



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115480826 B

(45) 授权公告日 2024.03.12

(21) 申请号 202211149347.3

(22) 申请日 2022.09.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115480826 A

(43) 申请公布日 2022.12.16

(73) 专利权人 海光信息技术股份有限公司
地址 300392 天津市华苑产业区海泰西路
18号北2-204工业孵化-3-8

(72) 发明人 张克松 李桥

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

(51) Int. Cl.
G06F 9/38 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102968294 A, 2013.03.13

CN 104423929 A, 2015.03.18

CN 111095201 A, 2020.05.01

CN 112543916 A, 2021.03.23

US 2018121203 A1, 2018.05.03

熊振亚;林正浩;任浩琪.基于跳转轨迹的分支目标缓冲研究.计算机科学.2017,(第03期),全文.

审查员 朱雷

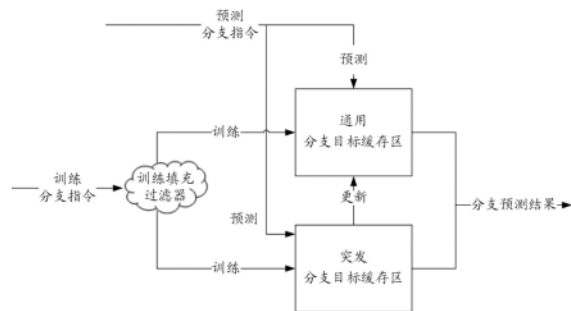
权利要求书5页 说明书15页 附图4页

(54) 发明名称

分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备

(57) 摘要

本公开提供了一种分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备。该分支预测器包括：突发分支目标缓存区、通用分支目标缓存区以及训练填充过滤器，其中，训练填充过滤器配置成：获得训练分支指令，并确定训练分支指令是否满足突发条件；响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区；以及响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区，其中，突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。



1. 一种分支预测器,其特征在于,所述分支预测器包括:突发分支目标缓存区、通用分支目标缓存区以及训练填充过滤器,其中,所述训练填充过滤器配置成:

获得训练分支指令,并确定所述训练分支指令是否满足突发条件;

响应于满足所述突发条件而将所述训练分支指令的信息存储在所述突发分支目标缓存区;以及

响应于不满足所述突发条件而将所述训练分支指令的信息存储在所述通用分支目标缓存区,其中,所述突发分支目标缓存区和所述通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

2. 根据权利要求1所述的分支预测器,其特征在于,所述突发条件包括以下中的一种或多种:

所述训练分支指令是绝对跳转指令;

所述训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及

所述训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

3. 根据权利要求1所述的分支预测器,其特征在于,所述通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

4. 根据权利要求3所述的分支预测器,其特征在于,对于所述突发分支目标缓存区中存储的分支指令,满足迁移条件的分支指令的信息被存入所述通用分支目标缓存区的所述二级缓存中,并从所述突发分支目标缓存区删除所述满足迁移条件的分支指令的信息,

其中,所述突发分支目标缓存区作为与所述二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

5. 根据权利要求4所述的分支预测器,其特征在于,所述通用分支目标缓存区配置成:获得预测分支指令;利用所述预测分支指令的指令地址查找所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存得到第一预测结果,并将所述第一预测结果发送到所述二级缓存中;以及,利用所述预测分支指令的指令地址查找所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存并与所述第一预测结果进行比较以得到第二预测结果,其中,所述突发分支目标缓存区配置成:利用所述预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区,得到第三预测结果,其中,所述分支预测器还包括判决器,配置成:

基于所述第一预测结果、所述第二预测结果和所述第三预测结果确定最终的分支预测结果。

6. 根据权利要求3所述的分支预测器,其特征在于,对于所述突发分支目标缓存区中存储的分支指令,满足迁移条件的分支指令的信息被存入所述通用分支目标缓存区的所述一级缓存中,并从所述突发分支目标缓存区删除所述满足迁移条件的分支指令的信息,

其中,所述突发分支目标缓存区作为与所述一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

7. 根据权利要求4或6所述的分支预测器,其特征在于,所述迁移条件包括以下中的一种或多种:

所述分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,

所述分支指令不是绝对跳转指令;或者,

所述分支指令的跳转未跨地址页面。

8. 根据权利要求4所述的分支预测器,其特征在於,所述分支预测器还包括突发过滤器,其中,所述突发过滤器位于所述一级缓存与所述突发分支目标缓存区之间并配置成:

在未命中所述一级缓存的情况下,在利用预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区之前,确定所述指令地址是否命中所述突发过滤器;

在确定命中的情况下,使得所述突发分支目标缓存区利用所述预测分支指令的指令地址进行查找。

9. 根据权利要求8所述的分支预测器,其特在於,在所述查找命中所述突发分支目标缓存区的情况下,利用所述突发分支目标缓存区的结果作为分支预测结果,以及在所述突发分支目标缓存区中的分支指令出现频率大于或等于第二预设次数时,将所述分支指令从所述突发分支目标缓存区删除,并迁移所述分支指令到所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存中;以及

在所述查找未命中所述突发分支目标缓存区的情况下,则查找所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存。

10. 根据权利要求6所述的分支预测器,其特征在於,所述分支预测器还包括突发过滤器,其中,所述突发过滤器位于所述突发分支目标缓存区之前并配置成:

在利用预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区之前,确定所述指令地址是否命中所述突发过滤器;

在确定命中的情况下,使得所述突发分支目标缓存区利用所述预测分支指令的指令地址进行查找。

11. 根据权利要求10所述的分支预测器,其特征在於,在所述查找命中所述突发分支目标缓存区的情况下,利用所述突发分支目标缓存区的结果作为分支预测结果,以及在所述突发分支目标缓存区中的分支指令出现的频率大于或等于第二预设次数时,将所述分支指令从所述突发分支目标缓存区删除,并迁移所述分支指令到所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存中;以及

在所述查找未命中所述突发分支目标缓存区的情况下,则查找所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存。

12. 一种分支预测方法,其特征在於,所述方法包括:

获得训练分支指令,并确定所述训练分支指令是否满足突发条件;

响应于满足所述突发条件而将所述训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;以及

响应于不满足所述突发条件而将所述训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,其中,所述突发分支目标缓存区和所述通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

13. 根据权利要求12所述的方法,其特征在於,所述突发条件包括以下中的一种或多种:

所述训练分支指令是绝对跳转指令;

所述训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及

所述训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

14. 根据权利要求12所述的方法,其特征在於,所述通用分支目标缓存区包括两级缓

存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

15.根据权利要求14所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

对于所述突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入所述通用分支目标缓存区的所述二级缓存中,并从所述突发分支目标缓存区删除所述满足迁移条件的分支指令的信息,

其中,所述突发分支目标缓存区作为与所述二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

16.根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

获得预测分支指令;

利用所述预测分支指令的指令地址查找所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存得到第一预测结果,并将所述第一预测结果发送到所述二级缓存中;

利用所述预测分支指令的指令地址查找所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存并与所述第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;

利用所述预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区,得到第三预测结果;以及

基于所述第一预测结果、所述第二预测结果和所述第三预测结果确定最终的分支预测结果。

17.根据权利要求14所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

对于所述突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入所述通用分支目标缓存区的所述一级缓存中,并从所述突发分支目标缓存区删除所述满足迁移条件的分支指令的信息,

其中,所述突发分支目标缓存区作为与所述一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

18.根据权利要求15或17所述的方法,其特征在于,所述迁移条件包括以下中的一种或多种:

所述分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,

所述分支指令不是绝对跳转指令;或者,

所述分支指令的跳转地址未跨地址页面。

19.根据权利要求15或17所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

在利用预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区之前,确定所述指令地址是否命中突发过滤器,其中,所述突发过滤器中包括所述突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息;

在确定命中所述突发过滤器的情况下,利用所述预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区。

20.一种执行分支预测的装置,其特征在于,所述执行分支预测的装置包括分支预测单元,所述分支预测单元配置成:

