



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105721297 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(21)申请号 201610059884.7

H04L 12/753(2013.01)

(22)申请日 2016.01.28

(71)申请人 北京国电通网络技术有限公司
地址 100070 北京市丰台区航丰路一号时代财富天地大厦28层

申请人 国家电网公司
国网北京经济技术研究院
北京邮电大学

(72)发明人 王一蓉 邓伟 武志栋 王艳茹
范军丽 李疆生 李昕 王寅庆

(74)专利代理机构 北京风雅颂专利代理有限公司 11403
代理人 李莎 李弘

(51)Int.Cl.

H04L 12/705(2013.01)

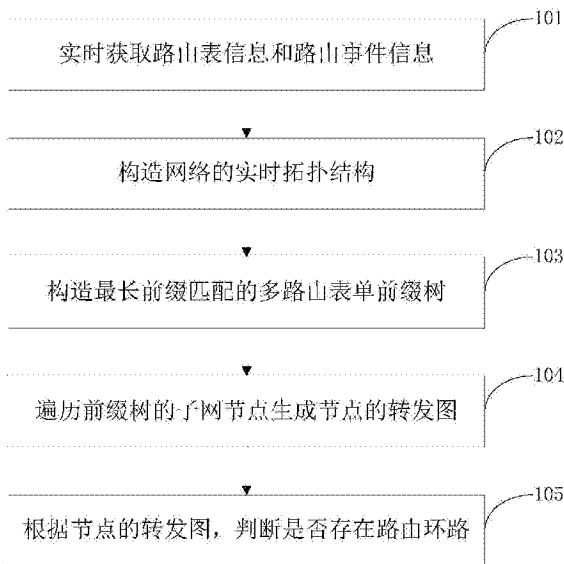
权利要求书2页 说明书10页 附图8页

(54)发明名称

基于SDN网络中路由环路的检测方法及其系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于SDN网络中路由环路的检测方法,包括:实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息;根据获取的路由表信息和路由事件信息,构造网络的实时拓扑结构;根据实时拓扑结构,采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表前缀树,并存储每个节点的路由表中的转发子网网段;在需要判断环路的子网网段中,对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表,遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图;根据节点的转发图,判断是否存在路由环路。本发明还公开了一种基于SDN网络中路由环路的检测系统。所述基于SDN网络中路由环路的检测方法及其系统不仅提高了路由环路检测的效率和准确性;同时,减少了存储空间和计算时间。



1. 一种基于SDN网络中路由环路的检测方法,其特征在于,包括:
 实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息;
 根据获取的路由表信息和路由事件信息,构造网络的实时拓扑结构;
 根据实时拓扑结构,采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表单前缀树,并存储每个节点的路由表中的转发子网网段;

在需要判断环路的子网网段中,对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表,遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图;

根据节点的转发图,判断是否存在路由环路。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息的步骤包括:

根据路由器运行的不同协议,采用与协议相应的探测器来获取路由表信息和路由事件信息。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述层次压缩的方法具体为固定分级层次压缩的方法,实现的步骤为:

将前缀树构造为5个依次相互连接的不同的层次,且层次由上到下的级别依次采用8-8-8-4-4的分布方式。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述生成节点的转发图的步骤包括:

首先,对网络进行建模,得到网络模型 $G(V, E, W)$,其中, V 表示网络中节点的集合, E 表示两个节点之间的边集合,也即节点对应设备之间的连接链路, W 表示每条链路的权重;

路由器上的转发行为定义如下:

$f(p, r_u) = v, u, v \in V$,其中, u, v 为不同的节点, p 为欲转发的报文, r_u 表示节点 u 上的路由表;

得到报文 p 在整个网络中转发的定义:

$F(p, R_{\Sigma u}) = \{ \langle i, j \rangle \mid f(p, r_u) = j; i, j, u \in V \}$,其中, R 表示网络上每个路由器的路由表集合;

然后,在前缀树中,对报文 p 的比特进行分解,并对前缀树进行查找,直到达到 p 的前缀为止,记录查找过程中每个被访问的节点包含的下一跳;

通过这些下一跳,也即报文 p 的转发结果,得到报文 p 在网络上转发结果为有序对的集合 $T(p, R)$,且

$$T(p, R) = F(p, R_{\Sigma u})$$

通过有序对的集合 $T(p, R)$ 形成的有向图,得到节点的转发图。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,对于多路径的路由,所述路由器上的转发行为为:

$$f(p, r_u) = \{ v_i \mid v_i \text{为报文} p \text{在节点} u \text{上的下一跳节点} \}, u, v_i \in V。$$

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述判断是否存在路由环路的步骤包括:

将所有节点标记为alive,并且将栈空间初始化为空;

判断当前节点是否同时具有入度和出度,若是,则标记为visited,并使当前节点入栈,若否,则标记为dead;

判断栈空间是否为空,若是,则表示不存在路由环路,若否,进一步判断栈顶节点是否

有后续节点；

若栈顶节点没有后续节点，则栈顶节点标记为dead，并使栈顶节点出栈；

返回继续判断栈空间是否为空，直到所有节点都被标记为dead，则表示不存在路由环路。

7. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述判断栈顶节点是否有后续节点的步骤包括：

若栈顶节点有后续节点，则获取栈顶节点的后续节点；

判断后续节点是否标记为alive，若是，则返回所述判断当前节点是否同时具有入度和出度的步骤，对该后续节点继续判断，若否，则进一步判断后续节点是否标记为visited；

若后续节点标记为visited，则表示存在路由环路；

若后续节点没有标记为visited，则将栈顶节点标记为dead，并使栈顶节点出栈。

8. 一种基于SDN网络中路由环路的检测系统，其特征在于，包括：

路由信息获取模块，用于实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息；

拓扑结构生成模块，用于根据所述路由信息获取模块中获取的路由表信息和路由事件信息，构造网络的实时拓扑结构；

前缀树构造模块，用于根据所述拓扑结构生成模块中的实时拓扑结构，采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表单前缀树，并存储每个节点的路由表中的转发子网网段；

路由计算模块，用于在需要判断环路的子网网段中，对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表，遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图；

路由检测模块，用于根据所述路由计算模块中的节点的转发图，判断是否存在路由环路。

基于SDN网络中路由环路的检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及网络通讯技术领域,特别是指一种基于SDN网络中路由环路的检测方法及系统。

背景技术

[0002] SDN为软件定义网络(SDN-Software-Defined Networking),是最近被提出的一种创新性的网络技术和网络框架。其核心思想是采用集中式控制和分布式控制相结合,将控制平面和转发平面分离,且控制平面和转发平面之间通过公开的协议(例如Openflow等)进行通信,从而实现复杂的业务逻辑而不影响特定厂商实现其转发平面,极大的促进了网络的创新,在当今飞速发展的互联网大背景下,SDN网络很好的适应了需求多样性和业务多样性的复杂局面。

[0003] SDN网络通过一个称为控制器(Controller)的软件实现其控制平面的功能。由于网络运行的动态性、环境的复杂性以及各种随时发生的异步事件,正常运行的网络会经常性发生各种故障,包括路由环路、路由黑洞和不可达路由等异常路由情况。路由的异常会导致拥塞和丢包,如果不能很快解决这类故障,就可能会出现严重的通信中断,进而造成巨大的经济损失。同时,随着网络规模的扩大和业务的越来越复杂,通过人工定位来解决这类故障变得越来越困难。

