

有线、无线混合网络环境下的 SDN 控制器设计与实现

邱帆,郑乐,罗广军

(中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004)

摘要:针对有线、无线混合网络环境,在国产化平台下设计并实现一种基于开源网络操作系统(ONOS)架构的具备多信道融合组网、信道资源统一管控、智能化网络规划与业务规划功能的软件定义网络(SDN)控制器。试验表明:在所搭建的有线、无线混合测试环境下,SDN 控制器能够生成业务逻辑及实时响应网络状态变化,可根据业务需要与有线、无线信道质量实时动态选择最优路径进行业务传输;当网络状态发生变化,比如链路故障、节点故障、网络拥塞时,控制器会调整网络交换路径和业务路由,避免用户数据在穿过网络过程中受到损失;可对数百个分组传送网络设备集群进行分布式管理与集中式控制,具备强大的容灾能力。

关键词:软件定义网络控制器;软件定义光网络;混合网络;开源网络操作系统架构;国产化平台

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)09-0013-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.09.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and implementation of SDN controller in a wired & wireless hybrid network

QIU Fan, ZHENG Le, LUO Guangjun

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Under the localized platform, a software defined network (SDN) controller based on open source network operating system (ONOS) architecture is designed and implemented for wired and wireless hybrid network environment, which has the functions of multi-channel convergence networking, unified management and control of channel resources, intelligent network planning and business planning. Experiments show that SDN controller can generate business logic and respond to network state changes in real time under the built wired and wireless hybrid test environment, and can dynamically select the optimal path for service transmission with the quality of wired and wireless channels in real time according to business needs. When the network state changes, such as link failure, node failure and network congestion, the controller will adjust the network switching path and service route to avoid the loss of user data in the process of passing through the network. It can manage and centralize hundreds of packet transport network equipment clusters in a distributed way, and has a strong disaster tolerance capability.

Key words: SDN controller; software defined optical network; hybrid network; ONOS framework; localized platform

0 引言

随着软件定义网络(SDN)技术得到因特网服务提供商(ISP)、电信运用商、标准化组织、设备厂商和芯片厂商等全产业链的认可,SDN 网络已经在数据中心网

络、5G 承载光网络等场合得到了广泛的应用^[1-4]。但前期大多数 SDN 网络只针对纯光纤通信网络业务及服务^[4-5],而一旦面临有线、无线混合通信网络,如卫星、微波等无线业务接入通信网络后,面对低速业务所要求的带宽分配、时延抖动需求,原有的 SDN 控制器不再适用。本文针对有线、无线混合网络环境,在国产化平台下设计并实现一种基于开源网络操作系统(ONOS)架构的 SDN 控制器,通过搭建的演示环境试验,证明 SDN 控制器可以适用于有线、无线混合通信网络。

收稿日期: 2019-06-08。

作者简介: 邱帆(1976-),男,高级工程师。主要研究方向为数字光传输系统及设备、基于 SDH 的特殊光通信技术应用、面向 5G 数据回传的光智能接入和基于 SDN 的智能分组传输等技术,在基于 SDN 的智能分组传输等技术方面具有较强的研究经验及成果。