获得训练分支指令,并确定所述训练分支指令是否满足突发条件;

响应于满足所述突发条件而将所述训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;

响应于不满足所述突发条件而将所述训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存

区,其中,所述突发分支目标缓存区和所述通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

21. 根据权利要求20所述的装置,其特征在于,所述突发条件包括以下中的一种或多种:

所述训练分支指令是绝对跳转指令;

所述训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及

所述训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

22. 根据权利要求20所述的装置,其特征在于,所述通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

23. 根据权利要求22所述的装置,其特征在于,所述分支预测单元还配置成:

对于所述突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入所述通用分支目标缓存区的所述二级缓存中,并从所述突发分支目标缓存区删除所述满足迁移条件的分支指令的信息,

其中,所述突发分支目标缓存区作为与所述二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

24. 根据权利要求23所述的装置,其特征在于,所述分支预测单元还配置成:

获得预测分支指令;

利用所述预测分支指令的指令地址查找所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存得到第一预测结果,并将所述第一预测结果发送到所述二级缓存中;

利用所述预测分支指令的指令地址查找所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存并与所述第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;

利用所述预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区,得到第三预测结果;以及

基于所述第一预测结果、所述第二预测结果和所述第三预测结果确定最终的分支预测结果。

25. 根据权利要求24所述的装置,其特征在于,所述分支预测单元还配置成:

对于所述突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入所述通用分支目标缓存区的所述一级缓存中,并从所述突发分支目标缓存区删除所述满足迁移条件的分支指令的信息,

其中,所述突发分支目标缓存区作为与所述一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

26. 根据权利要求23或25所述的装置,其特征在于,所述迁移条件包括以下中的一种或多种:

所述分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,

所述分支指令不是绝对跳转指令;或者,

所述分支指令跳转不跨页面。

27. 根据权利要求23或25所述的装置,其特征在于,所述分支预测单元还配置成:

在利用预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区之前,确定所述指令地址是否命中突发过滤器,其中,所述突发过滤器中包括所述突发分支目标缓存区中的分支

指令的索引信息;

在确定命中所述突发过滤器(28)的情况下,利用所述预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区。

28. 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可读代码,所述计算机可读代码在由所述处理器运行时,执行如权利要求12-19中任一项所述的分支预测方法。

分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备

技术领域

[0001] 本公开涉及分支预测计算,具体地,涉及一种分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备。

背景技术

[0002] 针对分支预测技术,目前主要的设计是将分支指令的信息存放在分支目标缓存区(Branch Target Buffer,BTB)中。当前设计中,BTB多为多路组相连接结构,通常用指令地址信息(或者哈希之后的指令地址)作为索引地址。同时,用指令地址信息(或者哈希之后的指令地址)作为比对的标签,从而确定该指令地址是否命中BTB的某个表项(entry)。随着大数据等应用的发展,流水线指令端的压力变大,在分支预测过程中,存在一些出现次数较少、具有突发性质的分支指令。目前的产品设计中,将这类具有突发性质的指令与其他非突发的指令一起存储在BTB中,这将降低分支预测结果。

发明内容

[0003] 本公开的一些实施例提供了一种分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备,用于通过将突发的分支指令存储在专门设置的突发分支目标缓存区,以与非突发的分支指令所在的常规分支目标缓存区区分开,能够过滤掉对具有突发特性的分支指令的训练,减小其对已经训练好的分支指令的破坏,提高分支预测准确率,从而进一步提升计算设备的性能。

[0004] 根据本公开的一方面,提供了一种分支预测器,该分支预测器包括:突发分支目标缓存区、通用分支目标缓存区以及训练填充过滤器,其中,训练填充过滤器配置成:获得训练分支指令,并确定训练分支指令是否满足突发条件;响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,其中,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

[0005] 根据本公开的一些实施例,突发条件包括以下中的一种或多种:训练分支指令是绝对跳转指令;训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

[0006] 根据本公开的一些实施例,通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

[0007] 根据本公开的一些实施例,对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,满足迁移条件的分支指令的信息被存入通用分支目标缓存区的二级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0008] 根据本公开的一些实施例,通用分支目标缓存区配置成:获得预测分支指令;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的一级缓存得到第一预测结果,并将

第一预测结果发送到二级缓存中;以及,利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的二级缓存并与第一预测结果进行比较以得到第二预测结果,其中,突发分支目标缓存区配置成:利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,得到第三预测结果,其中,分支预测器还包括判决器,配置成:基于第一预测结果、第二预测结果和第三预测结果确定最终的分支预测结果。

[0009] 根据本公开的一些实施例,对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,满足迁移条件的分支指令的信息被存入通用分支目标缓存区的一级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0010] 根据本公开的一些实施例,迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,分支指令不是绝对跳转指令;或者,分支指令的跳转未跨地址页面。

[0011] 根据本公开的一些实施例,分支预测器还包括突发过滤器,其中,突发过滤器位于所述一级缓存与所述突发分支目标缓存区之间并配置成:在未命中所述一级缓存的情况下,在利用预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区之前,确定所述指令地址是否命中所述突发过滤器;在确定命中的情况下,使得所述突发分支目标缓存区利用所述预测分支指令的指令地址进行查找。作为示例,可以确定指令地址是否命中突发过滤器中存储的突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息,以减少非必要的对突发分支目标缓存区的访问,从而降低功耗。

[0012] 根据本公开的一些实施例,在所述查找命中所述突发分支目标缓存区的情况下,利用所述突发分支目标缓存区的结果作为分支预测结果,以及在所述突发分支目标缓存区中的分支指令出现频率大于或等于第二预设次数时,将所述分支指令从所述突发分支目标缓存区删除,并迁移所述分支指令到所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存中;以及在所述查找未命中所述突发分支目标缓存区的情况下,则查找所述通用分支目标缓存区中的所述二级缓存。

[0013] 根据本公开的一些实施例,所述分支预测器还包括突发过滤器,其中,所述突发过滤器位于所述突发分支目标缓存区之前并配置成:在利用预测分支指令的指令地址查找所述突发分支目标缓存区之前,确定所述指令地址是否命中所述突发过滤器;在确定命中的情况下,使得所述突发分支目标缓存区利用所述预测分支指令的指令地址进行查找。

[0014] 根据本公开的一些实施例,在所述查找命中所述突发分支目标缓存区的情况下,利用所述突发分支目标缓存区的结果作为分支预测结果,以及在所述突发分支目标缓存区中的分支指令出现的频率大于或等于第二预设次数时,将所述分支指令从所述突发分支目标缓存区删除,并迁移所述分支指令到所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存中;以及在所述查找未命中所述突发分支目标缓存区的情况下,则查找所述通用分支目标缓存区中的所述一级缓存。

[0015] 根据本公开的另一方面,还提供了一种分支预测方法,该方法包括:获得训练分支指令,并确定训练分支指令是否满足突发条件;响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,其中,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一

起用于进行分支预测。

[0016] 根据本公开的一些实施例,突发条件包括以下中的一种或多种:训练分支指令是绝对跳转指令;训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

[0017] 根据本公开的一些实施例,通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

[0018] 根据本公开的一些实施例,该方法还包括:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的二级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与二级缓存同级的缓存参与分支指令的预测过程。

[0019] 根据本公开的一些实施例,该方法还包括:获得预测分支指令;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的一级缓存得到第一预测结果,并将第一预测结果发送到二级缓存中;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的二级缓存并与第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,得到第三预测结果;以及基于第一预测结果、第二预测结果和第三预测结果确定最终的分支预测结果。

[0020] 根据本公开的一些实施例,该方法还包括:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的一级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与一级缓存同级的缓存参与分支指令的预测过程。

[0021] 根据本公开的一些实施例,迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,分支指令不是绝对跳转指令,或者,分支指令的跳转未跨地址页面。