[0004] 现有SDN网络中路由环路的判断方法,由于节点功能有限,同时节点一般不运行分布式路由协议,因此对环路的判断在节点上很难完成。虽然路由控制功能转移到控制器之后,控制器获得全网的运行状态和每个节点的路由信息。通过对每个网络节点的每条路由表进行分析和判断,可以发现网络中的路由环路现象。然而,由于业务的复杂性和多样性,通常单个节点上的路由数目/路由策略就已经非常多,全网节点的路由数目/路由策略加起来进行判断将会花费巨大的计算时间和存储空间,对控制器而言将是一个非常巨大的负担。也即,现有SDN网络中进行网络环路的判断需要密集的计算和巨大的数据存储。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提出一种基于SDN网络中路由环路的检测方法及系统,不仅能够快速、准确实现路由环路的检测,而且所需要的存储空间大大减少。

[0006] 基于上述目的本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法,包括:

[0007] 实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息;

[0008] 根据获取的路由表信息和路由事件信息,构造网络的实时拓扑结构;

[0009] 根据实时拓扑结构,采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表单前缀树,并存储每个节点的路由表中的转发子网网段;

[0010] 在需要判断环路的子网网段中,对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表,遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图;

[0011] 根据节点的转发图,判断是否存在路由环路。

[0012] 优选的,所述实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息的步骤包括:

[0013] 根据路由器运行的不同协议,采用与协议相应的探测器来获取路由表信息和路由事件信息。

[0014] 优选的,所述层次压缩的方法具体为固定分级层次压缩的方法,实现的步骤为:

[0015] 将前缀树构造为5个依次相互连接的不同的层次,且层次由上到下的级别依次采用8-8-8-4-4的分布方式。

[0016] 优选的,所述生成节点的转发图的步骤包括:

[0017] 首先,对网络进行建模,得到网络模型 $G(V,E,W)$,其中, V 表示网络中节点的集合, E 表示两个节点之间的边集合,也即节点对应设备之间的连接链路, W 表示每条链路的权重;

[0018] 路由器上的转发行为定义如下:

[0019] $f(p,r_u)=v,u,v \in V$,其中, u,v 为不同的节点, p 为欲转发的报文, r_u 表示节点 u 上的路由表;

[0020] 得到报文 p 在整个网络中转发的定义:

[0021] $F(p,R_{\Sigma u})=\{<i,j>|f(p,r_u)=j;i,j,u \in V\}$,其中, R 表示网络上每个路由器的路由表集合;

[0022] 然后,在前缀树中,对报文 p 的比特进行分解,并对前缀树进行查找,直到达到 p 的前缀为止,记录查找过程中每个被访问的节点包含的下一跳;

[0023] 通过这些下一跳,也即报文 p 的转发结果,得到报文 p 在网络上转发结果为有序对的集合 $T(p,R)$,且

[0024] $T(p,R)=F(p,R_{\Sigma u})$

[0025] 通过有序对的集合 $T(p,R)$ 形成的有向图,得到节点的转发图。

[0026] 进一步,对于多路径的路由,所述路由器上的转发行为为:

[0027] $f(p,r_u)=\{v_i|v_i$ 为报文 p 在节点 u 上的下一跳节点 $\},u,v_i \in V$ 。

[0028] 优选的,所述判断是否存在路由环路的步骤包括:

[0029] 将所有节点标记为 $alive$,并且将栈空间初始化为空;

[0030] 判断当前节点是否同时具有入度和出度,若是,则标记为 $visited$,并使当前节点入栈,若否,则标记为 $dead$;

[0031] 判断栈空间是否为空,若是,则表示不存在路由环路,若否,进一步判断栈顶节点是否有后续节点;

[0032] 若栈顶节点没有后续节点,则栈顶节点标记为 $dead$,并使栈顶节点出栈;

[0033] 返回继续判断栈空间是否为空,直到所有节点都被标记为 $dead$,则表示不存在路由环路。

[0034] 进一步,所述判断栈顶节点是否有后续节点的步骤包括:

[0035] 若栈顶节点有后续节点,则获取栈顶节点的后续节点;

[0036] 判断后续节点是否标记为 $alive$,若是,则返回所述判断当前节点是否同时具有入度和出度的步骤,对该后续节点继续判断,若否,则进一步判断后续节点是否标记为 $visited$;

[0037] 若后续节点标记为 $visited$,则表示存在路由环路;

- [0038] 若后续节点没有标记为visited,则将栈顶节点标记为dead,并使栈顶节点出栈。
- [0039] 本发明还提供了一种基于SDN网络中路由环路的检测系统,包括:
- [0040] 路由信息获取模块,用于实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息;
- [0041] 拓扑结构生成模块,用于根据所述路由信息获取模块中获取的路由表信息和路由事件信息,构造网络的实时拓扑结构;
- [0042] 前缀树构造模块,用于根据所述拓扑结构生成模块中的实时拓扑结构,采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表单前缀树,并存储每个节点的路由表中的转发子网网段;
- [0043] 路由计算模块,用于在需要判断环路的子网网段中,对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表,遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图;
- [0044] 路由检测模块,用于根据所述路由计算模块中的节点的转发图,判断是否存在路由环路。
- [0045] 从上面所述可以看出,本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法以及系统通过构造网络的实时拓扑结构图以及构造最长前缀匹配的多路由表单前缀树,最终获得网络中所有节点的转发图,根据所述节点的转发图能够快速准确地判断是否存在路由环路。这样,不仅使得判断过程与路由协议和网络流量无关,提高了路由环路检测的效率和准确性;同时,构造的多路由表单前缀树能够大大减少存储空间和计算时间。

附图说明

- [0046] 图1为现有临时性路由环路中正常状态的流程图;
- [0047] 图2为现有临时性路由环路中R1检测到故障时的流程图;
- [0048] 图3为现有临时性路由环路中R2未检测到故障时的流程图;
- [0049] 图4为现有临时性路由环路中故障处理时的流程图;
- [0050] 图5为现有持久性路由环路的流程图;
- [0051] 图6为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法的实施例的流程图;
- [0052] 图7为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法中所采用的固定分级层次压缩方法的结构示意图;
- [0053] 图8为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法的路由环路的结构示意图;
- [0054] 图9为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法的转发图的结构示意图;
- [0055] 图10为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法的路由环路判断算法的流程图;
- [0056] 图11为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法中的路由环路判断算法的一个示例的结构示意图;
- [0057] 图12为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测系统的系统结构示意图;
- [0058] 图13为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测系统的系统架构示意图。

具体实施方式

[0059] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。

[0060] 首先,针对路由环路的类型和路由环路产生的根源进行简单说明。

[0061] 路由协议是用来指导网络中的路由器在转发报文时,如何选择恰当的路径,从而实现不同设备和不同用户之间的通信功能。为了正确并且适当的实现路径的选路,路由器必须预先获知网络的相互连接状态,然后路由器会运行特定的路由算法来计算出相应的选路策略。

[0062] 尽管存在许多不同的路由协议,但是可以根据路由信息获取及传播方式的不同,而分为2类:链路状态路由协议(link-state routing protocols)和距离矢量路由协议(distance-vector routing protocols)。链路状态路由协议的例子有:OSPF和IS-IS类型的协议;而距离矢量路由协议则有:RIP/RIPv2和IGRP等类型的协议。在路由收敛未完成,或者错误配置的情况下,都有可能产生路由环路的产生。如果报文转发陷入路由环路,则报文会在形成环路的路由器之间循环往返,直至报文的TTL耗尽而丢弃。

[0063] 路由环路也分为2类:临时性路由环路和持久性路由环路。当网络状态发生改变,例如拓扑发生变化时,正确的选路策略必须重新生成;于是路由器启动路由算法计算路由。处于不同节点的路由器千差万别,路由计算完成进入收敛的时间点各不相同。这种分布式的非一致性可以导致路由环路的产生。然而一旦所有设备的收敛完成,网络进入一致状态,此时的路由环路自然消失。这种路由环路称为临时性路由环路,它是自然产生并且不可避免的,持续时间短(通常在毫秒甚至微秒以内),因而对网络通讯几乎不会造成影响。

