



基于 SDN 和 NFV 技术的新型电力 CDN

王红凯¹, 郝悍勇², 于波涛³, 李林青⁴

(1. 国网浙江省电力公司信息通信分公司, 浙江 杭州 310007;

2. 国家电网公司信息通信部, 北京 100031; 3. 北京国电通网络技术有限公司, 北京 100070;

4. 南京优速网络科技有限公司, 江苏 南京 200191)

摘要: 电力 CDN 在智能电网发展及电力信息网应用扩展过程中扮演着网络加速、流量负载、安全防护的重要角色, 同时, 业务需求对其灵活布置也提出了更高的要求。此外, 电力 CDN 加速节点的扩容面临着运维复杂、资源利用率低的问题。传统的电力 CDN 架构亟待改革, 而能够支撑电力 CDN 改革需求的是 SDN 和 NFV 技术。SDN 技术将业务控制从网络数据和传送中抽取出来, 更有利于多种业务的快速扩展以及对 CDN 节点的集中管控。而 NFV 能基于业务发展对 CDN 节点进行扩容和资源调度, 大大减少资本支出、运营成本、空间和功耗。

关键词: 电力 CDN; SDN; NFV; 网络应用扩展; 运维管理

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016251

New electric power CDN based on the technology of SDN and NFV

WANG Hongkai¹, HAO Hanyong², YU Botao³, LI Linqing⁴

1. Information and Communications Branch, State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China

2. State Grid Corporation Information Communications, Beijing 100031, China

3. Beijing Guodiantong Network Technical Co., Ltd., Beijing 100070, China

4. Nanjing Uspeed Network Technologies Co., Ltd., Nanjing 200191, China

Abstract: With the development of smart grid and the increasing of network application within the electric power information network, electric power CDN plays an important role of network acceleration technology, traffic load balancing and network security. However, facing the rapidly changing of application requirements, electric power CDN was required to response to the application deployment quickly and possess flexible application extensibility. In addition, there are some problems on electric power CDN node expansion, such as complex operations management and low utilization rate of resources. It is necessary to reform the traditional power CDN architecture, SDN and NFV technique can support. The data control can be extracted and transmitted by SDN from the network data, so it is conducive to expand a variety of application in power CDN rapidly. And NFV can expand the CDN node capacity and schedule node resources based on the application. It can effectively reduce the capital expenditure, storage and power consumption.

Key words: electric power CDN, SDN, NFV, expansion of network application, operation management



度控制层是电力 CDN 的大脑,负责根据用户所处的地理位置将用户请求调度至距离用户最近的 CDN 缓存节点,运营管理层负责 CDN 的网络管理,传输服务层负责处理终端用户的各种业务请求,并在此层实现传输优化。基于 SDN 和 NFV 技术的新型电力 CDN 系统将依据现有的电力 CDN 系统进行改造。

以北京用户访问网页 <http://ecp.sgcc.com.cn/> 为例,说明 CDN 加速过程,如图 2 所示,具体步骤如下。

步骤 1 用户向本地 DNS 请求域名 ecp.sgcc.com.cn。

步骤 2 本地 DNS 将解析转发给源站 DNS。

步骤 3 源站 DNS 返回 CNAME 记录 <http://ecp.sgcc.com.cn.gdtcdn.com>。

步骤 4 本地 DNS 将 <http://ecpsgcc.com.cn.gdtcdn.com> 解析转发给全局负载均衡(global server load balance, GSLB)。

步骤 5 调度控制层的全局负载均衡返回北京 CDN 节点 IP 地址。

步骤 6 本地 DNS 将北京节点 IP 地址结果返回给用户。

步骤 7 用户向北京节点 IP 地址发起请求。

步骤 8 北京节点缓存中若没有首页资源,向北京源站请求,北京源站响应该请求,并返回响应内容,北京节点收到请求,将内容转发给用户,并且将内容缓存至本地。若有首页资源,则直接将内容返回给用户。

2.2 SDN 技术

2.2.1 技术简介

SDN 的核心在于将网络中的控制平面和数据平面相

分离,通过在控制平面进行集中的软件升级并实时下发到网络设备生效,实现了快速灵活的网络定制功能。此外,SDN 通过开放北向接口,使得用户可以根据自身的业务与应用的个性化需求来定制网络资源。

图 3 是 ONF(Open Networking Foundation,开放网络基金会)提出的 SDN 架构^[4],分为 3 层,最上层为应用层,包括各种不同的业务和应用;中间的控制层,主要负责处理数据平面资源的编排,维护网络拓扑、状态信息等;最下层的基础设施层负责数据处理、转发和状态收集。控制层与基础设施层之间的接口为南向接口,定义了开放的 OpenFlow 标准;应用层与控制层之间的接口为北向接口,用于 SDN 控制器开放给不同业务应用进行定制化开发。本文将基于此架构对电力 CDN 进行改造。

