



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108092791 B

(45)授权公告日 2020.06.16

(21)申请号 201611046876.5

H04L 12/911(2013.01)

(22)申请日 2016.11.23

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108092791 A

US 2015188837 A1,2015.07.02,全文。
XIA,Wenfeng 等.A Survey on Software-Defined Networking.《IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS》.IEEE,2014,第17卷(第1期),

(43)申请公布日 2018.05.29

(73)专利权人 华为技术有限公司
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

审查员 常交法

(72)发明人 张帆 陈奕超 张弓

(74)专利代理机构 北京三高永信知识产权代理有限公司 11138
代理人 罗振安

(51)Int.Cl.

H04L 12/24(2006.01)

H04L 12/801(2013.01)

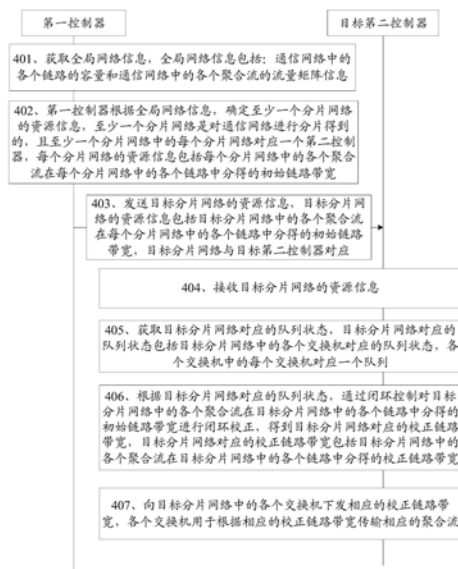
权利要求书7页 说明书26页 附图8页

(54)发明名称

网络控制方法、装置及系统

(57)摘要

本申请公开一种网络控制方法、装置及系统,属于网络技术领域。该方法包括:获取全局网络信息;根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,每个分片网络对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽;向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息,以便于目标第二控制器根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。本发明解决了网络控制效果较差的问题,提高了网络控制效果。



1. 一种网络控制方法,其特征在于,用于通信网络中的第一控制器,所述通信网络中包括所述第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,所述方法包括:

获取全局网络信息,所述全局网络信息包括:所述通信网络中的各个链路的容量和所述通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,所述通信网络中的各个聚合流是对所述通信网络中的所有业务流进行分类处理得到的;

根据所述全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,所述至少一个分片网络是对所述通信网络进行分片得到的,且所述至少一个分片网络中的每个分片网络对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括所述每个分片网络中的各个聚合流在所述每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽;

向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

根据所述全局网络信息,确定所述至少一个分片网络对应的路由策略,每个分片网络对应的路由策略包括所述每个分片网络中的各个聚合流对应的路由策略;

向各个第二控制器发送相应的路由策略。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述全局网络信息还包括:所述通信网络的网络拓扑结构,所述网络拓扑结构用于指示所述至少一个交换机之间的连接关系。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,

所述通信网络中的各个链路的容量为 $\{c_{(u,v)}, \forall (u,v)\}$, u 表示链路 (u,v) 的源节点, v 表示链路 (u,v) 的目的节点, $c_{(u,v)}$ 表示链路 (u,v) 的容量, $\forall (u,v)$ 表示所述通信网络中任意的链路 (u,v) ,

所述通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息为 $\{V^n, \forall n\}$, V^n 表示聚合流 n 的带宽需求, $\forall n$ 表示所述通信网络中任意的聚合流 n ,

所述根据所述全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,包括:

在目标函数取最小值时,根据所述通信网络中的各个链路的容量和所述通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,确定至少一个分片网络的资源信息;

所述目标函数为: $y = \max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$, 且所述目标函数满足第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件;

所述第一约束条件为: $\sum_w f_{(w,d)}^{n*} = V^n, \forall d$ 为聚合流 n 的目的节点;

所述第二约束条件为: $\sum_w f_{(s,w)}^{n*} = V^n, \forall s$ 为聚合流 n 的源节点;

所述第三约束条件为: $\sum_u f_{(u,v)}^{n*} = \sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}, \forall v, n$;

所述第四约束条件为: $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} \leq c_{(u,v)}, \forall (u,v)$;

所述第五约束条件为: $f_{(u,v)}^{n*} \geq 0, \forall (u,v), n$;

其中, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中任意的链路(u,v)中分得的初始链路带宽, $f_{(u,v)}^{n*}/c_{(u,v)}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中任意的链路(u,v)上的初始占用率, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}/c_{(u,v)}$ 表示所述通信网络中所有的聚合流n在所述通信网络中任意的链路(u,v)上的初始占用率之和, $\max_{(u,v)} \sum_n f_{(u,v)}^{n*}/c_{(u,v)}$ 表示所述通信网络中所有的聚合流n在所述通信网络中各个链路(u,v)上的初始占用率之和中的最大值, $\sum_w f_{(w,d)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中以节点d为目的节点的所有链路(w,d)上占用的初始链路带宽之和, $\sum_w f_{(s,w)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中以节点s为源节点的所有链路(s,w)上占用的初始链路带宽之和, $\sum_u f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中的节点v的所有上游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中的节点v的所有下游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述通信网络中所有的聚合流n在所述通信网络中任意的链路(u,v)上的分得的初始链路带宽之和。

5. 一种网络控制方法,其特征在于,用于通信网络中的目标第二控制器,所述通信网络中包括第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,所述至少一个第二控制器包括所述目标第二控制器,所述方法包括:

接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息,所述目标分片网络的资源信息包括所述目标分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽,所述目标分片网络与所述目标第二控制器对应;

获取所述目标分片网络对应的队列状态,所述目标分片网络对应的队列状态包括所述目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,所述各个交换机中的每个交换机对应一个队列;

根据所述目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到所述目标分片网络对应的校正链路带宽,所述目标分片网络对应的校正链路带宽包括所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽;

向所述目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,所述各个交换机用于根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,不同时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽不同,

所述根据所述目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对所述目标分片网络中的

各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到所述目标分片网络对应的校正链路带宽,包括:

根据所述目标分片网络对应的队列状态,预测所述目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态;

根据所述预测网络状态,计算目标时刻所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值;

根据目标时刻所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值,对所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽,目标时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,不同时刻所述目标分片网络的网络状态不同,不同时刻所述目标分片网络对应的队列状态不同,

目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻所述目标分片网络的真实网络状态和目标时刻所述目标分片网络的观测噪声,

所述根据所述目标分片网络对应的队列状态,预测所述目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态,包括:

确定目标时刻所述目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵;

确定目标时刻所述目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵;

根据目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态、所述第一协方差矩阵和所述第二协方差矩阵,计算所述目标分片网络的网络状态,得到目标时刻所述目标分片网络的预测网络状态,所述预测网络状态与所述真实网络状态相关联。

8. 根据权利要求6或7所述的方法,其特征在于,

目标时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽为:

$$\{f_{(u,v)}^n(t) = f_{(u,v)}^{n*} + \Delta f_{(u,v)}^n(t), \forall n, (u, v)\};$$

其中, t 表示所述目标时刻, u 表示链路 (u, v) 的源节点, v 表示链路 (u, v) 的目的节点, $\forall n$ 表示所述目标分片网络中任意的聚合流 n , 所述 $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述目标分片网络中任意的聚合流 n 在所述目标分片网络中任意的链路 (u, v) 中分得的初始链路带宽, $\Delta f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中任意的聚合流 n 在所述目标分片网络中任意的链路 (u, v) 中对应的链路带宽校正值, $f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中任意的聚合流 n 在所述目标分片网络中任意的链路 (u, v) 中分得的校正链路带宽。

9. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,

目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态为:

$$Y_k(t) = Q_k(t - \tau_k) + Z(t);$$

其中, t 表示所述目标时刻, $Q_k(t) = \{Q_i^n(t)\}$, $Z(t) = \{Z_i^n(t)\}$, k 表示所述目标分片网络的编号, $Y_k(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态,且 $Y_k(t)$ 是观测得

到的, $Q_k(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络的真实网络状态, $Q_i^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中的交换机 i 对应的聚合流 n 的队列状态, $Z(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络的观测噪声, $Z_i^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中的交换机 i 对应的聚合流 n 的队列状态的观测噪声, τ_k 表示所述目标第二控制器获取所述目标分片网络对应的队列状态的观测时延。

10. 一种网络控制装置, 其特征在于, 用于通信网络中的第一控制器, 所述通信网络中包括所述第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机, 所述装置包括:

获取模块, 用于获取全局网络信息, 所述全局网络信息包括: 所述通信网络中的各个链路的容量和所述通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息, 所述通信网络中的各个聚合流是对所述通信网络中的所有业务流进行分类处理得到的;

第一确定模块, 用于根据所述全局网络信息, 确定至少一个分片网络的资源信息, 所述至少一个分片网络是对所述通信网络进行分片得到的, 且所述至少一个分片网络中的每个分片网络对应一个第二控制器, 每个分片网络的资源信息包括所述每个分片网络中的各个聚合流在所述每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽;

第一发送模块, 用于向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。

11. 根据权利要求10所述的装置, 其特征在于, 所述装置还包括:

第二确定模块, 用于根据所述全局网络信息, 确定所述至少一个分片网络对应的路由策略, 每个分片网络对应的路由策略包括所述每个分片网络中的各个聚合流对应的路由策略;

第二发送模块, 用于向各个第二控制器发送相应的路由策略。

12. 根据权利要求10所述的装置, 其特征在于,

所述全局网络信息还包括: 所述通信网络的网络拓扑结构, 所述网络拓扑结构用于指示所述至少一个交换机之间的连接关系。

13. 根据权利要求12所述的装置, 其特征在于,

所述通信网络中的各个链路的容量为 $\{c_{(u,v)}, \forall (u,v)\}$, u 表示链路 (u,v) 的源节点, v 表示链路 (u,v) 的目的节点, $c_{(u,v)}$ 表示链路 (u,v) 的容量, $\forall (u,v)$ 表示所述通信网络中任意的链路 (u,v) ,

所述通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息为 $\{V^n, \forall n\}$, V^n 表示聚合流 n 的带宽需求, $\forall n$ 表示所述通信网络中任意的聚合流 n ,

所述第一确定模块, 用于:

在目标函数取最小值时, 根据所述通信网络中的各个链路的容量和所述通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息, 确定至少一个分片网络的资源信息;

所述目标函数为: $y = \max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$, 且所述目标函数满足第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件;

所述第一约束条件为: $\sum_w f_{(w,d)}^{n*} = V^n, \forall d$ 为聚合流n的目的节点;

所述第二约束条件为: $\sum_w f_{(s,w)}^{n*} = V^n, \forall s$ 为聚合流n的源节点;

所述第三约束条件为: $\sum_u f_{(u,v)}^{n*} = \sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}, \forall v, n$;

所述第四约束条件为: $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} \leq c_{(u,v)}, \forall (u,v)$;

所述第五约束条件为: $f_{(u,v)}^{n*} \geq 0, \forall (u,v), n$;

其中, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中任意的链路 (u,v) 中分得的初始链路带宽, $f_{(u,v)}^{n*} / c_{(u,v)}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中任意的链路 (u,v) 上的初始占用率, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} / c_{(u,v)}$ 表示所述通信网络中所有的聚合流n在所述通信网络中任意的链路 (u,v) 上的初始占用率之和, $\max_{(u,v)} \sum_n f_{(u,v)}^{n*} / c_{(u,v)}$ 表示所述通信网络中所有的聚合流n在所述通信网络中各个链路 (u,v) 上的初始占用率之和中的最大值, $\sum_w f_{(w,d)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中以节点d为目的节点的所有链路 (w,d) 上占用的初始链路带宽之和, $\sum_w f_{(s,w)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中以节点s为源节点的所有链路 (s,w) 上占用的初始链路带宽之和, $\sum_u f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中的节点v的所有上游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$ 表示所述通信网络中任意的聚合流n在所述通信网络中的节点v的所有下游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述通信网络中所有的聚合流n在所述通信网络中任意的链路 (u,v) 上的分得的初始链路带宽之和。

14. 一种网络控制装置,其特征在于,用于通信网络中的目标第二控制器,所述通信网络中包括第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,所述至少一个第二控制器包括所述目标第二控制器,所述装置包括:

接收模块,用于接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息,所述目标分片网络的资源信息包括所述目标分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽,所述目标分片网络与所述目标第二控制器对应;

获取模块,用于获取所述目标分片网络对应的队列状态,所述目标分片网络对应的队列状态包括所述目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,所述各个交换机中的每个

交换机对应一个队列；

校正模块,用于根据所述目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到所述目标分片网络对应的校正链路带宽,所述目标分片网络对应的校正链路带宽包括所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽；

下发模块,用于向所述目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,所述各个交换机用于根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

15. 根据权利要求14所述的装置,其特征在于,不同时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽不同,所述校正模块,包括:

预测子模块,用于根据所述目标分片网络对应的队列状态,预测所述目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态；

计算子模块,用于根据所述预测网络状态,计算目标时刻所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值；

校正子模块,用于根据目标时刻所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值,对所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽,目标时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻所述目标分片网络中的各个聚合流在所述目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

16. 根据权利要求15所述的装置,其特征在于,不同时刻所述目标分片网络的网络状态不同,不同时刻所述目标分片网络对应的队列状态不同,

目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻所述目标分片网络的真实网络状态和目标时刻所述目标分片网络的观测噪声,

所述预测子模块,用于:

确定目标时刻所述目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵；

确定目标时刻所述目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵；

根据目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态、所述第一协方差矩阵和所述第二协方差矩阵,计算所述目标分片网络的网络状态,得到目标时刻所述目标分片网络的预测网络状态,所述预测网络状态与所述真实网络状态相关联。

17. 根据权利要求15或16所述的装置,其特征在于,

目标时刻所述目标分片网络对应的校正链路带宽为:

$$\{f_{(u,v)}^n(t) = f_{(u,v)}^{n*} + \Delta f_{(u,v)}^n(t), \forall n, (u, v)\};$$

