以下说明清楚且简明,可省略已知功能和已知部件的详细说明。当本公开实施例的任一部件在一个以上的附图中出现时,该部件在每个附图中由相同或类似的参考标号表示。

[0040] 图1A为一种线程调度网格的示意图。例如,如图1A所示,处理器在分配计算任务时,一个任务可以用一个调度网格(dispatch grid)来表示。一个调度网格又可以被划分成多个工作组(workgroup),一个工作组只能被分配到一个硬件的计算单元(Compute Unit, CU)上去计算,也即是,一个计算单元在一个进程中可以执行程序中的一个工作组。一个工作组又可以被划分为多个工作子组(subgroup)。每个工作子组被分配到计算单元(CU)中的一个执行单元(Execution Unit, EU)上去计算,也即是,一个执行单元在一个进程中可以执行在程序中的一个工作子组。每个工作子组包括多个线程(thread),线程是处理器中执行的最小粒度。同一个工作组中的线程可以按照调度单位分组,然后一组一组地调度至硬件去执行。该调度单位被称为线程组(warp)。

[0041] 图1B为一种线程组执行过程的示意图。例如,如图1B所示,调度网格包括工作组,工作组包括工作子组。一个工作子组可以被映射到一个线程组上。该线程组在一个执行单元上运行,也即是,每个执行单元可以在一个进程中对多个线程组中的一个线程组执行计算。

[0042] 图1C为另一种线程组执行过程的示意图。例如,如图1C所示,与图1B中相同,调度网格包括工作组,工作组包括工作子组。与图1B中不同的是,一个工作子组也可以被映射到一个虚拟的父线程组(virtual parent warp)上。一个虚拟的父线程组对应于多个子线程组(child warp)。每个父线程组对应的多个子线程组在同一个执行单元上运行,对应的多个子线程组共同完成分配给父线程组的任务。也即是,每个执行单元可以在一个进程中对一个父线程组对应的多个子线程组执行计算。

[0043] 图2A为一种依赖关系中指令执行过程的示意图。子线程组之间存在大规模的生产者-消费者依赖关系。例如,如图2A所示,例如图1C中的多个子线程组包括生产者子线程组和消费者子线程组两种类型。每个生产者子线程组执行多个生产者指令,每个消费者子线

程组执行多个消费者指令。生产者指令和消费者指令是同步资源的两种不同的指令类别。对于一组依赖关系,生产者子线程组执行一组生产者指令以生成一组执行结果,并将该组执行结果填充到共享存储空间对应的槽位(slot)中;消费者子线程组执行一组消费者指令,从而使用共享存储空间对应的槽位中的该执行结果。例如,如图2A所示,对于共享存储空间中的槽位 k ,生产者子线程组依次执行生产者指令 $2k$ 和生产者指令 $2k+1$ 以生成执行结果 k ,并将执行结果 k 填充到槽位 k 中;消费者子线程组 k 在槽位 k 被填满后执行消费者指令 k ,从而使用槽位 k 中的执行结果 k 。

[0044] 例如,如图2A所示,在上述并行处理过程中,消费者子线程组需要等待对应的槽位被执行结果填满后(即生产者子线程组执行完毕对应的生产者指令得到执行结果后),才能执行消费者指令以使用该执行结果。因此,如图2A所示,在上述并行处理过程中使用工作组屏障指令`bar.wg`来实现每组生产者指令-消费者指令执行过程中的相互协调。工作组屏障指令`bar.wg`为同步屏障指令(barrier)的一种。例如,通过在一组并行执行的指令执行进程的集合中设置同步屏障指令,每个进程会在屏障处等待直到集合中的所有进程均执行了同步屏障指令。除非所有进程执行了同步屏障指令,否则任何进程都无法越过屏障继续执行,从而通过同步屏障指令实现了同步功能。

[0045] 例如,如图2A所示,对于工作组屏障指令`bar.wg`,其中一种实现方式是在对应的计算单元中集成一个计数器(counter)。例如,对于槽位 k ,在生产者子线程组中,生产者子线程组依次执行生产者指令 $2k$ 和生产者指令 $2k+1$ 得到执行结果 k 以将槽位 k 填充后,生产者子线程组执行工作组屏障指令`bar.wg id(k)`使计数器的计数值增加一个步长值(例如,数值增加1)。在消费者子线程组中,消费者子线程组首先执行工作组屏障指令`bar.wg id(k)`使计数器的计数值增加一个步长值(例如,数值增加1),如果计数值没有达到预定值,消费者子线程组则进入等待模式而不执行消费者指令 k ;如果计数值达到了预定值(即生产者子线程和消费者子线程组均执行完毕工作组屏障指令`bar.wg id(k)`),消费者子线程组才被释放(即退出等待模式),从而执行消费者指令 k 以使用槽位 k 中的执行结果 k 。由此,通过工作组屏障指令`bar.wg`控制消费者子线程组的等待和释放,实现了生产者-消费者依赖关系指令执行进程中的同步功能。

[0046] 图2B为一种同步屏障指令同步范围的示意图。例如,如图2B所示,当同步屏障指令为例如图2A中的工作组屏障指令`bar.wg`时,同步屏障指令的同步范围为在一个计算单元(例如图示的计算单元 CU_0)中执行的一个工作组。一个计算单元 CU_0 中包含多个执行单元(例如 $EU_0, EU_1, \dots, EU_{n-1}$,这里 n 为正整数),每个执行单元上运行了多个子线程组。因此,如图2B所示,工作组屏障指令`bar.wg`的同步范围很大,导致指令执行进程中存在较大的延迟。

[0047] 本公开至少一实施例提供一种指令执行方法。该指令执行方法用于工作组中的多个工作子组,多个工作子组中的每个工作子组对应一个父线程组。父线程组包括多个依赖线程组,多个依赖线程组用于运行相应的父线程组所对应的工作子组的任务。同一个父线程组包括的多个依赖线程组在同一个执行单元上运行。每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组。每个依赖项指令组包括同步屏障指令,该同步屏障指令的同步范围为同一个父线程组包括的多个依赖线程组。每个依赖线程组包括第一线程组和第二线程组,第一线程组和第二线程组配置为分别执行每个依赖项指令组中的同步屏障指令。该指令执行

方法包括:执行每个依赖项指令组;响应于第一线程组执行完毕同步屏障指令并且第二线程组执行完毕同步屏障指令,释放第二线程组。

[0048] 本公开的多个实施例还提供一种对应于执行上述指令执行方法的处理器或电子装置。

[0049] 本公开至少一实施例提供的指令执行方法、处理器和电子装置,通过将同步屏障指令的同步范围限制在同一个执行单元上运行的多个子线程组中,缩小了同步屏障指令的同步范围,从而减小了指令执行进程中存在的延迟。

[0050] 下面,将参考附图详细地说明本公开至少一实施例。应当注意的是,不同的附图中相同的附图标记将用于指代已描述的相同的元件。

[0051] 图3为本公开至少一个实施例提供的一种依赖线程组执行过程的示意图。

[0052] 例如,如图3所示,调度网格中的工作组包括工作子组。一个工作子组可以被映射到一个虚拟的父线程组上。一个虚拟的父线程组包括多个依赖线程组(依赖线程组0,依赖线程组1,……,依赖线程组 $n-1$,这里 n 为正整数),且多个依赖线程组用于执行相应的父线程组所对应的工作子组的任务。例如,在一些示例中,每个依赖线程组包括用于实现生产者-消费者依赖关系的2个子线程组,该2个子线程组分别为生产者子线程组和消费者子线程组两种类型,且分别用于执行生产者指令和消费者指令。