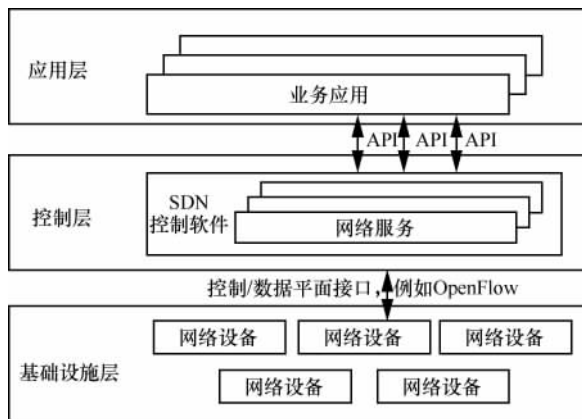


图 3 ONF 提出的 SDN 架构

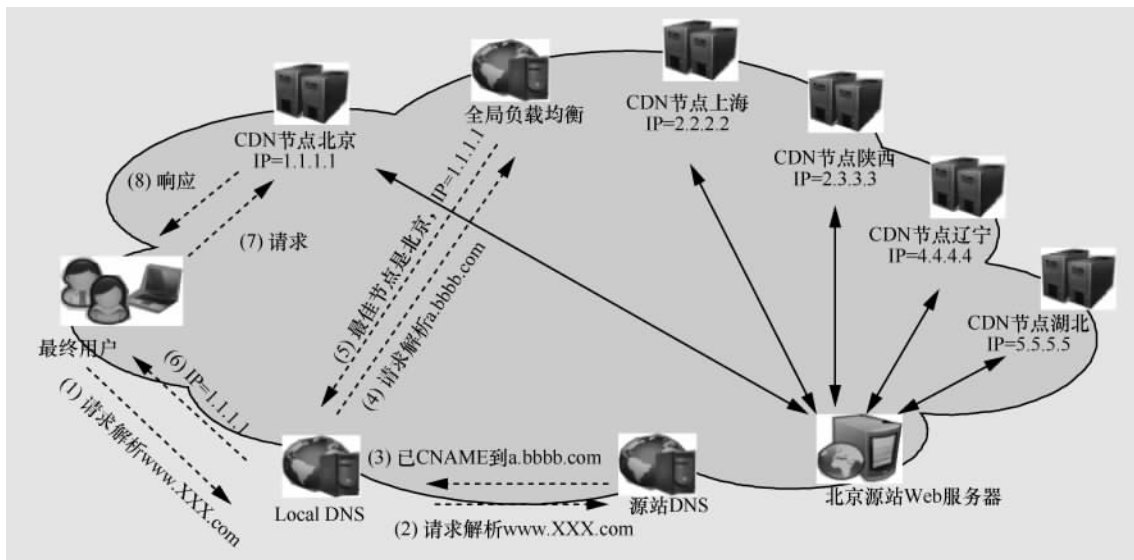


图 2 电力 CDN 系统服务流程

2.2.2 SDN 技术在 CDN 中的应用

SDN 技术的可编程控制和北向接口开放的特点能够有效解决电力 CDN 面临的管理复杂、调度方式单一、接入业务多样性响应慢的问题。在电力 CDN 中采用 SDN 技术后,电力 CDN 不再拥有独立的业务逻辑(如图 1 描述的内容分发、调度控制、网络管理、传输服务),需要强调的是,这些业务逻辑并不是不存在了,而是下沉到网络层面,或通过北向接口的开放,为这些业务应用提供服务。如此,电力 CDN 便可以根据不同接入业务的需求、不同用户的需求、不同的网络状态进行定制化的开发和调度。基于 SDN 的 CDN 体系架构如图 4 所示。

在图 4 中,向应用层开放的北向接口,可以供接入的应用自行编程以满足各自的个性化需求。SDN 控制层接收来自应用层的管理策略、调度策略、监控策略等,对物理层进行相应的管控。物理层包括 SDN 交换机和 CDN 缓存节点,完成数据的传输与转发功能,CDN 节点在上层控制器的控制下进行数据流处理,在控制层的统一管控下,形成满足多种业务需求的数据传输平面,支持多种业务的不同接入方式、内容格式、传输和服务协议。

2.3 NFV 技术

2.3.1 技术简介

NFV 通过将专用设备进行其功能的软件化,使得一个

性能足够的 x86 服务器或云平台上的虚拟服务器即可实现专用的路由器、深度报文解析、防火墙等设备的功能。图 5 是欧洲电信标准化协会(ETSI)提出的通用 NFV 网络架构^[9],该架构中包括云计算虚拟化资源架构层(包括硬件资源、虚拟资源)、虚拟化网络功能层、运营支撑/商业支持系统及协同层以及 NFV 管理调度层。

- 云计算虚拟化资源架构层:主要完成对硬件资源的抽象,形成虚拟资源,如虚拟计算资源、虚拟网络资源和虚拟存储资源,NFV 中所说硬件资源池中的物理资源,包括交换机、路由器、计算服务器、存储设备。
- 虚拟化网络功能层:虚拟化网络功能层中的虚拟网元就逻辑功能而言与物理网元(PNF)相同。
- 运营支撑/商业支持系统及协同层:对于电信运营支撑和商业支持领域,包含众多软件,这些软件产品线涵盖基础架构领域、网络功能领域,功能上支持传统的错误管理到复杂的服务管理,电信运营商通过此层把 NFV 技术架构和现有的运营支撑系统/商业支持系统集成在一起。
- NFV 管理调度层:由于在基础设施层使用了大量标准商用 IT 硬件,因此对这些硬件的管理便显得极为重要。在 NFV 参考架构的底层,需要一个统一