其中, t 表示所述目标时刻, u 表示链路 (u, v) 的源节点, v 表示链路 (u, v) 的目的节点, $\forall n$ 表示所述目标分片网络中任意的聚合流 n , 所述 $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示所述目标分片网络中任意的聚合流 n 在所述目标分片网络中任意的链路 (u, v) 中分得的初始链路带宽, $\Delta f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中任意的聚合流 n 在所述目标分片网络中任意的链路 (u, v) 中

对应的链路带宽校正, $f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中任意的聚合流 n 在所述目标分片网络中任意的链路 (u, v) 中分得的校正链路带宽。

18. 根据权利要求16所述的装置, 其特征在于,
目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态为:

$$Y_k(t) = Q_k(t - \tau_k) + Z(t);$$

其中, t 表示所述目标时刻, $Q_k(t) = \{Q_i^n(t)\}$, $Z(t) = \{Z_i^n(t)\}$, k 表示所述目标分片网络的编号, $Y_k(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络对应的队列状态, 且 $Y_k(t)$ 是观测得到的, $Q_k(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络的真实网络状态, $Q_i^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中的交换机 i 对应的聚合流 n 的队列状态, $Z(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络的观测噪声, $Z_i^n(t)$ 表示目标时刻所述目标分片网络中的交换机 i 对应的聚合流 n 的队列状态的观测噪声, τ_k 表示所述目标第二控制器获取所述目标分片网络对应的队列状态的观测时延。

19. 一种网络控制系统, 其特征在于, 所述网络控制系统包括: 第一控制器和至少一个第二控制器, 所述至少一个第二控制器包括目标第二控制器, 所述第一控制器包括权利要求10至13任一所述的网络控制装置, 所述目标第二控制器包括权利要求14至18任一所述的网络控制装置。

网络控制方法、装置及系统

技术领域

[0001] 本申请涉及网络技术领域,特别涉及一种网络控制方法、装置及系统。

背景技术

[0002] 随着网络技术的迅猛发展,网络承载的业务(例如,话音业务、视频业务、在线游戏业务等)越来越多,这使得网络中存在性质各异且数量庞大的数据流,然而,网络资源是有限的,对网络进行控制可以将有限的网络资源合理分配给数量庞大的数据流,不仅可以使网络资源得到最大限度的利用,还可以优化业务的性能指标。

[0003] 软件定义网络(英文:Software Defined Network;简称:SDN)是一种将数据面与控制面分离的网络架构,其能够实现网络流量的灵活控制,因此,相关技术中通常采用SDN对网络进行控制,SDN包括SDN控制器和多个交换机,SDN控制器可以收集全局网络信息,根据全局网络信息计算网络资源分配规则,然后根据网络资源分配规则,向各个交换机分发相应的资源决策,各个交换机根据相应的资源决策执行决策动作。其中,全局网络信息例如数据流在网络中的状态,网络资源分配规则如链路带宽规则(数据流在链路上占用的带宽)、链路传输速率规则,各个交换机可以根据控制器分发的链路传输速率传输数据。

[0004] 在实现本申请的过程中,发明人发现相关技术至少存在以下问题:

[0005] 采用SDN对网络进行控制的过程中,SDN控制器需要收集全局网络信息、计算网络资源分配规则并向各个交换机分发资源决策,该过程存在一定的时延,且当网络规模较大时,时延也相应的较长,这些时延会对网络的性能产生影响,因此,网络控制效果较差。

发明内容

[0006] 为了解决网络控制效果较差的问题,本发明实施例提供了一种网络控制方法、装置及系统。所述技术方案如下:

[0007] 第一方面,提供一种网络控制方法,用于通信网络中的第一控制器,通信网络中包括第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,该方法包括:

[0008] 获取全局网络信息,全局网络信息包括:通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,通信网络中的各个聚合流是对通信网络中的所有业务流进行分类处理得到的;

[0009] 根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,至少一个分片网络是对通信网络进行分片得到的,且至少一个分片网络中的每个分片网络对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽;

[0010] 向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。

[0011] 本发明实施例提供的方案,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,并向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息,使各个第二控制器根据相应的分片网络的队列状态,通过闭环控制对相应的分片网络

的资源信息中的各个聚合流在相应的分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使相应的分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对通信网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0012] 可选地,该方法还包括:

[0013] 根据全局网络信息,确定至少一个分片网络对应的路由策略,每个分片网络对应的路由策略包括每个分片网络中的各个聚合流对应的路由策略;

[0014] 向各个第二控制器发送相应的路由策略。

[0015] 本发明实施例提供的方案,第一控制器通过确定至少一个分片网络对应的路由策略并向各个第二控制器发送相应的路由策略,可以实现对网络的全面控制。

[0016] 可选地,全局网络信息还包括:通信网络的网络拓扑结构,网络拓扑结构用于指示至少一个交换机之间的连接关系。

[0017] 可选地,通信网络中的各个链路的容量为 $\{c_{(u,v)}, \forall (u,v)\}$, u 表示链路 (u,v) 的源节点, v 表示链路 (u,v) 的目的节点, $c_{(u,v)}$ 表示链路 (u,v) 的容量, $\forall (u,v)$ 表示通信网络中任意的链路 (u,v) ,

[0018] 通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息为 $\{V^n, \forall n\}$, V^n 表示聚合流 n 的带宽需求, $\forall n$ 表示通信网络中任意的聚合流 n ,

[0019] 根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,包括:

[0020] 在目标函数取最小值时,根据通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,确定至少一个分片网络的资源信息;

[0021] 目标函数为: $y = \max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$, 且目标函数满足第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件;

[0022] 第一约束条件为: $\sum_w f_{(w,d)}^{n*} = V^n$, $\forall d$ 为聚合流 n 的目的节点;

[0023] 第二约束条件为: $\sum_w f_{(s,w)}^{n*} = V^n$, $\forall s$ 为聚合流 n 的源节点;

[0024] 第三约束条件为: $\sum_u f_{(u,v)}^{n*} = \sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$, $\forall v, n$;

[0025] 第四约束条件为: $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} \leq c_{(u,v)}$, $\forall (u,v)$;

[0026] 第五约束条件为: $f_{(u,v)}^{n*} \geq 0$, $\forall (u,v), n$;

[0027] 其中, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中任意的链路 (u,v) 中分得的初始链路带宽, $\frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中任意的链路 $(u,$

v) 上的初始占用率, $\sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)上的初始占用率之和, $\max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中各个链路(u,v)上的初始占用率之和中的最大值, $\sum_w f_{(w,d)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中以节点d为目的节点的所有链路(w,d)上占用的初始链路带宽之和, $\sum_w f_{(s,w)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中以节点s为源节点的所有链路(s,w)上占用的初始链路带宽之和, $\sum_u f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中的节点v的所有上游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中的节点v的所有下游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)上的分得的初始链路带宽之和。

[0028] 第二方面,提供一种网络控制方法,用于通信网络中的目标第二控制器,通信网络中包括第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,至少一个第二控制器包括目标第二控制器,该方法包括:

[0029] 接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息,目标分片网络的资源信息包括目标分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽,目标分片网络与目标第二控制器对应;

[0030] 获取目标分片网络对应的队列状态,目标分片网络对应的队列状态包括目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,各个交换机中的每个交换机对应一个队列;

[0031] 根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标分片网络对应的校正链路带宽,目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽;

[0032] 向目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,各个交换机用于根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

[0033] 本发明实施例提供的方案,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,目标第二控制器根据目标分片网络的队列状态对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对通信网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0034] 可选地,不同时刻目标分片网络对应的校正链路带宽不同,

[0035] 根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标分片网络对应的校正链路带宽,包括:

[0036] 根据目标分片网络对应的队列状态,预测目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态;

[0037] 根据预测网络状态,计算目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正;

[0038] 根据目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正,对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中的分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽,目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0039] 可选地,不同时刻目标分片网络的网络状态不同,不同时刻目标分片网络对应的队列状态不同,

[0040] 目标时刻目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻目标分片网络的真实网络状态和目标时刻目标分片网络的观测噪声,

[0041] 根据目标分片网络对应的队列状态,预测目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态,包括:

[0042] 确定目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵;

[0043] 确定目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵;

[0044] 根据目标时刻目标分片网络对应的队列状态、第一协方差矩阵和第二协方差矩阵,计算目标分片网络的网络状态,得到目标时刻目标分片网络的预测网络状态,预测网络状态与真实网络状态相关联。

[0045] 可选地,目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽为:

$$[0046] \quad \{f_{(u,v)}^n(t) = f_{(u,v)}^{n*} + \Delta f_{(u,v)}^n(t), \forall n, (u, v)\};$$

[0047] 其中,t表示目标时刻,u表示链路(u,v)的源节点,v表示链路(u,v)的目的节点, $\forall n$ 表示目标分片网络中任意的聚合流n, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中分得的初始链路带宽, $\Delta f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中对应的链路带宽校正, $f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中分得的校正链路带宽。

[0048] 可选地,目标时刻目标分片网络对应的队列状态为:

$$[0049] \quad Y_k(t) = Q_k(t - \tau_k) + Z(t);$$

[0050] 其中,t表示目标时刻, $Q_k(t) = \{Q_i^n(t)\}$, $Z(t) = \{Z_i^n(t)\}$,k表示目标分片网络的编号, $Y_k(t)$ 表示目标时刻目标分片网络对应的队列状态,且 $Y_k(t)$ 是观测得到的, $Q_k(t)$ 表示目标时刻目标分片网络的真实网络状态, $Q_i^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中的交换机i对应的聚合流n的队列状态, $Z(t)$ 表示目标时刻目标分片网络的观测噪声, $Z_i^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中的交换机i对应的聚合流n的队列状态的观测噪声, τ_k

表示目标第二控制器获取目标分片网络对应的队列状态的观测时延。

[0051] 第三方面,提供一种网络控制装置,用于通信网络中的第一控制器,通信网络中包括第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,网络控制装置包括至少一个模块,该至少一个模块用于实现上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的网络控制方法。

[0052] 第四方面,提供一种网络控制装置,用于通信网络中的目标第二控制器,通信网络中包括第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,至少一个第二控制器包括目标第二控制器,网络控制装置包括至少一个模块,该至少一个模块用于实现上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的网络控制方法。

[0053] 第五方面,提供一种第一控制器,该第一控制器包括:处理器、发射机、接收机和网络接口,处理器、发射机、接收机和网络接口之间通过总线连接;

[0054] 处理器包括一个或者一个以上处理核心,处理器通过运行软件程序以及单元,从而执行各种功能应用以及数据处理;

[0055] 网络接口可以为多个,该网络接口用于该第一控制器与其它存储设备或者网络设备进行通信;

[0056] 处理器和发射机被配置为协作完成上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的网络控制方法。

[0057] 第六方面,提供一种第二控制器,该第二控制器包括:接收机、处理器、发射机和网络接口,接收机、处理器、发射机和网络接口之间通过总线连接;

[0058] 处理器包括一个或者一个以上处理核心,处理器通过运行软件程序以及单元,从而执行各种功能应用以及数据处理;

[0059] 网络接口可以为多个,该网络接口用于该第二控制器与其它存储设备或者网络设备进行通信;

[0060] 接收机、处理器和发射机被配置为协作完成上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的网络控制方法。

[0061] 第七方面,提供一种网络控制系统,该网络控制系统包括:第一控制器和至少一个第二控制器,至少一个第二控制器包括目标第二控制器,

[0062] 在一种可能的实现方式中,第一控制器包括上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的网络控制装置,目标第二控制器包括上述第四方面或第四方面的任一可选方式所提供的网络控制装置;

[0063] 在另一种可能的实现方式中,第一控制器为上述第五方面所提供的第一控制器,目标第二控制器为上述第六方面所提供的第二控制器。

[0064] 本发明实施例提供的技术方案带来的有益效果是:

[0065] 本发明实施例提供的网络控制方法、装置及系统,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,各个第二控制器根据相应的分片网络的队列状态,通过闭环控制对相应的分片网络中的各个聚合流在相应的分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使相应的分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

附图说明

- [0066] 图1是相关技术提供的一种网络控制的示意图；
- [0067] 图2是相关技术提供的另一种网络控制的示意图；
- [0068] 图3是本发明实施例提供的一种实施环境的示意图；
- [0069] 图4是本发明实施例提供的一种网络控制方法的方法流程图；
- [0070] 图5是本发明实施例提供的一种对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正的方法流程图；
- [0071] 图6是本发明实施例提供的一种根据目标分片网络对应的队列状态预测目标分片网络的网络状态的方法流程图；
- [0072] 图7是本发明实施例提供的一种网络控制的示意图；
- [0073] 图8是本发明实施例提供的一种网络控制装置的框图；
- [0074] 图9是本发明实施例提供的另一种网络控制装置的框图；
- [0075] 图10是本发明实施例提供的一种校正模块的框图；
- [0076] 图11是本发明实施例提供的一种第一控制器的框图；
- [0077] 图12是本发明实施例提供的一种第二控制器的框图。

具体实施方式

[0078] 为了使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对申请作进一步地详细描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请的一部分实施例，而不是全部的实施例。

[0079] 互联网技术在过去几十年迅猛发展，为人类的生产和生活带来了无处不在的便利，而随着互联网技术的发展，越来越多的应用出现在网络中，越来越多的终端用户参与到网络中，这使得网络承载的业务（例如，话音业务、视频业务、在线游戏业务等）也越来越多，而由于各种业务的性质不同，因此，网络中会呈现出性质各异的数据流，且网络中共存的数据流的数量呈现出爆炸式的增长。但是，网络资源是有限的，如何将有限的网络资源合理的分配给性质各异且数量庞大的数据流，使得网络资源得到最大限度的利用，优化各种业务的性能指标，这是急需解决的问题。而这个问题可以看成是大规模流量控制优化问题，它也是目前学术界和工业界的难题。