[0064] 临时性环路产生于各个节点对全网的状态认知不一致的情况。图1-图4给出了一个极其简单的情况:

[0065] 参照图1所示,为节点处于正常状态时的结构,根据路由算法得到节点R2到目的节点R4的路由选择最短路径序列:R2-R1-R3-R4。

[0066] 参照图2和图3所示,到目的节点的路径从R2转发,R2未检测到故障或者检测到故障但是未完成处理,R1检测到故障并处理,到目的节点的路径仍然从R1转发,形成临时性路由环路。

[0067] 参照图4所示,R1/R2对全网的认知一致,到目的节点R4的路由从R2转发,临时性环路消失。

[0068] 可以看到,临时性路由环路在所有节点收敛完成后,产生的路由环路自然消失。对于IGP协议例如OSPF等,收敛的完成时间可以提高到在秒级别以内。因此IGP路由协议的临时性环路不会造成很大的影响。BGP协议收敛时间比IGP协议所花的时间比较长,有些文献中指出BGP的收敛时间甚至达到十几分钟以上。如果长时间未收敛时发生临时性路由环路,网络时延和网络流量会增加,从而降低网络的性能。

[0069] 持久性路由环路的产生原因有多种,例如错误配置,或者网络设备故障等。在很多大型企业的网络中,经常存在多个路由域,而由于历史的原因(例如企业/公司的并购等),这些路由域可能采用不同的IGP协议,例如OSPF、RIP或者EIGRP等,错误的配置就能导致持久性路由环路的产生。参考文献《End-to-end routing behavior in the Internet》中,对超过4万个端到端的Internet的路由检测,发现持续时间可以达到数小时的路由环路现象。持久性路由环路一旦产生,则必须人工干预方能解决,而且由于持续时间长,因此代价

大,造成的影响也大。如果是跨自治域(AS:Autonomous System)的路由环路,则需要不同组织进行协调,耗时和代价更大。

[0070] 当对运行中的网络进行升级或者迁移时,网络必须配置或者重新配置。其步骤遵循逐个路由器的进行,尽管在配置的最初和最后没有产生路由环路,但是配置的过程是逐步完成的,因此会出现路由状态不一致的情况。一些文献中指出这种情况可能会产生路由环路。在SDN网络中,配置更新的步骤不一致,也会出现短暂的路由环路,直接导致短时间的丢包和网络服务的质量下降情况。当网络中的核心路由器对路由前缀进行聚合时,如果聚合不适当也可能会发生环路的情况。

[0071] 参照图5所示,客户端路由器R下面连接有2个/24前缀的服务器集群,因此R向提供商的路由器Core宣告了两个“/24”前缀的路由。Core路由器认为10.2.2.0/22的网络地址段都能通过R到达,故将此两个前缀的路由聚合为一条路由。当报文10.2.2.2到达Core时,将被转发到R路由器,而R路由器发现此报文不属于R下面的服务器所有,于是按照R的默认路由转发到Core,造成了路由环路现象。

[0072] 参照图6所示,为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法的实施例的流程图。所述基于SDN网络中路由环路的检测方法包括:

[0073] 步骤101,实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息。

[0074] 其中,所述路由表信息和路由事件信息包含SDN网络中的链路状态信息和实时反馈的路由信息。这里,路由信息是通过相关的探测器进行采集的。

[0075] 步骤102,根据获取的路由表信息和路由事件信息,构造网络的实时拓扑结构。

[0076] 通过步骤101中获取的路由表信息和路由事件信息,就能得到SDN网络中相邻节点之间的连接关系,再结合所有节点信息就生成了网络的拓扑结构。节点之间的连接关系,即网络连接信息的获取是通过链路层发现协议LLDP(Link Layer Discovery Protocol)来完成的,该协议由IEEE 802.1AB定义并且是与厂商无关的二层协议。相互连接的设备会定期向邻居发送报文,该报文包含了本地设备上的管理地址、主要能力、设备标识和接口标识等信息,并且以TLV(Type/Length/Value)的形式封装到LLDP的协议数据单元(LLDPDU:Link Layer Discovery Protocol Data Unit)中进行发送。

[0077] 当SDN网络中的交换机连接到控制器时,交换机发送到控制器的消息携带了与本设备直接相连的对端设备信息,根据此信息,控制器可以实现被动的网络发现机制。如果交换机未发送LLDP协议所收集的信息,则控制器下发类型为OFPT_PACKET_OUT的报文至交换机,指导交换机从其接口发送LLDP报文,然后收到LLDP报文的交换机通过FPT_PACKET_IN类型报文上送到控制器,然后控制器就能构造出整个网络的拓扑关系。

[0078] 步骤103,根据实时拓扑结构,采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表前缀树,并存储每个节点的路由表中的转发子网网段。

[0079] 路由异常的检测依赖于每个节点的路由信息,为了存储和方便查找每个节点的路由信息,需要构造有效的路由表存储及查询的方案。在参考文献《A tree-based packet routing table for Berkeley unix》中提出了一种构造二分查找树进行路由查找的解决方案。此方案理论上可以有效的进行路由表项的查找。但是,由于IP路由前缀长度的分布不均匀性,例如:在参考文献《Visibility of Prefix Lengths in IPv4 and IPv6》提到IPv4地址块主要集中在前缀长度为16到24之间,尤其以前缀长度为24的地址块最多。采用二分

查找树的方案需要存储大量的中间节点,这样,不仅造成存储空间的浪费,而且延缓了查询的时间。参考文献《IP-address lookup using LC-tries》中的动态的层次压缩方法构造前缀树也即LC-Trie树,但是对于路由表条目达到100K以上时效率较低。参考文献《第三层交换技术及其在宽带IP网中的应用研究》中采用了静态层次压缩的方法存储LC-Trie前缀树,当路由条目超过100K条时,通过该方法可以获得较快的查询速度,同时能够节省存储空间。本文结合上述所有方法,针对SDN网络的情况做了改进以适应实际网络运行的需要。

[0080] 步骤104,在需要判断环路的子网网段中,对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表,遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图。

[0081] 其中,所述下一跳是指报文在当前路由器节点上将被转发到的下一个路由器节点,对应的,下一跳表是指节点之间相互连接的状态的集合。

[0082] 步骤105,根据节点的转发图,判断是否存在路由环路。

[0083] 构造出相应的每个网段的转发图后,在转发图上即可判断网络中是否存在路由环路的情况。在转发图上,如果存在路由环路,则等价于此转发图具有封闭的环路。在参考文献《Depth-first search and linear graph algorithms》中给出了一种复杂度 $O(V+E)$ 的计算有向图中所有强连通分量的线性时间算法。但是,基于本发明中的涉及的问题更为简单,也即只需要判断是否存在环路即可。从而对上述算法进行改进,得到深度优先标记算法,其复杂度仍然同文献一样为 $O(V+E)$,但实现时的计算时间和存储空间更优良。

[0084] 由上述实施例可知,本发明所述的基于SDN网络中路由环路的检测方法具有以下优点:

[0085] (1)所述的基于SDN网络中路由环路的检测方法从SDN网络中路由环路发生的根本原因即路由表来判断是否存在路由环路,这样能够接近100%判断出是否出现路由环路的现象。同时,从路由表来判断路由的异常情况,避免了对路由协议的分析,做到了路由协议的无关性。

[0086] (2)本发明的检测方法由于不需要采用网络流量,而是实时监控路由表事件,因此不会对SDN网络引入额外的流量,保证了网络的正常运行。

[0087] (3)当网络中不存在流量时,本发明的检测方法也可以检测出是否具有路由环路。这样,可以对环路行为进行预警,提前避免重大事故的发生。

[0088] (4)本发明的检测方法中采用的层次压缩的方法,构造了同时存储多路由表的前缀树,有效减少存储空间和计算时间。

[0089] (5)由于前缀树的特点,对不同网络前缀是可以并行进行检查的,因而具有很好的扩展性和伸缩性,在网络规模发生变化时,可以很容易增加并行处理的硬件来提升计算性能。