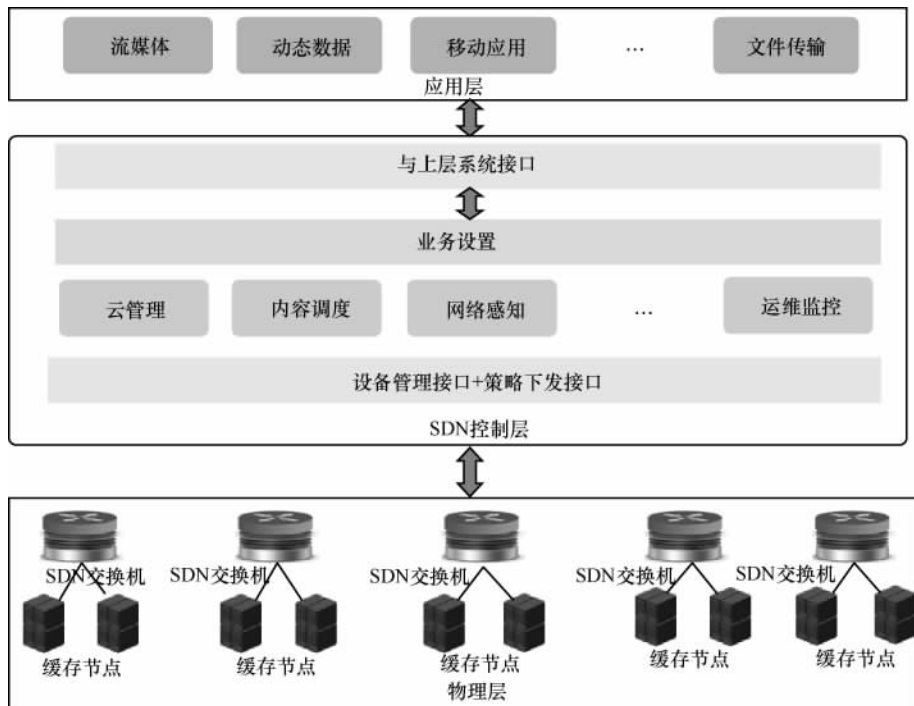


图 4 基于 SDN 的 CDN 体系架构

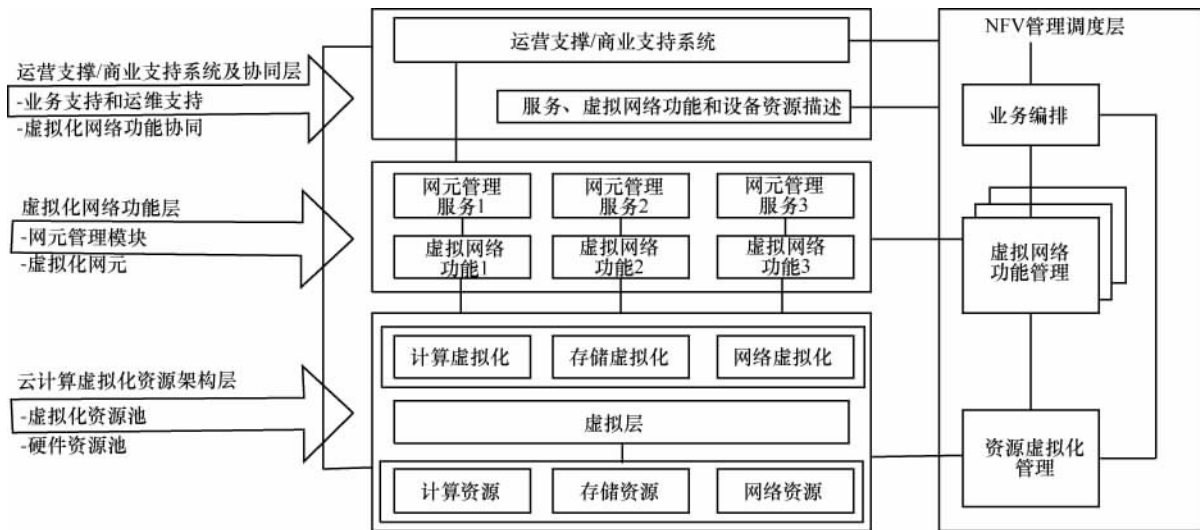


图5 ETSI提出的通用NFV网络架构

的、全面的基础架构平台管理工具,这个管理工具允许 IT/网络运维团队采用更加简单、自动化的方式去管理、配置、协作 NFV 的基础设施。管理软件应当基于 REST API 等通用接口设计,易于扩展到整个数据中心的设备管理甚至云管理,以便大大降低设备运营成本,同样也降低为 NFV 网络功能提供快速运行平台服务的时间。