[0080] 需要注意的是，在传统的基于传输控制协议（英文：Transmission Control Protocol；简称：TCP）的网络架构中，端测可以自适应调整数据流的传输速率（数据流的传输速率也可以理解为数据流在链路上分得的带宽）。然而，基于TCP的端测不是全局最优的控制，其只能保证网络不发生拥塞，无法保证不同性质的数据流的性能指标得到满足和优化。因此，传统基于TCP的网络架构无法在本质上解决上述大规模流量控制优化问题。

[0081] 目前的大规模流控技术主要分为分布式控制技术和集中式控制技术两种，本申请以差异化服务（英文：Differentiated Services；简称：DiffServ）技术为例来介绍分布式控制技术，以SDN控制技术为例来介绍集中式控制技术。

[0082] DiffServ技术：DiffServ技术是一种对数据流进行分类（或者说聚类）得到聚合流，在聚合流级别对数据流进行调度，以实现大规模流量控制优化的技术。DiffServ技术可以将网络中成百上千的数据流分成几大类，不同的大类按照不同的优先级在交换机中进

行调度,实现对不同数据流优先级的控制,进而实现差异化服务的目的。比如,话音业务在某种程度上需要持续的数据流以保证用户终端的通话质量,因此,话音业务的数据流相比于其他业务的数据流需要更高的优先级。在DiffServ技术中,交换机中的队列和聚合流是一一对应的。交换机可以采用灵活的队列策略实现差异化服务,比如交换机可采用绝对优先级队列(英文:rist Priority Queue;简称:FPQ)策略实现差异化服务,在FPQ策略中,高优先级业务的数据流被缓存在高等级队列中,以保证服务质量(英文:Quality of Service;简称:QoS),低优先级业务的数据流被缓存在低等级队列中;再比如,交换机也可采用加权公平排队(英文:Weighted Fair Queue;简称:WFQ)策略实现差异化服务,在WFQ策略中,高等级业务的数据流对应的队列被分配更大的带宽,以保证QoS,低等级业务的数据流对应的队列被分配较低的带宽。

[0083] 以下结合附图以WFQ策略为例对DiffServ技术进行说明。请参考图1,其示出的是相关技术提供的一种WFQ策略控制网络的示意图,参见图1,网络中的业务被分为“金”等级、“银”等级和“铜”等级三个等级,每个等级对应一个队列,这三个等级的优先级如下:金>银>铜。在大规模流量控制中,网络中的业务的数据流到达交换机时,交换机中的分类器可以根据数据流的头(英文:header)信息,将数据流按照不同的优先级分配到不同的队列中,出队采用WFQ策略,且高等级的队列占有更高比例的带宽资源。示例地,图1中3个队列对应的带宽比例可以分别为 $w_1=0.7$, $w_2=0.25$, $w_3=0.05$,因此,“金”等级业务对应的队列被分配给更多的带宽资源,实现了对金等级业务QoS的保障。由于“银”等级业务和“铜”等级业务对QoS的需求没有“金”等级业务高,因此,“银”等级业务和“铜”等级业务被分配的带宽资源相对少。参考图1可以看出,DiffServ技术通过优先队列的方式,解决了大规模流量控制问题且实现了对数据流的差异化服务,但是DiffServ技术的思想是分布式的启发式算法思想,其无法保证通信网络资源利用率的全局最优。

[0084] SDN控制技术:SDN控制技术近年来受到学术界和工业界的广泛关注,是一种热门技术,其是由美国斯坦福大学Clean Slate研究组于2006年提出的一种新型的网络创新架构,图2其示出了SDN控制技术的网络架构图,如图2所示,SDN网络包括SDN控制器和由SDN控制器控制的多个交换机。与传统网络中控制面通过分布式路由协议计算生成数据面的路由表不同,在SDN控制技术中,SDN控制器在控制面上集中式的收集全局网络信息并根据全局网络信息计算网络资源分配规则(比如转发规则),然后通过SDN控制器开放的南向接口将网络资源分配规则下发到交换机中,使得各个交换机获知相应的网络资源的控制决策,从而使得SDN网络中数据包的转发行为可以通过软件进行灵活的控制。为达到这一效果,SDN网络将传统网络中耦合的控制面和数据面分离开,形成独立的基础设施层(即图2中的数据面)和控制层(即图2中的控制面),基础设施层由交换机组成,负责数据包的转发,控制层包括SDN控制器,转发数据包的规则由控制层的SDN控制器生成。

[0085] SDN控制技术通过SDN控制器的全局控制,可以实现诸如网络吞吐量提升,资源优化分配、拥塞控制等功能。但是,SDN控制技术的控制过程需要SDN控制器收集全局网络信息(比如,所有数据流在网络的状态),根据全局网络信息计算网络资源分配规则,并向各个交换机分配控制决策,SDN控制器收集全局网络信息、计算网络资源分配规则以及向各个交换机分配控制决策的过程都会有一定的延迟,而整个SDN网络控制对这些时延是非常敏感的,当网络规模很大时,传输延迟及SDN控制器响应延迟会很长,这些不利的延迟因素会导致控

制决策失效,使得网络资源利用率和数据流的性能得到极大的损失,极大的影响网络的性能,SDN控制技术注于优化网络稳态性能,满足不同数据流的平均带宽需求,但是其忽视了如何将网络有效的牵引到稳态的动态过程,且为了解决流量需求的波动,SDN控制技术采用全局控制方式,整个控制过程会因为网络规模的扩大而导致性能的急剧下降。所以,SDN集中控制无法处理网络的不确定因素,不能鲁邦的适应快速变化的网络扰动因素,SDN全局控制不具有可扩展性,无法解决上述大规模流量控制优化问题。

[0086] 在人体快慢神经架构中,人脑的慢神经分别与人体的全身器官和脑灰质神经相连,大脑通过不断学习外部界变化,用以形成人类的语言、意念、逻辑、情感等能力,人体局部器官的快神经通过该局部器官的反射神经以应对外部的快速环境扰动变化因素,人脑的慢神经和人体局部器官的快神经协同工作,各自负责不同功能,通过灵活的信息交互与协调,来完成复杂的人体活动行为。以人体的手臂控制平衡杆件为例。在人体的手臂控制平衡杆件的事件第一次发生或发生的次数较少时,大脑需要通过学习产生决策动作,具体地,人眼观测到杆件后,在大脑中形成视觉,经过一定延迟后,大脑产生动作,并将该动作下发给手臂,使手臂执行该动作控制杆件平衡,此外,大脑慢神经通过辅助视觉系统将该动作存储在小脑中。当该人体的手臂控制平衡杆件的事件再次发生时,不需要经过大脑学习就可以使手臂执行相应的动作控制杆件平衡,具体地,人眼观测到杆件后,在辅助视觉系统中形成视觉,然后传输到小脑,小脑根据该视觉,将相应的动作传输给手臂,由手臂的快神经控制手臂相应的动作。根据以上可知,当人体的手臂中持有杆件的事件再次发生时,无需经过大脑,因而可以减小延迟,快速使手臂执行相应的动作。

[0087] 为了解决大规模流量控制优化问题,本发明实施例受人体快慢神经架构启发,提出了一种网络控制方法、装置及系统,且涉及一种快慢控制相结合的网络架构,该网络架构中包括慢控制器(相当于人体快慢神经架构中的慢神经)和至少一个快控制器(相当于人体快慢神经架构中的快神经)。其中,慢控制器在大时间尺度内通过复杂计算对网络进行优化,负责感知网络中变化较慢的因素(比如网络拓扑,链路带宽,聚合流的均值、方差等流量统计特征等),快控制器在小时间尺度内通过简单运算对网络进行优化,负责感知网络中变化较快的因素(比如链路状态、队列状态等),以对抗实时流量的扰动变化。在本发明实施例提出的网络控制方法、装置及系统中,慢控制器掌握全局网络信息,根据全局网络信息在聚合流级别对网络进行优化,该优化可以实现网络资源利用率的最大化,且可以在聚合流级别保证各个业务的带宽需求和QoS需求,快控制器在慢控制器的基于聚合流的优化结果下,通过局部优化,在数据流级别(或粒度)对网络进行进一步优化配置,以响应时变的业务流特征,本发明实施例通过这种快慢控制相结合的方式,解决大规模流量控制优化问题。本发明实施例提供的网络控制方法、装置及系统的相关描述可以参考下述实施例。

[0088] 请参考图3,其示出了本发明实施例提供的一种实施环境的结构示意图,参见图3,该实施环境包括:第一控制器、至少一个第二控制器和至少一个交换机,第一控制器可以为慢控制器,至少一个第二控制器可以包括第二控制器1、第二控制器2和第二控制器3,每个第二控制器可以为快控制器,至少一个交换机中任意两个交换机相连形成链路。其中,第一控制器也可以称为总控制器,第二控制器也可以称为分片控制器。

[0089] 第一控制器可以获取全局网络信息,根据全局网络信息对通信网络进行分片,得到至少一个分片网络,每个分片网络中可以包括至少一个交换机,且每个分片网络对应一

个第二控制器。第一控制器对通信网络进行分片后,可以确定至少一个分片网络的资源信息,并向各个分片网络对应的第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。其中,每个分片网络的资源信息可以包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽。

[0090] 目标第二控制器为与目标分片网络对应的第二控制器,目标分片网络为至少一个分片网络中的任一分片网络,目标第二控制器接收到目标分片网络的资源信息后,可以获取目标分片网络对应的队列状态,然后根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标分片网络对应的校正链路带宽,并向目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,使各个交换机根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。其中,目标分片网络对应的队列状态包括目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,各个交换机中的每个交换机对应一个队列。

[0091] 请参考图4,其示出了本发明实施例提供的一种网络控制方法的方法流程图。参见图4,该网络控制方法包括:

[0092] 步骤401、第一控制器获取全局网络信息,全局网络信息包括:通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息。

[0093] 其中,通信网络中的各个聚合流是第一控制器对通信网络中的所有业务流进行分类处理得到的,业务流可以是业务的数据流、视频流、语音流等,本发明实施例对此不作限定。

[0094] 第一控制器可以获取全局网络信息,全局网络信息可以包括:通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,且该全局网络信息还可以包括通信网络的网络拓扑结构,该通信网络的网络拓扑结构用于指示通信网络中的各个交换机(或者称为节点,通信网络中的每个节点上具有一个交换机)之间的连接关系,通信网络中的各个链路的容量可以为 $\{c_{(u,v)}, \forall (u,v)\}$, u 表示链路 (u,v) 的源节点(或者源交换机), v 表示链路 (u,v) 的目的节点(或者目的交换机), $C_{(u,v)}$ 表示链路 (u,v) 的容量, $\forall (u,v)$ 表示通信网络中任意的链路 (u,v) , 通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息可以为 $\{V^n, \forall n\}$, V^n 表示聚合流 n 的带宽需求, $\forall n$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 。

[0095] 可选地,通信网络中的各个交换机可以向第一控制器上报网络信息,第一控制器接收各个交换机上报的网络信息,并对各个交换机上报的网络信息进行收集,得到全局网络信息。或者,第一控制器可以主动向各个交换机获取网络信息,并收集从所有的交换机获取的网络信息,得到全局网络信息。或者,第一控制器还可以采用其他方式获取全局网络信息,本发明实施例对此不作限定。

[0096] 步骤402、第一控制器根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,至少一个分片网络是对通信网络进行分片得到的,且至少一个分片网络中的每个分片网络对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽。

[0097] 可选地,第一控制器可以先根据全局网络信息对通信网络进行分片,得到至少一

个分片网络,然后根据全局网络信息确定至少一个分片网络的资源信息。其中,至少一个分片网络中的每个分片网络可以包括至少一个交换机,且该至少一个分片网络中的每个分片网络可以对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽。示例地,以图3为例,第一控制器对通信网络进行分片,可以得到分片网络1、分片网络2和分片网络3,分片网络1、分片网络2和分片网络3中的每个分片网络中包括5个交换机,且分片网络1与第二控制器1对应,分片网络2与第二控制器2对应,分片网络3与第二控制器3对应。

[0098] 可选地,第一控制器可以通过计算流量工程(英文:Traffic Engineering;简称:TE)问题确定至少一个分片网络的资源信息,每个分片网络的资源信息可以为:

$\{f_{(u,v)}^{n*}, \forall n, (u, v)\}$, 表示每个分片网络中任意的聚合流n在该每个分片网络中任意的链路(u,v)中分得的初始链路带宽。

[0099] 在本发明实施例中,第一控制器根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息可以包括:第一控制器在目标函数取最小值时,根据通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,确定至少一个分片网络的资源信息。其中,目标函数满足第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件,目标函数、第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件分别如下:

[0100] 目标函数为: $y = \max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$;

[0101] 第一约束条件为: $\sum_w f_{(w,d)}^{n*} = V^n$, $\forall d$ 为聚合流n的目的节点;

[0102] 第二约束条件为: $\sum_w f_{(s,w)}^{n*} = V^n$, $\forall s$ 为聚合流n的源节点;

[0103] 第三约束条件为: $\sum_u f_{(u,v)}^{n*} = \sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$, $\forall v, n$;

[0104] 第四约束条件为: $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} \leq c_{(u,v)}$, $\forall (u, v)$;

[0105] 第五约束条件为: $f_{(u,v)}^{n*} \geq 0$, $\forall (u, v), n$;

[0106] 其中,在上述目标函数、第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件中, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,

v)中分得的初始链路带宽, $\frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中任意的

链路(u,v)上的初始占用率, $\sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中任意

的链路 (u, v) 上的初始占用率之和, $\max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$ 表示通信网络中所有的聚合流 n 在通信网络中各个链路 (u, v) 上的初始占用率之和中的最大值, $\sum_w f_{(w,d)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中以节点 d 为目的节点的所有链路 (w, d) 上占用的初始链路带宽之和, $\sum_w f_{(s,w)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中以节点 s 为源节点的所有链路 (s, w) 上占用的初始链路带宽之和, $\sum_u f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中的节点 v 的所有上游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_u f_{(v,w)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中的节点 v 的所有下游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中所有的聚合流 n 在通信网络中任意的链路 (u, v) 上的分得的初始链路带宽之和。

