



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111541560 B

(45) 授权公告日 2022.06.14

(21) 申请号 202010232728.2
 (22) 申请日 2015.05.12
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 111541560 A
 (43) 申请公布日 2020.08.14
 (30) 优先权数据
 61/992,063 2014.05.12 US
 (62) 分案原申请数据
 201580011787.4 2015.05.12
 (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
 (72) 发明人 罗敏 楚新雨 习康
 鸿襄·乔纳森·赵 周芜

(51) Int.Cl.
 H04L 41/0654 (2022.01)
 H04L 41/0668 (2022.01)
 H04L 45/28 (2022.01)
 (56) 对比文件
 CN 103733578 A, 2014.04.16
 KR 20140049115 A, 2014.04.25
 CN 103782552 A, 2014.05.07
 P. Ashwood-Smith等.SDN State ReductionDraft-ashwood-sdnrg-state-reduction-00.txt.《Internet Research Task Force》.2014,第1-24页.
 审查员 程曦

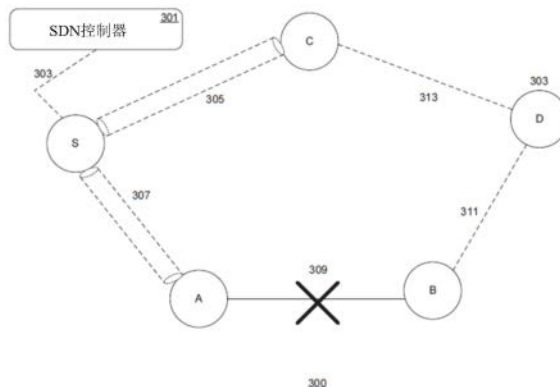
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

IP网络中的部分软件定义网络交换机替换的方法和设备

(57) 摘要

要求保护的主体涉及用于网络拓扑的新型方法和系统,其中IP网络与较小数量的SDN-OF使能网络设备部分集成并增强来提供能够从网络故障中快速恢复的弹性网络,并且实现了恢复后均衡负载,同时使成本和复杂度降至最小。通过将SDN-OF使能交换机与路由器等传统IP节点组合,本文描述了允许数据网络的超快速且均衡负载感知故障恢复的新型网络架构和方法。



1. 一种网络系统,其特征在于,所述网络系统包括多个网络节点,所述多个网络节点包括多个互联网协议IP网络设备和多个支持软件定义网络SDN的网络设备的组合,

预期从第一网络节点经由故障网络节点发往目标网络节点的数据报文,将由所述第一网络节点转发到指定网络节点,所述指定网络节点包括支持SDN的网络设备,其中,所述第一网络节点、所述故障网络节点、所述指定网络节点和所述目标网络节点位于所述多个网络节点中;

所述指定网络节点用于:分析所述数据报文并将所述数据报文绕过所述故障网络节点发送给所述目标网络节点。

2. 根据权利要求1所述的网络系统,其特征在于,所述网络系统包括网络控制器,其中,所述网络控制器用于:将流量路由配置分发给所述多个网络节点;
确定所述多个网络节点的流量负载。

3. 根据权利要求2所述的网络系统,其特征在于,

所述指定网络节点用于:基于所述流量路由配置对所述多个网络节点中的流量进行负载均衡。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的网络系统,其特征在于,所述多个支持SDN的网络设备由使能了SDN-OF功能的所述多个IP网络设备的子集组成。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的网络系统,其特征在于,所述第一网络节点用于:基于预定路由策略将所述数据报文转发到所述指定网络节点。

6. 根据权利要求2所述的网络系统,其特征在于,所述多个支持SDN的网络设备中的至少一个支持SDN的网络设备用于维持所述网络控制器分发的流量路由配置,所述流量路由配置包括含到达所述目标网络节点的多条路径中的多条路由的路由信息。

7. 根据权利要求6所述的网络系统,其特征在于,所述至少一个支持SDN的网络设备用于计算所述多条路由中的至少一条路由的流量加权分配。

8. 根据权利要求1-7任一项所述的网络系统,其特征在于,通过建立在所述第一网络节点和所述指定网络节点之间建立IP通道,将所述数据报文路由到所述指定网络节点的设备中。

9. 一种网络控制器,其特征在于,所述网络控制器位于包含多个网络实体的混合网络中,所述网络控制器包括:

存储器,包括多个指令;

处理器,用于执行所述多个指令,实现将流量路由配置分发给所述混合网络中的多个网络节点;

其中,所述多个网络节点包括多个互联网协议IP网络设备和多个支持软件定义网络SDN的网络设备的组合,

预期从第一网络节点经由所述多个网络实体中的故障网络实体发往目标网络节点的数据报文由所述第一网络节点基于所述流量路由配置转发到所述多个网络节点中的指定网络节点,所述指定网络节点包括支持SDN的网络设备;

所述指定网络节点用于分析所述数据报文并将所述数据报文沿多条路由重路由给绕过所述故障网络实体的所述目标网络节点。

10. 根据权利要求9所述的网络控制器,其特征在于,所述处理器用于:以周期间隔计算

并分发所述流量 路由配置。

11. 根据权利要求9或10所述的网络控制器,其特征在于,所述处理器还用于:基于所述多个网络节点中的至少一个网络节点生成的多个报告监控网络状态,所述网络状态包括多条路径中的可用带宽。

IP网络中的部分软件定义网络交换机替换的方法和设备

[0001] 优先权申明

[0002] 本申请要求2014年5月12日递交的第61/992,063号美国临时专利申请案的在先申请优先权,该在先申请的全部内容鉴于所有目的以引入的方式并入本文本中。

技术领域

[0003] 请求保护的主体与混合网络有关。具体而言,该主题在传统IP基础架构中提供软件定义网络(Software Defined Networking,SDN)设备的部分集成机制来实现SDN的潜在优势,从而在主流传统IP网络中实现快速故障恢复和恢复后负载均衡。

背景技术

[0004] 计算机网络的持续演进和集成已使得计算机化网络成为现代通信的支柱。然而,尽管发展迅猛,但是大型和小型计算网络仍然遭受业务中断和失败的影响(由于,例如,意外的电缆损坏、接口卡故障、软件缺陷,以及错误配置等)。传统计算机网络通常利用通常称为TCP/IP的互联网协议套件所定义的网络模型和通信协议。

[0005] 这些传统网络,也称为互联网协议(IP)网络,通常遵循一种包含多个节点的拓扑,节点包括交换机和路由器等数据通信设备(data communication equipment,DCE),或者计算机、服务器、移动设备等数据终端设备(data terminal equipment,DTE)。在典型的网络中,DCE和DTE均可在网络中单独寻址并通过通信链路互连。数据通过一条或多条链路进行路由从而在网络中传输,直至数据到达位于目标地址的节点。当网络节点或链路不响应或者无法处理数据和/或将数据转发到路由下一节点时,会产生网络故障。