2.3.2 NFV 技术在 CDN 中的应用

传统的 CDN 服务,存在以下缺陷。

- 局限于存储资源、计算资源及网络资源的隔离技术,只能在一套物理网络上提供某一类或者某一对象的加速服务。
- 在同时为某一类的多个对象进行加速时,运营维护成本很高。
- 现实加速需求在业务上的差异化和多样化,使得不同的业务需要独占一套 CDN 资源,这些资源不能按需弹性释放和划分,导致一些空余 CDN 资源的浪费,而一些加速业务临时急需的 CDN 资源不能及时扩展,无法充分和高效地利用网络资源和快速提供业务。

基于 NFV 技术实现的虚拟 CDN(VCDN),解决了传统 CDN 面临的以上问题。VCDN 一改传统的所有网元功能各自部署在物理机上的模式,将缓存节点部署于切分出来的虚拟机上,对管控节点进行云化,将存储资源、计算资源及网络资源按需切分。VCDN 采用 NFV 技术,按需为内容/服务提供商提供资源,实时分配及回收,实现资源

最大化利用。

图 6 的 VCDN 由虚拟节点组成,虚拟节点是 VCDN 为了方便管理内容/服务提供商对资源的使用,创建的虚拟对象。内容/服务提供商独享一个或者多个虚拟节点。虚拟节点涵盖了传统 CDN 物理节点的功能,具备业务类型、存储、并发、带宽等基本属性。业务类型是指虚拟节点可以提供缓存节点的直播、点播、下载或者网页加速等业务;存储属性是指虚拟节点可以存储的内容大小;并发属性是指虚拟节点可以提供的最大并发数;带宽是指虚拟节点可以提供的网络带宽大小。

3 基于 SDN 和 NFV 技术的电力 CDN

针对现有的电力 CDN 加速技术及架构所存在的问题,利用 SDN 控制域转发分离以及开放式可编程接口的技术特点,对电力 CDN 中的流量进行实时灵活的管控和调度,并及时响应用户的定制化需求。利用 NFV 的虚拟化动态资源划分及调整技术,按需为内容提供商灵活调整 CDN 资源,做到资源的最大化利用。

本文基于 OpenFlow 协议,设计电力 CDN 中传输的内容流量优化机制、部署策略、应用模式,通过业内较为成熟的 Floodlight 控制器和 FlowVisor 虚拟网络切分工具,实现了一套基于 SDN 和 NFV 技术的电力 CDN,为用户提供可定制化、可灵活调整的新型电力 CDN。

3.1 总体架构设计

本文所涉及的新型电力 CDN 系统,是在传统电力 CDN 系统的基础上新引入 SDN 架构体系下的控制器和交

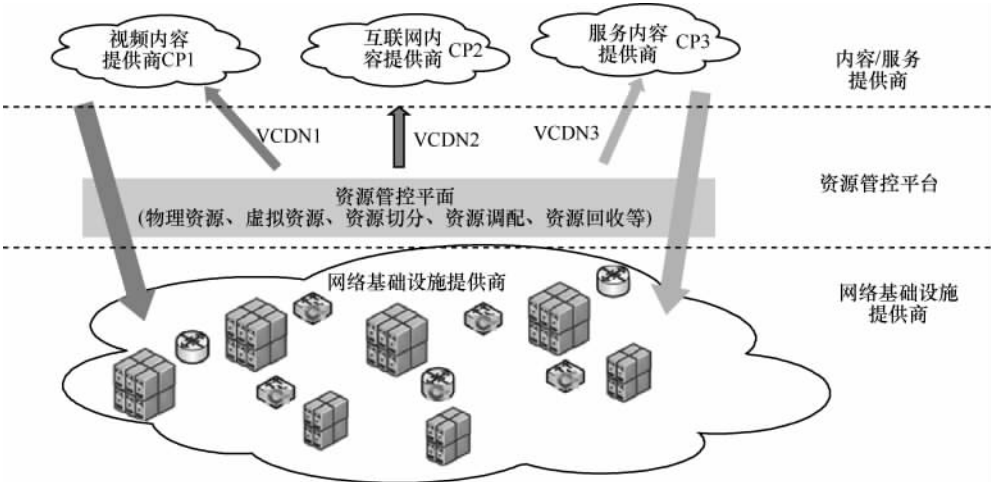


图 6 基于 NFV 的 VCDN 架构

换机，即运行在 Floodlight 控制器和 Open vSwitch 交换机构建的网络环境，并实现对 CDN 缓存节点虚拟化的改造。因此，新型电力 CDN 系统由统一管理平台、网络虚拟化平台、控制器以及电力 CDN 虚拟缓存系统组成。其中，缓存系统是通过将现有的电力 CDN 缓存节点进行虚拟化变为 CDN 虚拟缓存节点。网络虚拟化平台为每个签约内容提供