[0053] 例如,如图3所示,多个依赖线程组在同一个执行单元上运行,也即是,每个执行单元可以在一个进程中对一个父线程组对应的多个依赖线程组执行计算。这里,父线程组是虚拟的,并非实际存在的线程组,父线程组用于描述依赖线程组与工作子组之间的对应关系,而不代表实际运行时的线程组配置方式。

[0054] 图4为本公开至少一个实施例提供的一种指令执行方法的流程示意图。

[0055] 例如,图4提供的指令执行方法用于例如图3中的工作子组。例如,该工作子组对应的父线程组所包括的每个依赖线程组用于执行至少一个依赖项指令组。例如,如图4所示,该指令执行方法包括以下步骤S10和S20。

[0056] 步骤S10:执行每个依赖项指令组;

[0057] 步骤S20:响应于第一线程组执行完毕同步屏障指令并且第二线程组执行完毕同步屏障指令,释放第二线程组。

[0058] 例如,在步骤S10中,每个依赖项指令组包括同步屏障指令,该同步屏障指令的同步范围为同一个父线程组包括的多个依赖线程组。

[0059] 例如,在步骤S20中,每个依赖线程组包括第一线程组和第二线程组,第一线程组和第二线程组分别执行同步屏障指令。响应于第一线程组执行完毕同步屏障指令并且第二线程组执行完毕同步屏障指令,释放第二线程组。

[0060] 例如,第一线程组和第二线程组可以是在执行单元上运行的不同类型的子线程组,第一线程组和第二线程组的其中之一用于执行生产者指令,第一线程组和第二线程组中的另一个用于执行消费者指令。第一线程组和第二线程组共同组成了依赖线程组,依赖线程组并非执行单元上运行的某一个特定的子线程组。例如,在执行单元上运行的多个子线程组中的每两个可以被划分为一个小组,依赖线程组可以为该小组的称谓。例如,在一些示例中,执行单元上运行了 $2n$ 个子线程组,将这 $2n$ 个子线程组划分为 n 个用于实现生产者-消费者依赖关系的小组,每个小组包含2个子线程组,每个小组称为一个依赖线程组(例如

图3中的依赖线程组0, 依赖线程组1, …… , 依赖线程组 $n-1$), 这里 n 为正整数。在每个小组所包含的2个子线程组中, 其中一个子线程组为第一线程组(用于执行生产者指令), 另一个子线程组为第二线程组(用于执行消费者指令)。当然, 该划分方式仅为示例性的, 而非限制性的, 实际划分方式可以根据需求而定, 本公开的实施例对此不作限制。

[0061] 例如, 在本公开的实施例中, 指令执行方法还包括: 响应于第一线程组未执行完毕同步屏障指令或者第二线程组未执行完毕同步屏障指令, 第二线程组进入等待模式。

[0062] 例如, 在第一线程组和第二线程组分别执行同步屏障指令的过程中, 如果第一线程组未执行完毕同步屏障指令或者第二线程组未执行完毕同步屏障指令, 第二线程组则进入等待模式; 如果第一线程组和第二线程组均执行完毕同步屏障指令, 则释放第二线程组。例如, 在上述过程中, 第一线程组执行指令可以无需等待, 即第一线程组的指令执行进程可以不受同步屏障指令的影响; 或者, 也可以根据进程的需要对第一线程组设置基于同步屏障指令的等待模式, 本公开的实施例对此不作限制。

[0063] 图5为本公开至少一个实施例提供的一种同步屏障指令同步范围的示意图。

[0064] 例如, 如图5所示, 本公开至少一实施例提供了一种用于例如图4中指令执行方法的同步屏障指令`bar.vpw`, 其同步范围为同一个父线程组包括的 N 个依赖线程组(依赖线程组0, 依赖线程组1, …… , 依赖线程组 $N-1$), 这里 N 为正整数。该父线程组包括的 N 个依赖线程组在同一个执行单元 EU_0 上运行, 用于执行该父线程组所对应的工作子组的任务。对于图2B中的工作组屏障指令`bar.wg`, 其同步范围为在一个计算单元(例如图2B中的 CU_0)中执行的一个工作组, 而一个计算单元中包含多个执行单元($EU_0, EU_1, \dots, EU_{n-1}$, 这里 n 为正整数)。因此, 相较于工作组屏障指令`bar.wg`, 本公开至少一个实施例提供的同步屏障指令`bar.vpw`将同步屏障指令的同步范围限制在同一个执行单元上运行的同一个父线程组对应的多个子线程组中, 缩小了同步屏障指令的同步范围, 从而减小了指令执行进程中存在的延迟。

[0065] 例如, 在本公开的实施例中, 每个依赖项指令组还包括生产者指令组和消费者指令组。第一线程组配置为执行生产者指令组以生成执行结果, 第二线程组配置为执行消费者指令组以使用执行结果。生产者指令组包括至少一条生产者指令, 消费者指令组包括至少一条消费者指令。

[0066] 例如, 本公开至少一实施例提供的指令执行方法还包括利用共享存储空间接收并存储执行结果, 以使第二线程组在执行消费者指令组的过程中使用该执行结果。

[0067] 例如, 对于每个依赖线程组, 第一线程组执行生产者指令组中的至少一条生产者指令以生成一组执行结果, 并将该组执行结果填充到共享存储空间对应的槽位中; 第二线程组执行消费者指令组中的至少一条消费者指令, 从而使用共享存储空间对应的槽位中的该执行结果。

[0068] 图6为本公开至少一个实施例提供的一种依赖线程组中依赖项指令组执行过程的示意图。

[0069] 例如, 如图6所示, 依赖线程组100包括第一线程组110和第二线程组120。第一线程组110配置为执行至少一个生产者指令组(生产者指令组110-0, 生产者指令组110-1, …… , 生产者指令组110- $(n-1)$), 第二线程组配置为执行至少一个消费者指令组(消费者指令组120-0, 消费者指令组120-1, …… , 消费者指令组120- $(n-1)$), 这里 n 为正整数。例如, 在第一

线程组110中,各项指令是按照虚线箭头的顺序执行的;在第二线程组120中,各项指令也是按照虚线箭头的顺序执行的。

[0070] 例如,每个生产者指令组包括至少一条生产者指令,每个消费者指令组包括至少一条消费者指令。例如,如图6所示,生产者指令组110-k包括2条生产者指令(生产者指令 $2k$ 和生产者指令 $2k+1$),消费者指令组120-k包括1条消费者指令(消费者指令 k),这里 k 为不大于 n 的正整数。例如,图6中的依赖线程组100配置为执行 n 个依赖项指令组,上述生产者指令组110-k和消费者指令组120-k构成第 k 个依赖项指令组。

[0071] 例如,如图6所示, n 个依赖项指令组对应共享存储空间中的 n 个槽位。例如,对于第 k 个依赖项指令组,第一线程组110依次执行生产者指令组110-k中的生产者指令 $2k$ 和生产者指令 $2k+1$,从而产生第 k 组执行结果,并将第 k 组执行结果填充到槽位 k 中;第二线程组120执行消费者指令组120-k中的消费者指令 k ,从而使用槽位 k 中的第 k 组执行结果。