[0006] 传统的IP网络利用多种方法来协助从网络故障中恢复。然而,传统的恢复方法(例如,最短路径重计算、IP快速重路由等)通常无法为网络中所有可能受影响的节点或链路提供充分覆盖。更为复杂的方法可能能够提供足够的覆盖,但是换来的是令人不便的破坏性和难以承受的复杂性。此外,聚合到备用资源可能会带来问题或者非常耗时,更糟糕的是,这些类型的方案可能只能达到局部最优方案,这非常容易导致新的网络拥塞,此外由于这些资源的分布属性也会阻止利用某些资源。

[0007] 软件定义网络(Software Defined Networking,SDN)是一种解耦传统计算机网络基础架构的主要功能的数据/计算机网络方法。在SDN方案下,进行网络流量路由决策(控制平面)的机制与实际将流量转发到预期目的地(数据平面)的系统解耦。将控制平面与数据平面解耦允许控制逻辑的集中化并全局了解网络状态和流量统计数据,最终会使资源利用率大幅提升,策略管理更为有效,管理更为灵活,而成本大大降低。

[0008] 在许多SDN实施方案下,网络设备仍在数据平面上执行功能,而传统在控制平面执行的功能被解耦并抽取到逻辑中心层/平面。OpenFlow(OF)是一种外部网络控制器(通常为服务器)用来与SDN网络中的网络设备(通常为网络交换机)进行通信的标准化协议。OF协议允许控制器定义报文如何在每个SDN网络设备进行转发,且允许网络设备(例如,交换机)向控制器上报状态和/或流量统计数据。虽然SDN设备(例如,SDN交换机)变得越来越受欢迎,

但是由于将现有互联网协议 (Internet Protocol, IP) 网络设备替换为支持SDN的网络设备所需的成本和人力,所以这些设备的部署一般是一种渐进的过程。此外,现有部分基础架构的大规模替换如果都同时进行的话可能会导致严重的业务中断。

发明内容

[0009] 作为上文提及的问题类型的解决方案,本发明提供了用于网络拓扑的新型方法和系统,其中IP网络与SDN-OF(或者其它控制器-交换机通信)使能网络设备部分集成并增强来提供能够从单链路或节点的网络故障中快速恢复的弹性网络,并且实现了恢复后均衡负载,同时使成本和复杂度降至最小。本发明通过将数量非常有限的传统IP节点(例如,路由器)替换为SDN-Openflow使能交换机,公开了一种允许数据网络的超快速且均衡负载感知故障恢复的新型网络架构和方法。

[0010] 根据本发明的一个方面,提供了一种管理IP网络中集成的SDN-OF设备(例如,SDN-OF使能交换机)的设备。在一项实施例中,描述了一种包括存储器和处理器的网络设备。所述存储器存储多个编程指令,所述多个编程指令在被执行时可用于实例化含多个网络实体的混合网络的网络控制器,所述网络实体包括通过多条链路以通信方式耦合的多个网络节点。所述处理器用于执行所述存储器上存储的所述多个编程指令来计算所述混合网络的流量路由配置,将流量路由配置分发给所述多个网络节点,确定所述混合网络的当前网络状态,以及确定所述混合网络中的当前流量负载。

[0011] 根据本发明的一项或多项实施例,所述多个网络节点可包括多个互联网协议 (Internet Protocol, IP) 网络设备和多个软件定义网络 (Software-Defined Networking, SDN) 使能网络设备的组合。预期从第一网络节点(检测节点)经由所述多个网络实体中的故障网络实体发往目标网络节点的数据报文由所述第一网络节点基于所述流量路由配置转发到所述多个网络节点中的指定网络节点。根据又一实施例,所述指定网络节点还可用于将所述数据报文沿多条路由重路由给绕过所述故障网络实体的所述目标网络节点,同时基于所述流量路由配置对所述混合网络中的流量进行负载均衡。

[0012] 根据本发明的另一方面,提供了一种在混合网络中执行报文路由的方法。在一项或多项实施例中,所述方法可通过以下操作来执行:在第一网络节点中确定混合网络的网络节点子集,所述混合网络包括通过多条链路以通信方式耦合的多个网络节点,在所述第一网络节点中计算流量路由配置,以及将所述流量路由配置分发给所述网络节点子集,其中所述网络节点子集使能了SDN-OF功能。

[0013] 根据本发明的又一方面,提供了一种在混合网络中由于链路故障而重路由数据的方法。在一项或多项实施例中,在本方法中执行的步骤可包含:在指定的使能了SDN-OF的网络设备中接收预期通过故障网络实体路由的多个数据报文,参考所述指定的使能了SDN-OF的网络设备中的流量路由配置来确定所述指定的使能了SDN-OF的网络设备和预期目标节点之间的中间网络设备,以及如果所述指定的使能了SDN-OF的网络设备直接耦合到所述预期目标节点,将所述多个数据报文从所述指定的使能了SDN-OF的网络设备转发到所述预期目标节点,否则转发到中间网络设备。

[0014] 根据一个或多个实施方案,所述多个数据报文可通过所述指定的使能了SDN-OF的网络设备和所述故障网络实体对应的第一网络设备之间建立的IP隧道从所述第一网络

设备自动转发。在又一实施方案中,所述故障网络实体可包括故障链路、故障网络节点,或者这两者。根据一项或多项实施例,所述流量路由配置可由网络控制器计算并分发给所述指定的使能了SDN-OF的网络设备。

附图说明

[0015] 附图包含在并且构成本说明书的一部分,示出了本发明的各种实施例并且与描述内容一起用于解释目前请求保护主题的原则。

[0016] 图1描绘了根据本发明各实施例的示例性网络拓扑的图解。

[0017] 图2描绘了根据本发明各实施例的示例性网络配置的方框图。

[0018] 图3描绘了根据本发明各实施例的示例性场景的方框图。

[0019] 图4描绘了根据本发明各实施例的在IP网络中部分集成SDN-OF使能设备的过程的流程图。

[0020] 图5描绘了根据本发明各实施例的在混合网络中执行故障恢复过程的流程图。

[0021] 图6描绘了根据本发明各实施例的示例性计算设备。

具体实施方式

[0022] 现在将详细地给出一些实施例的参考。虽然结合可替代的实施例描述该主题但应该理解它们不是旨在将请求保护的主体限制于这些实施例。相反,请求保护的主体旨在覆盖可以包括在由附加的权利要求书限定的请求保护的主体之精神和范围内的替代物、修改和等同物。