商划分出逻辑上独立的、网络流量隔离的 VCDN，如图 7 所示。

统一管控平台为各内容提供商提供各自 VCDN 的接入口，内容提供商通过该平台对自己拥有的 VCDN 进行管控、调度策略配置、资源配置等。网络虚拟化平台的功能是对网络资源和计算资源的动态切分和调配，每个切分出来

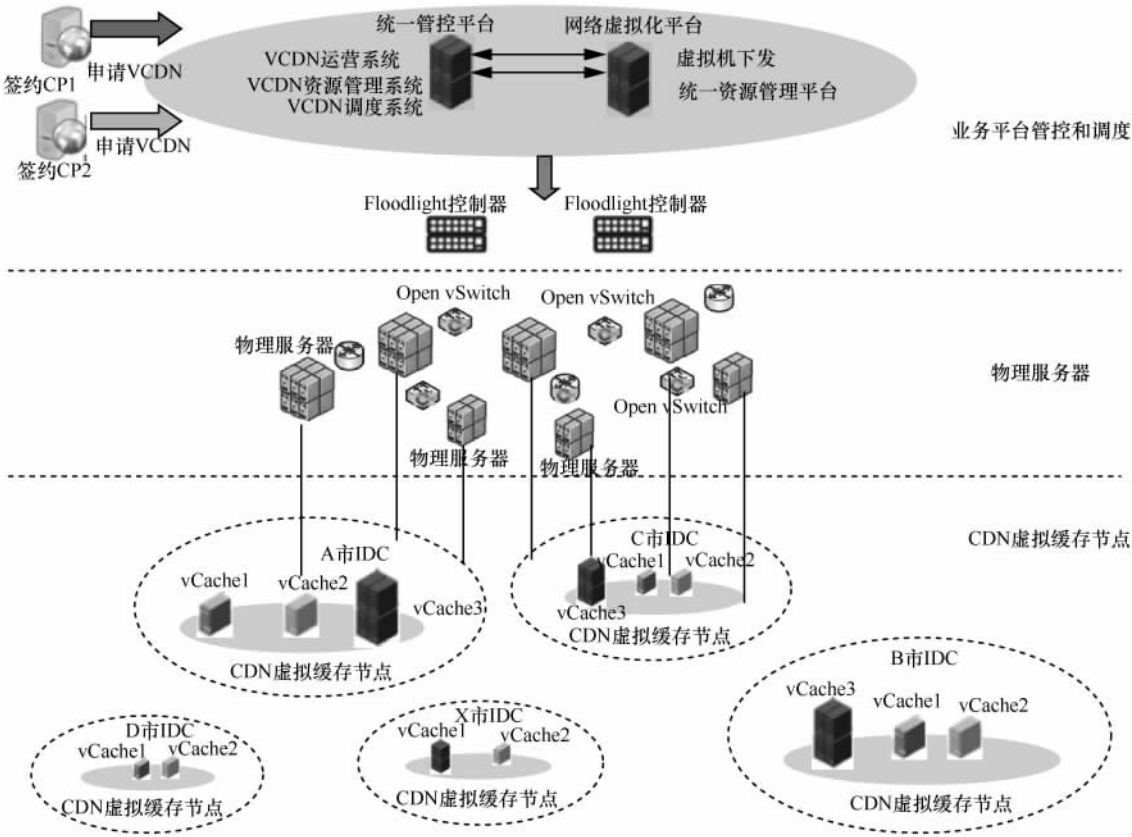


图 7 基于 SDN 和 NFV 技术的新型电力 CDN 总体架构



的 VCDN 与物理机无关, 将所有的物理资源整合成 CDN 云, 内容/服务提供商按需在 CDN 云上获取资源, 组建自有的 VCDN。Floodlight 控制器可以根据内容源站、网络拓扑状态、用户服务定制需求等细粒度的参数来选择执行的缓存策略、调度策略及相应的 QoS 保障。每个虚拟逻辑网络中由 Floodlight 控制器完成网络策略的部署和管控。通过控制器端提供的北向接口, 上层的统一管理平台和网络虚拟化平台可灵活调用, 从而实现 VCDN 的运营管理、资源管理和流量调度。

3.2 运行流程

新型电力 CDN 与传统 CDN 的区别主要在于 VCDN 资源的生成和回收流程、业务管控流程和缓存服务流程, 本节将详细描述在新型电力 CDN 中 3 方面的运行流程。

3.2.1 VCDN 资源获取流程

在进行 CDN 的运营时, 会以 Web 的形式向用户提供一个可视化的接入平台, 供用户申请 VCDN 资源。图 8 描述了 VCDN 的生成及回收流程。

内容/服务提供商向接入平台请求预定 VCDN 登记以便获取 VCDN 服务(如视频点播、直播、网页加速等)。接入平台向运营管控系统传送虚拟 CDN 配置请求, 从而触发创建一个新的虚拟 CDN。虚拟 CDN 配置请求包括创建内容/服务提供商定制的虚拟 CDN 所需要的服务要求。