[0022] 根据本公开的一些实施例,该方法还包括:在利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区之前,确定指令地址是否命中突发过滤器,其中,突发过滤器中包括突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息;在确定命中突发过滤器的情况下,利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区。根据本公开的实施例,突发过滤器用作节省功耗的部件,只有在确定命中突发过滤器的情况下,才利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,从而进一步降低分支预测的功耗。

[0023] 根据本公开的另一方面,还提供了一种执行分支预测的装置,执行分支预测的装置包括分支预测单元。该分支预测单元配置成:获得训练分支指令,并确定训练分支指令是否满足突发条件;响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,其中,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

[0024] 根据本公开的一些实施例,突发条件包括以下中的一种或多种:训练分支指令是绝对跳转指令;训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

[0025] 根据本公开的一些实施例,通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

[0026] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元还配置成:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的二级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与二级缓存同级的缓存参与分支指令的预测过程。

[0027] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元还配置成:获得预测分支指令;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的一级缓存得到第一预测结果,并将第一预测结果发送到二级缓存中;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的二级缓存并与第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,得到第三预测结果;以及基于第一预测结果、第二预测结果和第三预测结果确定最终的分支预测结果。

[0028] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元还配置成:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的一级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与一级缓存同级的缓存参与分支指令的预测过程。

[0029] 根据本公开的一些实施例,迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,分支指令不是绝对跳转指令;或者,分支指令的跳转未跨地址页面。

[0030] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元还配置成:在利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区之前,确定指令地址是否命中突发过滤器,其中,突发过滤器中包括突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息;在确定命中突发过滤器的情况下,利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区。根据本公开的实施例,突发过滤器用作节省功耗的部件,作为示例,该索引信息可以是该分支指令地址的高位,具体的,只有在确定命中突发过滤器的情况下,才利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,从而进一步降低分支预测的功耗。

[0031] 根据本公开的另一方面,还提供了一种计算设备,包括:处理器;和存储器,其中,存储器中存储有计算机可读代码,计算机可读代码在由处理器运行时,执行如上所述的分支预测方法。

[0032] 利用本公开实施例提供的分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备,通过将满足突发条件的训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区以及将不满足突发条件的训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,并且,利用突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测,以将一些具有突发性质的分支指令与常规的分支指令分开存储,从而既能利用突发的分支指令的信息进行预测,又能避免突发的分支指令本身对于常规分支预测性能的影响,提高分支预测准确性、提升处理性能。此外,将突发的分支指令与常规的分支指令区分开存储还能够避免常规BTB中的信息频繁地进行替换,从而降低系统功耗。

附图说明

[0033] 为了更清楚地说明本公开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

公开的一些实施例,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。

- [0034] 图1示出了相关技术中的分支预测器的示意图;
- [0035] 图2示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的示意图;
- [0036] 图3示出了根据本公开一些实施例的突发分支目标缓存区的示意图;
- [0037] 图4示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的另一示意图;
- [0038] 图5示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的又一示意图;
- [0039] 图6示出了根据本公开一些实施例的突发过滤器的数据格式示意图;
- [0040] 图7示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的又一示意图;
- [0041] 图8示出了根据本公开一些实施例的分支预测方法的示意性流程图;
- [0042] 图9示出了根据本公开一些实施例的执行分支预测的装置的示意性框图;
- [0043] 图10示出了根据本公开一些实施例的计算设备的示意性框图。

具体实施方式

[0044] 下面将结合本公开实施例中的附图,对本公开实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅是本公开一部分的实施例,而不是全部的实施例。基于本公开中的实施例,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。

[0045] 此外,如本公开和权利要求书中所示,除非上下文明确提示例外情形,“一”、“一个”、“一种”和/或“该”等词并非特指单数,也可包括复数。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,“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。

[0046] 针对分支预测技术,目前的设计是将分支指令的信息存放在分支目标缓存区(Branch Target Buffer,BTB)。同时,由于考虑到硬件电路设计中的时序问题,BTB的容量达到一定限度之后,整个BTB可以采用多级连接方式。作为示例,图1示出了相关技术中的分支预测器的示意图,其中,采用2级BTB(示出为L1 BTB和L2 BTB)连接方式,这两级BTB分别用于存储分支指令并进行分支预测。

[0047] 具体的,如图1所示,相关技术中的分支预测器在应用过程中包括预测过程和训练过程,为便于描述,将用于预测过程的分支指令表示为预测分支指令,并将用于训练过程的分支指令表示为训练分支指令。在预测过程中,首先由位于第一级的L1 BTB接收预测分支指令并进行查找和分支预测过程,然后由位于第二级的L2 BTB针对该预测分支指令进行分支预测,最终由这两级的分支预测结果得到最终的分支预测结果。由于,BTB中包含了之前发现的分支指令信息,因此,如果命中BTB,那么将认为分支预测部件发现有分支指令,并结合分支方向预测算法以及分支指令类型,得到跳转指令的目标地址,作为分支预测结果。

[0048] 分支预测器进行分支预测的能力可以由训练过程得到。在训练过程中,接收训练分支指令以进行分支预测训练。对于L1 BTB和L2 BTB之间,两者中存储的指令信息可以在

训练过程中进行更新,例如将某些信息从L1 BTB转移至L2 BTB,或者,将另一些信息从L2 BTB转移至L1 BTB,在此不作详细描述。

[0049] 可以理解的是,BTB的容量及其存储内容影响分支预测的能力。近些年随着大数据等应用的出现,流水线指令端的压力也随之变大。此类应用指令的脚本相对比较大,同时,在此类应用中经常出现诸如突发性的分支跳转指令,作为示例,这些跳转指令具有如下特点:跳转跨度大,例如通常会跨地址页面;绝对跳转指令,例如,指令跳转方向和跳转目标都是固定的;跳转指令出现的频率低,例如每100M指令中仅出现几次。

[0050] 对于这类具有突发性质的分支指令,如果与其他非突发的指令一起存储在原有的BTB结构中会降低预测性能。例如,该突发的分支指令可能破坏BTB中已经训练之后的分支预测信息,从而导致预测准确性的降低,此外,随着预测过程的进行,这些存储在BTB中的突发分支指令将被其他的分支指令替换,而频繁的替换BTB将导致额外功耗的增加。

[0051] 本公开的正是注意到此类突发性质的分支指令对于分支预测过程的影响,提供了一种分支预测器,通过将满足突发条件的分支指令存储在专门设置的突发分支目标缓存区(称为突发BTB),以与非突发的分支指令所在的常规分支目标缓存区(例如图1中示出的L1 BTB和L2 BTB)区分开,从而能够进行准确的分支预测,进一步提升计算设备的性能。

[0052] 图2示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的示意图,以下将结合图2来描述根据本公开一些实施例提供的分支预测器的结构及其实现过程。

[0053] 根据本公开的一些实施例的分支预测器可以包括:突发分支目标缓存区、通用分支目标缓存区以及训练填充过滤器(Fill Filter)。具体的,该突发分支目标缓存区作为上述突发BTB,用于存储分支预测过程中满足突发条件的分支指令,下文称为突发分支指令。该通用分支目标缓存区例如可以是用于存储常规分支指令,下文称为非突发分支指令或者常规分支指令。根据本公开的实施例,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的分支指令信息一起用于进行分支预测。

[0054] 根据本公开的一些实施例,在训练过程中,训练填充过滤器可以配置成:获得训练分支指令,并确定该训练分支指令是否满足突发条件。根据本公开的一些实施例,突发条件包括以下中的一种或多种:训练分支指令是绝对跳转指令,例如指令跳转方向和跳转目标都是固定的;训练分支指令的目标跳转地址跨页面,即表示该指令的跳转跨度较大;以及,训练分支指令的出现频率小于第一预设次数,作为示例,每100M指令中出现1/2/4次等,例如第一预设次数设置为1、2或4,其具体数值在此不作限制。作为一种实现方式,突发条件可以包括以上三者。此外,可以理解的是,还可以根据实际应用情形设置其他的突发条件。可以理解的是,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内容。