[0023] 以过程的观点展示并讨论了随后的详细描述部分。尽管在描述该过程的操作的此处附图(例如,图4和图5)中公开了操作及其排序,但是这些操作和排序是示例性的。实施例良好地适合于执行各种其它操作或此处附图的流程图中所有操作的变种,并且以不同于此处描绘和描述的顺序。

[0024] 当在本申请中所用时,术语“组件”、“模块”、“系统”等旨在指计算机相关实体,具体而言,指硬件、固件,硬件和软件的组合、软件,或者执行中的软件。例如,组件可以是,但不限于,在处理器上运行的进程、集成电路、对象、可执行件、执行的线程、程序,和/或计算机。作为例示,在计算设备上运行的应用和/或模块以及该计算设备都可以是组件。一个或多个组件可驻留在进程和/或执行的线程中,并且组件可以局部化在一台计算机上和/或分布在两台或更多台计算机之间。另外,这些组件可从存储有各种数据结构的各种计算机可读介质中执行。组件可借助于本地和/或远程进程来通信,诸如根据具有一个或多个数据报文的信号(例如,来自一个组件的数据,其中该组件借助于该信号与本地系统中的另一组件、分布式系统,和/或跨诸如因特网等的网络与其它系统交互)。

[0025] 本文所描述的各种技术可以用于各种数据通信系统和协议,包括软件定义网络(Software Defined Networking, SDN)、OpenFlow (OF) 和互联网协议(IP)等。术语“系统”和“网络”可在本文中互换使用。网络实体可包括网络节点(例如,IP 路由器或交换机)或两个节点之间的链路。术语“节点”和“网络节点”可在本文中互换使用。SDN-OF使能设备可包括(但不限于)专用网络设备,例如SDN-OF交换机、SDN-OF路由器,或SDN-OF路由器/交换机组合,或者可包括已编程具有SDN-OF功能的模块(例如,SDN-OF使能应用模块)的IP网络设备

(例如,路由器)。

[0026] 如本文所述,提供各种方案将SDN-OF设备(例如,SDN-OF使能设备)集成到IP网络中。在一项实施例中,方案可改编自现有IP网络,而不是从头构建的全新网络。根据替代性实施例,该方案可以是新的混合IP和SDN网络,并且甚至可以通过集成SDN-OF交换机和网络控制器扩展为多协议标记交换(multi-protocol label switching, MPLS)(或其它技术和协议)网络。此外,本文描述与实施为通过链路连接的节点布置的计算机或数据网络有关的各个方面。节点是一种数据通信设备(data communication equipment, DCE),例如路由器或交换机。

[0027] 根据一项或多项实施例,将传统IP网络中相对较小数量的现有IP路由器/交换机替换为纯或混合SDN-OF使能交换机来形成混合部分SDN网络。在一项或多项替代性实施例中,混合SDN网络可以选择若干(可编程)IP路由器,其中可执行SDN应用和模块或将它们替换为纯SDN-OF交换机。这种混合网络能够利用SDN-OF技术从故障中快速恢复,并以更为合理且可接受的、大大降低的复杂度实现恢复后负载均衡。

[0028] 根据本发明的一方面,提供一种方法将在给定IP网络中实现此种功能同时保证故障恢复可达性所需的SDN网络设备的数量降至最小,以及一种优化此类SDN交换机替换的方法。在一实施例中,可通过选择将替换为SDN-OF使能设备(例如,交换机)的现有IP网络节点(例如,路由器)池的子集将支持SDN的网络设备的数量降至最小。或者,如若合适,现有IP网络节点子集可编程有SDN-OF模块。此外,所选数量的SDN-OF使能设备的替换应当确保每条恢复路径在出现错误时不能遍历故障(链路或节点)。

[0029] 根据本发明的一方面,提供一种从故障中快速恢复并继续数据转发的方法。在一项或多项实施例中,执行故障恢复的过程还包括恢复期间的负载均衡。在一项或多项实施例中,通过在诸如网络节点或链路等网络实体中检测故障并通过IP隧道将数据报文转发到SDN-OF使能设备可能实现故障恢复。在将数据报文转发到确保能够到达最终目的地并绕过故障网络实体(例如,节点或链路)的替代路由中的中间节点之前,SDN-OF使能设备随后参考外部SDN-OF控制器所提供的或基于离线路由预配置有给定或预测流量矩阵的流表。节点检测到故障时,立即将受影响的报文重路由到这种预配置的中间SDN-OF使能网络设备(例如,交换机)。SDN交换机随后基于流表中上述计算所得的流条目利用多条路径,智能地将流发送到保证预期目的地可达性的相应中间节点,无需环回。支持SDN的网络设备还可以基于网络节点中的当前网络状态和/或当前负载动态调整流重路由来实现均衡负载。

[0030] SDN-OF/IP混合网络

[0031] 图1描绘了根据各实施例的示例性网络拓扑的方框图100。出于说明目的,展示了含部分集成的SDN交换机的混合网络的架构。如图所示,该混合网络可包括含多个网络节点(0-13)的各种网络设备,每个网络节点通过链路(指示为实线)连接到另一个网络节点。在一实施例中,网络节点可实施为IP节点(节点0-2、4-6,以及8-13)和具有SDN-OF功能的节点(节点3、7)的组合。在一项或多项实施例中,IP节点可实施为具有数据平面和控制平面功能的路由器,而SDN-OF使能节点可实施为使用OpenFlow协议与集中式网络或SDN-OF控制器(未示出)通信的SDN交换机。

[0032] 根据一项或多项实施例,SDN-OF控制器可经常或周期性(例如,从网络节点)收集网络状态和/或网络中的流量数据,以便SDN-OF使能设备计算路由或流表(如OpenFlow协议

中所定义),路由或流表通过OpenFlow协议分发到支持SDN的设备。在一项或多项实施例中,SDN控制器还能够通过基于当前网络状态和/或流量动态选择中间节点来执行均衡负载,重定向报文的转发通过中间节点来进行。

[0033] 图2描绘了根据本发明各实施例的示例性网络配置的方框图200。如图2中所展示,SDN控制器201执行并控制混合IP和SDN-OF网络中的一个或多个网络节点(205、207、209和211)。在一项或多项实施例中,一个或多个节点(205-211)可实施有SDN-OF功能(例如,实施为SDN-OF交换机/路由器)。SDN-OF使能设备可执行报文转发,同时将路由决策抽取给SDN-OF控制器201。路由决策可基于网络状态和/或节点(205-211)中累积并在SDN-OF控制器201中接收到的流量数据,或者基于路由策略。