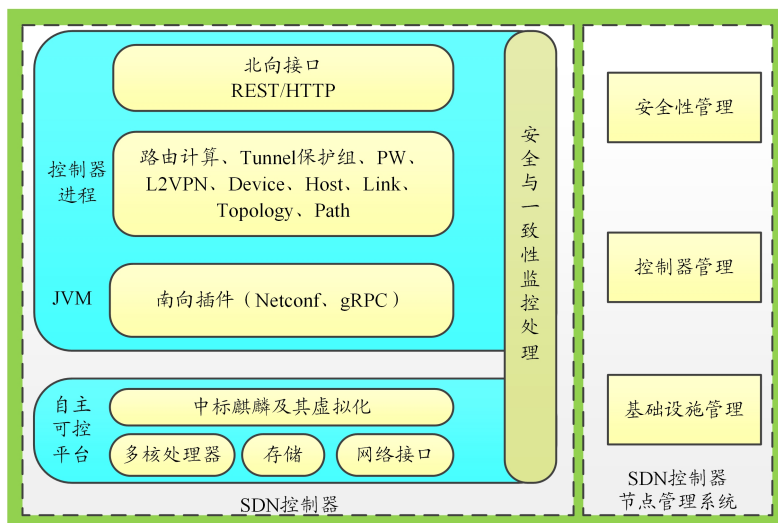


图 1 SDN 控制器总体架构图

1 SDN 控制器总体架构

SDN 控制器的总体架构如图 1 所示。作为软件定义光传输网络(SDON)的核心,SDN 控制器拥有网络的全局信息,管理着整个网络的路径转发、流量拓扑,是整个 SDON 的大脑和核心。有线、无线混合网络的 SDN 控制器需具备以下几个特性:一是高可靠性,必须具备容错、容灾能力以满足高可靠性要求;二是可扩展性,可扩展性是应用于大规模有线、无线通信混合网络的前提。基于高可靠性、可扩展性是 SDN 控制器应用于有线、无线混合网络的核心需求,通过对业界知名厂商控制器和开源控制器的调研,本文采用 ONOS 架构作为 SDN 控制器的架构基础,自主独立设计和开发所有的软件定义分组传送网络(SPTN)业务驱动与逻辑。

本文在自主可控平台麒麟操作系统上构建 SDN 控制器系统,中标麒麟服务器操作系统软件是最早支持龙芯 64 位系列 CPU,支持虚拟化,是应用最广泛的自主平台服务器操作系统软件。控制器北向接口采用 REST API 接口,南向接口采用 gRPC 接口。

2 SDN 控制器设计与实现

本文设计的 SDN 控制器本着复用与吸收 ONOS 框架加自主研发业务的原则进行。SDN 控制器复用了 ONOS 的 OSGi 平台、南向接口 gRPC、北向接口 REST API、分布式数据库服务和基础网络视图。自主设计和实现了服务层、ZTP 模块、DHCP 模块、Topology 模块/路由计算与重优化模块、Tunnel 保护组模块、伪线模块、L2VPN 业务模块、策略模块、配置固化模块、带宽监控模块、信道监控模块、性能模块和南向数据对账

机制等。

由于 ONOS 架构中原有路由计算与重优化模块、带宽监控模块和信道监控模块等都是针对光纤有线路径及网络,一旦加入无线路径,在有线、无线混合网络环境下其路径及带宽计算大受影响。因此,本 SDN 控制器设计重点是对 ONOS 中的路由计算与重优化模块、带宽监控模块和信道监控模块等进行自主设计,增加无线路径信道及带宽信息,进行路由计算及带宽、信道监控,实现有线、无线混合网络的智能化网络规划与业务规划功能。

SDN 控制器为集群式设计,可以在网络中部署多个控制器。控制器群由一个主控制器和多个从控制器组成,在特定条件下控制器角色可以相互转换。在高可靠性网络中,从控制器在主控制器故障时,可以通过竞争算法或预先规划推选出一个从控制器成为新的主控制器来顶替损毁的主控制器来管理控制整个网络,也可以通过人工配置方式确定主控制器。本文设计的 SDN 控制器具有 2 个重要特点:

①在国产化硬件平台上实现了分组传送网络(PTN)协议及控制器适配。通过增加一层 HAL(Hardware Abstraction Layer)抽象层实现了在全国产化硬件平台上适配完成 PTN 协议。控制器运行在龙芯 CPU 上,同时使用国产嵌入式操作系统、商用成熟的协议栈,整个软件程序都可进行源码级回溯,保障了整个软硬件平台的国产化与自主可控。

②实现了有线、无线信道的自动识别与自动匹配。按照信道类型、种类、重要程度和实时性要求,自动匹配符合带宽、传输延时和传输方式需求的信道,使得同类型业务使用相同的物理或逻辑管道,保障业务的传输质量。

本文以 PTN 设备为例详述 SDN 控制器与转发层设备的交互(SDN 控制器与 3 层交换机、路由器等的交互类似,不再一一列举)。

3 有线、无线混合组网

针对地震、不规范施工等导致光缆中断的情况或在不方便铺设光缆的地区,可以使用大气激光、微波等无线信道设备快速建立通信设备间的链路,如图 2 所示。有线、无线混合组网,无线信道与有线信道互为备份,一般情况下,控制器选择最优信道传递数据,在当前使用信道发生故障或传输质量显著下降时,控制