[0055] 根据本公开的一些实施例,在确定该训练分支指令是否满足突发条件之后,该训练填充过滤器还配置成:响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区,即,将满足突发条件的分支指令,即突发分支指令存储在专门的突发BTB中;以及响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,即,将不满足突发条件的分支指令,即非突发分支指令存储在常规的BTB中。如上所述,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

[0056] 图3示出了根据本公开一些实施例的突发分支目标缓存区的示意图。以下将结合

图3对根据本公开实施例的突发BTB的存储结构进行描述。

[0057] 作为一种实现方式,该突发BTB的容量可以较小,例如,明显小于常规BTB的数据容量。突发BTB专门用于存储突发分支指令的信息。如图3所示,以512SET*8WAY大小为例,其中,分别示出为SET-0至SET-511以及WAY-0至WAY-7。此处仅对突发BTB的容量设定进行举例说明,可以根据实际情形设置任意格式或容量的突发BTB。具体的,每个存储单元可以包括分支指令标签(Tag)、分支指令目标地址(Branch Target)、分支指令相对所在缓存行(Cache Line)的偏移地址(offset)、分支指令的命中次数(hit count)。其中,由于突发条件的限制,一般情况认为突发BTB中存放的分支指令为绝对跳转指令,在此情况下,不需要提供对应的分支类型的预测部件。类似于用于存储非突发分支指令的常规BTB,突发BTB可以同样采用最近最少使用(Least Recently Used,LRU)替换策略,其中,选择最近最少未使用的指令信息予以淘汰,即被其他分支指令的信息替换出突发BTB。

[0058] 利用本公开实施例提供的分支预测器(例如图2所示),通过将满足突发条件的训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区以及将不满足突发条件的训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,并且,利用突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的分支指令信息一起用于进行分支预测,以将一些具有突发性质的分支指令与常规的分支指令分开存储,从而既能利用突发分支指令的信息进行预测,又能避免突发分支指令本身对于常规分支预测性能的影响,提高分支预测准确性、提升处理性能。

[0059] 作为一种实现方式,在根据本公开的一些实施例的分支预测器中,通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。在此部分实现方式中,常规BTB采用两级缓存的连接方式。可以理解的是,在其他实现方式中,通用分支目标缓存区还可以采用其他的缓存连接方式,例如包括三级缓存等。本公开的实施例不对通用分支目标缓存区的具体结构进行限制。

[0060] 根据本公开一些实施例的分支预测器,对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,满足迁移条件的分支指令的信息被存入通用分支目标缓存区的二级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息。在这些实施例中,突发分支目标缓存区作为与二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0061] 根据本公开一些实施例,上述迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,分支指令不是绝对跳转指令;或者,分支指令的跳转未跨地址页面。具体的,图4示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的另一示意图,以下将结合图4描述根据本公开一些实施例中进行分支预测的训练过程以及预测过程。可以理解的是,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内容。

[0062] 如图4所示,突发分支目标缓存区(突发BTB)作为与二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程,由此,在训练过程中,对于突发BTB中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的二级缓存(L2 BTB)中。

[0063] 根据本公开一些实施例的分支预测器,利用其中设置的训练填充过滤器,能够根据突发分支指令的特性进行过滤,同时,硬件设置配置属性,记录跳转指令出现频次,以将满足迁移条件的指令迁移至L2 BTB中。例如,定义出现2次为迁移条件,即,第二预设次数设置为1,那么可以将突发BTB中“hit count”参数大于/等于2的表项作为非突发分支指令,并

将其信息更新到L2 BTB中。

[0064] 参考图4中示出的训练路径,针对由于分支预测错误导致的训练,需要首先查找训练填充过滤器,如果该分支指令满足突发分支指令的特性,即满足设置的突发条件,则将其训练进入突发BTB当中,否则,将该分支指令训练进入通用分支目标缓存区的一级缓存L1 BTB中。

[0065] 作为一种实现方式,迁移条件可以包括以下情况:情况1)当满足突发条件,但是,该分支指令的命中次数大于/等于设定的突发分支指令的命中次数,则将该分支指令从突发BTB更新到L2 BTB中。在L2 BTB中存储的该分支指令将作为非突发分支指令,即实现指令的突发/非突发切换;情况2)当发现该分支指令并非绝对跳转指令时,则将突发BTB中对应的分支指令迁移到L2 BTB当中;情况3)当发现分支指令的跳转未跨地址页面时,则将突发BTB中对应的分支指令迁移到L2 BTB当中。

[0066] 在迁移过程中值得注意的是,L2 BTB中每个表项可以存放不只1个分支指令的信息,而突发BTB中每个表项只存放1个分支指令的信息。因此,对于需要迁移到L2 BTB的分支指令,可以首先判断是插入现有的L2 BTB表项当中,还是,在L2 BTB中新创建一个BTB表项。这就要求每笔突发BTB到L2 BTB的数据搬移,都要查找L2 BTB表项,如果命中,并且通过比较该分支指令相对Cache Line的偏移地址,如果确定,该分支指令可以替换入L2BTB,那么,将突发BTB中对应的分支指令直接更新到L2 BTB中已有的表项中;如果未命中,则需要选定L2 BTB的LRU方式用来存放突发BTB中的分支指令。

[0067] 在此需要指出的是,在其他的实施例中,突发BTB中的迁移的分支指令,也可以更新到L1 BTB中,关于此点将在下文结合图7进行描述。

[0068] 此外,对于常规BTB中包括L1 BTB与L2 BTB的两级缓存连接方式,L1 BTB与L2 BTB之间也存在指令信息更新通道用来对L1 BTB与L2 BTB中的数据进行交换,可以参照相关技术中两级BTB的信息数据交换实现方式,在此不再详述。

[0069] 根据本公开的实施例,由于针对突发分支指令专门设置了突发BTB,由此提供了突发BTB与诸如L2 BTB的信息传输通道,以进行指令的训练更新过程。

[0070] 根据本公开的一些实施例,在分支预测器的预测过程中,通用分支目标缓存区配置成:获得预测分支指令;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的一级缓存得到第一预测结果,并将第一预测结果发送到二级缓存中;以及,利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的二级缓存并与第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;以及,突发分支目标缓存区配置成:利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,得到第三预测结果,其中,分支预测器还包括判决器,配置成:基于第一预测结果、第二预测结果和第三预测结果确定最终的分支预测结果。

[0071] 根据本公开的一些实施例,突发BTB作为与L2 BTB同级的缓存进行预测,即作为第2级预测部件进行训练过程。

[0072] 接着如图4所示,在预测路径上,对于接收到的预测分支指令,首先利用指令地址查找L1 BTB,具体的查找可以参照相关技术中关于两级缓存的分支预测实现步骤,在不作详细描述。接着,将L1 BTB的查找结果,随着分支预测流水线发送到第2级预测部件中,即,发送到L2 BTB以及突发BTB中。

[0073] 对于L2 BTB,经过L1 BTB的第1级预测之后,可以接着利用指令地址查找L2 BTB,

具体的查找可以参照相关技术中关于两级缓存的分支预测实现步骤,在不作详细描述。然后,将L2 BTB的预测结果与L1 BTB的预测结果进行对比,得到L2 BTB的预测结果。

[0074] 进一步地,根据本公开的实施例,对于增加的突发BTB,在经过第1级预测(即,L1 BTB)之后,可以利用指令地址查找突发BTB。从而,根据L2 BTB、突发BTB的查找结果,同时,结合L1 BTB的预测结果,得到最终的分支预测结果。

[0075] 在本公开中,突发条件限制了分支指令的类型为绝对跳转指令,因此,在突发BTB层级不存在分支指令跳转方向的预测装置。在突发条件为限制分支指令的类型的情况下,可以默认突发BTB中的分支指令默认为跳转状态。