[0034] 在一项实施例中,网络状态和流量数据可存储在耦合到SDN-OF控制器201的数据库203中,并用于基于所有可从报文获取或通过其它方式获取的多层属性生成流表,流表与IP路由器或交换机中的路由表类似,但是具有更多细粒度控制。流/路由表的生成可基于从控制器接收到的需要路由决策的新报文动态进行,和/或基于某些路由决策在预定或周期间隔内进行。一旦生成,SDN-OF控制器201将流/路由表分发给SDN-OF使能设备。当IP节点遭受链路故障时,受影响的报文通过IP隧道协议转发给某些SDN-OF使能设备,这些设备随后基于从SDN-OF控制器201接收到的流/路边表沿替代路由转发报文。

[0035] 图3描绘了根据要求保护的主题的一个或多个实施例的所提出框架300的图解。如图3中所描绘,网络节点(例如,节点A、B、C和D)的每个接口配置有备用IP隧道(305、307)以在检测到链路故障时提供故障接管。IP隧道在检测节点和一个或多个SDN-OF交换机(S)之间建立,SDN-OF交换机称为该IP设备(路由器或交换机)的指定SDN交换机。图3描绘了检测到链路故障的示例性场景。如图3中所展示,当(例如,在节点A和B之间)检测到链路故障时,与故障链路直连的节点A通过预配置建立的IP隧道(307)立即将本该在故障链路上传输的所有报文转发到对应指定SDN-OF交换机S。

[0036] 在接收到来自节点A的隧道流量后,SDN-OF交换机S首先检查报文,进行表查找来确定报文到达其预期目的地的替代路由,该替代路由绕过故障链路并且也不会使报文重路由回故障链路。一旦确定,如若可能,SDN-OF交换机将数据报文转发到目标节点,或者在与中间节点(C)连接的IP隧道(309)中沿计算所得的替代路由转发到中间节点(在此情况下为中间节点C)。在一项或多项实施例中,通往所标识中间节点的路由可在表查找中参考,其中该路由通过路由优化算法,例如最短路径算法,在外部网络控制器中计算。在中间节点C处,使用启发式算法(例如,某些增强型最短路径算法)再次通过集中式网络控制器301所确定的不受故障链路影响的路由将报文转发到目标节点。

[0037] 在一项或多项实施例中,指定SDN网络设备的分配与目的地无关,因此,配置故障接管的复杂度得以降至最小,因为网络中的路由器不再需要计算单独的目的地。在一项或多项实施例中,指定SDN交换机能够将对应中间SDN-OF使能节点提供给经过受影响节点隧道的所有可能目的地。所经过的特定路由可基于网络状态和所观察或预测的流量负载由外部网络控制器计算并分发给每个SDN网络设备。

[0038] 图4描绘了根据本发明各实施例的在IP网络中部分集成SDN-OF使能设备的过程的流程图。在步骤401处,确定具有SDN-OF功能的IP网络节点子集。在一项或多项实施例中,可选择替换(或升级)节点子集具有SDN能力。在一项或多项实施例中,将所选择的待替换(或

升级)的节点数量降至最小,以使部署成本和可能由于集成SDN 功能所导致的业务中断降至最低。可通过确定仍然允许网络实现某些特征的最小数量的节点来选择IP网络节点子集。在一项实施例中,这些特征可包括,例如,1) 对于包含未使能SDN-OF功能的节点的每条链路,确定并指定网络中的SDN-OF使能设备,以及2) 对于每个SDN-OF使能网络设备,网络中的每个可能目标节点存在至少一个未使能SDN-OF功能的中间节点。

[0039] 所选节点可由诸如交换机之类的专用SDN硬件替换,或者可通过安装有SDN能力的软件模块进行编程升级。在一项或多项实施例中,有SDN-OF能力的网络控制器在相对于SDN-OF使能设备为外部但以通信方式耦合到该设备的节点中执行。有SDN-OF 能力的网络控制器可在服务器或另一计算设备上执行。一旦执行,SDN控制器通过一个或多个通信协议从网络节点(IP路由器)接收流量数据。随后,在步骤403处,使用流量数据计算SDN-OF使能设备的流量路由配置(例如,路由表)。最后,在步骤405 处,将流量配置分发给SDN-OF使能设备。在一项或多项实施例中,流量数据的获取和流量配置的生成可周期性地甚至可以进行动态进行,以确保在流量配置中反映当前流量数据和/或网络状态。

[0040] 节点选择

[0041] 根据一项或多项实施例,SDN-OF使能设备的数量可限定为仍为网络中各个节点提供完整故障恢复覆盖的最小数量。确定SDN-OF使能设备的最小数量包括确定:1) 对于每个链路故障,受影响的节点必须具有至少一个与目的地无关的指定支持SDN的设备,以及2) 对于每个SDN-OF使能设备,每个可能目的地至少存在一个中间节点。

[0042] 最小化网络中可以替换或更新为有支持SDN的功能的节点数量可表示为:

[0043]
$$\text{minimize } \sum_i u_i \quad (1)$$

[0044]
$$\text{subject to: } \sum_i b_{x,i}^e (1 - \delta_{x,i}^e) [\sum_m N_{i,m} (1 - \delta_{i,m}^e) (1 - \delta_{m,d}^e)] \geq \beta_x^e \delta_{x,d}^e \quad (2)$$

[0045]
$$\sum_i b_{x,i}^e \leq \beta_x^e \quad (3)$$

[0046]
$$b_{x,i}^e \leq u_i \quad (4)$$

[0047] 其中(1):目标是最小化SDN-OF使能交换机的数量,并具有如下约束如下:

[0048] (2):链路e,当发起节点x出现故障时,x必须具有至少一个可达的指定SDN-OF 使能交换机;

[0049] (3):如果节点x属于链路e,链路e出现故障时它必须具有一个可达的指定 SDN-OF 使能交换机;

[0050] (4):如果节点I被任意节点选作指定SDN-OF使能交换机,则它必须为SDN-OF 使能交换机。

[0051] 表I总结了参数和符号。

[0052] 表I

[0053] 可达性符号

	(V, E) 具有节点集 V 和链路集 E 的网络
	β_x^e 二进制。如果节点 x 为链路 e 的末端节点, 则 $\beta_x^e = 1$; 否则为0。
	$\delta_{i,j}^e$ 二进制。如果节点 e 位于节点 i 到节点 j 的最短路径之上, 则 $\delta_{i,j}^e = 1$; 否则为0。
[0054]	$b_{x,i}^e$ 二进制。如果节点 i 在链路 e 出现故障时被选作节点 x 的指定SDN交换机, 则 $b_{x,i}^e = 1$; 否则为0。
	$N_{i,m}$ 二进制。如果节点 i 和节点 m 为邻居且只相隔一跳, 则 $N_{i,m} = 1$; 否则为0。
	u_i 二进制。如果节点 i 被选作SDN交换机, 则 $u_i = 1$; 否则为0。
	$e \in \mathbf{E}$, 且 $i, j, x, m \in \mathbf{V}$