一旦接收到虚拟 CDN 配置请求, 运营管控系统就向资源管控系统发出资源信息请求, 反过来, 接收资源信息响应, 从而确定配置虚拟 CDN 所必需的云资源。在检查可用的资源后, 运营管控系统向资源管控系统发送资源分配请求来得到配置虚拟 CDN 所必需的云资源。

当存在可用的资源时, 资源管控系统就能接收资源分配请求。通过资源管控系统成功地回应一个资源分配请求, 运营管控系统将向接入平台传送虚拟 CDN 配置响应消息, 通知成功的云资源分配消息。收到虚拟 CDN 配置响应消息后, 接入平台就会通知内容/服务提供商预定的虚拟 CDN 已经注册成功。也就是说, 一个虚拟覆盖网络在数据中心中得以建立, 提供了云资源。内容/服务提供商可以在数据中心中开始分发内容、数据或传递在虚拟 CDN 里即时生成的数据(如各虚拟节点的性能上报信息)。

通过定期发送状态和统计信息请求消息, 资源管控系统收集来自虚拟机的状态和统计信息。通过这些操作, 资源管控系统监控能监测到每个虚拟机的关于处理器、内存、带宽的使用状态以及云系统中存在的任何错误或故障。

如果确定虚拟机关闭或有错误, 资源管控系统可以识别出并且发送事件通知信息给运营管控系统。为了响应事

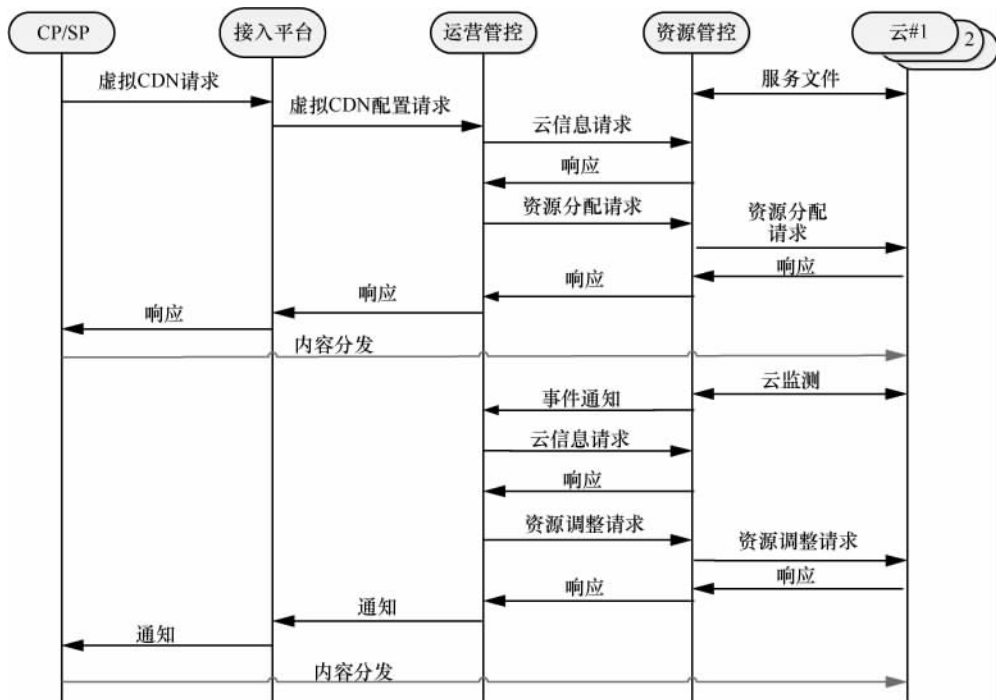


图 8 VCDN 资源生成及回收流程

件通知信息,运营管控系统请求资源管控系统修改分配的云资源或将虚拟机迁移到另一个数据中心。为了响应请求,资源管控系统请求云改变资源,资源之前已经被分配给云。另外,资源管控系统可能请求一个新从来没有使用的虚拟机去分配虚拟 CDN。

资源调整成功后,资源管控系统发送响应通知运营管控系统,运营管控系统发送一个虚拟 CDN 调整通知信息给接入平台。通过这些操作,内容可以被发送和分配到整个重新配置的虚拟 CDN 的用户设备。

虚拟 CDN 服务终止时,运营管控系统发送资源释放请求给资源管控系统,反过来,资源管控系统请求每个云提供商释放已分配的虚拟机和接收资源释放响应,通知已分配的虚拟机释放。

3.2.2 业务管控流程

图 9 是新型电力 CDN 的业务管控流程,采用 B/S 架构来开发统一管理平台。

- 管理: 管理员通过 Web 页面远程登录统一管理平台,通过调用 Floodlight 控制器的北向接口,统一管理平台获得被管控 VCDN 的拓扑、实时流量统计、虚拟节点性能指标等信息。
- 策略定制: 管理员根据被管控 VCDN 本身的缓存策略或用户不同的定制化需求,通过图形化操作对 VCDN 中的缓存服务策略进行部署,通过北向接口使 Floodlight 控制器执行缓存策略的逻辑处理。
- 策略生效: Floodlight 控制器通过 VCDN 调度系统将缓存策略封装为 OpenFlow 信令下发到数据平