[0072] 例如,如图6所示,每个依赖项指令组还包括同步屏障指令`bar.vpw`,该同步屏障指令`bar.vpw`的同步范围为同一个父线程组包括的多个依赖线程组。例如,每个同步屏障指令`bar.vpw`都有一个对应于依赖项指令组的`id`。例如,第 k 个依赖项指令组包括同步屏障指令`bar.vpw id(k)`。例如,依赖线程组100执行 n 个依赖项指令组的过程中,第一线程组110和第二线程组120分别执行 n 个同步屏障指令`bar.vpw id0`,`bar.vpw id1`, \dots ,`bar.vpw id(n-1)`。

[0073] 图7为图4中步骤S10的另一示例的示例性流程图。

[0074] 例如,图4提供的指令执行方法对应多个依赖线程组在同一个执行单元上运行,该执行单元包括计数器。例如,每个计数器对应于一组同步屏障指令,该同步屏障指令的同步范围为同一个父线程组包括的多个依赖线程组。例如,图4所示指令执行方法中的步骤S10包括使第一线程组和第二线程组分别执行同步屏障指令以改变计数器的计数值。进一步地,如图7所示,该步骤S10包括以下步骤S1101~S1104。

[0075] 步骤S1101:使计数器的计数值初始化为预设初始值;

[0076] 步骤S1102:使第一线程组执行生产者指令组;

[0077] 步骤S1103:使第一线程组执行同步屏障指令以使计数器的计数值增加步长值;

[0078] 步骤S1104:使第二线程组执行同步屏障指令以使计数器的计数值增加步长值。

[0079] 例如,以图6中依赖项指令组执行过程为例,并针对第 k 个依赖项指令组的执行过程进行说明。例如,对于步骤S1101,首先将执行单元中的计数器的计数值初始化为预设初始值(例如,预设初始值为0)。例如,在第一线程组110中,对于步骤S1102,第一线程组110依次执行生产者指令组110-k中的生产者指令 $2k$ 和生产者指令 $2k+1$ 以得到第 k 组执行结果,并填充至槽位 k ;对于步骤S1103,第一线程组110继续执行同步屏障指令`bar.vpw id(k)`,从而使计数器的计数值增加步长值(例如,步长值为1)。例如,在第二线程组120中,对于步骤S1104,第二线程组120执行同步屏障指令`bar.vpw id(k)`,从而使计数器的计数值增加步长值(例如,步长值为1)。

[0080] 例如,对于消费者指令组120-k,如果计数值没有达到预设阈值(例如,预设阈值为2),也即第一线程组110未执行完毕同步屏障指令`bar.vpw id(k)`或者第二线程组120未执行完毕同步屏障指令`bar.vpw id(k)`,则第二线程组120进入等待模式而不执行消费者指令组120-k;如果计数值达到了预设阈值(例如,预设阈值为2),也即第一线程组110执行完毕

同步屏障指令`bar.vpw id(k)`并且第二线程组120执行完毕同步屏障指令`bar.vpw id(k)`,则释放第二线程组120,即第二线程组120执行消费者指令组120-k中的消费者指令k以使用槽位k中的第k组执行结果。由此,通过同步屏障指令`bar.vpw`控制第二线程组120的等待和释放,实现了生产者-消费者依赖关系指令执行进程中的同步功能。

[0081] 在本公开至少一个实施例中,例如图7的示例性指令执行方法通过在执行单元中单独集成对应于同步屏障指令`bar.vpw`的计数器,实现了同步屏障指令`bar.vpw`的同步功能。相比例如图2A中在计算单元中集成的计数器,执行单元中的计数器的尺寸更小(例如,计算单元中集成的计数器尺寸约为5bit,执行单元中集成的计数器尺寸约为3bit),从而减小了在硬件中占用的内存空间。同时,通过在执行单元中单独集成计数器,也在硬件层面将同步屏障指令的同步范围限制在同一个执行单元中,缩小了同步屏障指令的同步范围,从而减小了指令执行进程中存在的延迟。

[0082] 例如,在一些示例中,以图6所示的依赖项指令组执行过程为例,第二线程组120执行同步屏障指令`bar.vpw`时需要根据计数器的计数值是否达到预设阈值而选择进入等待模式或从等待模式中被释放,因此,将第二线程组120执行的同步屏障指令命名为`bar.vpw.wait bar_id`,并且将程序中的计数指令命名为`child_warp_count`。例如,同步屏障指令`bar.vpw.wait bar_id`中的`bar_id`表示对应于依赖项指令组的唯一id。例如,`child_warp_count`表示执行完毕同步屏障指令的子线程组的数量,其计数范围为在同一个执行单元上运行的同一个父线程组对应的多个子线程组。例如,如图6所示,在一个依赖线程组中,第一线程组110和第二线程组120均未执行同步屏障指令时`child_warp_count=0`,仅有一个执行完毕同步屏障指令时`child_warp_count=1`,二者均执行完毕同步屏障指令时`child_warp_count=2`。例如,同步屏障指令`bar.vpw.wait bar_id`在执行过程中有如下行为:

[0083] (1) 行为1:通知屏障管理单元第二线程组120已到达(相当于计数器的计数值加1),如果`child_warp_count≠2`,则第二线程组120进入等待模式;

[0084] (2) 行为2:如果`child_warp_count=2`,则释放所有等待中的子线程组(例如,第二线程组120)。

[0085] 例如,第一线程组110执行同步屏障指令`bar.vpw`时不需要进入等待模式,因此,将第一线程组110执行的同步屏障指令命名为`bar.vpw.pass bar_id`。例如,同步屏障指令`bar.vpw.wait bar_id`中的`bar_id`表示对应于依赖项指令组的唯一id。例如,同步屏障指令`bar.vpw.pass bar_id`在执行过程中有如下行为:

[0086] (1) 行为1:通知屏障管理单元第一线程组110已到达(相当于计数器的计数值加1),且第一线程组110无需等待可继续执行后续指令;

[0087] (2) 行为2:如果`child_warp_count=2`,则释放所有等待中的子线程组(例如,第二线程组120)。

[0088] 在本公开至少一个实施例中,本公开至少一个实施例提供的同步屏障指令`bar.vpw`通过使用计数指令`child_warp_count`,将同步屏障指令的同步范围限制在在同一个执行单元上运行的同一个父线程组对应的多个子线程组中,缩小了同步屏障指令的同步范围,从而减小了指令执行进程中存在的延迟。

[0089] 图8为图4中步骤S10的又一示例的示例性流程图,图9为图4中步骤S10的再一示例

的示例性流程图。

[0090] 例如,第一线程组执行生产者指令组的过程和第二线程组执行消费者指令组的过程是彼此独立的,并且两者在时序上没有固定的先后关系。例如,如图6所示,对于第k个依赖项指令组,指令执行可以按照生产者指令 $2k$ 、生产者指令 $2k+1$ 、`bar.vpw id(k)` (由第一线程组110执行)、`bar.vpw id(k)` (由第二线程组120执行)、消费者指令k的时间顺序;指令执行也可以按照`bar.vpw id(k)` (由第二线程组120执行)、生产者指令 $2k$ 、生产者指令 $2k+1$ 、`bar.vpw id(k)` (由第一线程组110执行)、消费者指令k的时间顺序;指令执行还可以按照生产者指令 $2k$ 、`bar.vpw id(k)` (由第二线程组120执行)、生产者指令 $2k+1$ 、`bar.vpw id(k)` (由第一线程组110执行)、消费者指令k的时间顺序;或者可以按照其他的执行时间顺序,本公开的实施例对此不作限制。例如,图8和图9示出了不同于图7的另外两种指令执行时间顺序。需要说明的是,本公开至少一个实施例提供的指令执行方法不限于图7、图8和图9中的指令执行时间顺序,具体的执行顺序可以根据实际需求调整。