[0107] 需要说明的是,在上述第一至第五约束条件中,第一至第三约束条为流量均衡约束条件,即,对于每个聚合流,在各个节点,服务速度(或者链路带宽)与聚合流到达速度(或者链路带宽)匹配;第四约束条件为链路带宽约束,即,通信网络中所有的聚合流 n 在通信网络中任意的链路 (u, v) 上的分得的初始链路带宽之和要低于该任意的链路 (u, v) 的容量;第五约束条件为非负性约束条件,即,通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中任意的链路 (u, v) 中分得的初始链路带宽大于或等于0。

[0108] 第一控制器可以将全局网络信息作为输入,在上述目标函数取最小值时,求解上述目标函数中的 $f_{(u,v)}^{n*}$, 得到通信网络中任意的聚合流 n 在通信网络中任意的链路 (u, v) 中分得的初始链路带宽,进而得到分片网络的资源信息。

[0109] 步骤403、第一控制器向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。

[0110] 第一控制器确定至少一个分片网络的资源信息后,可以向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。示例地,以图3为例,第一控制器向第二控制器1发送分片网络1的资源信息,向第二控制器2发送分片网络2的资源信息,向第二控制器3发送分片网络3的资源信息。第一控制器向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息的过程可以参考相关技术,本发明实施例在此不再赘述。

[0111] 需要说明的是,实际应用中,会不断有新的交换机加入网络形成新的链路,为了对网络进行全面控制,第一控制器获取全局网络信息后,还可以根据全局网络信息,确定至少一个分片网络对应的路由策略,然后向各个第二控制器发送相应的路由策略。其中,每个分片网络对应的路由策略包括每个分片网络中的各个聚合流对应的路由策略。可选地,第一控制器可以在确定至少一个分片网络的资源信息的同时,确定至少一个分片网络对应的路由策略,也即是,在上述步骤402中,第一控制器计算TE问题的同时,可以计算得到至少一个分片网络对应的路由策略,具体地,第一控制器通过求解目标函数,得到至少一个分片网络对应的路由策略。

[0112] 步骤404、目标第二控制器接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息。

[0113] 第一控制器向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息时,各个第二控制

器可以接收相应的分片网络的资源信息。在本发明实施例中,目标分片网络可以为第一控制器对通信网络进行分片得到的至少一个分片网络中的任一分片网络,目标第二控制器为与目标分片网络对应的第二控制器。目标第二控制器可以接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息,目标分片网络的资源信息可以包括目标分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽。示例地,以图3为例,目标分片网络可以为分片网络1、分片网络2或分片网络3,目标第二控制器可以为第二控制器1、第二控制器2或第二控制器3,本发明实施例以目标分片网络为分片网络1,目标第二控制器为第二控制器1为例进行说明。第二控制器1可以接收第一控制器发送的分片网络1的资源信息。在本发明实施例中,目标第二控制器接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息的过程可以参考相关技术,本发明实施例在此不再赘述。

[0114] 步骤405、目标第二控制器获取目标分片网络对应的队列状态,目标分片网络对应的队列状态包括目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,各个交换机中的每个交换机对应一个队列。

[0115] 目标第二控制器接收目标分片网络的资源信息后,可以获取目标分片网络对应的队列状态,目标分片网络对应的队列状态包括目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,该各个交换机中的每个交换机对应一个队列,每个队列可以用于缓存一个聚合流。

[0116] 示例地,以图3为例,第二控制器1获取分片网络1对应的队列状态,假设分片网络1中包括交换机11、交换机12、交换机13、交换机14和交换机15,则第二控制器1获取到的分片网络1对应的队列状态包括:交换机11对应的队列的队列状态,交换机12对应的队列的队列状态,交换机13对应的队列的队列状态,交换机14对应的队列的队列状态和交换机15对应的队列的队列状态。

[0117] 在本发明实施例中,各个分片网络中的交换机可以向相应的第二控制器上报网络信息,该网络信息中包括各个分片网络中的交换机对应的队列状态,相应的第二控制器可以通过接收相应的分片网络中的交换机上报网络信息,实现对相应的分片网络对应的队列状态的获取。可选地,交换机11、交换机12、交换机13、交换机14和交换机15都向第二控制器1上报网络信息,第二控制器1通过接收交换机11、交换机12、交换机13、交换机14和交换机15上报的网络信息实现对分片网络1对应的队列状态的获取。在本发明实施例中,目标第二控制器获取到的目标分片网络对应的队列状态具体可以是目标分片网络对应的队列状态的观测值,从而,目标第二控制器获取到的目标分片网络对应的队列状态也可以称为目标分片网络对应的观测队列状态,本发明实施例对此不作限定。

[0118] 可选地,在本发明实施例中,不同时刻目标分片网络的网络状态不同,不同时刻目标分片网络对应的队列状态不同,因此,目标第二控制器可以实时获取目标分片网络对应的队列状态,目标时刻目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻目标分片网络的真实网络状态和目标时刻目标分片网络的观测噪声,具体地,目标时刻目标分片网络对应的队列状态可以为:

$$[0119] \quad Y_k(t) = Q_k(t - \tau_k) + Z(t);$$

[0120] 其中, t 表示目标时刻, $Q_k(t) = \{Q_i^n(t)\}$, $Z(t) = \{Z_i^n(t)\}$, k 表示目标分片网络的编号(在本发明实施例中 $k=1$), $Y_k(t)$ 表示目标时刻目标分片网络对应的队列状态,

且 $Y_k(t)$ 是观测得到的,因此, $Y_k(t)$ 可以称为是目标时刻目标分片网络对应的队列状态的观测值,或者, $Y_k(t)$ 还可以称为是目标时刻目标分片网络对应的观测队列状态, $Q_k(t)$ 表示目标时刻目标分片网络的真实网络状态, $Q_i^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中的交换机 i (例如交换机11)对应的聚合流 n 的队列状态, $Z(t)$ 表示目标时刻目标分片网络的观测噪声, $Z_i^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中的交换机 i 对应的聚合流 n 的队列状态的观测噪声, τ_k 表示目标第二控制器获取目标分片网络对应的队列状态的观测时延。

[0121] 需要说明的是,由于目标第二控制器获取目标分片网络对应的队列状态的过程需要耗费一定的时间,因此,目标第二控制器开始获取目标分片网络对应的队列状态的时刻与获取到目标分片网络对应的队列状态的时刻之间存在时间差,所以,目标第二控制器实时获取目标分片网络对应的队列状态也可以理解为目标第二控制器周期性获取目标分片网络对应的队列状态,在本发明实施例中,上述目标时刻可以认为是在当前周期内的任一时刻,当前周期为步骤405中目标第二控制器获取目标分片网络对应的队列状态的周期,目标时刻可以是当前周期内目标第二控制器获取到目标分片网络对应的队列状态的时刻,也可以是当前周期内目标第二控制器获取到目标分片网络对应的队列状态之后的时刻,本发明实施例对此不作限定。

[0122] 步骤406、目标第二控制器根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标分片网络对应的校正链路带宽,目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0123] 目标第二控制器获取到目标分片网络对应的队列状态之后,可以根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标分片网络对应的校正链路带宽。在本发明实施例中,不同时刻目标分片网络对应的校正链路带宽不同,因此,在每个时刻,目标第二控制器都需要通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正。

[0124] 示例地,请参考图5,其示出了本发明实施例提供的一种目标第二控制器对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正的方法流程图,参见图5,该方法包括:

[0125] 子步骤4061、根据目标分片网络对应的队列状态,预测目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态。

[0126] 目标第二控制器可以根据目标分片网络对应的队列状态,预测目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态。比如,第二控制器1根据分片网络1对应的队列状态,预测分片网络1的网络状态。

[0127] 在本发明实施例中,如步骤405所述,不同时刻目标分片网络的网络状态不同,不同时刻目标分片网络对应的队列状态不同,因此,目标第二控制器可以在每个时刻预测目标分片网络的网络状态。其中,目标时刻目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻目标分片网络的真实网络状态和目标时刻目标分片网络的观测噪声。

[0128] 示例地,请参考图6,其示出了本发明实施例提供的一种目标第二控制器预测目标

分片网络的网络状态的方法流程图,参见图6,该方法包括:

[0129] 子步骤40611、确定目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵。

[0130] 根据上述描述可知,目标时刻目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻目标分片网络的真实网络状态和目标时刻目标分片网络的观测噪声,因此,目标第二控制器可以确定目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵,该第一协方差矩阵可以如下所示:

$$[0131] \quad Cov_k(Z) = \begin{pmatrix} Var(z_1) & Cov(z_1, z_2) & \cdots & Cov(z_1, z_i) \\ Cov(z_1, z_2) & Var(z_2) & \cdots & Cov(z_1, z_{i-1}) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Cov(z_1, z_i) & Cov(z_1, z_{i-1}) & \ddots & Var(z_i) \end{pmatrix}$$

[0132] 其中,k表示目标分片网络的编号,Cov_k(Z)表示目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵,Var(z_i)表示目标分片网络中的交换机i对应的队列的队列状态的观测噪声的方差,Cov(z₁,z_i)表示目标分片网络中的交换机1对应的队列的队列状态的观测噪声与交换机i对应的队列的队列状态的观测噪声的协方差。

[0133] 子步骤40612、确定目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵。

[0134] 目标第二控制器可以确定目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵,该第二协方差矩阵可以如下所示:

$$[0135] \quad Cov_k(V) = \begin{pmatrix} Var(V^1) & Cov(V^1, V^2) & \cdots & Cov(V^1, V^i) \\ Cov(V^1, V^2) & Var(V^2) & \cdots & Cov(V^1, V^{i-1}) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Cov(V^1, V^i) & Cov(V^1, V^{i-1}) & \ddots & Var(V^i) \end{pmatrix}$$

[0136] 其中,k表示目标分片网络的编号,Cov_k(V)表示目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵,Var(Vⁱ)表示目标分片网络中的交换机i对应的队列的带宽需求的方差,Cov(V¹,Vⁱ)表示目标分片网络中的交换机1对应的队列的带宽需求与交换机i对应的队列的带宽需求的协方差。

[0137] 需要说明的是,上述步骤40611中确定第一协方差矩阵的过程以及步骤40612中确定第二协方差矩阵的过程均可以参考相关技术,本发明实施例在此不再赘述。

[0138] 子步骤40613、根据目标时刻目标分片网络对应的队列状态、第一协方差矩阵和第二协方差矩阵,计算目标分片网络的网络状态,得到目标时刻目标分片网络的预测网络状态,预测网络状态与真实网络状态相关联。

[0139] 目标第二控制器确定目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵和目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵之后,可以根据目标时刻目标分片网络对应的队列状态、第一协方差矩阵和第二协方差矩阵,计算目标分片网络的网络状态,得到目标时刻目标分片网络的预测网络状态,该目标时刻目标分片网络的预测网络状态与目标时刻目标分片网络的真实网络状态相关联。

[0140] 子步骤4062、根据预测网络状态,计算目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正。

[0141] 目标第二控制器预测到目标分片网络的网络状态后,可以根据目标分片网络的预测网络状态,计算目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值。

[0142] 在本发明实施例中,目标第二控制器可以借助卡尔曼滤波控制思想计算目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值。具体计算过程如下:

[0143] 在卡尔曼滤波控制思想中,网络动态变化方程:

$$[0144] \quad Q_v^n(t+1) = \begin{cases} Q_v^n(t) - \sum_{m \in k(n)} \sum_{u' \in DL(v)} \Delta f_{(v,u')}^m(t) + \sum_{m \in k(n)} \sum_{u \in UL(v)} \Delta f_{(u,v)}^m(t), & \text{网络内节点} \\ Q_v^n(t) - \sum_{m \in k(n)} \sum_{u' \in DL(v)} \Delta f_{(v,u')}^m(t) + \sum_{m \in k(n)} \Delta V^m(t), & \text{网络边缘节点} \end{cases}$$

[0145] 其中,在上述网络动态变化方程中, $Q_v^n(t)$ 表示t时刻交换机v内缓存的聚合流n的队列长度,k表示目标分片网络的编号,k(n)表示目标分片网络内的聚合流n所包含的数据流的集合,m表示目标分片网络内的聚合流n中的任意一个数据流,DL(v)表示交换机v的下游链路的终点的集合,u'表示目标分片网络内的交换机v的任意的下游链路的终点, $\Delta f_{(v,u')}^m(t)$ 表示t时刻目标分片网络中的数据流m在目标分片网络中的交换机v的任意的下游链路(v,u')中对应的链路带宽校正值,UL(v)表示交换机v的上游链路的起点的集合,u表示目标分片网络内的交换机v的任意的上游链路的起点, $\Delta f_{(u,v)}^m(t)$ 表示t时刻目标分片网络中的数据流m在目标分片网络中的交换机v的任意的上游链路(u,v)中对应的链路带宽校正值, $\Delta V^m(t)$ 表示t时刻目标分片网络中的数据流m的链路带宽校正值在其均值附近的波动。可以看出,t+1时刻的网络状态(比如, $Q_v^n(t+1)$)与t时刻的网络状态(比如, $Q_v^n(t)$)、t时刻的网络动作(比如 $\Delta f_{(u,v)}^m(t)$)和t时刻的流量变化(比如, $\Delta V^m(t)$)有关。在目标分片网络内,将上述网络动态变化方程整理成向量或矩阵形式,可以如下所示:

$$[0146] \quad Q_k(t+1) = Q_k(t) - B_k \times \Delta F_k(t) + E_k \times \Delta V_k(t)$$