[0090] (6)本发明的检测方法具有良好的适应性,在对IPv4路由异常检测基础上,可以容易集成IPv6的异常检测,以及对其它路由协议的异常检测功能(例如MPLS等)。

[0091] 在一些较佳的实施例中,所述实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息的步骤101包括:

[0092] 根据路由器运行的不同协议,采用与协议相应的探测器来获取路由表信息和路由事件信息。例如:以路由器运行OSPF协议或者BGP协议为例,则安装OSPF探测器(OSPF Prober)或者BGP探测器(BGP Prober)来获得网络的路由信息。其中,OSPF探测器可以采用

开源的Quagga软件进行修改即可实现。BGP探测器采用开源的BGPMon,可以实时获取BGP的前缀广播信息。

[0093] 这样,使得所述基于SDN网络中路由环路的检测方法能够适用于采用各种不同协议的网络。不仅,提高了本发明方法的实用性,而且有利于所述基于SDN网络中路由环路的检测方法在不同网络中的扩展。

[0094] 在本发明进一步的实施例中,所述层次压缩的方法具体为固定分级层次压缩的方法,实现的步骤为:

[0095] 将前缀树构造为5个依次相互连接的不同的层次,且层次由上到下的级别依次采用8-8-8-4-4的分布方式。

[0096] 本发明针对IPv4的网络地址分布情况,使用固定分级层次压缩方式为8-8-8-4-4的前缀树方式和前缀长度小于8的4-4的前缀树方式。参照图7所示,为分级方式为8-8-8-4-4的前缀树方案。同理,前缀长度在8以内的4-4前缀树也同样可以构造出来。

[0097] 前缀树中每个节点的定义如下:

```

struct node{
    void* next;    /* 前缀更长的下一级节点 */
    int nhop;     /* 对应于此前缀的下一跳信息 */
    int branch;   /* 水平扩展的分支的偏移*/
    unsigned char visited; /* 用于树的遍历等辅助操作 */
};

```

[0099] 其中,各个字段的具体含义如下:

[0100]

项目	struct node			
字段名称	next	nhop	branch	visited
字段含义	指向下一级节点	下一跳的索引	水平分支 branch 的数目	用于遍历节点的辅助变量

[0101] 在前缀树的每个节点上,存储的是下一跳表NHDB的索引,具体的下一跳内容需要到下一跳表NHDB中查询,在索引为0的位置存储了所有节点的默认路由。下一跳表逻辑上组织为表格形式,其每行元素的格式如下:

[0102]

```

struct nhdb_node{
    int rid[MAX_ROUTER]; /* 路由器 ID */
    int nexthop_data[MAX_ROUTER]; /* 对应于此路由器的下一跳, 如果无下一跳则对应的值为 null*/
};

```

[0103] 其中MAX_ROUTER为网络中存在的路由器数目的最大值。

[0104] 这样,通过本发明采用的8-8-8-4-4的固定分级压缩的方式能够进一步提高前缀树的储存效率和检测计算的效率。

[0105] 在一些优选的实施例中,所述生成节点的转发图的步骤104包括:

[0106] 首先,为了实现异常路由情形的分析,需要对针对的网络进行建模,得到网络模型 $G(V,E,W)$,其中, V 表示网络中节点的集合,每个节点表示了网络中的设备,例如路由器、第三层交换机等。 E 表示两个节点之间的边集合,每条边表示了两个网络设备之间的连接链路。 W 表示每条链路的权重,例如: $w(e)$ 表示某条链路 e 的权重。

[0107] 设 $u,v \in V$ 代表网络上两个具有连接链路的路由器,节点 u 上的路由表代表了当时节点的一个快照,用 r_u 表示;欲转发的报文用 p 表示。

[0108] 路由器上的转发行为定义如下:

[0109] $f(p,r_u) = v, u, v \in V$,其中, u, v 为不同的节点, p 为欲转发的报文, r_u 表示节点 u 上的路由表。

[0110] 上述转发行为表示报文在路由器节点 u 上将被转发到其下一跳 v 。通常在具体实现时,下一跳为节点 u 的出接口;但是在分析异常情况时,可以从出接口直接获得此接口直连的路由器,因此,此处的 v 定义为下一跳对应的路由器。

[0111] 由此,得到报文 p 在整个网络中转发的定义:

[0112] $F(p,R_{\Sigma u}) = \{ \langle i, j \rangle \mid f(p,r_u) = j; i, j, u \in V \}$,其中, R 表示网络上每个路由器的路由表集合。

[0113] 然后,在前缀树中,对报文 p 的比特进行分解,并且从树根到树叶对前缀树进行查找,直到达到报文 p 的前缀为止,记录查找过程中每个被访问的节点包含的下一跳;

[0114] 通过这些下一跳,也即报文 p 的转发结果,得到报文 p 在网络上转发结果为有序对的集合 $T(p,R)$,且

[0115] $T(p,R) = F(p,R_{\Sigma u})$

[0116] 通过有序对的集合 $T(p,R)$ 形成的有向图,最终就能得到节点的转发图。

[0117] 在一些可选的实施例中,将转发图定义为: $\text{ForwardingGraph}(V,E,R,p) :=$ 节点集合 V 上由有序对集合 $T(p,R)$ 构成的有向图

[0118] 为了讨论方便,有时省略了 V, E ,而简单记为: $\text{FG}(p,R)$ 。或者,特定的路由表 R 已知时,可以简记为 $\text{FG}(p)$ 。

[0119] 对所有的报文 p 验证转发结果是不现实也是没有必要的,只需要对报文 p 所属于的网络进行验证即可。对于网络及其子网的表示,引入了来自于CISCO的常用表示方法,即{IP地址/掩码-范围}表示。例如{192.168/16-24}表示IP地址的前16位为192.168,而对应的掩码长度为16到24的IP地址范围。{0/0}表示默认路由,而{0/0-32}表示所有可能的IPv4网络地址,而{0/1-32}表示除了默认路由以外的所有可能IPv4网络地址。参照图8所示,为192.168/16对应的转发图,可以看到它造成了路由的环路。

[0120] 这样,通过上述实施例中采用的转发图相关的定义,以及转发图的生成,能够使得本发明的方法快速获得节点的转发图,且该节点的转发图包含判断路由环路的所需信息。也即,能够提高所述基于SDN网络中路由环路的检测方法的检测效率和准确性。

[0121] 进一步,对于多路径的路由的情况,所述路由器上的转发行为定义为:

[0122] $f(p,r_u) = \{ v_i \mid v_i \text{为报文} p \text{在节点} u \text{上的下一跳节点} \}, u, v_i \in V$ 。

[0123] 也即,当前的节点对应多个下一跳节点。此时,其他与转发图相关的定义完全一样,且生成转发图的方法也一样,此处不再重复说明。

[0124] 在一些较佳的实施例中,参照图9所示,以10.22.33/24的转发图为例进行说明,转发图的生成过程具体如下:

[0125] 以IP地址的前8位即10为索引,查找一级Trie块,(nhop,next)都不为零,以nhop=65为索引查找下一跳数据表,路由器1和路由器2没有路由表项,路由器3有下一跳1,得到有序对<3,1>。

[0126] 以IP地址的次8位即22为索引,以上一步的next为指针,查找二级Trie块,得到表项(nhop,next)不为零,以nhop=47查找NHDB表,得到路由器1下一跳3,路由器2的下一跳3,总共得到有序对为:{<3,1>,<1,3>,<2,3>}。

[0127] 因为next不为零,表明有更长的前缀路由存在,以IP地址的后续8位即33为索引,得到表项(nhop,next)。由nhop=48,查找NHDB表,得到更长的前缀路由<1,2>,替换掉上一步中的<1,3>,总共得到的有序对为:

[0128] {<3,1>,<1,2>,<2,3>}

[0129] 由于达到了10.22.33/24的前缀长度24,因此得到的有序对构成的转发图,参照如图8中所示的转发图。

[0130] 参照图10所示,所述判断是否存在路由环路的方法为深度优先标记算法,具体步骤包括:

[0131] 步骤201,将所有节点标记为alive,并且将栈空间初始化为空。

[0132] 步骤202,判断当前节点是否同时具有入度和出度,若是,则转到步骤203,若否,则转到步骤204。

[0133] 步骤203,根据步骤202,将当前节点标记为visited,并使当前节点入栈。

[0134] 步骤204,根据步骤202,将当前节点标记为dead;且该当前节点不入栈。

[0135] 步骤205,判断栈空间是否为空,若是,则转到步骤212,若否,则转到步骤206。

[0136] 步骤206,根据步骤205,表示栈空间内具有节点,进一步判断栈顶节点是否有后续节点,若否,则转到步骤207。其中,所述栈顶节点是指处于栈内最顶层的节点。

[0137] 步骤207,若栈顶节点没有后续节点,则栈顶节点标记为dead,并使栈顶节点出栈,即将节点移出栈空间。

[0138] 返回步骤205,继续判断栈空间是否为空,直到所有节点都被标记为dead,也即,栈空间为空。

[0139] 步骤212,栈空间为空,表示不存在路由环路,检测完毕。

[0140] 这样,本发明所述基于SDN网络中路由环路的检测方法能够快速准确地对转发图进行检测和判断,也即大大提高了路由环路的检测效率。

[0141] 进一步,所述判断栈顶节点是否有后续节点的步骤206包括:

[0142] 步骤208,若栈顶节点有后续节点,则获取栈顶节点的后续节点。

[0143] 步骤209,判断后续节点是否标记为alive,若是,则返回步骤202对该后续节点继续判断,若否,则转到步骤210。

[0144] 步骤210,判断后续节点是否标记为visited;若是,则转到步骤211,若否则返回步骤207。

[0145] 步骤211,根据步骤210,后续节点标记为visited,则表示网络中存在路由环路。

[0146] 需要说明的是,上述标记alive、visited和dead只是为了区分处于不同状态的节

点,可以根据实际需要,相应地修改标记的方式和内容。

[0147] 参照图11所示,为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测方法中的路由环路判断算法的一个示例的结构示意图。

[0148] 将本发明采用的深度优先标记算法在图11中的转发图中运行计算,可以得到路由环路为:R2-R3-R5。

[0149] 参照图12所示,为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测系统的系统结构示意图。所述基于SDN网络中路由环路的检测系统,包括:

[0150] 路由信息获取模块301,用于实时获取网络中每个节点的路由表信息和路由事件信息;

[0151] 拓扑结构生成模块302,用于根据所述路由信息获取模块301中获取的路由表信息和路由事件信息,构造网络的实时拓扑结构;

[0152] 前缀树构造模块303,用于根据所述拓扑结构生成模块302中的实时拓扑结构,采用层次压缩的方法构造最长前缀匹配的多路由表单前缀树,并存储每个节点的路由表中的转发子网网段;

[0153] 路由计算模块304,用于在需要判断环路的子网网段中,对所述前缀树中的每个子网节点生成路由下一跳表,遍历前缀树的每个子网节点生成节点的转发图;

[0154] 路由检测模块305,用于根据所述路由计算模块304中的节点的转发图,判断是否存在路由环路。

[0155] 参照图13所示,为本发明提供的基于SDN网络中路由环路的检测系统的系统架构示意图。所述基于SDN网络中路由环路的检测系统部署于SDN网络的控制器Controller之上。

[0156] 所属领域的普通技术人员应当理解:以上任何实施例的讨论仅为示例性的,并非旨在暗示本公开的范围(包括权利要求)被限于这些例子;在本发明的思路下,以上实施例或者不同实施例中的技术特征之间也可以进行组合,步骤可以以任意顺序实现,并存在如上所述的本发明的不同方面的许多其它变化,为了简明它们没有在细节中提供。因此,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何省略、修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

