

## 基于可重构网络体系的虚拟化校园网架构

袁虎声<sup>1,3</sup>, 奉华<sup>1,3</sup>, 李挥<sup>2,3,4</sup>, 钟智滨<sup>5</sup>, 潘凯<sup>2,3,4</sup>

(1. 深圳大学城网络信息中心, 广东 深圳 518055; 2. 北京大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518055;

3. 深圳市云计算关键技术和应用重点实验室, 广东 深圳 518055;

4. 深圳市融合网络播控技术工程实验室, 广东 深圳 518055; 5. 深圳市华强职业技术学校, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 考虑到现有网络结构僵化, 可控性、适应性和扩展性能力低下的特点, 同时为应对高校教学科研学习及生活对网络服务提出的挑战, 以服务为中心, 可重构网络体系结构对多样化业务的强针对性承载能力为思想, 设计了一种新型基于可重构网络体系的虚拟化校园网架构。校园网从传统架构演进到扁平架构以后, 采用交换机和路由器等网络设备虚拟化技术, 进一步精简校园网的逻辑结构, 构建了虚拟架构, 使其具有高性能、高可靠、易管理和易扩展等优势。

**关键词:** 校园网; 可重构; 虚拟化; 扁平化; 易管理; 易扩展

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)Z2-0107-04

## Structure of campus network based on reconfigurable architecture

YUAN Hu-sheng<sup>1,3</sup>, FENG Hua<sup>1,3</sup>, LI Hui<sup>2,3,4</sup>, ZHONG Zhi-bin<sup>5</sup>, PAN Kai<sup>2,3,4</sup>

(1. Network & Information Center of Shenzhen University Town, Shenzhen 518055, China;

2. Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China;

3. Shenzhen Key Lab of Cloud Computing Technology and Application, Shenzhen 518055, China;

4. Shenzhen Engineering Lab of Converged Network Technology, Shenzhen 518055, China;

5. Huaqiang Vocational Technical School, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** Because of the petrification of the existing network, it is difficult to achieve the controllability, adaptability and expansibility in current structure. Simultaneously, in order to have better campus network services in teaching, researching and studying, a new structure based on reconfigurable architecture for campus network was designed based on service set handling capacity of various kinds of business in reconfigurable network as the central idea. After the evolution from tradition to flat structure, a more condensed structure was proposed by adopting virtualization technology on switches and routers. It has the advantages of high performance, high reliability, manageability and augmentability.

**Key words:** campus network; reconfigurable; virtualization; flattening; manageability; augmentability

### 1 引言

随着互联网的日益普及, 普适计算、物联网、无线局域网、自带设备(BYOD, bring your own device)以及大数据的不断涌现, 传统互联网正处于向新一代互联网演进阶段<sup>[1]</sup>, 互联网在扩展性、安全性、实时性、高性能、移动性和易管理等方面面临着前所未有的重大技术挑战<sup>[2]</sup>。无论在体系架构

设计, 还是在实现方法方面都应考虑系统的服务性能、安全性和使用友好性<sup>[3]</sup>。面对日新月异的 IT 技术和与日俱增的网络服务需求, 对传统校园网的架构提出了越来越大的挑战。校园网也已从提供简单的教学辅助服务发展成为关键服务, 离开了网络, 教学科研活动将难于甚至无法开展。为更好地应对这些挑战, 本着“为不同业务提供不同质量保证的逻辑承载网”为核心理念的可重构网络体系思想,

收稿日期: 2013-09-05

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(2012CB315904); 国家自然科学基金资助项目(61179028)

Foundation Items: The National Basic Research Program of China (973Program) (2012CB315904); The National Natural Science Foundation of China (61179028)

本文讨论了校园网环境下基于路由器和交换机的虚拟化技术的校园网架构设计。

## 2 校园网架构的演进

### 2.1 传统架构

深圳大学城校园网于 2003 年建成，采用传统的经典的三层架构，分别为接入层、汇聚层、核心层。网络拓扑结构如图 1 所示，其中 R0001 和 R0002 为校园网出口设备，编号字母 S 开头的设备为核心层设备。