[0091] 例如,如图8所示,例如图4中的指令执行方法也是通过例如图7中在执行单元中集成计数器的方式来实现。进一步地,如图8所示,例如图4中的步骤S10包括以下步骤S1201~S1205。

[0092] 步骤S1201:使计数器的计数值初始化为预设初始值;

[0093] 步骤S1202:使第二线程组执行同步屏障指令以使计数器的计数值增加步长值;

[0094] 步骤S1203:响应于计数器的计数值没有达到预设阈值,使第二线程组进入等待模式;

[0095] 步骤S1204:使第一线程组执行生产者指令组;

[0096] 步骤S1205:使第一线程组执行同步屏障指令以使计数器的计数值增加步长值。

[0097] 例如,如图8所示,同样以图6中依赖项指令组执行过程为例,并针对第k个依赖项指令组的执行过程进行说明。例如,对于步骤S1201,首先将执行单元中的计数器的计数值初始化为预设初始值(例如,预设初始值为0)。对于步骤S1202,第二线程组120执行同步屏障指令`bar.vpw id(k)`,从而使计数器的计数值增加步长值(例如,步长值为1)。对于步骤S1203,响应于计数值没有达到预设阈值(例如,预设阈值为2),第二线程组120进入等待模式而不执行消费者指令组 $120-k$ 。对于步骤S1204,第一线程组110依次执行生产者指令组 $110-k$ 中的生产者指令 $2k$ 和生产者指令 $2k+1$ 以得到第k组执行结果并填充槽位k。对于步骤S1205,第一线程组110继续执行同步屏障指令`bar.vpw id(k)`,从而使计数器的计数值增加步长值(例如,步长值为1)。此时,响应于计数值达到了预设阈值(例如,预设阈值为2),释放第二线程组120,即第二线程组120执行消费者指令组 $120-k$ 中的消费者指令k以使用槽位k中的第k组执行结果。

[0098] 例如,如图9所示,例如图4中的指令执行方法也是通过例如图7中在执行单元中集成计数器的方式来实现。例如,生产者指令组包括第一生产者指令和第二生产者指令,消费者指令组包括第一消费者指令。进一步地,如图9所示,例如图4中的步骤S10包括以下步骤S1301~S1306。

[0099] 步骤S1301:使计数器的计数值初始化为预设初始值;

[0100] 步骤S1302:使第一线程组执行第一生产者指令;

[0101] 步骤S1303:使第二线程组执行同步屏障指令以使计数器的计数值加步长值;

[0102] 步骤S1304:响应于计数器的计数值没有达到预设阈值,使第二线程组进入等待模式;

[0103] 步骤S1305:使第一线程组执行第二生产者指令;

[0104] 步骤S1306:使第一线程组执行同步屏障指令以使计数器的计数值加步长值。

[0105] 例如,如图9所示,同样以图6中依赖项指令组执行过程为例,并针对第k个依赖项指令组的执行过程进行说明。例如,对于步骤S1301,首先将执行单元中的计数器的计数值初始化为预设初始值(例如,预设初始值为0)。对于步骤S1302,第一线程组110执行第一生产者指令(例如图6中的生产者指令 $2k$)。对于步骤S1303,第二线程组120执行同步屏障指令 $\text{bar.vpw id}(k)$,从而使计数器的计数值增加步长值(例如,步长值为1)。对于步骤S1304,应于计数值没有达到预设阈值(例如,预设阈值为2),第二线程组120进入等待模式而不执行消费者指令组 $120-k$ 。对于步骤S1305,第一线程组110执行第二生产者指令(例如图6中的生产者指令 $2k+1$)。对于步骤S1306,第一线程组110继续执行同步屏障指令 $\text{bar.vpw id}(k)$,从而使计数器的计数值增加步长值(例如,步长值为1)。此时,响应于计数值达到了预设阈值(例如,预设阈值为2),释放第二线程组120,即第二线程组120执行第一消费者指令(例如图6中的消费者指令 k)以使用槽位 k 中的第 k 组执行结果。

[0106] 例如,生产者指令组还可以包括 n 条生产者指令,这里 n 为正整数;第一生产者指令可以为 n 条生产者指令中的第一条生产者指令,第二生产者指令可以为 n 条生产者指令中的最后一条生产者指令;本公开的实施例对此不作限制。

[0107] 例如,消费者指令组还可以包括 m 条生产者指令,这里 m 为正整数;第一消费者指令可以为 m 条消费者指令中的第一条消费者指令;本公开的实施例对此不作限制。

[0108] 图10为本公开至少一个实施例提供的一种处理器的示意框图。

[0109] 例如,如图10所示,处理器200包括至少一个计算单元210,每个计算单元210配置为执行至少一个工作组。每个计算单元210包括至少一个执行单元211,每个执行单元211配置为执行至少一个工作子组。例如,每个工作子组对应一个父线程组,父线程组包括多个依赖线程组。例如,该多个依赖线程组用于运行相应的父线程组所对应的工作子组的任务,同一个父线程组包括的多个依赖线程组在同一个执行单元211上运行。

[0110] 例如,每个依赖线程组配置为执行至少一个依赖项指令组,每个依赖项指令组包括例如图5中的同步屏障指令 bar.vpw 。例如,每个依赖线程组包括第一线程组和第二线程组,第一线程组和第二线程组配置为分别执行同步屏障指令 bar.vpw 。例如,每个依赖线程组还配置为,响应于第一线程组执行完毕同步屏障指令并且第二线程组执行完毕同步屏障指令,释放第二线程组。

[0111] 例如,处理器200配置为执行例如图4所示的指令执行方法:在同一个执行单元211上运行的多个依赖线程组中的任一个依赖项指令组执行每个依赖项指令组;该依赖项指令组响应于第一线程组执行完毕同步屏障指令并且第二线程组执行完毕同步屏障指令,释放第二线程组。

[0112] 例如,每个执行单元211包括至少一个计数器2101。例如,每个计数器2101对应于一组同步屏障指令,该同步屏障指令的同步范围为同一个父线程组包括的多个依赖线程组。每个依赖线程组还配置为,使第一线程组和第二线程组分别执行同步屏障指令以改变计数器2101的计数值。此时,处理器200在执行图4所示指令执行方法时,还包括使第一线程

组和第二线程组分别执行同步屏障指令以改变计数器2101的计数值。

[0113] 例如,每个依赖项指令组还包括生产者指令组和消费者指令组。生产者指令组包括至少一条生产者指令,消费者指令组包括至少一条消费者指令。例如,第一线程组配置为执行生产者指令组以生成执行结果,第二线程组配置为执行消费者指令组以使用执行结果。

[0114] 例如,处理器200还包括共享存储空间220。共享存储空间220配置为接收并存储第一线程组执行生产者指令组所生成的执行结果,以供第二线程组在执行消费者指令组的过程中使用。此时,处理器200利用共享存储空间220接收并存储执行结果,以使第二线程组在执行消费者指令组的过程中使用该执行结果。

[0115] 图11为本公开至少一个实施例提供的另一种处理器的示意框图。

[0116] 例如,与图10相比,图11中的每个执行单元211包括一个共享存储空间2102。该共享存储空间2102同样配置为接收并存储第一线程组执行生产者指令组所生成的执行结果,以供第二线程组在执行消费者指令组的过程中使用。处理器200利用共享存储空间2102接收并存储执行结果,以使第二线程组在执行消费者指令组的过程中使用该执行结果。