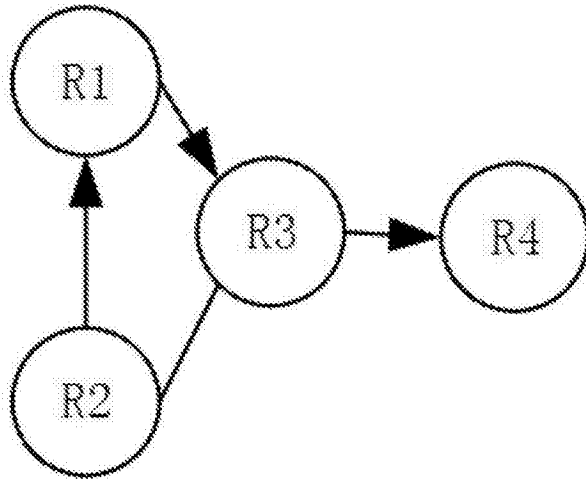


图1

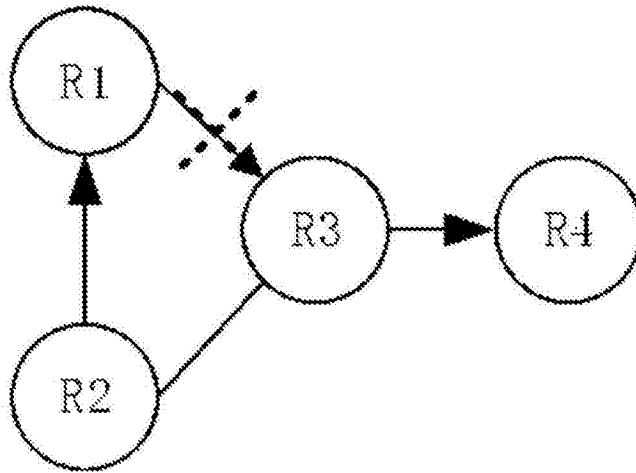


图2

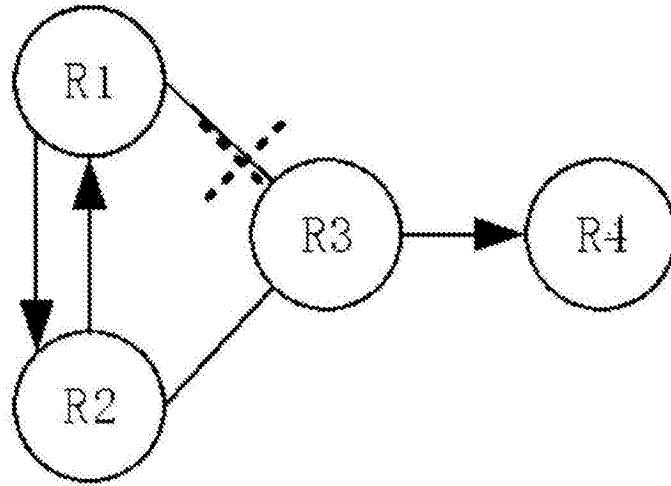


图3

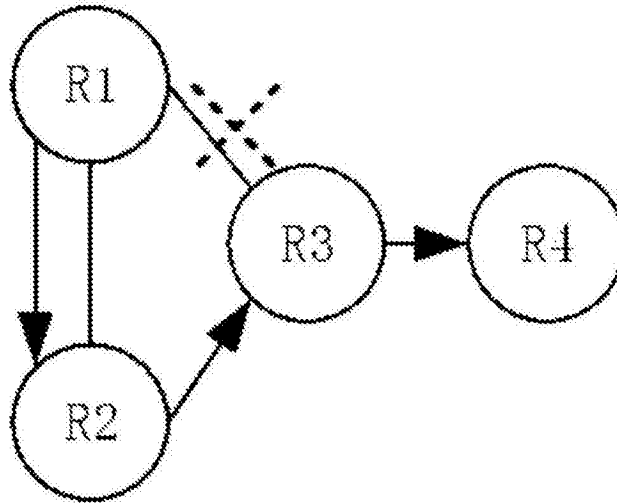


图4

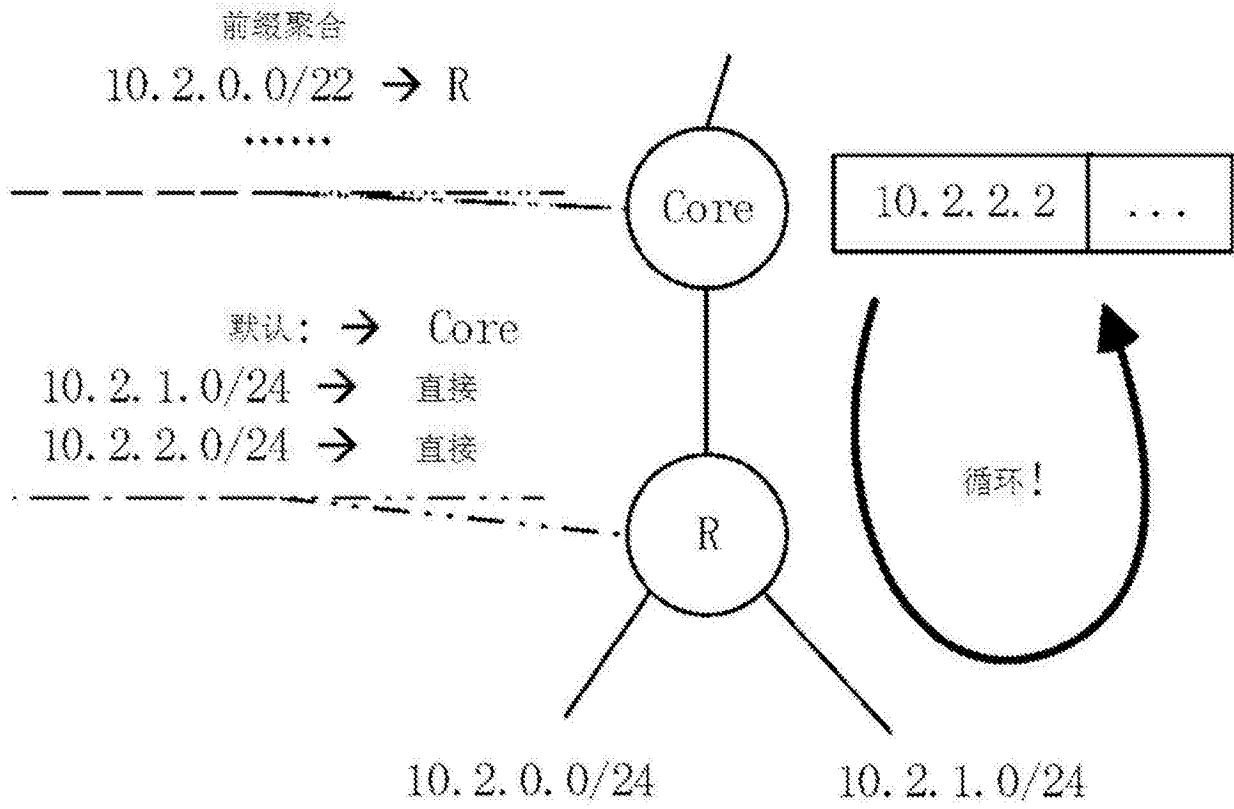


图5

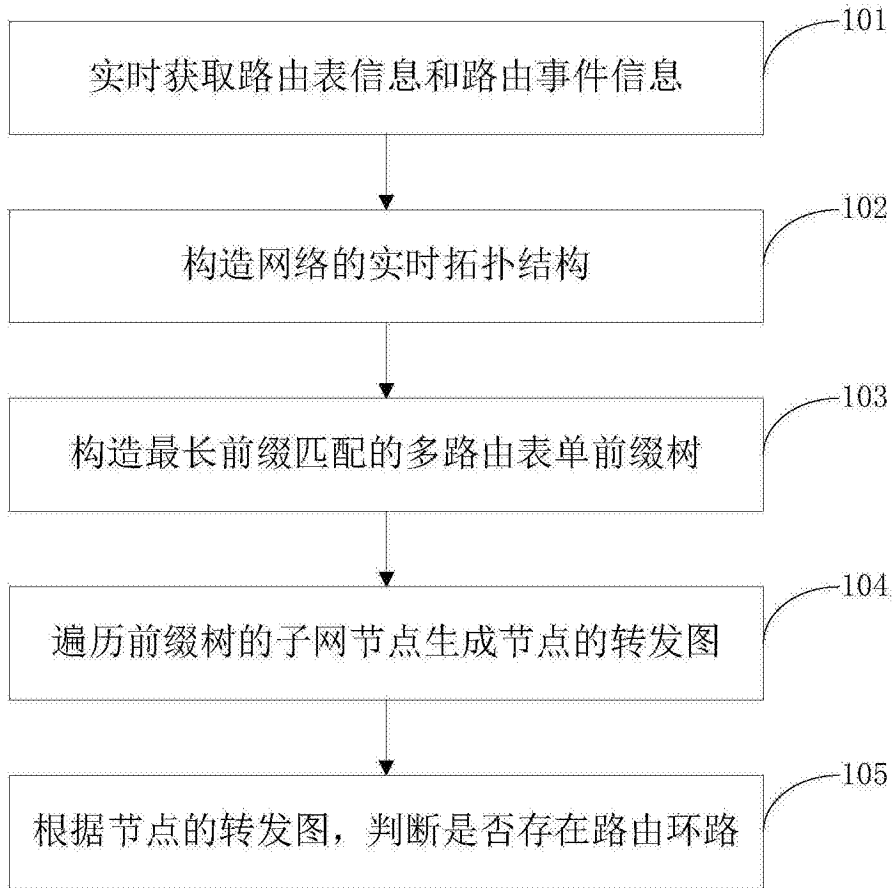


图6

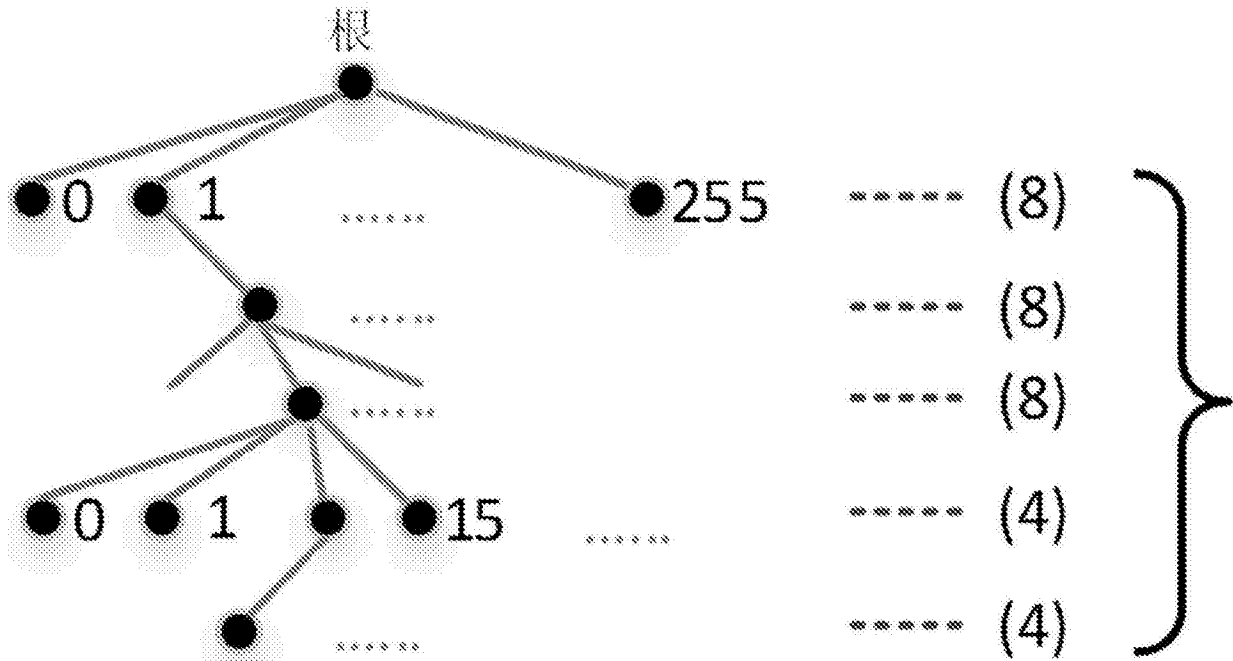


图7

FG(192.168/16)