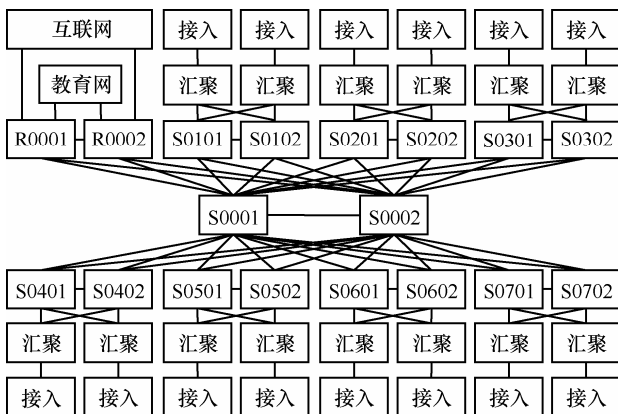


图 1 传统架构校园网拓扑

这种以高性能以太网交换机为核心的三层结构，在校园网业务类型相对单一的时候，是一种良好的结构。但随着业务需求扩展，应用复杂度提高，这种结构越来越体现出性能与承载“倒挂”的弊端<sup>[3]</sup>，即性能较差的汇聚交换机承载了过多复杂功能，如 DHCP、QoS、组播、OSPF 路由等；而高性能的核心交换机实际上只负责数据的高速转发而已，而且备份链路往往只处于待命状态。

传统校园网还有一个较大的问题就是因为数十台甚至数百台终端在同一个 VLAN 内，频频受到 ARP 攻击等影响<sup>[4]</sup>，接入网络的安全性和可靠性较低。

### 2.2 扁平架构

深圳大学城新一代校园网采用扁平架构<sup>[3]</sup>，如图 2 所示，接入交换机采用 PUPV (per user per VLAN) 配置<sup>[4]</sup>；每园区使用 2 台高性能路由器（如 R0101 和 R0102）替代传统网络中的汇聚交换机和分区核心交换机（图 2 中的 S0101 和 S0102）；核心交换机（S0001 和 S0002）使用数万元级别的二层万兆光交换机替代百万元级别的高性能以太网交换机；校园网出口设备用 2 台高性能多功能安全网关（F0001 和 F0002）替换传统路由器（图 1 中的 R0001 和

R0002）。这样，网络的逻辑层次就简化为两层：用户接入层和业务控制层。用户接入层只需为用户提供高速的接入服务，并且具备 ARP 病毒免疫功能。业务逻辑层的高性能路由器集中处理各种复杂的业务：基于流量触发用户子接口管理、用户流量的精准控制、认证和计费策略下发、路由管理等。

核心交换机 S0001 和 S0002 与业务路由器之间万兆光纤链路互连，只需实现数据链路层功能，在网络层它们是透明的。这样，核心交换机集中完成核心路由器之间的数据交换，使核心路由器之间的网络层数据实现直接点对点转发，形成了核心路由器全互联结构，如图 3 所示。

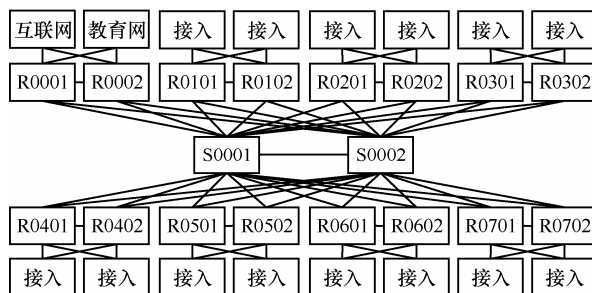


图 2 扁平架构校园网拓扑

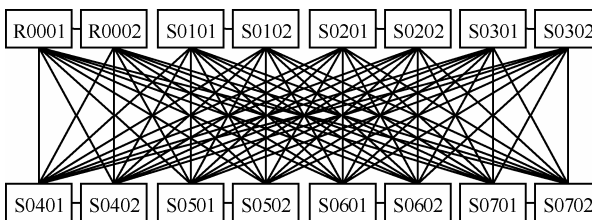


图 3 校园网核心全互联结构

### 2.3 虚拟架构

为进一步精简校园网逻辑结构，引入了网络设备虚拟化技术。该技术和服务器虚拟化技术不同，不是将一个物理设备虚拟成多个主机，而是将多个物理设备互相连接起来，使其虚拟成为一个逻辑设备，也就是说，用户可以将多台设备看成一台设备进行管理和使用。这样，就可以将一组接入交换机虚拟成一台逻辑交换机，将每个园区的 2 台业务路由器虚拟成一台逻辑路由器，将 2 台核心交换机虚拟成一台核心交换机。如此一来，图 2 的逻辑结构演变为图 4，其中“XX”为接口 IPv4/IPv6 地址的共同前缀。图 3 和图 4 的设备对应关系如表 1 所示。将多个设备虚拟为一个设备以后，采用链路聚合技术将每园区的 2 个核心路由器和核心交换机之间的 4 条 10 GB 链路虚拟为 1 条 40 GB 链路。