面,从而使新的缓存策略生效。

3.2.3 缓存服务流程

一个独立的 VCDN 是基于 OpenFlow^[6,7]协议来完成缓存服务。在 VCDN 运行过程中,Floodlight 控制器通过 OpenFlow 协议感知 VCDN 的网络状态信息^[8]、数据流信息以及用户行为等内容,并通过下发数据转发流表、数据流中相应字段修改命令来完成对内容数据转发的管控。在这一过程中,经常需要发送的 OpenFlow 消息有以下几个。

- packet_in: 对于进入交换机而没有匹配流表,不知道如何操作的数据分组,交换机会将其封装在 packet_in 中发给控制器。
- flow_mod: packet_in 消息后触发的一类事件,交换机会根据 flow_mod 消息添加流表项。

新型电力 CDN 缓存服务流程^[9]如图 10 所示。

(1) 用户发送请求内容的第一个数据分组到达用户接入的 SDN 交换机后,交换机查找流表发现没有匹配的流表项,然后将请求数据分组封装成 packet_in 消息后上交给 Floodlight 控制器处理。

(2) Floodlight 控制器收到消息后,从数据分组的类型判断应该把数据分组交给对应的 VCDN 调度系统处理。VCDN 调度系统查找管理员定义的缓存匹配规则表,找到需要转发的目的缓存 IP 地址。

(3) VCDN 调度系统下发 flow_mod 消息给 SDN 交换机,交换机收到该消息后添加流表项,并通过该流表项将用户请求的数据分组重定向到 VCDN 目的缓存节点。

(4) 缓存节点在收到用户发来的请求分组后,根据数

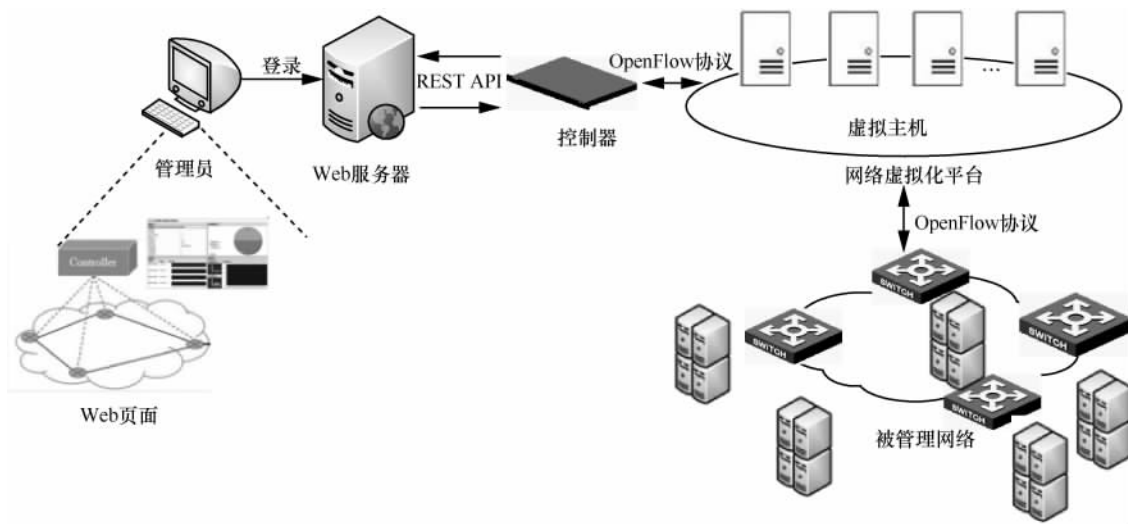


图 9 新型电力 CDN 业务管控流程

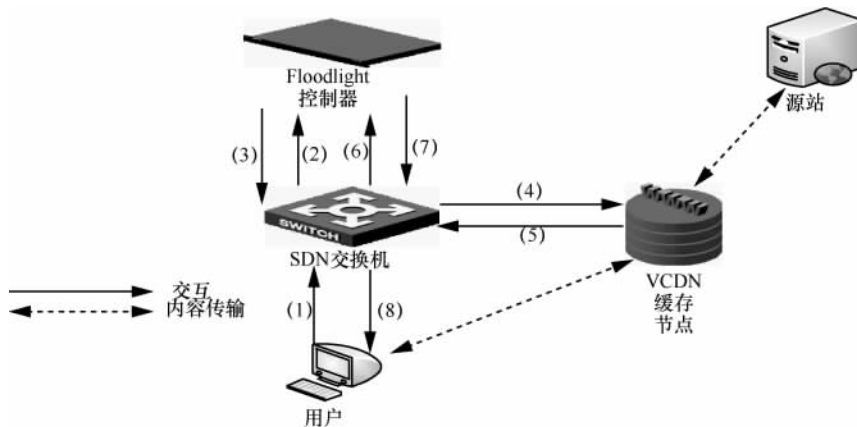


图 10 新型电力 CDN 缓存服务流程

据分组内的内容字段查看所请求内容资源是否已经在缓存中;如果在,缓存节点则立即将用户请求内容返回用户;如果缓存节点中未缓存该内容,缓存节点先从源站点获取请求的内容,然后将内容缓存并返回给用户。