[0117] 由于图11中处理器200的其他结构和功能与图10中相同,因此这里为简洁起见不再赘述,相关细节可参照以上关于图10的描述。。

[0118] 例如,如图11所示,将共享存储空间2102集成在每个执行单元211内部,可以提高数据传输的效率,相比例如图10中在处理器中集成共享存储空间,共享存储空间的尺寸可以更小,从而减小了在硬件中占用的内存空间。同时,通过在执行单元中单独集成共享存储空间,也提高了数据传输的速度,减小了指令执行进程中存在的延迟。

[0119] 例如,共享存储空间可以如图10所示集成在处理器中,也可以如图11所示集成在每个执行单元内部,或者可以设置在其他位置,本公开的实施例对共享存储空间的具体位置不作限制。又例如,共享存储空间可以为寄存器,具体地,可以为通用寄存器(General Purpose Register,GPR);共享存储空间也可以为其他可以实现接收并存储第一线程组执行生产者指令组所生成的执行结果的功能的其他数据结构;本公开的实施例对共享存储空间的具体形态不作限制。

[0120] 需要说明的是,本公开的实施例中,处理器200的具体功能和技术效果可以参考上文中关于本公开至少一实施例提供的指令执行方法方法的描述,此处不再赘述。

[0121] 图12为本公开至少一个实施例提供的一种电子装置的示意框图。

[0122] 例如,如图12所示,该电子装置300包括处理器200,该处理器200为本公开任一实施例提供的处理器,例如为图10或图11所示的处理器200。

[0123] 例如,该电子装置300可以为DDR数字系统,也可以为手机、平板电脑、笔记本电脑、电子书、游戏机、电视机、数码相框、导航仪等任何设备,还可以为任意的电子装置及硬件的组合,本公开的实施例对此不作限制。

[0124] 需要说明的是,为表示清楚、简洁,本公开实施例并没有给出该电子装置300的全部组成单元。为实现电子设备的必要功能,本领域技术人员可以根据具体需要提供、设置其他未示出的组成单元,例如通信单元(例如网络通信单元)、输入输出单元(例如键盘、扬声器等等),本公开的实施例对此不作限制。关于电子装置300的相关描述和技术效果可以参考本公开的实施例中提供的处理器的相关描述和技术效果,这里不再赘述。

[0125] 图13为本公开至少一个实施例提供的另一种电子装置的示意框图。

[0126] 例如,如图13所示,该电子装置400例如适于用来实施本公开实施例提供的指令执行方法。电子装置400可以是终端设备或服务器等。需要注意的是,图13示出的电子装置400仅是一个示例,其不会对本公开实施例的功能和使用范围带来任何限制。

[0127] 例如,如图13所示,电子装置400可以包括处理装置(例如中央处理器、图形处理器等)41,该处理装置例如包括根据本公开任一实施例的处理器,并且其可以根据存储在只读存储器(ROM)42中的程序或者从存储装置48加载到随机访问存储器(RAM)43中的程序而执行各种适当的动作和处理。在RAM 43中,还存储有电子装置400操作所需的各种程序和数据。处理装置41、ROM 42以及RAM 43通过总线44彼此相连。输入/输出(I/O)接口45也连接至总线44。通常,以下装置可以连接至I/O接口45:包括例如触摸屏、触摸板、键盘、鼠标、摄像头、麦克风、加速度计、陀螺仪等的输入装置46;包括例如液晶显示器(LCD)、扬声器、振动器等的输出装置37;包括例如磁带、硬盘等的存储装置48;以及通信装置49。通信装置49可以允许电子装置400与其他电子设备进行无线或有线通信以交换数据。

[0128] 虽然图13示出了具有各种装置电子装置400,但应理解的是,并不要求实施或具备所有示出的装置,电子装置400可以替代地实施或具备更多或更少的装置。

[0129] 关于电子装置300/400的详细说明和技术效果,可以参考上文关于指令执行方法的相关描述,此处不再赘述。

[0130] 对于本公开,有以下几点需要说明:

[0131] (1)本公开实施例附图中,只涉及到与本公开实施例涉及到的结构,其他结构可参考通常设计。

[0132] (2)在不冲突的情况下,本公开同一实施例及不同实施例中的特征可以相互组合。

[0133] 以上,仅为本公开的具体实施方式,但本公开的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本公开揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本公开的保护范围之内。因此,本公开的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