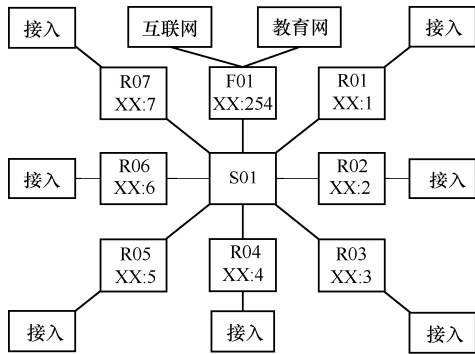


图 4 虚拟架构校园网数据链路层拓扑

表 1 物理设备和虚拟设备对应关系

图 3 编号	图 4 编号	接口地址
F0001/F0002	F01	XX:254
R0101/R0102	R01	XX:1
R0201/R0202	R02	XX:2
R0301/R0302	R03	XX:3
R0401/R0402	R04	XX:4
R0501/R0502	R05	XX:5
R0601/R0602	R06	XX:6
R0701/R0702	R07	XX:7
S0001/S0002	S01	无

在图 4 网络中，在因为核心交换机 S01 只工作在二层，而且可将所有链路端口配置在同一个 VLAN。所以，业务路由器 R01~R07 及出口防火墙 F01 之间的链路接口地址可配置在同一网段，这样，业务路由器之间和业务路由器及出口防火墙之间的网络层链路将是点对点全直联的结构，如图 5 所示。

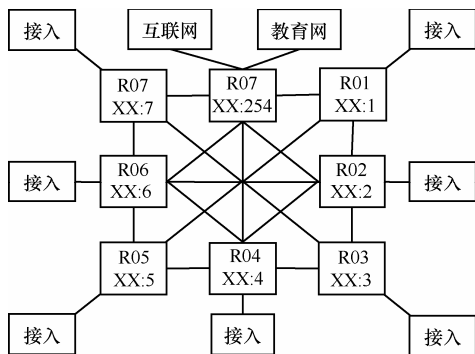


图 5 虚拟架构 IP 层拓扑

### 3 虚拟架构的优势

#### 3.1 高性能和高可靠性

交换机和路由器的性能和端口密度的提升往往会受到硬件结构的限制。而虚拟设备的性能和

端口密度是虚拟内部所有设备性能和端口数量的总和。因此，虚拟架构能够轻易地将设备的交换能力、接入端口的密度扩大数倍，从而大幅度提高了设备的性能。

虚拟架构的高可靠性体现在链路、设备、协议 3 个方面。虚拟设备的成员设备之间物理端口支持聚合功能，虚拟设备和上、下层设备之间的物理连接也支持聚合功能，这样通过多链路备份提高了链路的可靠性；虚拟设备由多台成员设备组成，一旦主设备故障，系统会迅速自动选举新的主设备，以保证网络业务不中断，从而实现了设备级的 1:N 备份。虚拟设备能够实时将协议配置信息同步到其他所有成员设备，从而实现 1:N 的协议可靠性。

前面几个方面的高可靠性是在相同的拓扑层次内的，下面讨论整个网络系统的可靠性。设一个具有  $n$  个层次的网络中每层的设备可靠性为  $R_i$ ，该层与上层之间的链路可靠性为  $R'_i$ ，那么，该网络的可靠性  $R$  为

$$R = \prod_{i=1}^n R_i R'_i \quad (1)$$

因任何设备或链路的可靠性理论上都无法达到 100%，即  $R_i < 1, R'_i < 1$ 。所以  $R_i$  和  $R'_i$  越大，网络的层次越少，即  $n$  越小，则式(1)中的  $R$  越大，即网络的可靠性越高。因为在扁平架构基础上演进而来的虚拟架构比传统架构在网络层次上更加精简，虚拟架构的每个层次及其上联链路都具有更高的可靠性，所以整个网络系统的可靠性都将得到较大的提升。

#### 3.2 易管理

虚拟架构形成之后，可以连接到任何一台设备的任何一个端口就以登录统一的逻辑设备，通过对单台设备的配置达到管理整组设备的效果，而不用物理连接到每台成员设备上分别对它们进行配置和管理。