[0076] 以下表1列出了如图4所示的分支预测器的预测结果对照表。

[0077] 表1

[0078]	第 1 级	第 2 级		2 级预测结果分析	最终预测结果
	L1 BTB	L2 BTB	突发 BTB		
	T	T	T	$\text{offset}_1 \leq (\text{offset}_2; \text{offset}_3)$	L1 BTB
				$\text{offset}_2 \leq (\text{offset}_1; \text{offset}_3)$	L2 BTB
				$\text{offset}_3 \leq (\text{offset}_1; \text{offset}_2)$	突发 BTB
[0079]	T	NT	T	$\text{offset}_1 \leq \text{offset}_3$	L1 BTB
	T	NT	T	$\text{offset}_3 \leq \text{offset}_1$	突发 BTB
	NT	T	T	$\text{offset}_2 \leq \text{offset}_3$	L2 BTB
				$\text{offset}_3 \leq \text{offset}_2$	突发 BTB
	NT	NT	T	NONE	突发 BTB

[0080] 在以上表1中,offset_1表示命中L1 BTB的第一条分支指令相对于其所在Cache Line的偏移地址;offset_2表示命中L2 BTB的第一条分支指令相对于其所在Cache Line的偏移地址;offset_3表示命中突发BTB中第一条分支指令相对于其所在Cache Line的偏移地址。

[0081] 以表1中的第一行结果为例进行说明,其中T表示分支指令命中相应的BTB,此外NT表示未命中的情形。例如,对于2级预测结果分析中的: $\text{offset}_1 \leq (\text{offset}_2; \text{offset}_3)$,表示分支指令地址命中L1 BTB、L2 BTB以及突发BTB,从而分别得到偏移地址offset_1、offset_2、offset_3,并且 $\text{offset}_1 \leq (\text{offset}_2; \text{offset}_3)$,这表示 $\text{offset}_1 \leq \text{offset}_2$,并且, $\text{offset}_1 \leq \text{offset}_3$ 。在这种情形下,将L1 BTB的预测结果作为最终的分支预测结果。又例如,对于 $\text{offset}_2 \leq (\text{offset}_1; \text{offset}_3)$ 的情形,这表示 $\text{offset}_2 \leq \text{offset}_1$,并且, $\text{offset}_2 \leq \text{offset}_3$,在这种情形下,将L2 BTB的预测结果作为最终的分支预测结果。作为一种实现方式,可以由图4中所示出的判决器来进行以上结合表1描述的各级BTB

分支预测结果的判断过程,并得到分支预测器的最终的分支预测结果。

[0082] 按照诸如以上表1的示例预测过程,对于根据本公开实施例的其中包括突发BTB的分支预测器,能够将突发BTB作为二级缓存来进行分支预测过程,由此实现突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测的过程。可以理解的是,在根据本公开的实施例中,提出将满足突发条件的突发分支指令与常规分支指令分开存储,既能够保证常规BTB的训练以及预测过程,又使得这部分突发分支指令的信息能够参与到分支预测过程中,并且在训练过程中,突发BTB中的指令还可以依据迁移条件被迁移至诸如L2 BTB中,实现指令迁移更新。

[0083] 根据本公开的一些实施例,分支预测器还可以包括突发过滤器,突发过滤器作为功耗控制部件可以位于一级缓存与突发分支目标缓存区之间并配置成:在未命中一级缓存的情况下,在利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区之前,确定指令地址是否命中突发过滤器;在确定命中的情况下,使得突发分支目标缓存区利用预测分支指令的指令地址进行查找。作为示例,可以确定指令地址是否命中突发过滤器中存储的突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息,例如,该索引信息可以为该分支指令的高位,从而减少非必要的对突发分支目标缓存区的访问。

[0084] 根据本公开的一些实施例,在该查找命中突发分支目标缓存区的情况下,利用突发分支目标缓存区的结果作为分支预测结果,以及在突发分支目标缓存区中的分支指令出现频率大于或等于第二预设次数时,将该分支指令从突发分支目标缓存区删除,并迁移该分支指令到通用分支目标缓存区中的二级缓存中;以及在该查找未命中突发分支目标缓存区的情况下,则查找通用分支目标缓存区中的二级缓存。如上所述,该第二预设次数可以作为将突发分支目标缓存区中的分支指令迁移到通用分支目标缓存区的迁移条件。

[0085] 图5示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的又一示意图,其中示出了突发过滤器的实现过程。

[0086] 在图4所示出的分支预测器的方案中,将突发BTB作为与L2 BTB同级的分支指令预测部件,完成对分支指令的查找。这种情形中,在基于突发BTB进行预测之前,由于并不了解是否存在突发分支指令,因此,需要同时对L2BTB与突发BTB进行查找,这样将增加额外的功耗。考虑到以上问题,在图4所示的分支预测器的基础上,增加有突发分支指令的预测部件,即图5中示出的突发过滤器。

[0087] 如图5所示,在L1 BTB与突发BTB之间添加突发过滤器(Lookup Filter),只有当指令地址高位命中突发过滤器之后,才会对突发BTB进行查找。该突发过滤器可以被看作为粗粒度的突发BTB,突发BTB针对Cache Line内部的突发分支指令情况,而突发过滤器的每个表项中包含若干Cache line内的突发分支指令情况。具体的,突发过滤器的每个表项包含多少Cache Line可以由硬件进行配置,例如可以设置为16、32、64条Cache Line。例如,被设置为16条Cache Line的情况下,突发过滤器的每个条目包含地址的bit-10到地址高位。同样的,用预测地址的bit-10到高位去命中突发过滤器。

[0088] 图6示出了根据本公开一些实施例的突发过滤器的数据格式示意图。如图6所示,突发过滤器包括16个SET,分别示出为SET-0至SET-15。其中,突发过滤器的表项的数目是与突发BTB的尺寸相匹配的。在图6的示例中,设定突发过滤器包含有16个表项。其中,每个表项包含标签(Tag)和包含的突发分支指令个数(Cold Branch Number)。其中,突发过滤器表

项中的Tag的大小与选择的包含多少Cache Line的突发BTB有关,作为示例,当选择每个突发过滤器表项包含16条Cache Line时,Tag的长度最长。突发BTB中的hit number参数用来标记突发过滤器表项中包含的若干条Cache Line中有多少条突发分支指令。这就要求当对突发BTB进行训练时,需要对突发过滤器表项进行同样的训练,即随着突发BTB的训练过程来更新突发过滤器表项的内容。值得注意的是,对于每个突发分支指令,在突发过滤器表项中的Cold Branch Number+1,尽管,这个突发分支指令可能会被命中多次。当突发BTB中的分支指令被更新到L2 BTB的情形中,对应的突发过滤器表项中的Cold Branch Number-1。当未能命中突发BTB的情况下,将Cold Branch Number-1。当Cold Branch Number!=0时,可以认为该地址段内存在突发分支指令。当Cold Branch Number==0时,该表项将会被设置为可替换状态,将被后续突发过滤器表项所覆盖。

[0089] 通过设置以上突发过滤器,在分支预测器进行了一级预测之后,能够在对突发BTB进行查找之前,首先进行过滤过程,例如,基于突发过滤器中存储的突发分支指令的索引信息,只有当指令地址命中突发过滤器之后,才会对突发BTB进行查找,如果并未命中突发过滤器,则不对突发BTB进行查找。在这种情形下,则只基于L2 BTB进行二级分支预测,而不基于突发BTB进行二级分支预测,这有利于避免每次都对L2 BTB以及突发BTB两者进行二级分支预测过程,从而降低分支预测功耗。

[0090] 在以上结合图4和图5描述的分支预测器中,将突发BTB作为第2级BTB进行预测过程。类似地,该突发BTB也可以作为第1级BTB进行预测。

[0091] 根据本公开一些实施例的分支预测器,其中,突发分支目标缓存区作为与一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。在这些实施例中,对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,满足迁移条件的分支指令的信息被存入通用分支目标缓存区的一级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息。