[0055] 网络恢复

[0056] 图5描绘了故障后网络恢复过程的示例性流程图。在步骤501处, 在使能了SDN-OF功能的设备中接收来自受影响节点(例如, 链路或节点中出现故障)的流量。根据一项或多项实施例, 链路或节点中的故障在与故障网络实体直接连接的第一检测节点(例如, 路由器)中检测。在检测到链路或邻近节点故障后, 检测节点将故障链路上的所有流量通过IP隧道重定向到该节点的指定SDN-OF设备。在一项或多项实施例中, 报文通过指定SDN-OF设备和检测节点之间建立的IP隧道进行分发。在接收来自受影响节点的隧道流量之后, SDN-OF交换机首先检查报文, 随后在步骤503处参考预定流量数据(例如, 通过表查找流程)来确定报文到达绕过故障链路的其预期目的地的替代路由。如果目的地直接与SDN-OF使能设备连接, 或者与替代路由中的下一节点连接, 则随后将报文转发到目的地(步骤505)。如若可能, 下一节点随后将报文转发到目标节点, 或者转发到允许报文在不环回到故障链路或节点的情况下到达目的地的路由中的下一节点。

[0057] 路由表可由以通信方式耦合的网络SDN-OF控制器提供给SDN-OF使能设备。由于每个节点先前了解故障链路上的流量应迁移到哪些SDN-OF交换机, 所以恢复可以非常快速地完成。SDN-OF控制器也可以收集混合网络的链路利用率并预先确定故障链路上的流量实现较好流量负载均衡的路由路径, 从而避免流量重分发所引起的潜在拥塞。通过在传统IP路由器和SDN-OF交换机之间建立隧道, 所提出的框架允许IP路由器在检测到链路故障时立即执行故障接管并将流量重定向到SDN-OF交换机。SDN-OF交换机随后可以基于SDN-OF控制器作出的路由决策协助转发流量以绕过故障链路。由于SDN-OF控制器能够检查整个网络来了解当前网络状况, 包括网络的节点负载和/或状态, 因此可作出最优路由决策来对恢复后网络进行负载均衡。

[0058] 在一项或多项实施例中, IP隧道可包括允许通过已创建的隧道路由协议的IP隧道协议, 例如通用路由封装协议(Generic Routing Encapsulation, GRE)。为了提供故障接管, 诸如增强型内部网关路由选择协议(Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, EIGRP)之类的路由协议可用于在主路由出现故障时保留后继路由。通过应用基于策略的路

由仍可利用不支持此特征的其他协议,例如开放式最短路径优先 (Open Shortest Path First,OSPF) 在检测到链路故障时选择路由。替代性实施例还可使用配置距离较大但前缀地址不太特定的静态路由等方法,这样路由器将在主路径上的链路出现故障时使用不太特定的路径。

[0059] 虽然前述描述关注单链路故障,但是应理解,根据各实施例,当前请求保护的发明的实施例也非常适合扩展为节点故障。对于单节点故障,在表查找或流量数据参考中确定的隧道路径不包括故障节点。

[0060] 负载均衡

[0061] 根据上述过程400确定所有指定SDN-OF设备之后,识别中间SDN-OF使能节点以在出现链路故障时转发数据报文。对于某个目的地,可能存在多个可行的中间节点(例如,IP和/或SDN-OF使能网络设备),选择最优中间节点可有助于进一步避免或减少拥塞。在一项或多项实施例中,网络(SDN-OF)控制器可周期性地计算这种中间节点的选择以应对当前网络状况。

[0062] 在一项或多项实施例中,SDN-OF使能节点的选择取决于目的地,这样每个目标节点具有对应的中间节点。可通过在网络实体(链路或节点)故障时重分发流量之后最小化所有链路的最大链路利用率来进行中间节点选择。在一项或多项实施例中,网络/SDN控制器确定每条链路的负载。为了获取该信息,网络中的每个IP节点可运行协议(例如,SNMP、OpenFlow,如若启用),该协议允许SDN-OF控制器在网络中收集链路负载信息。在这种协议下,可以交换可用带宽等信息,这样每个SDN-OF设备能够获取网络中所有链路的利用率并将该信息转发到SDN-OF控制器。这允许SDN-OF 控制器检查整个网络并选择合适的中间SDN-OF使能节点来基于当前流量和/或网络状态实现均衡负载。在又一实施例中,混合网络能够考虑优先级划分。根据这些实施例,标记或者可标识为高优先级的数据报文可沿可用带宽较大的路由来进行路由。

[0063] 通过考虑每个单链路(或节点)故障场景,控制器为每个目标节点选择中间 SDN-OF使能节点,这样重定向所有受影响报文之后的链路利用率最小化。在一些实施例中,所选中间节点可以存储为规则并安装在SDN-OF使能设备表中。

[0064] 在一些实施例中,SDN-OF控制器周期性地执行最优过程进行中间SDN-OF使能节点选择来应对沿每条链路的当前工作负载均衡。路径由SDN-OF控制器计算,该 SDN-OF控制器可以进一步获取指示链路是否由某条路径使用的链路-路径关联。负载均衡公式可如下表示,并且可以应用于每个单故障场景:

[0065] minimize γ (5)

[0066] subject to:

$$[0067] \sum_p \alpha_{d,p}^s = 1 \quad (6)$$

$$[0068] \sum_s \sum_d \sum_p \lambda_{e,d,p}^s \alpha_{d,p}^s t_d^s + l_e = y_e \quad (7)$$

$$[0069] y_e < \gamma c_e \quad (8)$$

[0070] 其中

[0071] (5): (目标是最小化最大链路利用率,具有如下约束;

[0072] (6):确保对于每个受影响路由器和目的地对而言,只使用一条路径到达每个目的地;

[0073] (7):流量重定向后每条链路上的工作负载为每条链路的当前工作负载和从指定SDN-OF交换机到目的地的流量大小;

[0074] (8):流量重定向后每条链路的工作负载受最大链路利用率限制。

[0075] 参数在下表中描述:

[0076] 表II

[0077] 均衡负载符号

[0078]	l_e	无重定向流量的链路 e 上的流量负载
	c_e	链路 e 的容量
	$\lambda_{e,d,p}^s$	二进制。如果节点 e 位于从受影响路由器 s 到目的地 d 的路径 p 之上,则 $\lambda_{e,d,p}^s = 1$; 否则为0。
[0079]	t_d^s	从受影响路由器 s 到目的地 d 的流量大小
	$\alpha_{d,p}^s$	二进制。如果选择路径 p 供受影响路由器 s 和目的地 d 将流量分发到目的地 d ,则 $\alpha_{d,p}^s = 1$; 否则为0。
	y_e	重定向后链路 e 上的流量负载
	γ	链路利用率的上限

[0080] 公式(6)确保对于每个SDN-OF设备,只使用一条路由一进而只有一个中间SDN-OF使能节点一来到达每个目标节点。等式(7)确保流量重定向后每条链路上的工作负载为每条链路的当前工作负载和从指定SDN-OF设备到目标节点的流量大小。等式(8)确保流量重定向后每条链路的工作负载受最大链路利用率限制。通过对上述等式求解来最小化链路利用率,链路利用率的上限可以在出现任何单链路故障时计算。此外,还确定应由SDN设备使用到达某个目的地的中间节点。

[0081] 虽然本文迄今主要描述节点的单个指定SDN设备,但是应理解,要求保护的题目的各实施例不局限于此,并且这些实施例非常适合网络中一个或多个节点的多个指定SDN设备。检测到链路故障时每个路由器将受影响流量经过隧道发送到一个指定SDN设备的情况下,隧道路径可能不堪重负,沿替代路由的链路上可能出现拥塞。为了缓解这种潜在拥塞,通过为每个IP路由器引进多个指定SDN设备减少重定向后遍历隧道路径的流量,这样受影响的流量可在多个隧道间划分。根据这些实施例,该方法可以进一步增强以允许任意IP设备具有2个(或更多)指定SDN交换机。该方法可以通过对以下优化问题求解来实现:

[0082]
$$\text{minimize } \sum_i u_i \quad (9)$$

[0083]
$$\text{subject to: } b_{x,i}^e \beta_x^e \delta_{x,d}^e \leq (1 - \delta_{x,i}^e) [\sum_m N_{i,m} (1 - \delta_{i,m}^e) (1 - \delta_{m,d}^e)] \quad (10)$$

$$[0084] \quad \sum_i b_{x,i}^e \leq N\beta_x^e \quad (11)$$

$$[0085] \quad b_{x,i}^e \leq u_i \quad (12)$$

[0086] 其中N表示每个路由器所使用的指定SDN设备的数量。除引入N以确保当通往节点的链路之一出现故障时每个IP节点可以到达N个指定支持SDN的设备外,该修正公式与确定单个指定SDN设备的原始公式类似。根据上述提供的公式,可计算支持SDN的设备的数量,其中 $b_{x,i}^e$ 指示每个节点所使用的N个指定SDN设备。

[0087] 确定每个节点(路由器)的N(≥ 2)个指定SDN设备时,可在多个SDN设备间进一步划分流量。在一项实施例中,基于通往不同指定SDN设备的隧道路径的链路利用率执行加权哈希,这样转发到每个指定SDN设备的重定向流量与那些隧道路径的可用带宽成比例。在一项实施例中,SDN-OF周期性地从SDN-OF使能或原始IP设备收集整个网络的链路利用率信息,其中每个节点计算通往不同指定SDN设备的隧道路径上最为拥塞的链路的链路利用率。通过减去该链路利用率,可以为每条隧道路径确定可用带宽。随后,可将可用路径带宽用作每条隧道路径的权重,并且基于这个确定的权重将发往不同目的地的流量哈希到不同的指定SDN设备。

[0088] 示例性计算设备

[0089] 如图6中所展示的那样,可实施本发明实施例的示例性系统600包括通用计算系统环境。在一项或多项实施例中,一个或多个中间SDN-OF使能节点、目标节点,和/或执行网络SDN-OF控制器的计算环境可实施为示例性系统600的变体或配置。在其最基本的配置中,计算系统600包括至少一个处理单元601和存储器,以及用于传送信息的地址/数据总线609(或其它接口)。取决于计算系统环境的确切配置和类型,存储器可以是易失性的(例如,RAM 602)、非易失性的(例如,ROM 603、闪存等),或者这两者的某个组合。

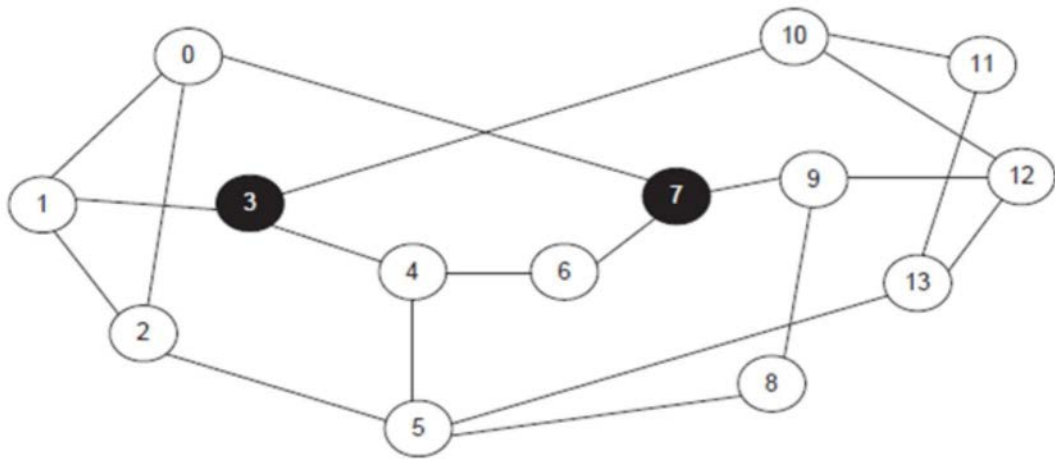
[0090] 计算系统600还可包括可选图形子系统605,用于例如通过在附着的显示设备610上显示消息将信息展示给通过视频线611连接的计算机用户。根据当前请求保护发明的实施例,图形子系统705可通过视频线611直接耦合到显示设备610。在替代性实施例中,显示设备610可集成到计算系统(例如,膝上型或上网本显示屏)中并且将不需要视频线611。

[0091] 此外,计算系统600还可具有其它特征/功能。例如,计算系统600还可包括其它存储器(可移动和/或不可移动的),包括但不限于,磁盘、光盘或磁带。图6通过数据存储设备607示出这种额外存储器。计算机存储介质包括以任意方法或技术实现的用于存储计算机可读指令、数据结构、程序模块或其它数据等信息的易失性和非易失性、可移动和不可移动介质。RAM 602、ROM 603,以及数据存储设备607均为计算机存储介质的示例。