[0147] 其中,如步骤405所示, $Q_k(t) = \{Q_i^n(t)\}$, k表示目标分片网络的编号, $Q_i^n(t)$ 表示t时刻目标分片网络中的交换机i对应的聚合流n的队列状态。其中, $\Delta F_k = \{\Delta f_{(u,v)}^m, \forall m, (u,v)\}$, $\Delta f_{(u,v)}^m$ 表示目标分片网络中任意的数据流m在目标分片网络中任意的链路(u,v)中对应的链路带宽校正值, $\Delta V_k = \{\Delta V^m, \forall m\}$, ΔV^m 表示目标分片网络中任意的数据流m的链路带宽校正值在其均值附近的波动。

[0148] 结合步骤405中的t时刻(目标时刻)目标分片网络对应的队列状态 $Y_k(t) = Q_k(t - \tau_k) + Z(t)$ 可以确定,该子步骤4062中根据预测网络状态,计算目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值的过程可以如下:

$$\begin{aligned}
 \widehat{Q}_k(t+1) &= \widehat{Q}_k(t) - B_k \times \Delta F_k(t) \\
 [0149] \quad &+ P_k \times (P_k + \text{Cov}_k(Z))^{-1} \times \left(Y_k(t) - \widehat{Q}_k(t - \tau_k) - \sum_{t'=t-\tau}^t B_k \times \Delta F_k(t') \right)
 \end{aligned}$$

[0150] 其中, $\widehat{Q}_k(t+1)$ 表示 t+1 时刻目标分片网络对应的预测网络状态, $\widehat{Q}_k(t)$ 表示 t 时刻目标分片网络对应的预测网络状态, $\text{Cov}_k(Z)$ 如上述子步骤 40611 所示, P_k 为渐进估计误差矩阵, 且 P_k 满足如下矩阵方程:

$$[0151] \quad P_k \times (P_k + \text{Cov}_k(Z))^{-1} \times P_k = E_k \text{Cov}_k(V) E_k;$$

[0152] 上述矩阵方程中的 $\text{Cov}_k(V)$ 如上述子步骤 40611 所示, $\Delta F_k(t)$ 可以采用下式计算:

$$[0153] \quad \Delta F_k(t) = -(B_k^T \times P_{kk} \times B_k + \lambda I)^{-1} B_k^T \times P_{kk} \times \widehat{Q}_k(t);$$

[0154] 其中, λ 为网络平滑和拥塞协调参数, 且 $\lambda > 0$, P_{kk} 满足如下矩阵方程:

$$[0155] \quad P_{kk} \times B_k (B_k^T \times P_{kk} \times B_k + \lambda I)^{-1} \times B_k^T \times P_{kk} = I$$

[0156] 根据 $\Delta F_k(t)$ 可得到目标分片网络对应的链路带宽校正值为:

$$[0157] \quad \left\{ \Delta f_{(u,v)}^n(t) = \sum_{m \in k(n)} \Delta f_{(u,v)}^m(t), \forall n, (u, v) \right\}$$

[0158] 其中, t 表示目标时刻, $\Delta f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流 n 在目标分片网络中任意的链路 (u, v) 上对应的链路带宽校正值, $\Delta f_{(u,v)}^m(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流 n 中的数据流 m 在目标分片网络中任意的链路 (u, v) 上对应的链路带宽校正值, $k(n)$ 表示目标分片网络内的聚合流 n 所包含的数据流的集合。

[0159] 子步骤 4063、根据目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值, 对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中的分得的初始链路带宽进行闭环校正, 得到目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽, 目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0160] 目标第二控制器得到目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值后, 可以根据目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值, 对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中的分得的初始链路带宽 (目标时刻分得的初始链路带宽) 进行闭环校正, 得到目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽。其中, 目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0161] 可选地, 目标第二控制器可以将目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值, 与目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中的分得的初始链路带宽之和, 作为目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0162] 在本发明实施例中,目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽为:

$$[0163] \quad \{f_{(u,v)}^n(t) = f_{(u,v)}^{n*} + \Delta f_{(u,v)}^n(t), \forall n, (u, v)\};$$

[0164] 其中,t表示目标时刻,u表示链路(u,v)的源节点,v表示链路(u,v)的目的节点,

$\forall n$ 表示目标分片网络中任意的聚合流n, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中分得的初始链路带宽, $\Delta f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中对应的链路带宽校正值, $f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中分得的校正链路带宽。

[0165] 步骤407、目标第二控制器向目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,各个交换机用于根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

[0166] 目标第二控制器得到目标分片网络对应的校正链路带宽后,可以向目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,使目标分片网络中的各个交换机根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

[0167] 可选地,以图3为例,目标第二控制器可以为第二控制器1,目标分片网络可以为分片网络1,目标分片网络中的交换机包括:交换机11、交换机12、交换机13、交换机14和交换机15,因此,第二控制器1向交换机11下发与交换机11对应的校正链路带宽,向交换机12下发与交换机12对应的校正链路带宽,向交换机13下发与交换机13对应的校正链路带宽,依次类推。

[0168] 需要说明的是,本发明实施例中的链路带宽也可以是链路传输速率,本发明实施例为了用词统一,均以链路带宽为例进行描述,然而,将链路带宽替换为链路传输速率也属于本申请所保护的范畴,在此不再赘述。

[0169] 本发明实施例提供的网络控制方法能够很好的解决大规模流量控制优化问题,当网络中的数据流的数量较多时,通过第一控制器在聚合流级别找到网络的最优控制点(如聚合流的路由策略,分片网络等),然后在分片网络内,由第二控制器在数据流级别进行闭环快控制,以跟踪网络的最优控制点。

[0170] 需要说明的是,本发明实施例提供的网络控制方法步骤的先后顺序可以进行适当调整,步骤也可以根据情况进行相应增减,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化的方法,都应涵盖在本发明的保护范围之内,因此不再赘述。

[0171] 综上所述,本发明实施例提供的网络控制方法,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,目标第二控制器根据目标分片网络的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0172] 本发明实施例提供的网络控制方法,第一控制器通过网络测量,获取全局网络信

息,根据全局网络信息合理配置网络资源,并将网络资源映射到不同的分片网络上,保证不同业务的数据流的流量需求得到满足,同时在网络中实现业务的隔离和资源的复用。

[0173] 本发明实施例提供的网络控制方法中,第一控制器掌握全局网络信息,并根据全局网络信息在聚合流级别对网络进行优化,该优化可以实现网络资源利用率的最大化,第一控制器只有当网络拓扑发生变化以及聚合流的流量特征发生变化时,才做策略更新;第二控制器通过网络测量,实现了对分片网络中的数据流时变特征的感知,当业务流量发生突发性增加或减少时,第二控制器可以通过对局部网络状态的感知,实时获取该变化,并针对该变化,实时调整策略,快速响应局部变化,使得网络重新回到全局最优控制点。

[0174] 本发明实施例提供的网络控制方法将控制层细分为快控制和慢控制两层,慢控制器(第一控制器)对网络进行聚合流级调度,快控制器(第二控制器)对网络进行数据流级调度,更有效的响应业务的波动。且慢控制器能够找到聚合流的路由策略和分片网络,实现网络资源利用率的最大化,快控制器在分片网络内和数据流级别合理利用分片网络内的资源,维持高资源利用率的同时减小网络拥塞。本发明实施例中,快控制器和慢控制器协同工作,优化了网络性能,使得网络能够鲁邦的适应业务流的变化。

[0175] 本发明实施例提供的网络控制方法可以应用于设备到设备(英文:Device to Device;简称:D2D)网络,以在D2D网络中实现大规模流量控制,请参考图7,其示出了本发明实施例提供的一种D2D网络的示意图,参见图7,D2D网络包括宏基站01、至少一个小基站02和至少一个用户终端。

[0176] 宏基站01可以获取全局网络信息,全局网络信息可以包括D2D网络的网络拓扑结构、用户终端与小基站02的信道情况、信道容量、聚合流的流量矩阵信息等,然后宏基站01根据全局网络信息通过计算流量工程问题确定各个聚合流的路由策略和分片网络的资源信息,每个分片网络包括至少一个用户终端,且每个分片网络对应一个小基站02,宏基站01确定各个聚合流的路由策略和分片网络的资源信息后,可以将各个聚合流的路由策略和分片网络的资源信息发送给相应的小基站02。

[0177] 小基站02接收到与自身对应的路由策略和分片网络的资源信息后,获取相应的分片网络内的各个用户终端内的队列状态,并获取分片网络的网络状态,根据分片网络的网络状态,通过闭环控制计算分片网络的链路服务速率校正值(或者链路带宽校正值),根据链路服务速率校正值修正分片网络的链路服务速率。之后,小基站02根据修正后的链路服务速率和当前的分片网络的信道情况计算分片网络内各个用户终端的数据发送功率,并将该数据发送功率下发给相应的用户终端,使用户终端根据该数据发送功率实时传输数据。

[0178] 下述为本申请的装置实施例,可以用于执行本申请的方法实施例。对于本申请装置实施例中未披露的细节,请参照本申请方法实施例。

[0179] 请参考图8,其示出了本发明实施例提供的一种网络控制装置800的框图。该网络控制装置800可以通过软件、硬件或者两者的结合实现成为图3所示实施环境中的第一控制器的部分或者全部。参见图8,该网络控制装置800可以包括:

[0180] 获取模块801,用于获取全局网络信息,全局网络信息包括:通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,通信网络中的各个聚合流是对通信网络中的所有业务流进行分类处理得到的;

[0181] 第一确定模块802,用于根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,

至少一个分片网络是对通信网络进行分片得到的,且至少一个分片网络中的每个分片网络对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽;

[0182] 第一发送模块803,用于向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。

[0183] 综上所述,本发明实施例提供的网络控制装置,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,并向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息,使各个第二控制器根据相应的分片网络的队列状态,通过闭环控制对相应的分片网络中的各个聚合流在相应的分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使相应的分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0184] 进一步地,请继续参考图8,该网络控制装置800还包括:

[0185] 第二确定模块804,用于根据全局网络信息,确定至少一个分片网络对应的路由策略,每个分片网络对应的路由策略包括每个分片网络中的各个聚合流对应的路由策略;

[0186] 第二发送模块805,用于向各个第二控制器发送相应的路由策略。

[0187] 可选地,全局网络信息还包括:通信网络的网络拓扑结构,网络拓扑结构用于指示至少一个交换机之间的连接关系。

[0188] 可选地,通信网络中的各个链路的容量为 $\{c_{(u,v)}, \forall (u,v)\}$, u 表示链路 (u,v) 的源节点, v 表示链路 (u,v) 的目的节点, $c_{(u,v)}$ 表示链路 (u,v) 的容量, $\forall (u,v)$ 表示通信网络中任意的链路 (u,v) ,通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息为 $\{V^n, \forall n\}$, V^n 表示聚合流 n 的带宽需求, $\forall n$ 表示通信网络中任意的聚合流 n ,第一确定模块802,用于:

[0189] 在目标函数取最小值时,根据通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,确定至少一个分片网络的资源信息;

[0190] 目标函数为: $y = \max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$, 且目标函数满足第一约束条件、第二约束条件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件;

[0191] 第一约束条件为: $\sum_w f_{(w,d)}^{n*} = V^n$, $\forall d$ 为聚合流 n 的目的节点;

[0192] 第二约束条件为: $\sum_w f_{(s,w)}^{n*} = V^n$, $\forall s$ 为聚合流 n 的源节点;

[0193] 第三约束条件为: $\sum_u f_{(u,v)}^{n*} = \sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$, $\forall v, n$;

[0194] 第四约束条件为: $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} \leq c_{(u,v)}$, $\forall (u,v)$;

[0195] 第五约束条件为: $f_{(u,v)}^{n*} \geq 0$, $\forall (u,v), n$;

[0196] 其中, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)中分得的初始链路带宽, $f_{(u,v)}^{n*}/c_{(u,v)}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)上的初始占用率, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}/c_{(u,v)}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)上的初始占用率之和, $\max_{(u,v)} \sum_n f_{(u,v)}^{n*}/c_{(u,v)}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中各个链路(u,v)上的初始占用率之和中的最大值, $\sum_w f_{(w,d)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中以节点d为目的节点的所有链路(w,d)上占用的初始链路带宽之和, $\sum_w f_{(s,w)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中以节点s为源节点的所有链路(s,w)上占用的初始链路带宽之和, $\sum_u f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中的节点v的所有上游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中的节点v的所有下游链路中占用的初始链路带宽之和, $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)上的分得的初始链路带宽之和。

[0197] 综上所述,本发明实施例提供的网络控制装置,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,并向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息,使各个第二控制器根据相应的分片网络的队列状态,通过闭环控制对相应的分片网络中的各个聚合流在相应的分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使相应的分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0198] 请参考图9,其示出了本发明实施例提供的另一种网络控制装置900的框图。该网络控制装置900可以通过软件、硬件或者两者的结合实现成为目标第二控制器的部分或者全部,该目标第二控制器可以为图3所示实施环境中的任一控制器。参见图9,该网络控制装置900可以包括:

[0199] 接收模块901,用于接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息,目标分片网络的资源信息包括目标分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽,目标分片网络与目标第二控制器对应;

[0200] 获取模块902,用于获取目标分片网络对应的队列状态,目标分片网络对应的队列状态包括目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,各个交换机中的每个交换机对应一个队列;

[0201] 校正模块903,用于根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,

得到目标分片网络对应的校正链路带宽,目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽;

[0202] 下发模块904,用于向目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,各个交换机用于根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

[0203] 综上所述,本发明实施例提供的网络控制装置,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,目标第二控制器根据目标分片网络的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0204] 可选地,不同时刻目标分片网络对应的校正链路带宽不同,请参考图10,其示出了本发明实施例提供的一种校正模块903的框图,参见图10,该校正模块903包括:

[0205] 预测子模块9031,用于根据目标分片网络对应的队列状态,预测目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态;

[0206] 计算子模块9032,用于根据预测网络状态,计算目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值;

[0207] 校正子模块9033,用于根据目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值,对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽,目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0208] 可选地,不同时刻目标分片网络的网络状态不同,不同时刻目标分片网络对应的队列状态不同,目标时刻目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻目标分片网络的真实网络状态和目标时刻目标分片网络的观测噪声,