扁平架构比传统架构减少了汇聚层，需进行管理的物理设备数量有了一定的减少。下面比较分析没有采用虚拟化技术的扁平架构演和虚拟架构的逻辑设备数量。

设扁平架构网络中每层具有  $N_i$  台物理设备，因为没有采用虚拟化技术，每一台物理设备均对应一台物理设备，那么其逻辑设备数量  $N_p$  为

$$N_p = \sum_i^n N_i \quad (2)$$

虚拟架构和扁平架构的物理设备数量相同，设每层的每台逻辑设备由  $S_i$  台物理设备构成，则其

逻辑设备数量  $N_V$  为

$$N_V = \sum_i^n \frac{N_i}{S_i} \quad (3)$$

在校园网中, 数量最多的网络设备为接入交换机, 而一般会将 5 台左右的交换机组成一个堆叠, 比较式 (2) 和式 (3) 可知, 采用虚拟化技术后, 网络的逻辑设备数量大大减少, 只为之前的若干分之一。在虚拟架构的网络中, 可以采用跨设备链路聚合技术, 将多条物理链路虚拟为一条逻辑链路。这样, 整个网络中的逻辑链路数量也将大幅度减少。网络逻辑设备数量和逻辑链路数量的减少, 在某种意义上降低了网络管理的规模, 减少了网络运维工作量。

虚拟架构网络的逻辑设备中运行的各种控制协议也是作为单一设备统一运行的, 例如路由协议会作为单一设备统一计算, 无需运行原有的生成树协议, 这样就可以省去了设备间大量协议报文的交互, 简化了网络运行, 缩短了网络动荡时的收敛时间。

### 3.3 易扩展

扁平架构的网络扩展非常容易。若新建区域的网络与校园网需进行互联时, 只要根据规划将其业务路由器与核心交换机的端口互连后, 为配置一个接口地址就可完成, 无需对其他路由器的配置进行修改; 逻辑设备本身可以按照实际需求实现弹性扩展, 对逻辑设备的成员进行新增或减少时可以实现“热插拔”, 不影响其他设备的正常运行; 若某个逻辑设备的上联链路需要扩展容量, 只需要找到空闲的端口, 将其加入到上联聚合链路组, 成为逻辑链路的物理成员, 再进行物理连通即可, 也能够做到在线升级, 原有的业务模型、协议都不需要改变。

## 4 结束语

本文设计了基于交换机和路由器等网络设备虚拟化技术的校园网架构, 该架构在深圳大学城校园网升级工程项目中成功实现。相对传统架构而言, 虚拟架构在网络的性能、可靠性、扩展性、易管理性等方面都有了较大的提升, 但是, 网络的业务控制部署依然还是比较分散, 因此, 如何通过建立统一控制中心来集中管理业务策略值得未来进一步研究。如构建软件定义网络<sup>[5]</sup>, 采用 OpenFlow

技术, 进一步优化校园网架构。

### 参考文献:

- [1] WU J, LIN S, XU K, *et al.*, Advances in evolvable new generation Internet architecture[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(6): 1094-1108.
- [2] WU J, WU Q, XU K. Research and exploration of next-generation internet architecture[J]. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(9): 1536-1548.
- [3] YUAN H, LIU X, SUN T, *et al.* A design of flat schema network based on dynamic-profile technology[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2012, 43: 133-136.
- [4] YUAN H, SUN T, ZHU S. Campus network client security access based on PUPV technology[J]. Journal of Guangxi University, 2011, 36: 17-22
- [5] NICK M, TOM A, HARI B, *et al.* Openflow: enabling innovation in campus networks[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38: 69-74.

### 作者简介:



袁虎声 (1981-), 男, 广东龙川人, 深圳大学城网络信息中心高级工程师、副主任, 主要研究方向为云计算关键技术、下一代网络体系结构、数据中心系统架构和移动互联网。



奉华 (1977-), 男, 江西萍乡人, 深圳大学城网络信息中心工程师, 主要研究方向为云计算应用和数字校园。



李挥 [通信作者] (1964-), 男, 广东汕头人, 博士, 北京大学教授、博士生导师, 北京大学深圳研究生院信息学院深圳市云计算重点实验室主任, 主要研究方向为三网合一媒体云计算网络视频关键技术研发、下一代网络体系结构研究、网络路由和宽带交换结构、网络编码理论及其应用和嵌入式系统开发。E-mail: huilihuge@163.com。

钟智滨 (1981-), 男, 广东龙川人, 深圳市华强职业技术学校教师, 主要研究方向为物联网关键技术和数字校园。

潘凯 (1986-), 男, 江苏常州人, 北京大学博士生, 主要研究方向为网络编码、网络协议、下一代网络架构。