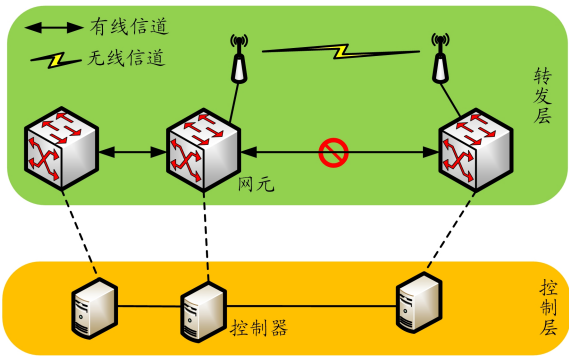


图 2 有线信道切换无线信道示意图

转发层设备快速自动切换信道，保证网络通信的畅通。

为实现有线、无线混合组网及信道资源统一管控,SDN 控制器需要获取所有有线、无线通信信道的连接关系及参数(如带宽、时延和抖动等),为 SDN 控制器的网络业务规划及路由选路提供数据支撑,并支持通信筹划系统对无线通信系统设备的数据规划配置和配置数据批量注入。

SDN 控制器支持多种策略,以便根据通信信道的不同灵活选择有线、无线信道。对于低带宽通信信道(如微波、卫星等无线信道),可通过管理接口的信息交互,获取网络连通性、信道带宽和业务带宽的使用情况;对于有线等宽带信道,可通过本身的检测机制,实现有线信道识别处理。

PTN 设备与无线通信设备对接,包括管理接口和业务接口 2 大类。PTN 设备通过管理接口与无线通信系统设备进行私有 UDP 协议交互,以实时获取当前无线链路的信道类型、信道状态、信道带宽和信道时延等信息。PTN 设备获取完信息后对无线信道 NNI 接口属性的状态进行更新,最后再通知 SDN 控制器,为 SDN 控制器实时掌握网路状态提供数据支持。业务接口主要承载业务数据和信令、业务随路 OAM 和业务管理报文等。业务接入主要可以分为 2 种封装:IP 报文与非 IP 数据,对于非 IP 数据需要经过接入网的多业务接入处理并进行管道封装。

PTN 设备与无线通信设备对接默认处理流程包括以下几个阶段:

①建立服务连接。创建基于 UDP 协议的 Socket,其中 SDN 控制器作为服务端,无线通信设备作为客户端,管理网口通过单播 IP 或者组播 IP 来进行管理信息的交互,组播 IP 地址使用预留的组播地址,传输层使用 UDP 协议。

②查询信道状态。通过设备间建立的交互关系,

服务端使用组播的方式,向客户端发送信道状态查询报文,客户端收到后将信道状态信息返回到服务端口。

③信道状态上报。有线、无线混合组网中的信道状态还具备主动上报的功能,在以下 3 种特定情况下触发上报信道状态:一是端口状态发生变化(通、断);二是带宽减为 0;三是时延减为 0。

PTN 设备将信道信息发送至集群主控制器,若 PTN 设备不知道主控制器通信地址,可以与集群任意一台控制器联系,如该控制器不是主控制器,则会帮助 PTN 设备重定向到主控制器。如果发生主控制崩溃等导致应答超时,PTN 设备将联系其它集群内的控制器,直至被重定向到新的主控制后,重新发送请求信息。

获得信道状态信息是有线、无线混合组网统一调度的基础。控制器与 PTN 设备交互获得信道状态等信息后,控制器可以自动发现设备及设备互联的网络拓扑。基于网络拓扑、信道类型、信道带宽和时延等信息,控制器为业务计算出满足条件的路由路径。

4 试验验证

4.1 开发及运行环境

本系统为保证自主可控,SDN 控制器运行平台为国产 CPU 芯片龙芯 3A3000,操作系统采用国产中标麒麟操作系统,SDN 控制器运行环境、开发环境分别如表 1、表 2 所示。

表 1 SDN 控制器运行环境

项目名称	参数
CPU	龙芯 Loongson-3A R3(Loongson-3A3000)@1199 MHz
内存	8G
操作系统	NeoKylin Military Server release 5.0(Mango)
运行环境	java8(版本号:openjdk 1.8.0_60)
运行容器	apache karaf(版本号:apache-karaf-3.0.8)
数据库	atomix 3.0.9(集群数据库)、InfluxDB 1.7.0(时序数据库)

表 2 SDN 控制器开发环境

项目名称	参数
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80 GHz
内存	8G
操作系统	Ubuntu 16.04.6 LTS
运行环境	java8(版本号:java 1.8.0_191)
运行容器	apache karaf(版本号:apache-karaf-3.0.8)
开发 IED	IntelliJ IDEA 2018.1.6(Community Edition)Build#IC-181.5540.7
数据库	atomix 3.0.9(集群数据库)、InfluxDB 1.7.0(时序数据库)