(5)缓存节点将内容数据分组给用户,但是此时内容数据包的源 IP 地址和源 MAC 地址依然为缓存节点的地址。

(6)内容数据分组到达缓存节点接入的第一台 SDN 交换机后,交换机查找流表发现没有匹配的流表项,然后交换机将返回内容数据分组通过 packed-in 上交给控制器去处理。

(7)当控制器收到 packed_in 消息后,根据数据分组的类型,交给 VCDN 调度系统去处理。VCDN 调度系统根据记录得知该数据分组应该要发送给用户,然后下发 flow_mod 消息给交换机,交换机根据 flow_mod 消息添加返回用户端的流表项,通过流表项来把内容数据分组的源 IP 地址和 MAC 地址修改为原始请求的目的 IP 地址和 MAC 地址。

(8)交换机根据流表项的转发行为将内容请求分组进行修改,并返回修改后的内容数据分组给用户,整个过程对用户透明,用户收到的数据分组源 IP 地址和 MAC 地址仍为原始内容请求的目的端 IP 地址和 MAC 地址,而不是缓存服务节点的 IP 地址和 MAC 地址。

4 结束语

提出了一种能够解决传统电力 CDN 面临的管理复杂、调度方式单一、难接入多种业务等问题的技术方案,即基于 SDN 和 NFV 技术的新型电力 CDN 方案。该方案能有效提高 CDN 资源的利用率,最终目标在于为不同用户提供可定制化的服务,并基于虚拟网络来划分缓存服务。在

新的 SDN 架构下的电力 CDN 环境中,基于 NFV 技术对 CDN 进行虚拟网络的划分和管理,用户可以直接申请从不同的 VCDN 获得服务。通过在不同 VCDN 所用的控制器上执行定制化的缓存策略,可以实现不同 VCDN 中缓存策略的独立部署和管控,从而为用户提供基于虚拟网络划分的差异化服务。在同一个控制器控制的 VCDN 内,控制器可以根据用户地址、访问内容等对用户进行区隔,执行不同的缓存服务和网络转发策略,从而可以在网络层面根据用户的定制需求而提供不同的服务。通过网络虚拟化平台,合理地接入内容提供商划分 CDN 资源,并能适时灵活调配,最大化利用网络资源。

参考文献:

- [1] RAJKUMAR B, MUKADDIM P. Useful CDN fundamental-avtorneizvesten content delivery network [J]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [2] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNANH, et al. OpenFlow: enabling innovation campus networks [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38 (2): 69-74.
- [3] OpenvSwitch [EB/OL].[2016-01-10]. <http://openvswitch.org/>.
- [4] 雷葆华,王峰,王茜,等. SDN 核心技术剖析和实战指南[M]. 北京:电子工业出版社, 2013: 1-18.
LEI B H, WANG F, WANG Q, et al. Deciphering SDN: core techniques and practical guide[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 1-18.
- [5] ETSI 的 NFV 经典参考架构 [EB/OL]. [2016-01-10]. <http://www.e114.net/news/151/a927808.html>.
Classical NFV reference architecture of ETSI [EB/OL]. [2016-01-10]. <http://www.e114.net/news/151/a927808.html>.
- [6] OpenFlow. OpenFlow 1.1.0 Specification[EB/OL]. [2016-01-10].

<http://www.openflow.org/documentts/openflow-Spec-v1.1.0.pdf>.

- [7] Open Networking Foundation. Software defined networking: the new norm for network[R]. [S.l.:s.n], 2012.
- [8] 雷葆华, 孙颖, 王峰, 等. CDN 技术详解[M]. 北京:电子工业出版社, 2012: 16-29.
- LEI B H, SUN Y, WANG F, et al. Dissecting content delivery network [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012: 16-29.
- [9] 刘洁, 王哲. 通过虚拟化优化的智能型网络架构 [J]. 移动通信, 2015, 39(18): 22-27.
- LIU J, WANG Z. Optimization of smart network architecture based on virtualization deployment [J]. Mobile Communications, 2015, 39(18): 22-27.

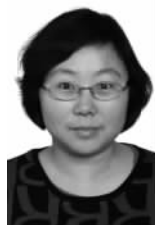
[作者简介]



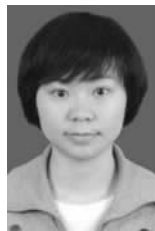
王红凯(1984-),男,国网浙江省电力公司信息通信分公司高级工程师、副主任,主要研究方向为网络与信息安全运行维护。



郝悍勇(1975-),男,博士,国家电网公司信息通信部高级工程师,长期从事电力信息通信工作。



于波涛(1977-),女,北京国电通网络技术有限公司高级工程师,主要从事电力信息通信技术的研究工作。



李林青(1984-),女,南京优速网络科技有限公司工程师,主要从事传输网络、数据网络及内容分发网络的研发工作。