[0209] 预测子模块9031,用于:

[0210] 确定目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵;

[0211] 确定目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵;

[0212] 根据目标时刻目标分片网络对应的队列状态、第一协方差矩阵和第二协方差矩阵,计算目标分片网络的网络状态,得到目标时刻目标分片网络的预测网络状态,预测网络状态与真实网络状态相关联。

[0213] 综上所述,本发明实施例提供的网络控制装置,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,目标第二控制器根据目标分片网络的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0214] 需要说明的是:上述实施例提供的网络控制装置在控制网络时,仅以上述各功能模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成,即将设备的内部结构划分成不同的功能模块,以完成以上描述的全部或者部分功

能。另外,上述实施例提供的网络控制装置和网络控制方法实施例属于同一构思,其具体实现过程详见方法实施例,这里不再赘述。

[0215] 请参考图11,其示出了本发明实施例提供的一种第一控制器1100的结构示意图。该第一控制器1100可以为图3所示实施环境中的第一控制器,用于执行图4所示实施例提供的部分方法。参见图11,该第一控制器1100可以包括:处理器1110和发射机1120,处理器1110和发射机1120通过总线1130连接。

[0216] 处理器1110包括一个或者一个以上处理核心。处理器1110通过运行软件程序以及单元,从而执行各种功能应用以及数据处理。

[0217] 可选地,如图11所示,该第一控制器1100还包括:存储器1140、网络接口1150和接收机1160,存储器1140、网络接口1150、接收机1160分别通过总线1130与发射机1120和处理器1110连接。

[0218] 其中,网络接口1150可以为多个,该网络接口1150用于该第一控制器1100与其它存储设备或者网络设备进行通信。其中,网络接口1150是可选地,实际应用中,第一控制器1100可以通过发射机1120和接收机1160与其它存储设备或者网络设备进行通信,所以,第一控制器1100中可以没有网络接口,本发明实施例对此不作限定。

[0219] 处理器1110,用于获取全局网络信息,全局网络信息包括:通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,通信网络中的各个聚合流是对通信网络中的所有业务流进行分类处理得到的;

[0220] 处理器1110,用于根据全局网络信息,确定至少一个分片网络的资源信息,至少一个分片网络是对通信网络进行分片得到的,且至少一个分片网络中的每个分片网络对应一个第二控制器,每个分片网络的资源信息包括每个分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽;

[0221] 发射机1120,用于向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息。

[0222] 可选地,处理器1110,还用于根据全局网络信息,确定至少一个分片网络对应的路由策略,每个分片网络对应的路由策略包括每个分片网络中的各个聚合流对应的路由策略;

[0223] 发射机1120,还用于向各个第二控制器发送相应的路由策略。

[0224] 可选地,全局网络信息还包括:通信网络的网络拓扑结构,网络拓扑结构用于指示至少一个交换机之间的连接关系。

[0225] 可选地,通信网络中的各个链路的容量为 $\{c_{(u,v)}, \forall (u,v)\}$, u 表示链路 (u,v) 的源节点, v 表示链路 (u,v) 的目的节点, $c_{(u,v)}$ 表示链路 (u,v) 的容量, $\forall (u,v)$ 表示通信网络中任意的链路 (u,v) ,通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息为 $\{V^n, \forall n\}$, V^n 表示聚合流 n 的带宽需求, $\forall n$ 表示通信网络中任意的聚合流 n ,

[0226] 处理器1110,具体用于:在目标函数取最小值时,根据通信网络中的各个链路的容量和通信网络中的各个聚合流的流量矩阵信息,确定至少一个分片网络的资源信息;

[0227] 目标函数为: $y = \max_{(u,v)} \sum_n \frac{f_{(u,v)}^{n*}}{c_{(u,v)}}$,且目标函数满足第一约束条件、第二约束条

件、第三约束条件、第四约束条件和第五约束条件；

[0228] 第一约束条件为： $\sum_w f_{(w,d)}^{n*} = V^n$ ， $\forall d$ 为聚合流n的目的节点；

[0229] 第二约束条件为： $\sum_w f_{(s,w)}^{n*} = V^n$ ， $\forall s$ 为聚合流n的源节点；

[0230] 第三约束条件为： $\sum_u f_{(u,v)}^{n*} = \sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$ ， $\forall v, n$ ；

[0231] 第四约束条件为： $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} \leq c_{(u,v)}$ ， $\forall (u,v)$ ；

[0232] 第五约束条件为： $f_{(u,v)}^{n*} \geq 0$ ， $\forall (u,v), n$ ；

[0233] 其中， $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)中分

得的初始链路带宽， $f_{(u,v)}^{n*} / c_{(u,v)}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中任意的链路

(u,v)上的初始占用率， $\sum_n f_{(u,v)}^{n*} / c_{(u,v)}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通信网络中任意的

链路(u,v)上的初始占用率之和， $\max_{(u,v)} \sum_n f_{(u,v)}^{n*} / c_{(u,v)}$ 表示通信网络中所有的聚合流n在通

信网络中各个链路(u,v)上的初始占用率之和中的最大值， $\sum_w f_{(w,d)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的

聚合流n在通信网络中以节点d为目的节点的所有链路(w,d)上占用的初始链路带宽之和， $\sum_w f_{(s,w)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中以节点s为源节点的所有链路(s,

w)上占用的初始链路带宽之和， $\sum_u f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合流n在通信网络中的

节点v的所有上游链路中占用的初始链路带宽之和， $\sum_{u'} f_{(v,u')}^{n*}$ 表示通信网络中任意的聚合

流n在通信网络中的节点v的所有下游链路中占用的初始链路带宽之和， $\sum_n f_{(u,v)}^{n*}$ 表示通信

网络中所有的聚合流n在通信网络中任意的链路(u,v)上的分得的初始链路带宽之和。

[0234] 综上所述，本发明实施例提供的第一控制器，由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络，每个分片网络对应一个第二控制器，并向各个第二控制器发送相应的分片网络的资源信息，使各个第二控制器根据相应的分片网络的队列状态，通过闭环控制对相应的分片网络中的各个聚合流在相应的分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正，并使相应的分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流，因此，可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制，减小了时延，提高了网络控制效果。

[0235] 请参考图12,其示出了本发明实施例提供的一种第二控制器1200的结构示意图。该第二控制器1200可以为图3所示实施环境中的任一第二控制器,用于执行图4所示实施例提供的部分方法。参见图12,该第二控制器1200可以包括:接收机1210和处理器1220,接收机1210和处理器1220通过总线1230连接。

[0236] 处理器1220包括一个或者一个以上处理核心。处理器1220通过运行软件程序以及单元,从而执行各种功能应用以及数据处理。

[0237] 可选地,如图12所示,该第二控制器1200还包括:存储器1240、网络接口1250和发射机1260,存储器1240、网络接口1250、发射机1260分别通过总线1230与发射机1260和处理器1220连接。

[0238] 其中,网络接口1250可以为多个,该网络接口1250用于该第二控制器1200与其它存储设备或者网络设备进行通信。其中,网络接口1250是可选地,实际应用中,第二控制器1200可以通过发射机1260和发射机1260与其它存储设备或者网络设备进行通信,所以,第二控制器1200中可以没有网络接口,本发明实施例对此不作限定。

[0239] 接收机1210,用于接收第一控制器发送的目标分片网络的资源信息,目标分片网络的资源信息包括目标分片网络中的各个聚合流在每个分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽,目标分片网络与目标第二控制器对应;

[0240] 处理器1220,用于获取目标分片网络对应的队列状态,目标分片网络对应的队列状态包括目标分片网络中的各个交换机对应的队列状态,各个交换机中的每个交换机对应一个队列;

[0241] 处理器1220,用于根据目标分片网络对应的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标分片网络对应的校正链路带宽,目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽;

[0242] 发射机1260,用于向目标分片网络中的各个交换机下发相应的校正链路带宽,各个交换机用于根据相应的校正链路带宽传输相应的聚合流。

[0243] 可选地,不同时刻目标分片网络对应的校正链路带宽不同,处理器1220,具体用于:

[0244] 根据目标分片网络对应的队列状态,预测目标分片网络的网络状态,得到预测网络状态;

[0245] 根据预测网络状态,计算目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值;

[0246] 根据目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中对应的链路带宽校正值,对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,得到目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽,目标时刻目标分片网络对应的校正链路带宽包括目标时刻目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的校正链路带宽。

[0247] 可选地,不同时刻目标分片网络的网络状态不同,不同时刻目标分片网络对应的队列状态不同,目标时刻目标分片网络对应的队列状态包括:目标时刻目标分片网络的真实网络状态和目标时刻目标分片网络的观测噪声,

[0248] 处理器1220,具体用于:

[0249] 确定目标时刻目标分片网络的观测噪声的第一协方差矩阵;

[0250] 确定目标时刻目标分片网络中的聚合流的第二协方差矩阵;

[0251] 根据目标时刻目标分片网络对应的队列状态、第一协方差矩阵和第二协方差矩阵,计算目标分片网络的网络状态,得到目标时刻目标分片网络的预测网络状态,预测网络状态与真实网络状态相关联。

[0252] 综上所述,本发明实施例提供的第二控制器,由于第一控制器对通信网络进行分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,目标第二控制器根据目标分片网络的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据校正后的链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0253] 可选地,在上述图9或图12所示实施例中,目标时刻目标分片网络对应的校正链路

带宽为: $\{f_{(u,v)}^n(t) = f_{(u,v)}^{n*} + \Delta f_{(u,v)}^n(t), \forall n, (u, v)\}$;

[0254] 其中,t表示目标时刻,u表示链路(u,v)的源节点,v表示链路(u,v)的目的节点,

$\forall n$ 表示目标分片网络中任意的聚合流n, $f_{(u,v)}^{n*}$ 表示目标分片网络中任意的聚合流n在

目标分片网络中任意的链路(u,v)中分得的初始链路带宽, $\Delta f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标

分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路(u,v)中对应的链路带宽校正值,

$f_{(u,v)}^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中任意的聚合流n在目标分片网络中任意的链路

(u,v)中分得的校正链路带宽。

[0255] 可选地,在上述图9或图12所示实施例中,目标时刻目标分片网络对应的队列状态

为: $Y_k(t) = Q_k(t - \tau_k) + Z(t)$;

[0256] 其中,t表示目标时刻, $Q_k(t) = \{Q_i^n(t)\}$, $Z(t) = \{Z_i^n(t)\}$, k表示目标分

片网络的编号, $Y_k(t)$ 表示目标时刻目标分片网络对应的队列状态,且 $Y_k(t)$ 是观测得到的,

$Q_k(t)$ 表示t时刻目标分片网络的真实网络状态, $Q_i^n(t)$ 表示目标时刻目标分片网络中的交

换机i对应的聚合流n的队列状态, $Z(t)$ 表示t时刻目标分片网络的观测噪声, $Z_i^n(t)$ 表示

目标时刻目标分片网络中的交换机i对应的聚合流n的队列状态的观测噪声, τ_k 表示目标第

二控制器获取目标分片网络对应的队列状态的观测时延。

[0257] 本发明实施例还提供了一种网络控制系统,该网络控制系统包括:第一控制器和至少一个第二控制器,至少一个第二控制器包括目标第二控制器。

[0258] 在一种可能的实现方式中,第一控制器包括图8所示的网络控制装置800,目标第二控制器包括图9所示的网络控制装置900;

[0259] 在另一种可能的实现方式中,第一控制器为图11所示的第一控制器1100,目标第二控制器为图12所示的第二控制器1200。

[0260] 综上所述,本发明实施例提供的网络控制系统,由于第一控制器对通信网络进行

分片得到分片网络,每个分片网络对应一个第二控制器,目标第二控制器根据目标分片网络的队列状态,通过闭环控制对目标分片网络中的各个聚合流在目标分片网络中的各个链路中分得的初始链路带宽进行闭环校正,并使目标分片网络中的各个交换机根据校正后的校正链路带宽传输相应的聚合流,因此,可以由第一控制器和第二控制器协同对网络进行控制,减小了时延,提高了网络控制效果。