[0092] 类似地,该迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,分支指令不是绝对跳转指令;或者,分支指令的跳转未跨地址页面。

[0093] 在这些实施例中,分支预测器还可以包括突发过滤器,其中,突发过滤器位于突发分支目标缓存区之前并配置成:在利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区之前,确定指令地址是否命中突发过滤器;在确定命中的情况下,使得突发分支目标缓存区利用预测分支指令的指令地址进行查找。作为示例,可以首先确定指令地址是否命中突发过滤器中存储的突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息,例如,该索引信息可以是该分支指令的高位,从而减少非必要的对突发分支目标缓存区的访问。

[0094] 根据本公开的一些实施例,在该查找命中突发分支目标缓存区的情况下,利用突发分支目标缓存区的结果作为分支预测结果,以及在突发分支目标缓存区中的分支指令出现的频率大于或等于第二预设次数时,将该分支指令从突发分支目标缓存区删除,并迁移该分支指令到通用分支目标缓存区中的一级缓存中;以及在该查找未命中突发分支目标缓存区的情况下,则查找通用分支目标缓存区中的一级缓存。如上所述,该第二预设次数可以作为将突发分支目标缓存区中的分支指令迁移到通用分支目标缓存区的迁移条件。

[0095] 图7示出了根据本公开一些实施例的分支预测器的又一示意图,相比于图5所示的分支预测器,图7中的突发BTB作为第1级BTB进行预测,由此,如图7所示,对于满足迁移条件的指令信息,将从突发BTB被迁移至L1 BTB,其迁移条件以及迁移过程可以参照上文的描

述,在此不再重复。此外,突发过滤器位于突发BTB之前,这是由于突发BTB作为第1级预测部件进行分支预测。相比较地,图5中的突发过滤器位于L1 BTB与突发BTB之间,这是由于该突发BTB作为L1 BTB之后的第2级预测部件进行预测过程。可以理解的是,突发过滤器的具体实现过程可以参照上文的描述,在此不再重复。相比于图5的分支预测器结构,图7所示的分支预测器结构能够较快得到分支预测结果。

[0096] 利用本公开一些实施例提供的分支预测器,通过将突发的分支指令存储在专门设置的突发分支目标缓存区(突发BTB)中,以与非突发的分支指令所在的常规分支目标缓存区(诸如L1 BTB与L2 BTB)区分开,从而能够进行准确的分支预测,进一步提升计算设备的分支预测性能。

[0097] 根据本公开的另一方面,还提供了一种分支预测方法。图8示出了根据本公开一些实施例的分支预测方法的示意性流程图。

[0098] 如图8所示,根据本公开一些实施例的分支预测方法可以包括步骤S101和S102。在步骤S101,获得训练分支指令,并确定训练分支指令是否满足突发条件。接着,在步骤S102,响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,其中,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。可以理解的是,以上步骤S101-S102例如可以是由根据本公开实施例描述的分支预测器中的训练填充过滤器(Fill Filter)所执行的步骤。具体的,该Fill Filter能够在分支预测器的训练过程中,针对训练分支指令进行判断,以确定其是否满足突发条件,并将满足突发条件的突发指令存储在专门设置的突发分支目标缓存区中,以用于与常规的通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。通过这种实现方式,既能利用突发的分支指令的信息进行预测,又能避免突发的分支指令本身对于常规分支预测性能的影响,提高分支预测准确性。

[0099] 根据本公开的一些实施例,突发条件包括以下中的一种或多种:训练分支指令是绝对跳转指令;训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

[0100] 根据本公开的一些实施例,通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

[0101] 根据本公开的一些实施例,该分支预测方法还可以包括:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的二级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0102] 根据本公开的一些实施例,该分支预测方法还可以包括:获得预测分支指令;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的一级缓存得到第一预测结果,并将第一预测结果发送到二级缓存中;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的二级缓存并与第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,得到第三预测结果;以及基于第一预测结果、第二预测结果和第三预测结果确定最终的分支预测结果。

[0103] 根据本公开的一些实施例,该分支预测方法还可以包括:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的一级

缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0104] 根据本公开的一些实施例,迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现频率大于或等于第二预设次数;或者,分支指令不是绝对跳转指令;或者,分支指令的跳转未跨地址页面。

[0105] 根据本公开的一些实施例,该分支预测方法还可以包括:在利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区之前,确定指令地址是否命中突发过滤器,其中,突发过滤器中包括突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息;在确定命中突发过滤器的情况下,利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区。

[0106] 关于根据本公开实施例的分支预测方法中所涉及的步骤的具体实现过程,可以参照以上结合图2-图7描述的根据本公开一些实施例的分支预测器,在此不再重复描述。利用本公开的分支预测方法能够进行类似地分支预测过程并实现相似地技术效果。

[0107] 根据本公开的又一方面,还提供了一种执行分支预测的装置。图9示出了根据本公开实施例的执行分支预测的装置的示意性框图。

[0108] 如图9所示,执行分支预测的装置1000可以包括分支预测单元1010,该分支预测单元1010可以配置成:获得训练分支指令,并确定训练分支指令是否满足突发条件;响应于满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区;响应于不满足突发条件而将训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区,其中,突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测。

[0109] 根据本公开的一些实施例,突发条件包括以下中的一种或多种:训练分支指令是绝对跳转指令;训练分支指令的目标跳转地址跨页面;以及训练分支指令的出现频率小于第一预设次数。

[0110] 根据本公开的一些实施例,通用分支目标缓存区包括两级缓存,分别表示为一级缓存和二级缓存。

[0111] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元1010还可以配置成:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的二级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与二级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0112] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元1010还可以配置成:获得预测分支指令;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的一级缓存得到第一预测结果,并将第一预测结果发送到二级缓存中;利用预测分支指令的指令地址查找通用分支目标缓存区中的二级缓存并与第一预测结果进行比较以得到第二预测结果;利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区,得到第三预测结果;以及基于第一预测结果、第二预测结果和第三预测结果确定最终的分支预测结果。

[0113] 根据本公开的一些实施例,分支预测单元1010还可以配置成:对于突发分支目标缓存区中存储的分支指令,将满足迁移条件的分支指令的信息存入通用分支目标缓存区的一级缓存中,并从突发分支目标缓存区删除满足迁移条件的分支指令的信息,其中,突发分支目标缓存区作为与一级缓存同级的缓存进行分支指令预测过程。

[0114] 根据本公开的一些实施例,迁移条件包括以下中的一种或多种:分支指令的出现

频率大于或等于第二预设次数；或者，分支指令不是绝对跳转指令；或者，分支指令的跳转未跨地址页面。

[0115] 根据本公开的一些实施例，分支预测单元1010还可以配置成：在利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区之前，确定指令地址是否命中突发过滤器，其中，突发过滤器中包括突发分支目标缓存区中的分支指令的索引信息；在确定命中突发过滤器的情况下，利用预测分支指令的指令地址查找突发分支目标缓存区。

[0116] 关于执行分支预测的装置1000执行的步骤的具体实现过程可以参照以上结合附图描述的根据本公开一些实施例的分支预测器或者分支预测方法，在此不再重复描述。

[0117] 根据本公开的又一方面，还提供了一种计算设备。图10示出了根据本公开一些实施例的计算设备的示意性框图。

[0118] 如图10所示，计算设备2000可以包括处理器2010以及存储器2020。根据本公开实施例，存储器2020中存储有计算机可读代码，该计算机可读代码当由处理器2010运行时，可以执行如上所述的分支预测方法。

[0119] 处理器2010可以根据存储在存储器2020中的程序执行各种动作和处理。具体地，处理器2010可以是一种集成电路，具有信号处理能力。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。例如，此处的处理器可以是指具有分支预测功能的CPU，其中例如配置有能够执行根据本公开的一些实施例的分支预测器，以通过将突发的分支指令存储在专门设置的突发分支目标缓存区，以与非突发的分支指令所在的常规分支目标缓存区区分开，能够进行准确的分支预测，从而提升计算设备的计算性能。