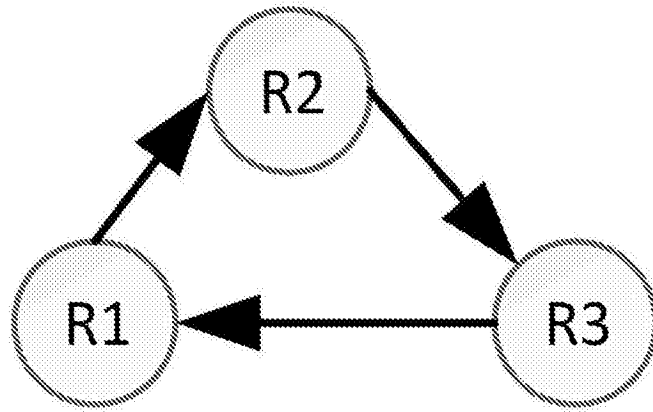


图8

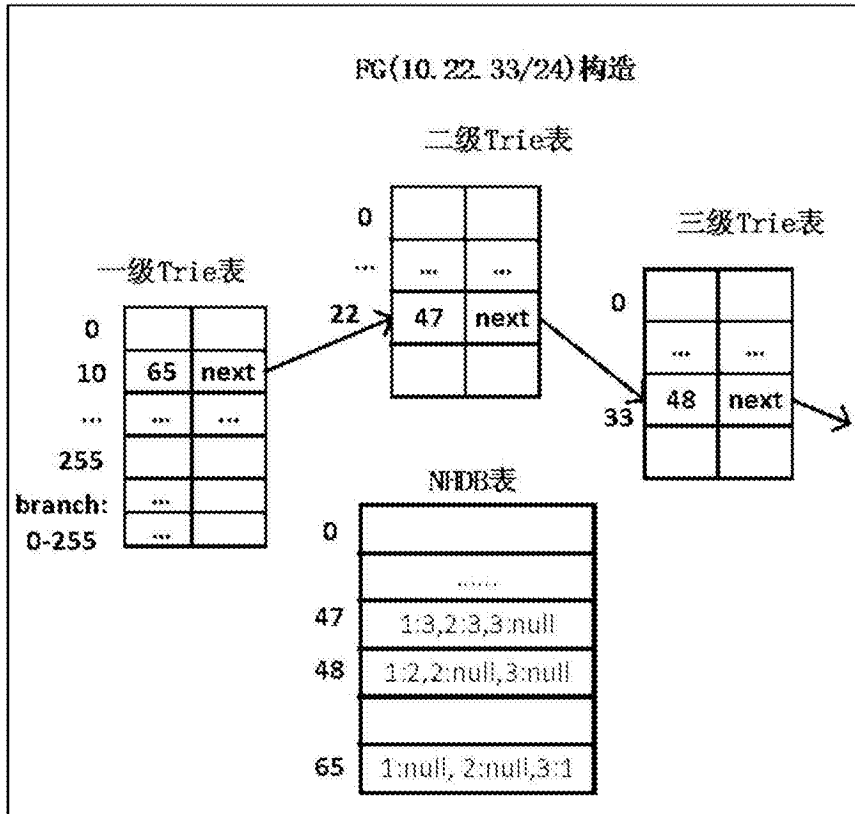


图9

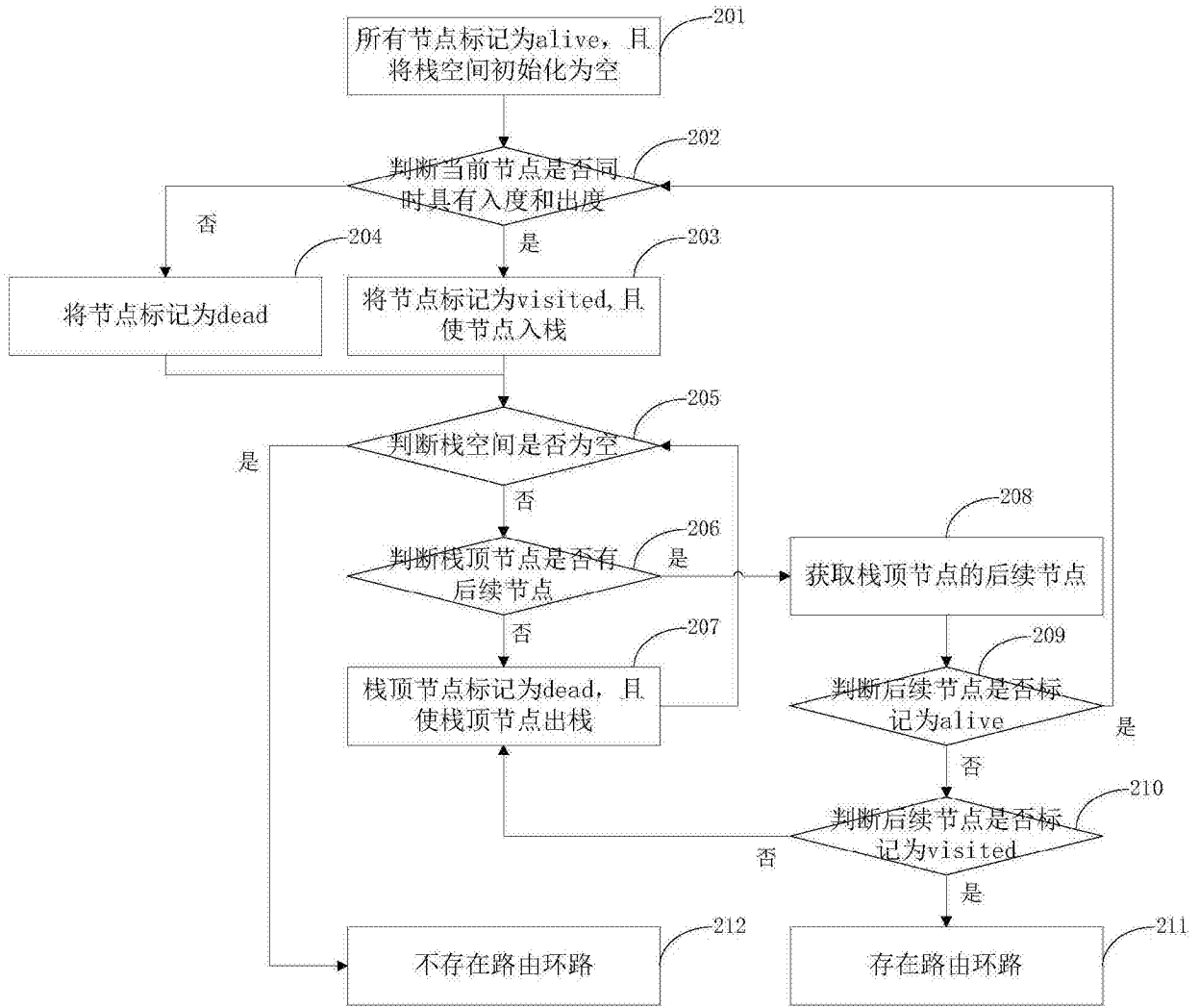


图10