[0092] 计算机系统600还包括可选文字数字输入设备606、可选光标控制或引导设备607,以及一个或多个信号通信接口(输入/输出设备,例如,网络接口卡)608。可选文字数字输入设备606可以将信息和命令选择传送到中央处理器601。可选光标控制或引导设备607耦合到总线609,用于将用户输入信息和命令选择传送到中央处理器601。信号传送接口(输入/输出设备)608,也耦合到总线609,可以是串行端口。通信接口608还可包括无线通信机制。计算机系统600可以使用通信接口608通过通信网络,例如互联网或企业内部网(例如,局域网),以通信方式耦合到其它计算机系统,或者可以接收数据(例如,数字电视信号)。

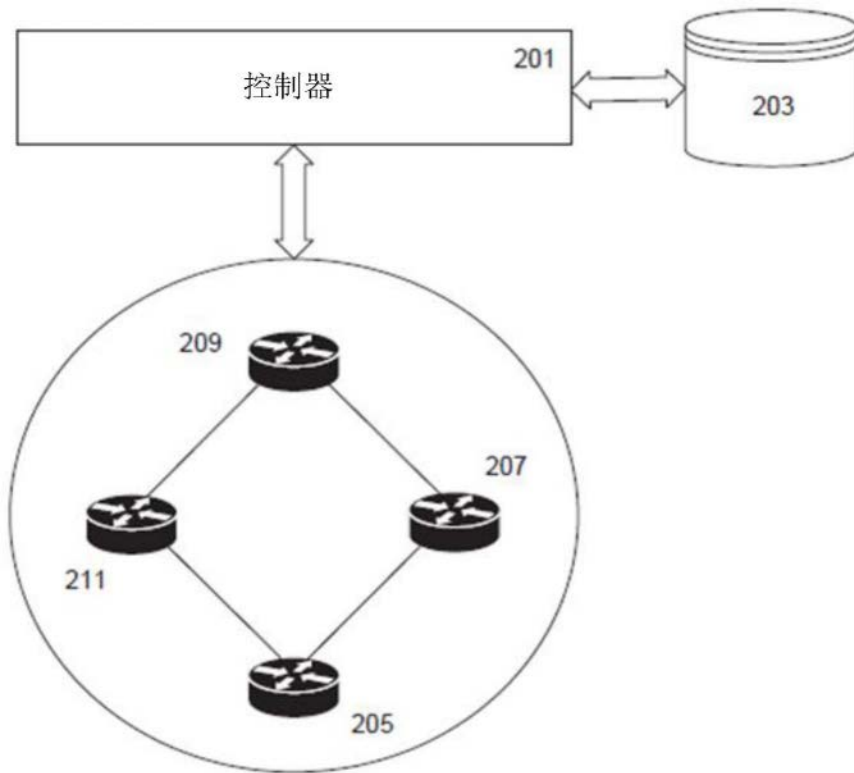
[0093] 通过本文描述的方案,可以基于更新后的全网状态和/或流量负载周期性地执行SDN-OF交换机中的流量重路由配置,同时优化恢复后均衡负载。随后,SDN-OF控制器利用计算结果来生成SDN-OF交换机的流条目。可选地,实现优先流量处理是可能的。例如,该方法可以为高优先级流量提供带宽保证,同时只将尽力而为带宽分配授予给其它类型的低优先级流量。

[0094] 要求保护的主题的实施例允许运营商或企业快速利用SDN-OF能力使用较少资本和运营费用转换他们现有的数据网络,并在网络资源利用率、自动网络管理(例如,包含均衡流量分发的快速故障恢复)方面提供重大改善,而管理复杂度和成本大大降低。在无需检查整个当前IP(或MPLS)网络的情况下可以实现这些新能力。