[0261] 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。

[0262] 以上仅为本申请的可选实施例,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。

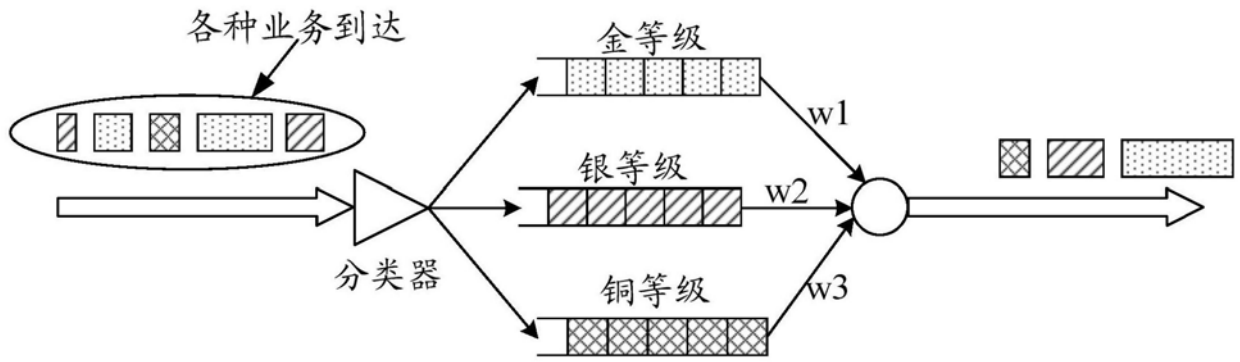


图1

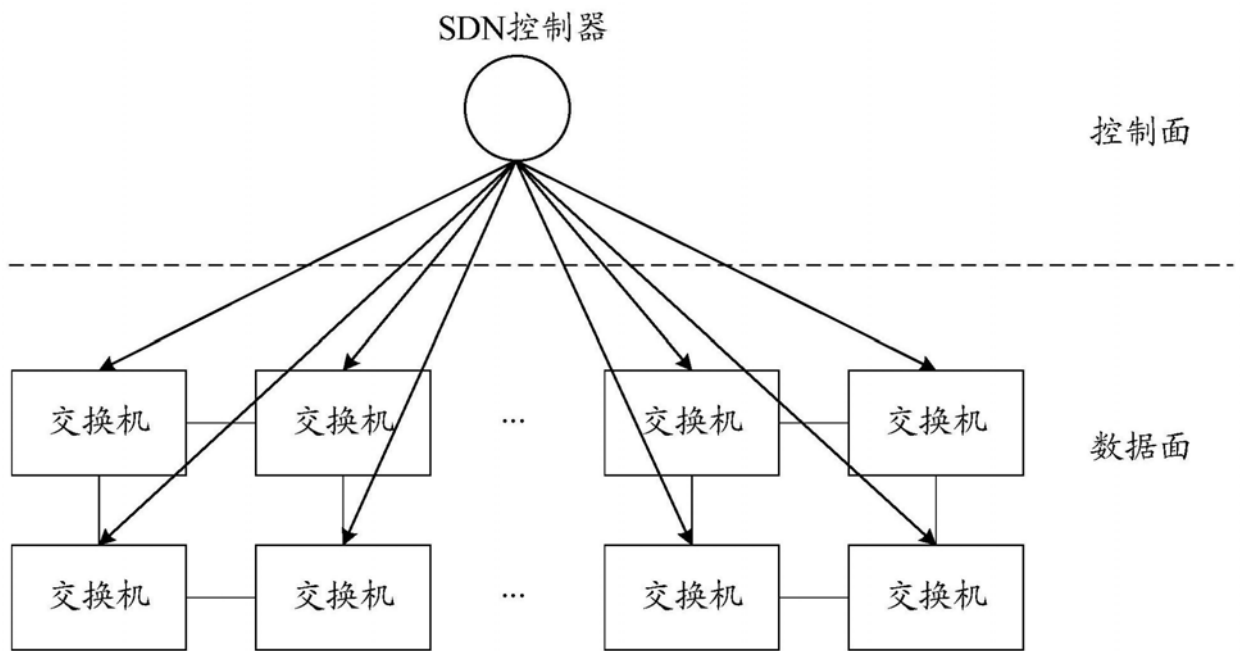


图2

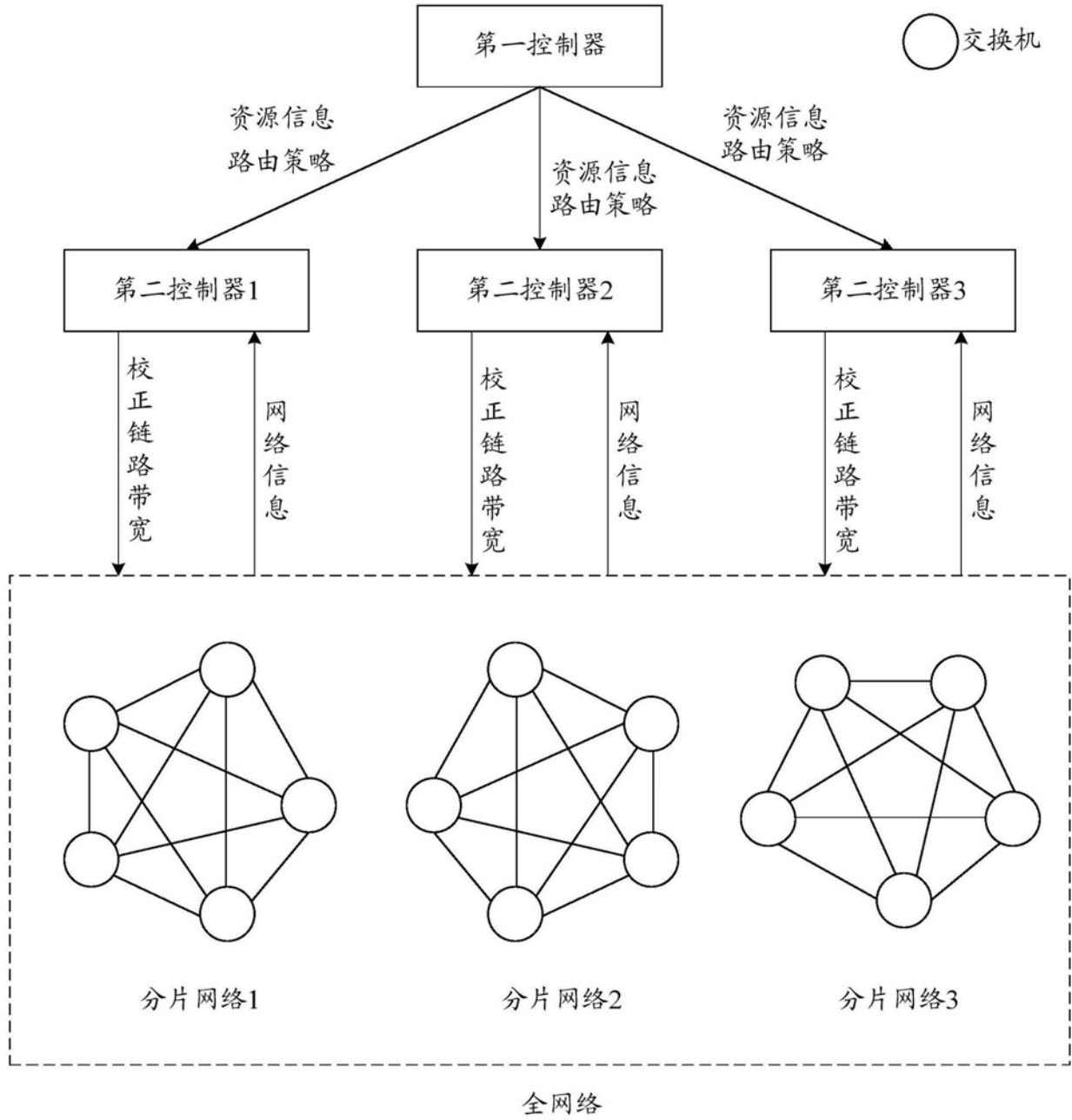


图3

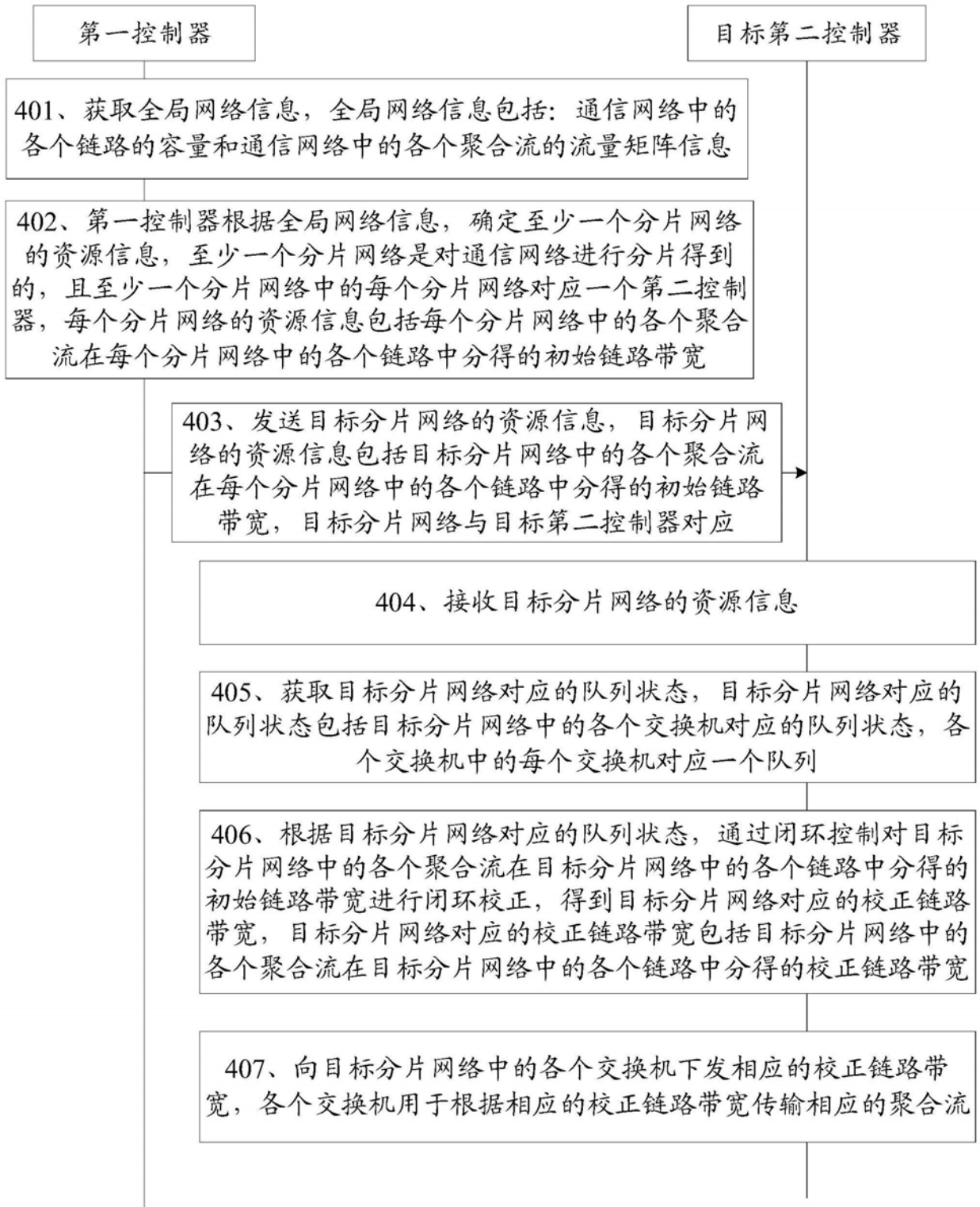


图4

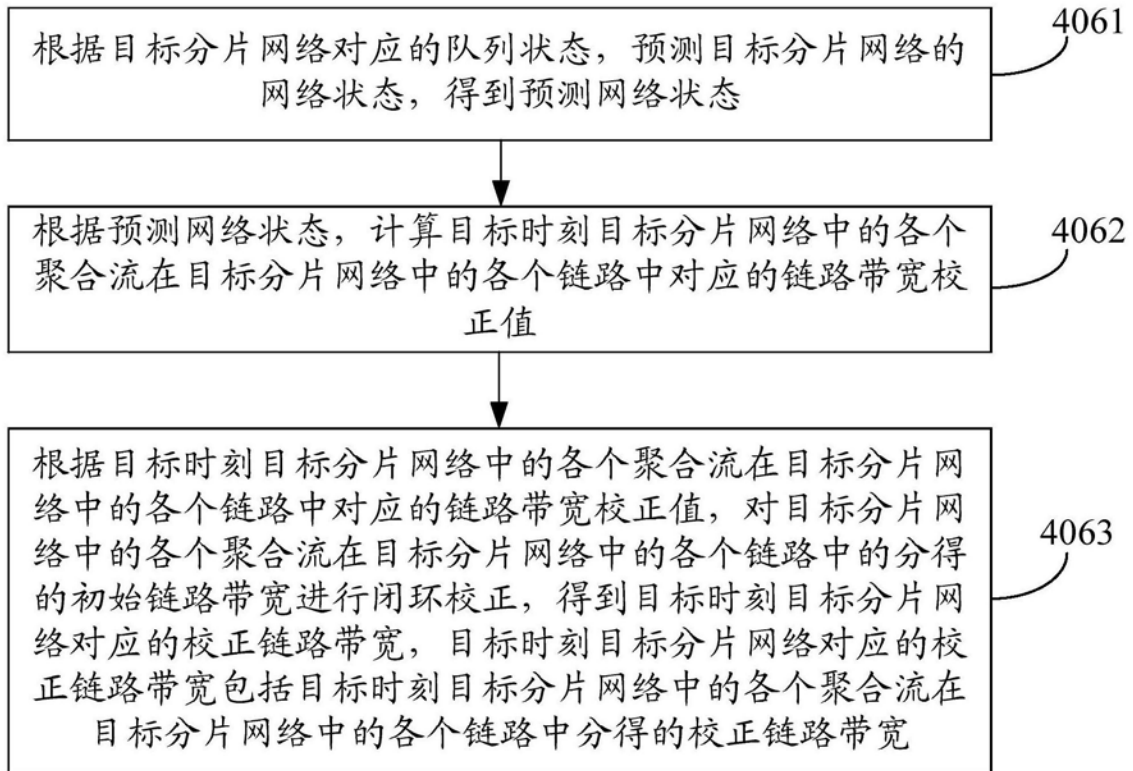