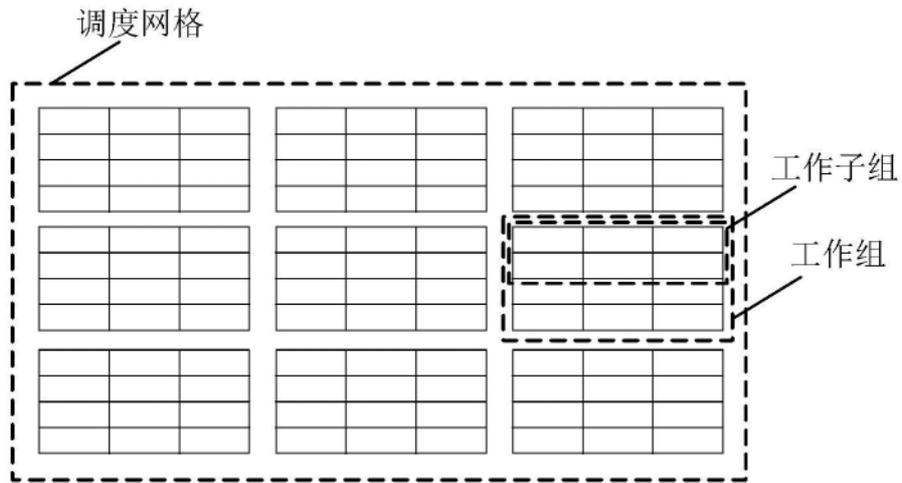


图1A



图1B

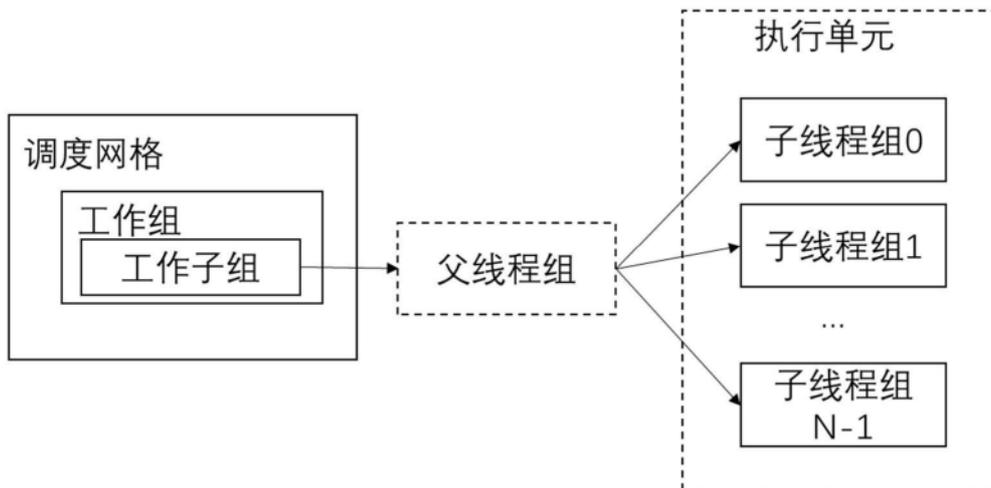


图1C

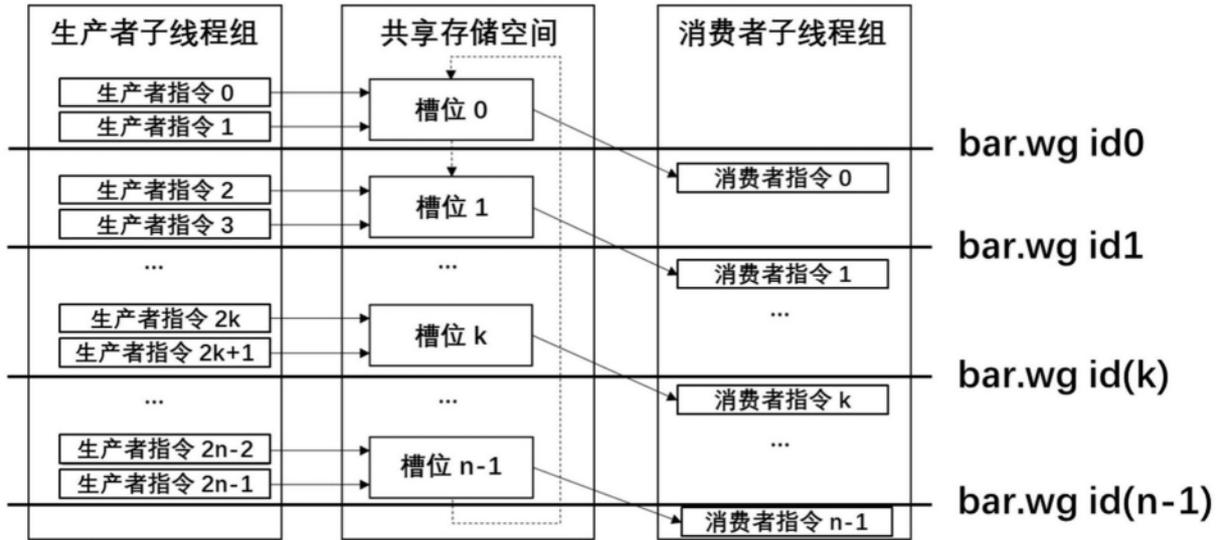


图2A

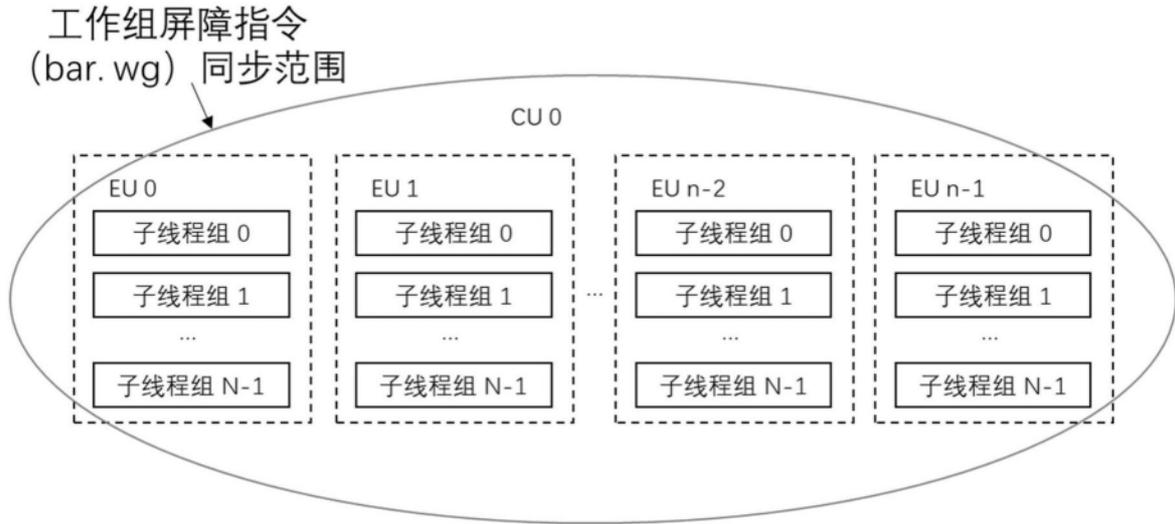


图2B

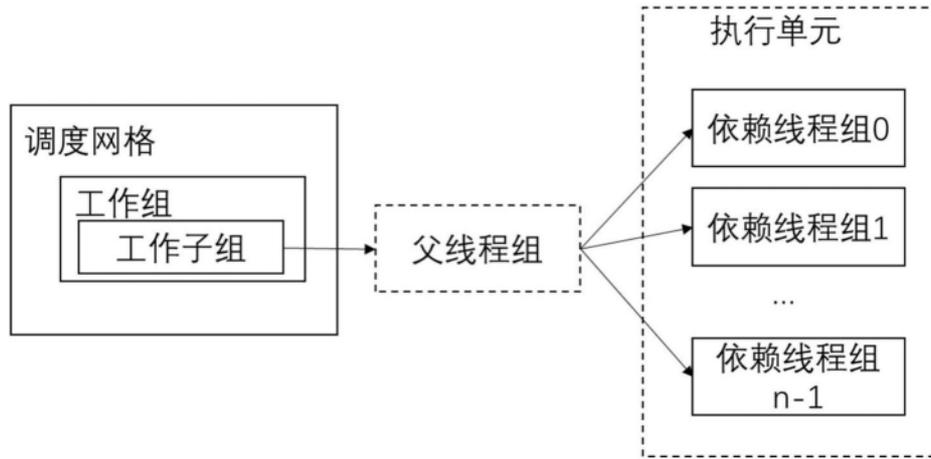