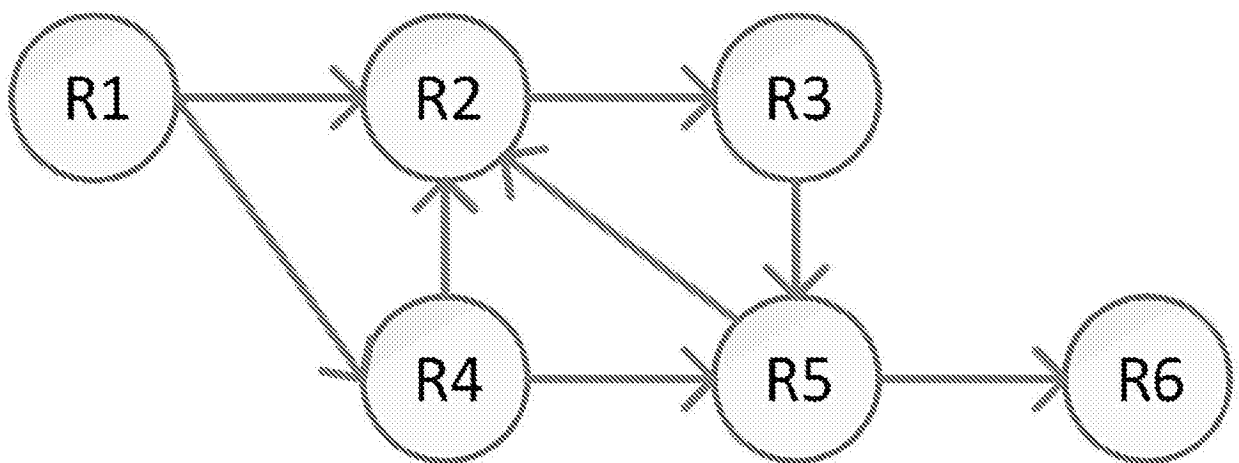


图11

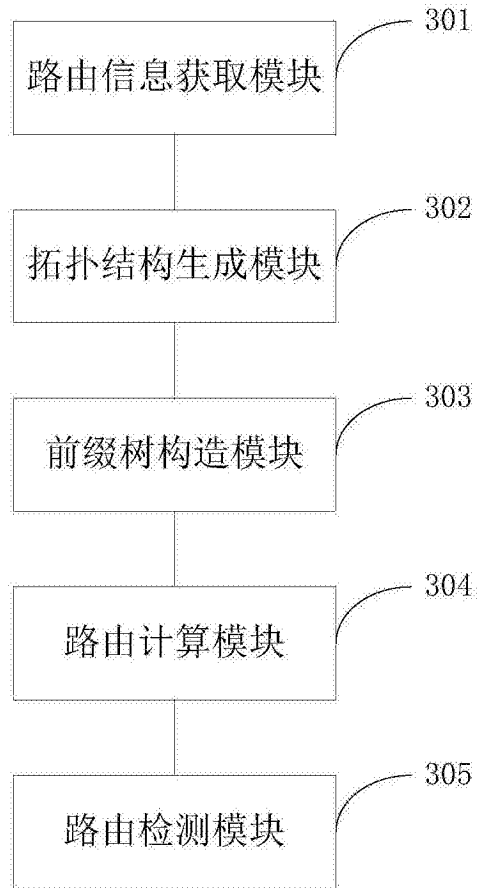


图12

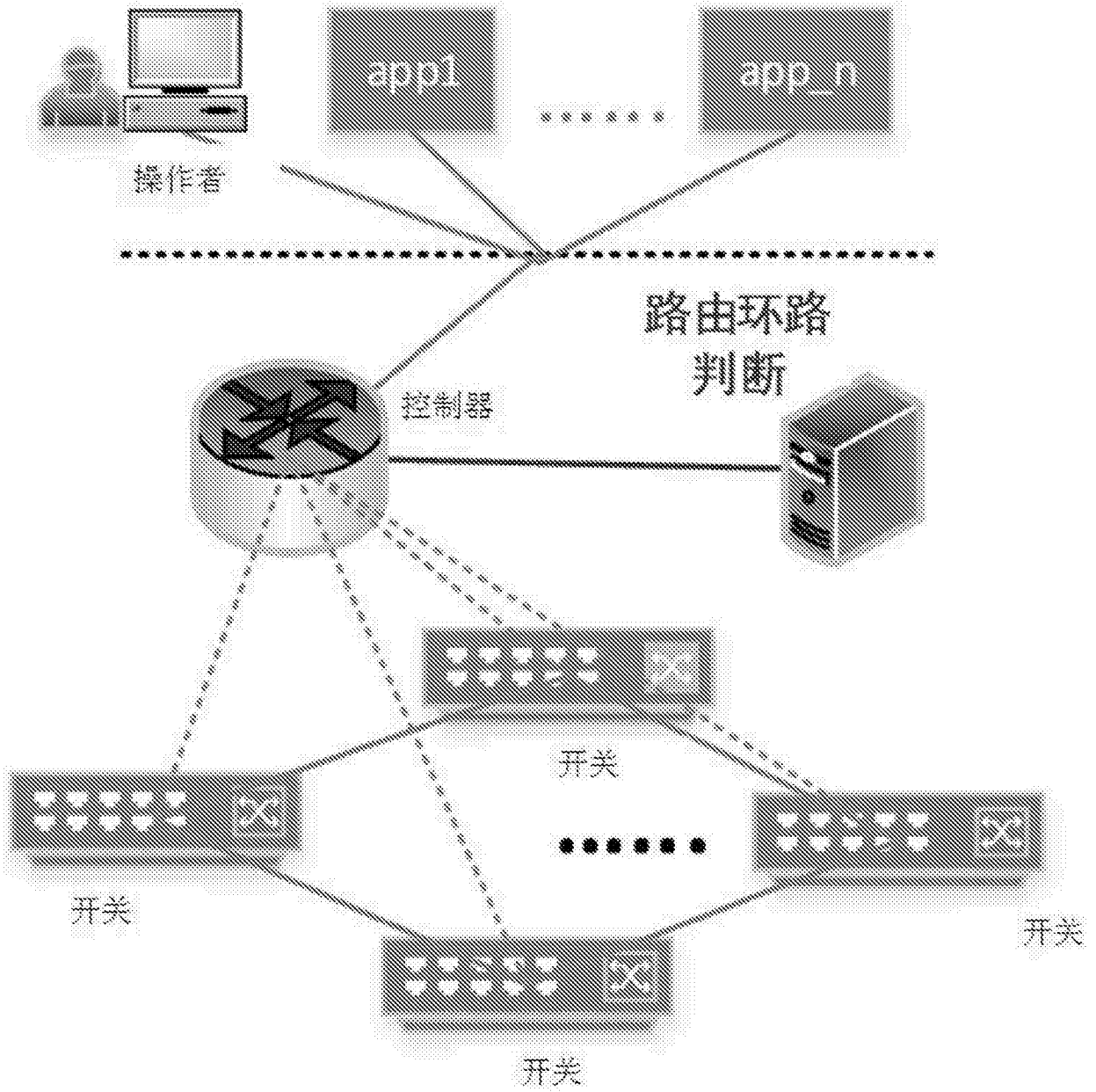


图13