示例性网络拓扑100

图1



200

图2

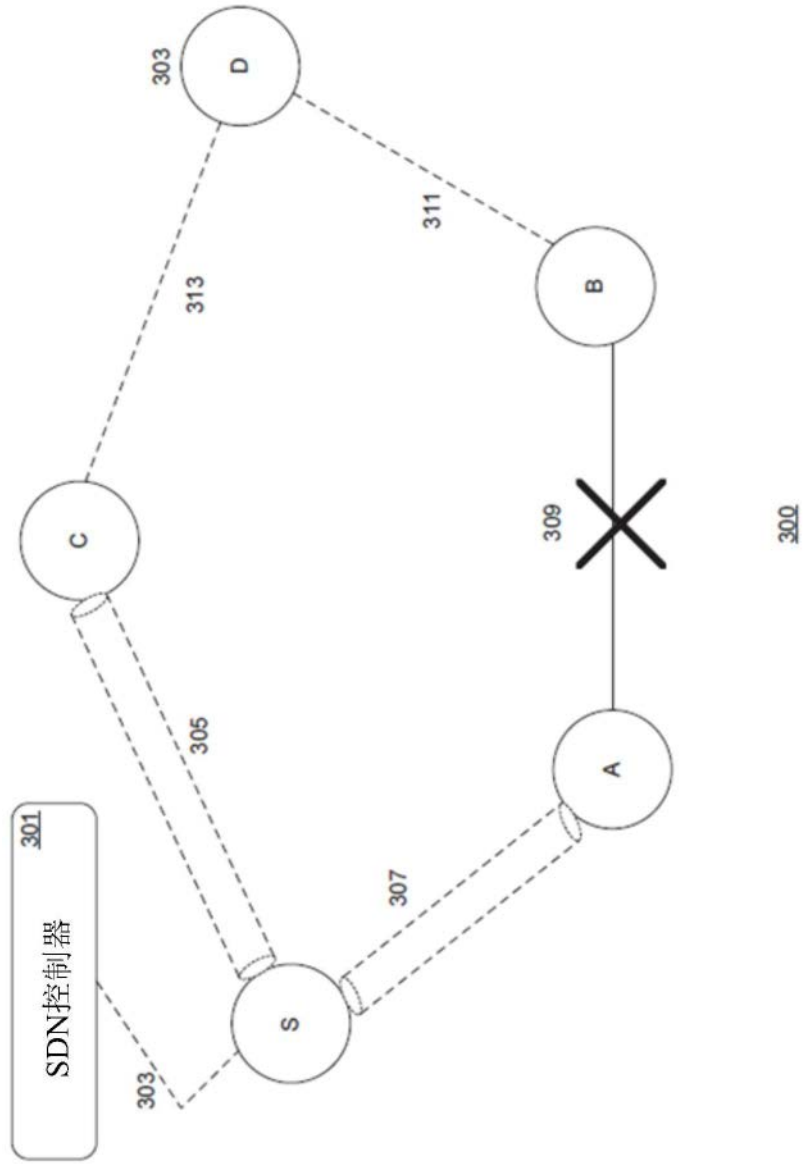
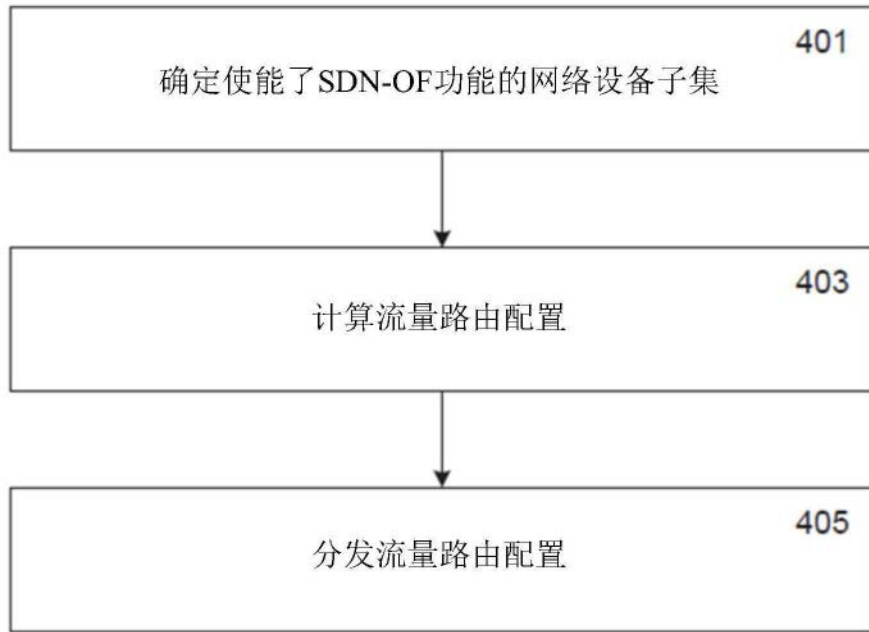
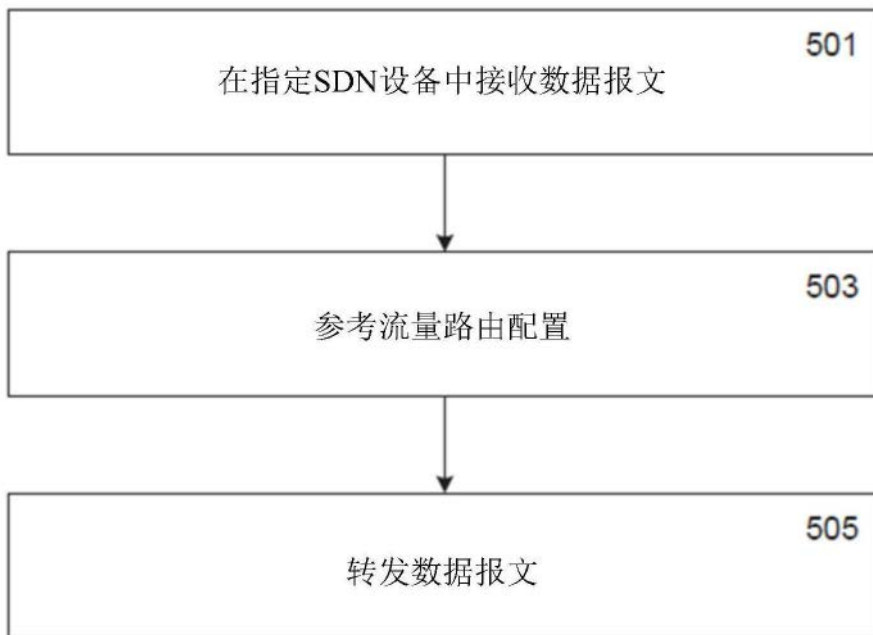


图3



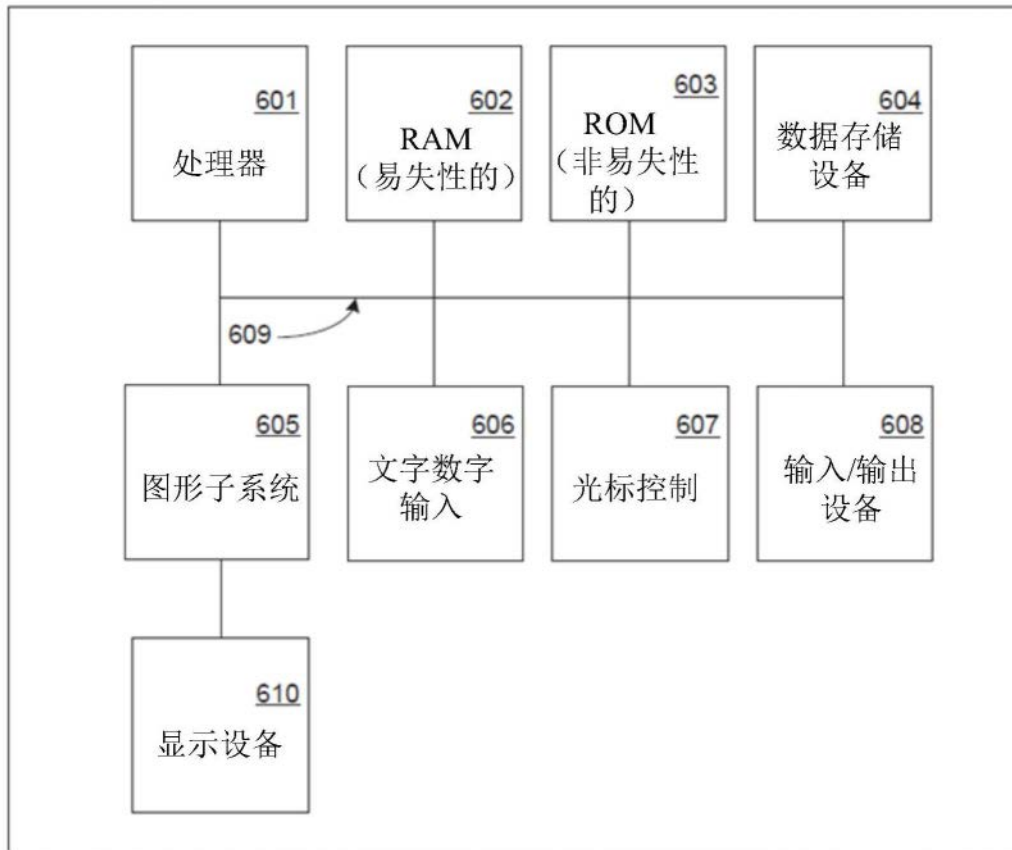
400

图4



500

图5



示例性计算机系统600

图6