图3

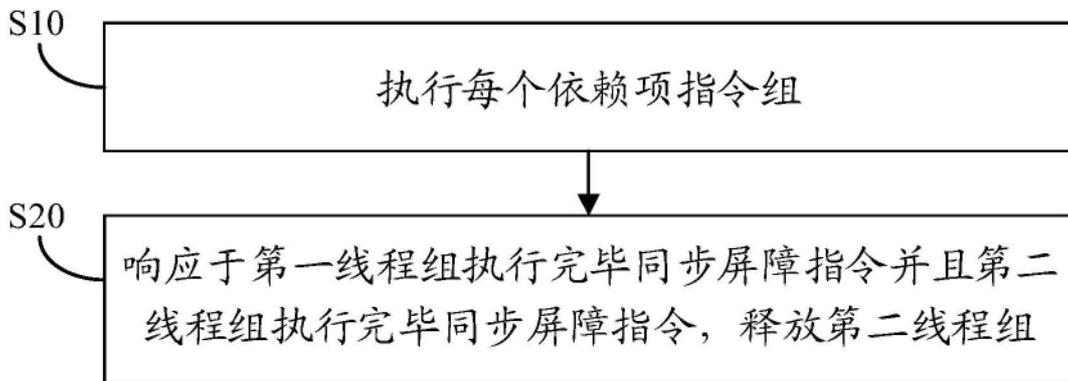


图4

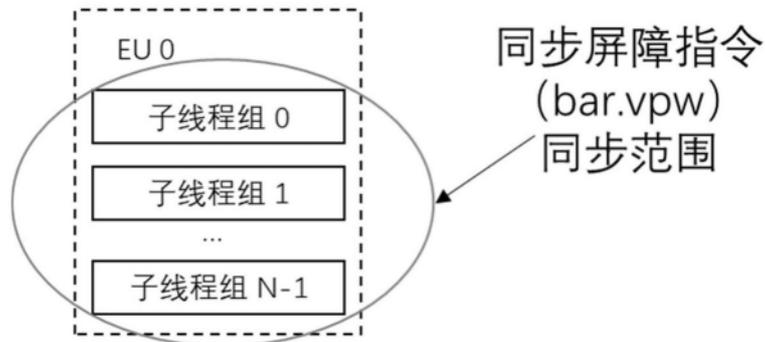


图5

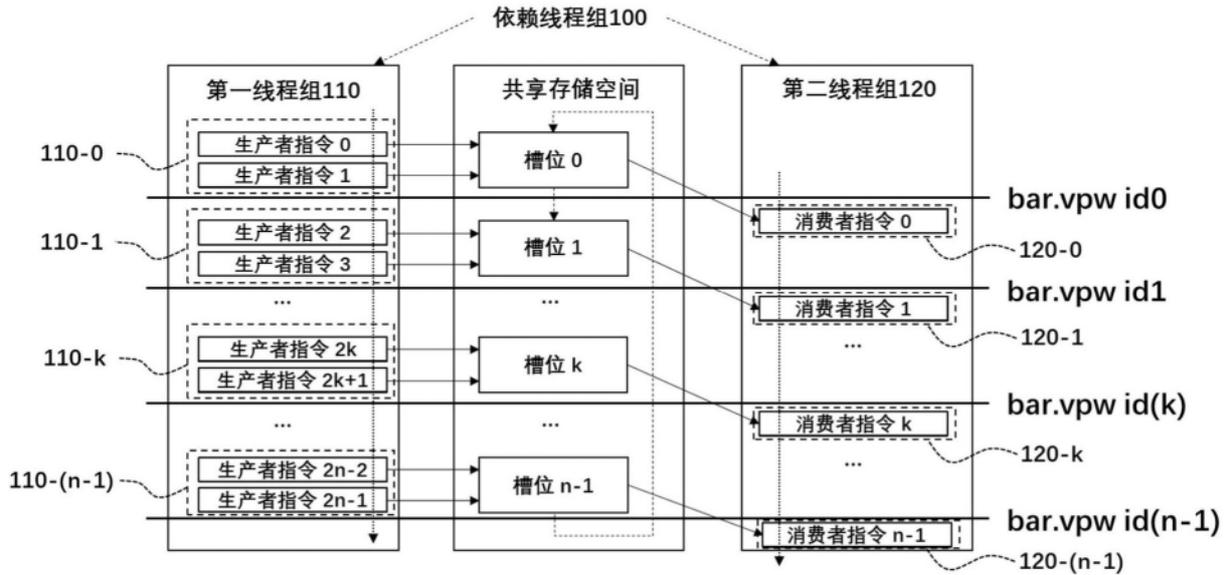


图6

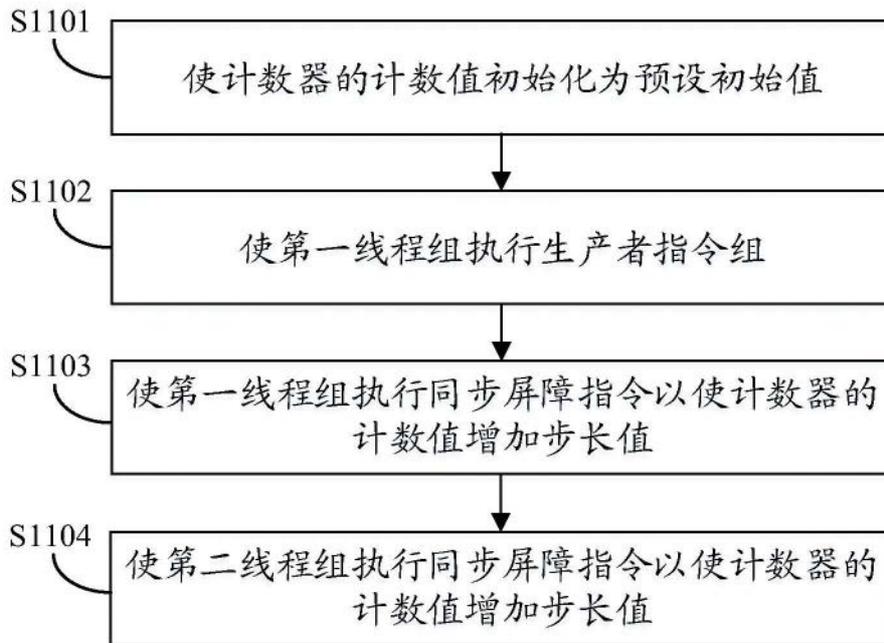


图7