[0120] 存储器2020存储有计算机可执行指令代码，该指令代码在被处理器2010执行时用于实现根据本公开实施例的分支预测方法。存储器2020可以是易失性存储器或非易失性存储器，或可包括易失性和非易失性存储器两者。应注意，本文描述的存储器可以是任何适合类型的存储器。作为示例，通过执行存储器2020中的计算机可执行指令代码，诸如CPU的处理器能够实现快速地分支预测。

[0121] 利用本公开实施例提供的分支预测器、分支预测方法、装置和计算设备，通过将满足突发条件的训练分支指令的信息存储在突发分支目标缓存区以及将不满足突发条件的训练分支指令的信息存储在通用分支目标缓存区，并且，利用突发分支目标缓存区和通用分支目标缓存区中存储的信息一起用于进行分支预测，以将一些具有突发性质的分支指令与常规的分支指令分开存储，从而既能利用突发的分支指令的信息进行预测，又能避免突发的分支指令本身对于常规分支预测性能的影响，提高分支预测准确性、提升处理性能。此外，将突发的分支指令与常规的分支指令区分开存储还能够避免常规BTB中的信息被频繁的替换，从而降低系统功耗。

[0122] 本领域技术人员能够理解，本公开所披露的内容可以出现多种变型和改进。例如，以上所描述的各种设备或组件可以通过硬件实现，也可以通过软件、固件、或者三者中的一些或全部的组合实现。

[0123] 此外，虽然本公开对根据本公开的实施例的系统中的某些单元做出了各种引用，然而，任何数量的不同单元可以被使用并运行在客户端和/或服务服务器上。单元仅是说明性的，并且系统和方法的不同方面可以使用不同单元。

[0124] 本公开中使用了流程图用来说明根据本公开的实施例的方法的步骤。应当理解的

是,前面或后面的步骤不一定按照顺序来精确的进行。相反,可以按照倒序或同时处理各种步骤。同时,也可以将其他操作添加到这些过程中。

[0125] 本领域普通技术人员可以理解上述方法中的全部或部分的步骤可通过计算机程序来指令相关硬件完成,程序可以存储于计算机可读存储介质中,如只读存储器、磁盘或光盘等。可选地,上述实施例的全部或部分步骤也可以使用一个或多个集成电路来实现。相应地,上述实施例中的各模块/单元可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能模块的形式实现。本公开并不限制于任何特定形式的硬件和软件的结合。

[0126] 除非另有定义,这里使用的所有术语具有与本公开所属领域的普通技术人员共同理解的含义。还应当理解,诸如在通常字典里定义的那些术语应当被解释为具有与它们在相关技术的上下文中的含义相一致的含义,而不应用理想化或极度形式化的意义来解释,除非这里明确地这样定义。

[0127] 以上是对本公开的说明,而不应被认为是对其的限制。尽管描述了本公开的若干示例性实施例,但本领域技术人员将容易地理解,在不背离本公开的新颖教学和优点的前提下可以对示例性实施例进行许多修改。因此,所有这些修改都意图包含在权利要求书所限定的本公开范围内。应当理解,上面是对本公开的说明,而不应被认为是限于所公开的特定实施例,并且对所公开的实施例以及其他实施例的修改意图包含在所附权利要求书的范围内。本公开由权利要求书及其等效物限定。

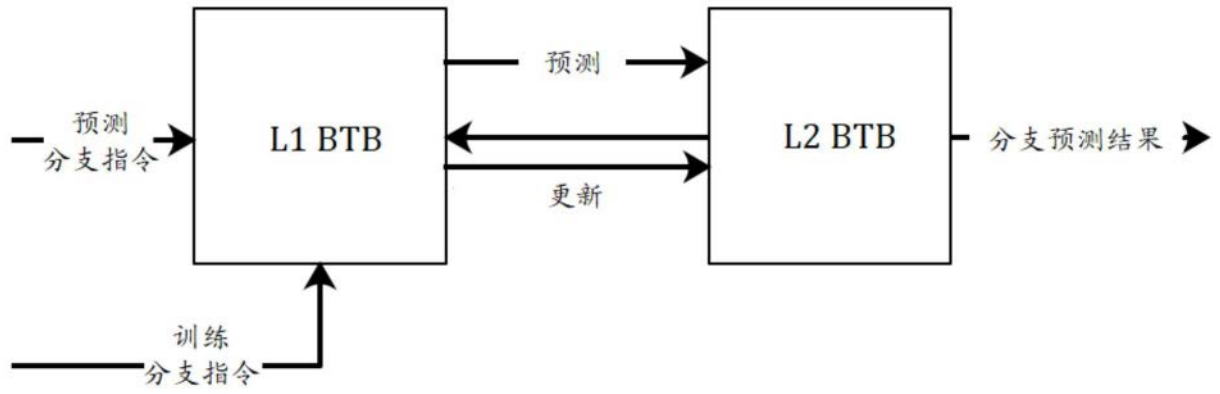


图1

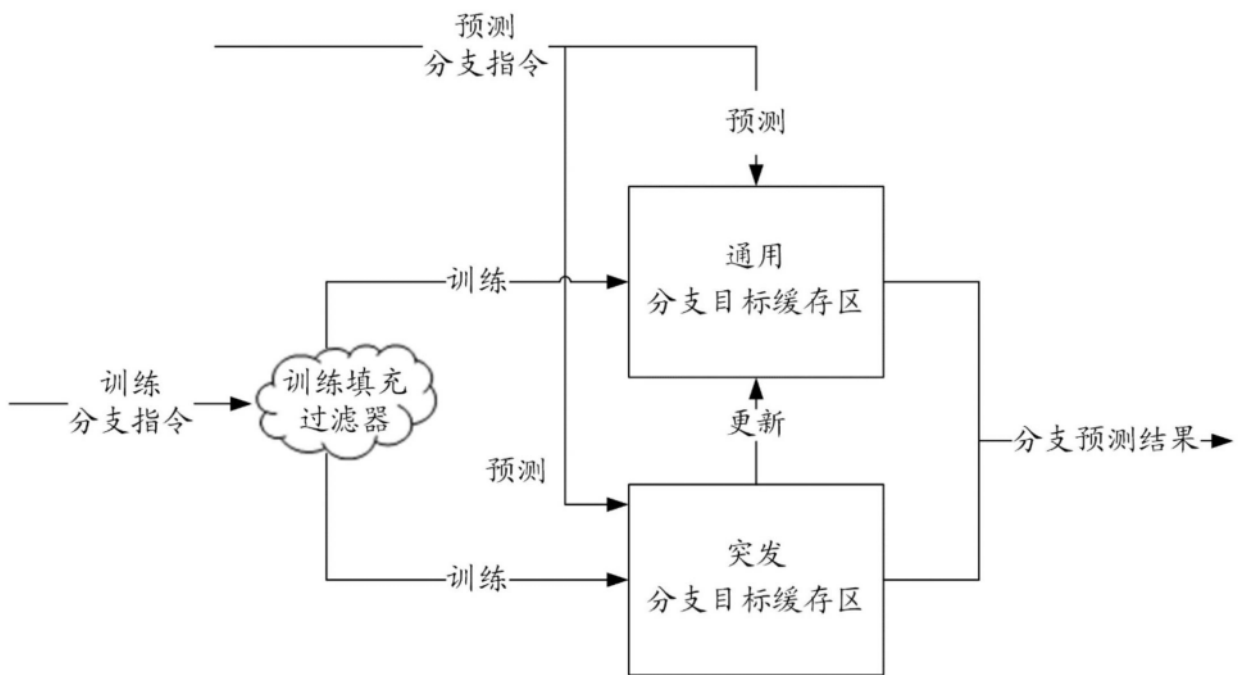


图2

	WAY-0				WAY-1				WAY-2				WAY-3			
SET-0	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-1	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-2	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
.....	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
.....	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-509	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-510	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-511	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count