4.2 试验结果

研制完成的 SDN 控制器板卡如图 3 所示。为验证其各项功能与性能,本文搭建了包括 PTN 设备(内含 SDN 控制器板卡)、无线激光通信设备、多点微波通信设备等在内的有线和无线混合网络验证环境如图 4 所示。实验中分别使用单节点控制器和 5 节点控制器组成的集群,控制 8 台 PTN 设备组成的转发网络,并对 200 台 PTN 设备和 7 节点控制器集群的环境进行仿真。SDN 控制器运行在国产化硬件平台上,测试其在不同数量网元节点、不同数量控制器组成集群时的路径计算能力、自动选举时间、拓扑变化时延和配置操作吞吐量等性能,如表 3 所示。



图 3 控制器板卡实物图

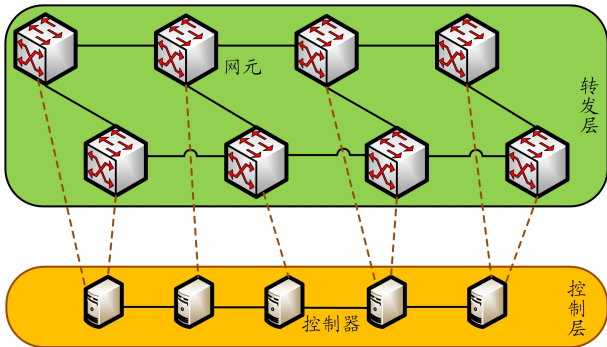


图 4 8 节点网元 5 节点控制器集群示意图

表 3 SDN 控制器性能指标

性能	实测指标 (8 单节点)	实测指标 (8 节点、 5 节点集群)	仿真指标 (200 节点、 7 节点集群)
控制网元数量	8 个	8 个	200 个
业务数量	4k	4k	4k
路径计算能力	1540 个/s	1230 个/s	900 个/s
控制器自动选举时间	-	453 ms	570 ms
控制器拓扑变化时延	36.8 ms	38.3 ms	52 ms
配置操作吞吐量	2230 个/s	4673 个/s	5325 个/s

同时,本文对 SDN 控制器的功能进行了验证,SDN 控制器能够顺利生成业务逻辑及实时响应网络状态变化,可根据业务需要和有线、无线信道质量实时动态选择最优路径进行业务传输,路径计算能力和配置操作吞吐量反映了控制器对网元节点的响应及配置业务的能力;当网络状态发生变化,比如链路故障、节点故障和网络拥塞时,控制器会调整网络交换路径和业务路由,避免用户数据在穿过网络过程中受到损失,控制器拓扑变化时延反映控制器识别网络事件并在集群内更新网络拓扑的能力。拓扑变化时延随网元数量的增加而增长;因集群内只有一个主控制控制网络,在单控制器和 5 节点控制器集群的环境下,8 台网元节点的拓扑变化时延接近,集群时延偏大;当主控制器故障时,会自动选举主控制器,自动选举时间 8 节点实测为 453 ms,7 节点仿真为 570 ms,选举随节点数增加导致开销增大,自动选举时间也随之增长。随着网元增加,拓扑复杂度增加明显,SDN 控制器路径计算能力相对下降。

5 结束语

本文针对有线、无线混合网络环境,在国产化平台下设计并实现了一种基于 ONOS 架构的 SDN 控制器,特别介绍了有线、无线混合组网设计,实验表明:本文设计的 SDN 控制器具备强大容灾能力,可自动进行主控制器选举,根据不同节点数自动选择时间为 400~600 ms。SDN 控制器已经在搭建的有线、无线混合网络环境中验证了其功能性能,下一步还需进一步开展数百个节点复杂有线、无线混合网络环境下的功能性能验证,并提高控制器可控制网元数量,改进 RAFT 协议降低控制器自动选举时间,改进算法提升路由计算能力减低控制器拓扑变化时延。

参考文献:

[1] 张朝昆,崔勇,唐嵩祯. 软件定义网络(SDN)研究进展[J]. 软件学报, 2015,26(1):62-81.
[2] 于笑,赵金峰,宋莉. 软件定义网络技术的发展与应用研究[J]. 光通信技术,2017(3):5-8.
[3] 高先明,王宝生,邓文平. SDN 网络中控制器放置问题综述[J]. 通信学报,2017(7):155-164.
[4] 赵文玉, 张海懿. 5G 对承载网提出众多变革多种方案争奇斗艳[J]. 通信世界,2017(27):53-54.
[5] 汤进凯, 张奇. SDN 在 PTN 的引入与应用分析. 电信科学,2015 (12):1-5.