图5

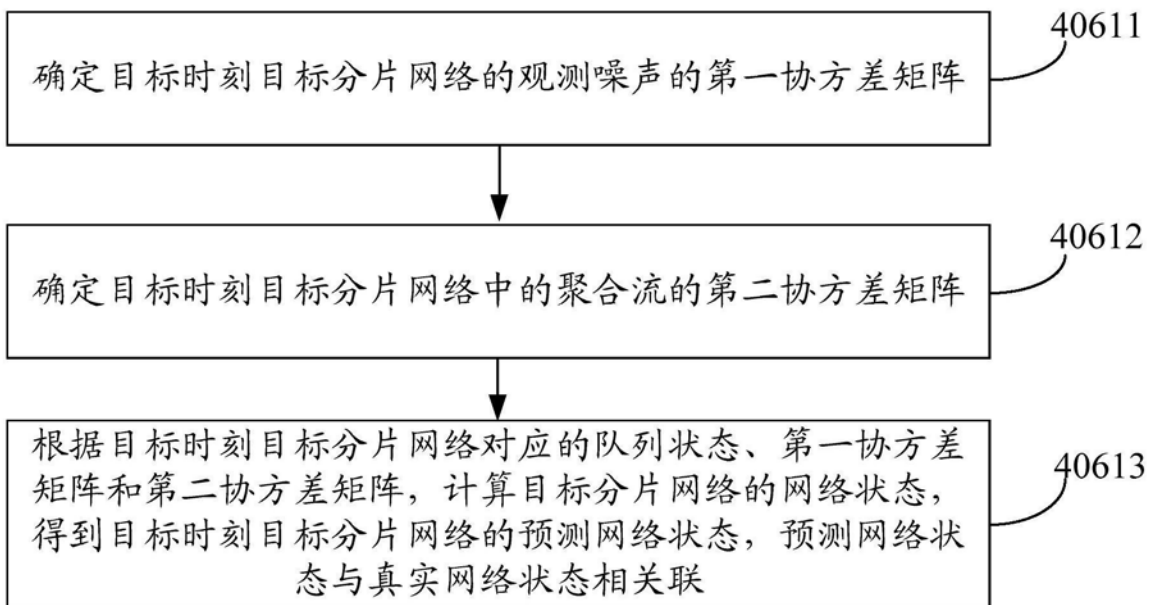


图6

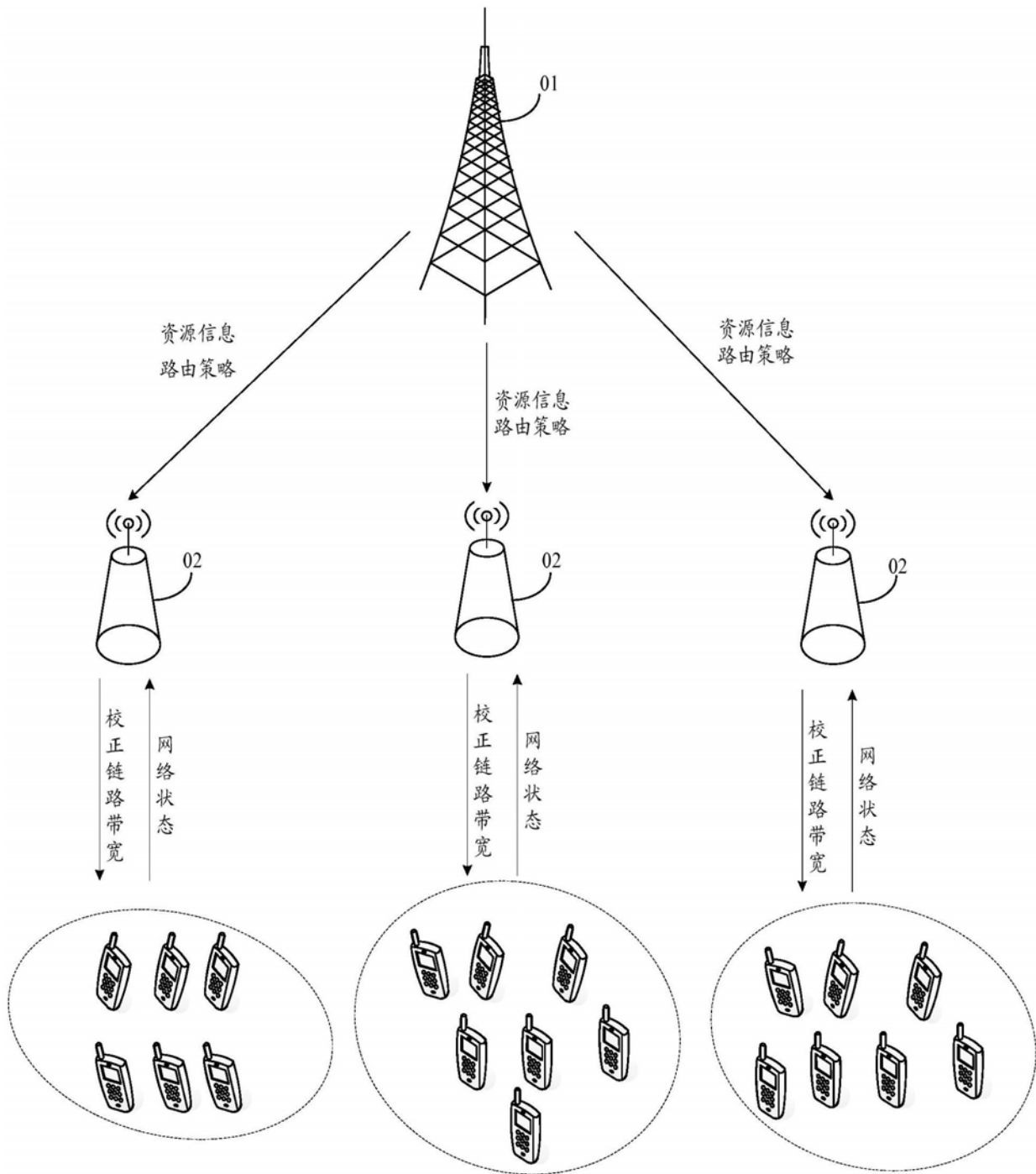


图7

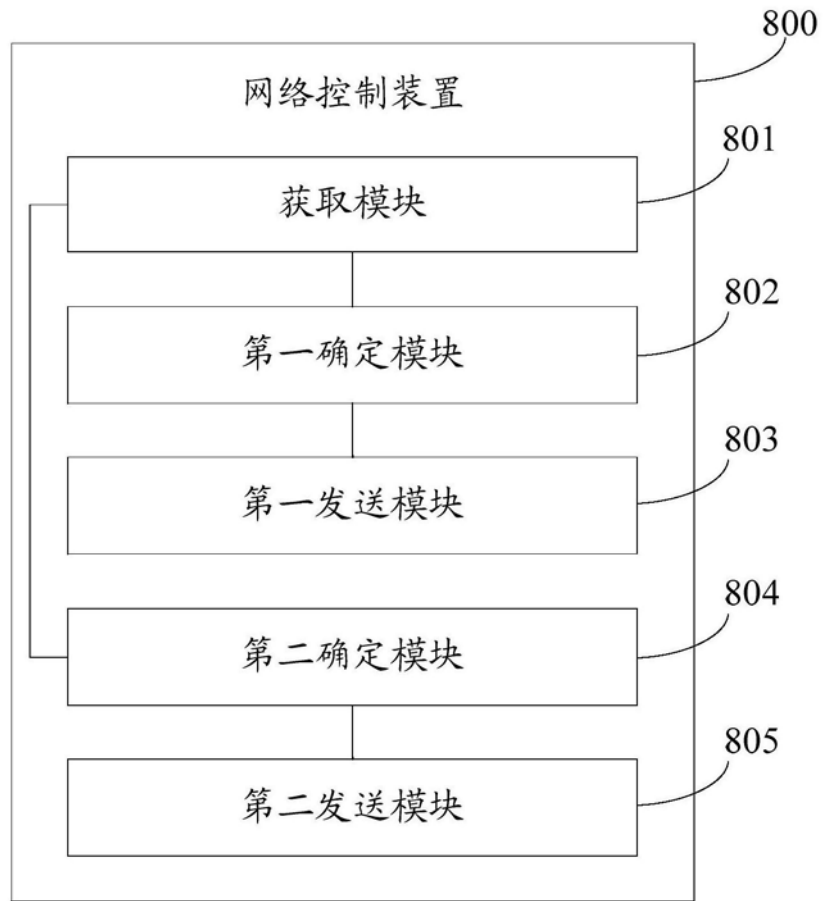


图8

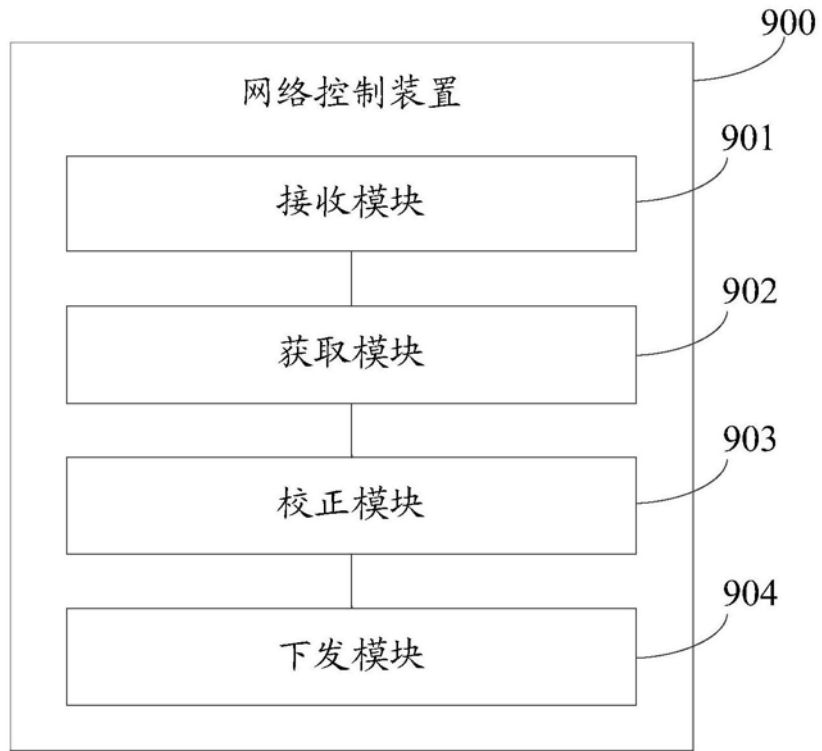


图9

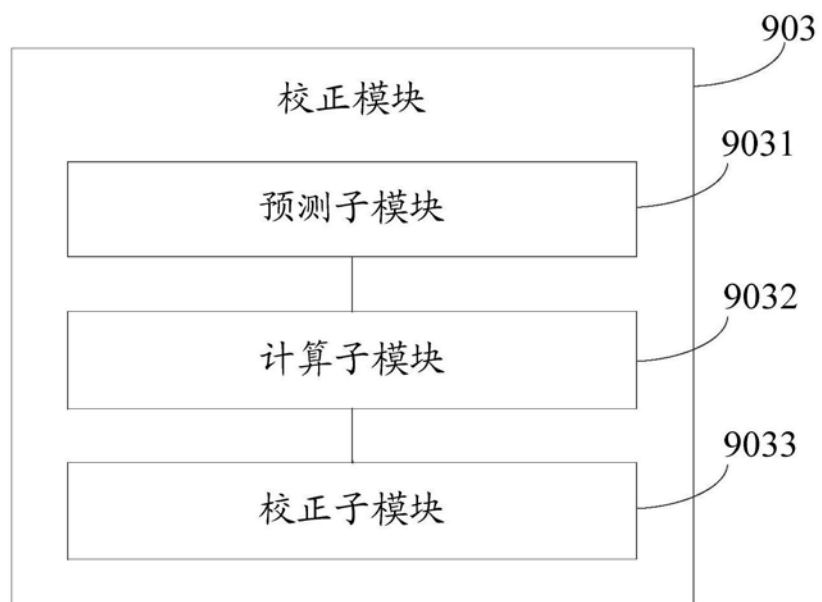


图10

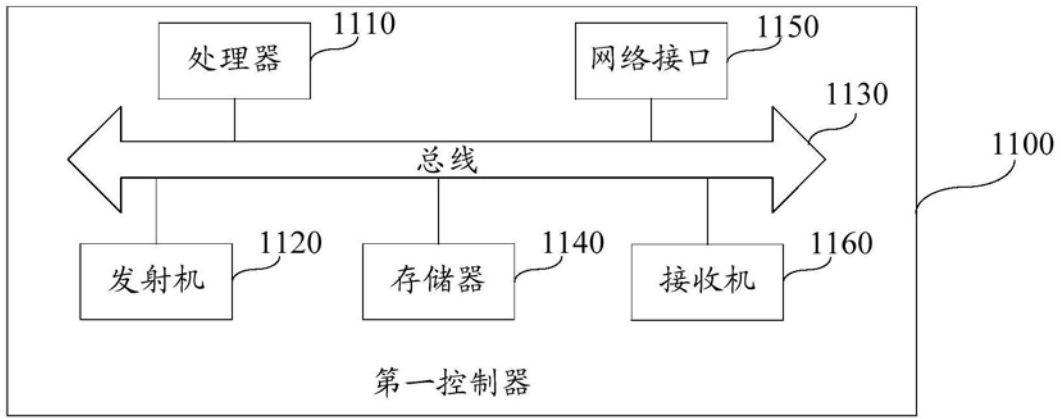


图11

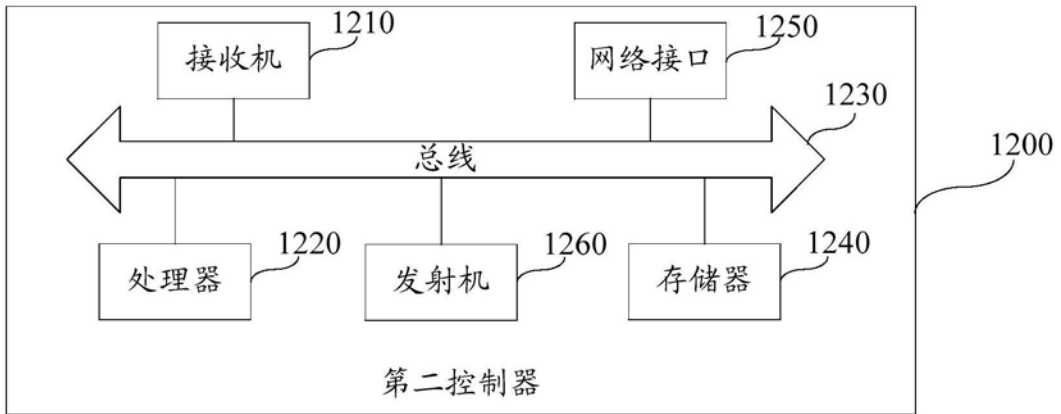


图12