	WAY-4				WAY-5				WAY-6				WAY-7			
SET-0	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-1	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-2	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
.....	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
.....	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-509	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-510	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count
SET-511	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count	Tag	Branch Target	offset	hit count

图3

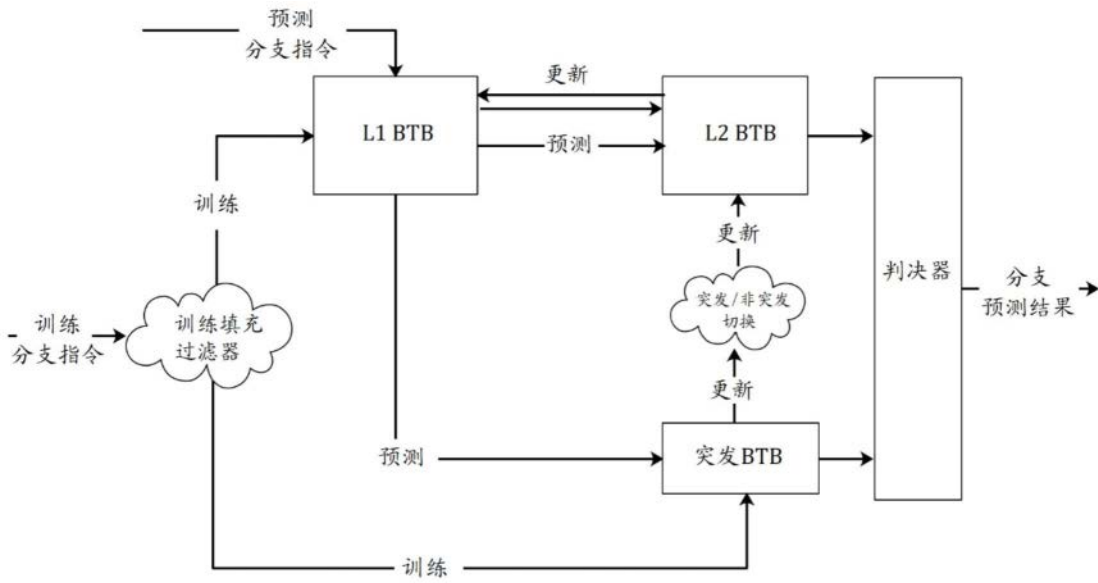


图4

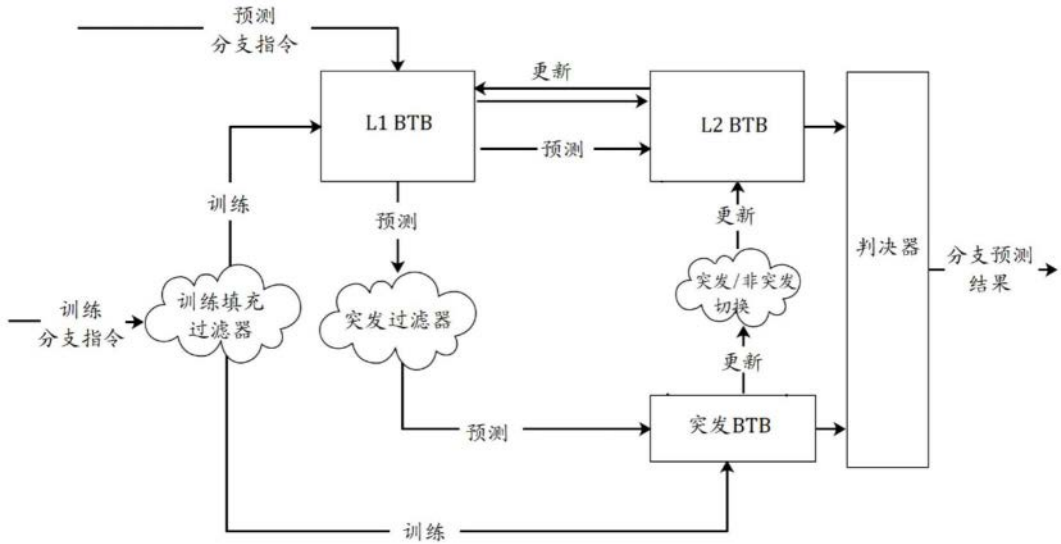


图5

SET-0	Tag	COLD Branch Number
SET-1	Tag	COLD Branch Number
.....
SET-14	Tag	COLD Branch Number
SET-15	Tag	COLD Branch Number

图6

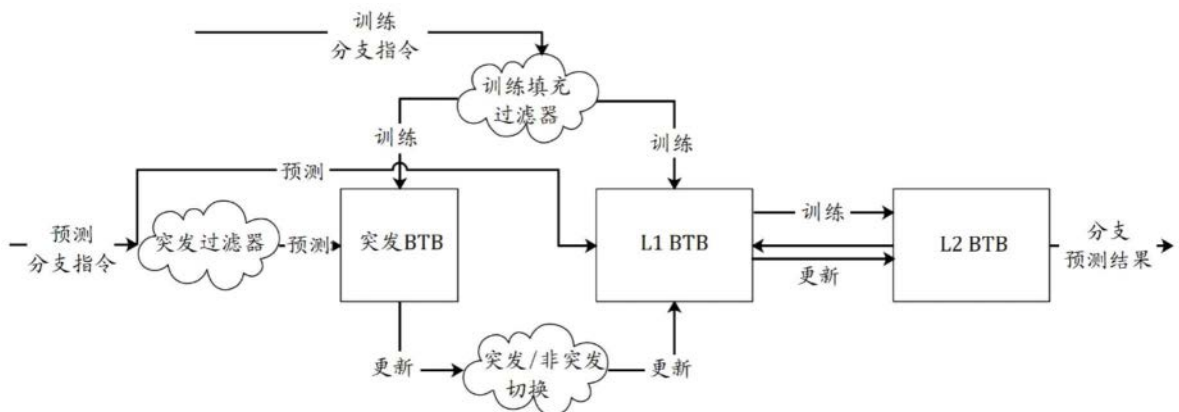


图7

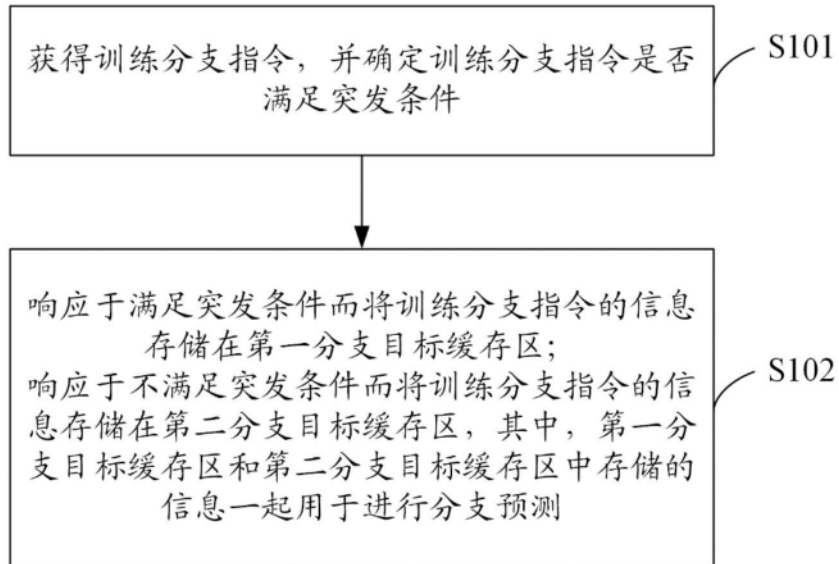


图8



图9



图10