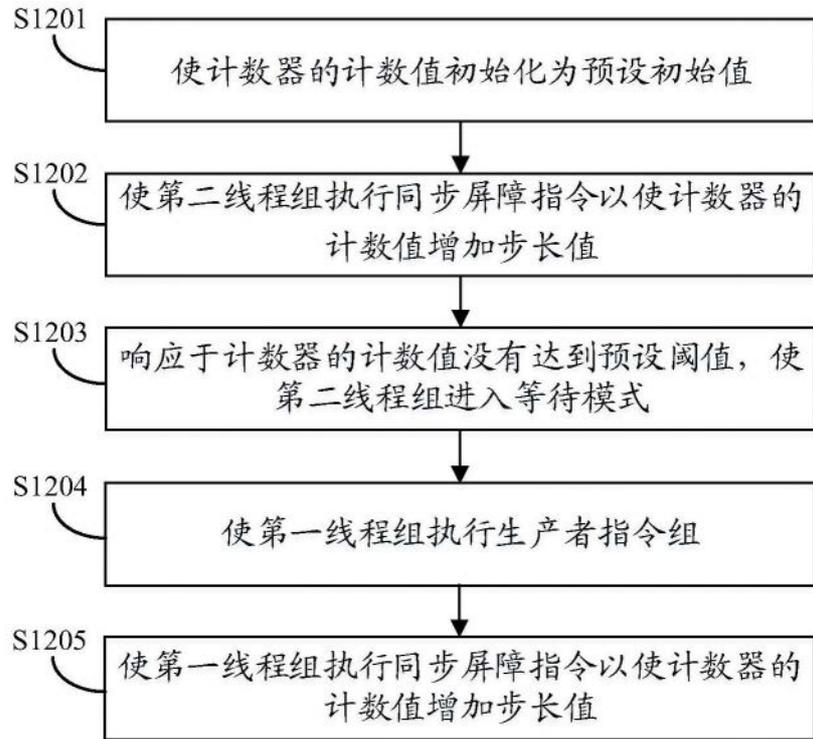


图8

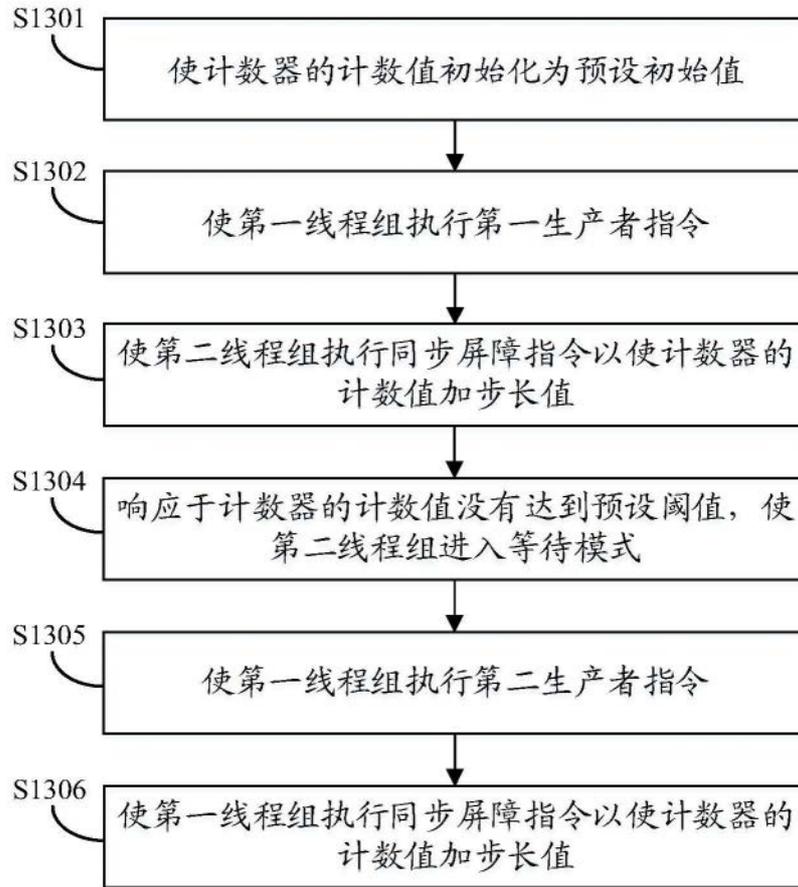


图9

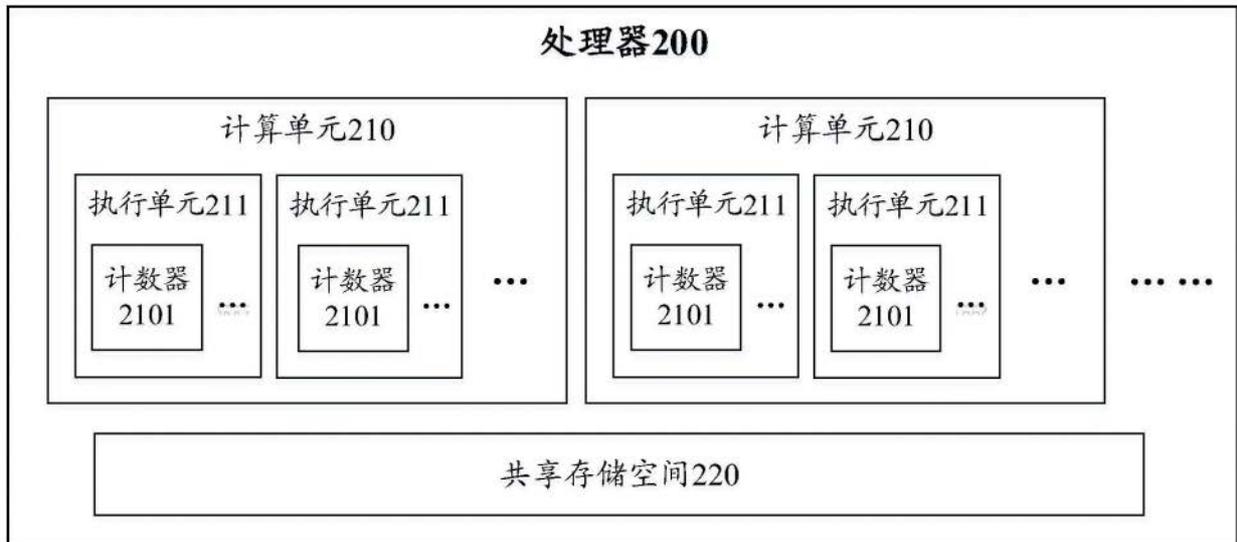


图10

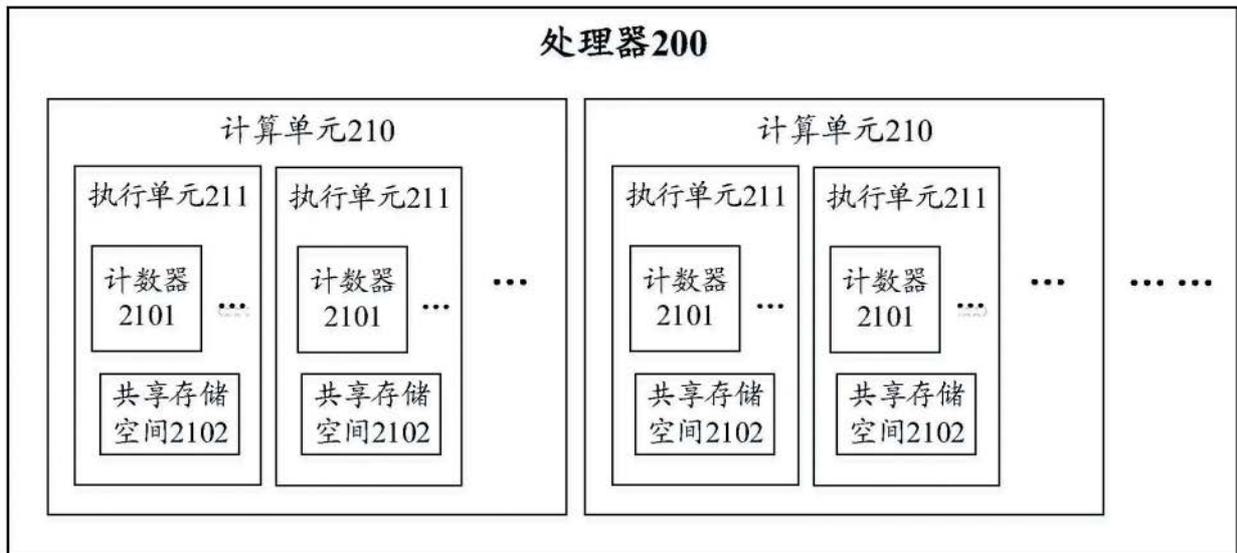


图11



图12

400

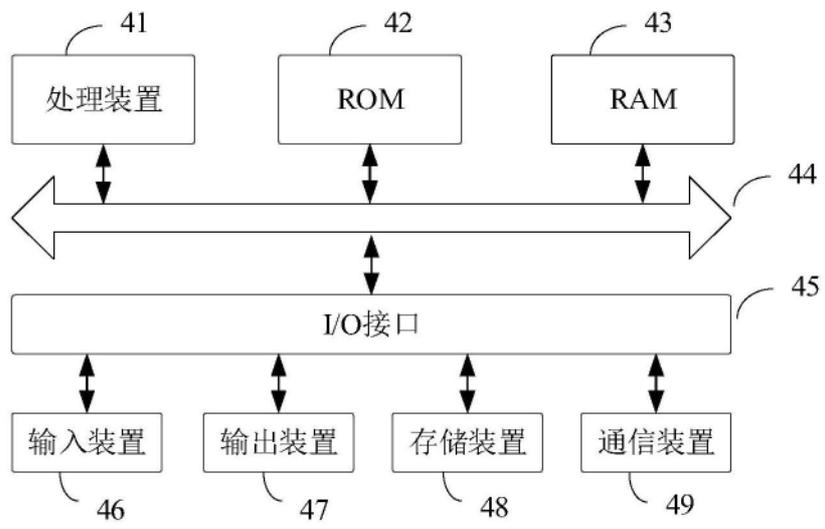


图13