



IP 路由器技术发展趋势

陈华南, 黄勇军, 朱永庆

(中国电信股份有限公司广州研究院 广州 510630)

摘要:在阐述 IP 路由器发展历程的基础上,结合业务发展需求,对路由器重点关注技术进行了分析与探讨。指出未来路由器应具备大容量、虚拟化、开放架构及软件可编程等特征,以推动未来 IP 网络向软件定义、云—网融合方向发展。

关键词:IP 路由器;软件可编程技术;硅光子;高速接口

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015107

Development Trend of IP Router Technologies

Chen Huanan, Huang Yongjun, Zhu Yongqing

(Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

Abstract: Based on the IP router developing history, the most eye-tracking technologies of IP router were analyzed and discussed in-depth with the growing service requirements. The future routers should be high-volumed, virtualized, open-architected and programmable. As a result, the IP network is about to evolve to software-defined and cloud-network converged architecture.

Key words: IP router, software programmable technology, silicon photonics, high-speed interface

1 引言

IP 路由器是构建网络的核心单元,是实现网络架构及业务功能的基石。自思科公司 1986 年发布第一台路由器以来,IP 路由器推动了互联网近 30 年的繁荣。现阶段 IP 路由器技术主要聚焦在容量和能效方面。在芯片、背板与集群等技术推动下,传统 IP 路由器容量进一步提升,紧跟互联网流量增长步伐。与此同时,云计算与大数据等技术与业务的兴起,要求网络具备“网络即服务”以及网络—业务的高效协同能力^[1,2],这就需要 IP 路由器具备开放和可编程能力,从而引领 IP 设备向大容量、开放架构^[3]、可编程及虚拟化^[4]等方向发展。

2 IP 路由器关键核心技术

近年来,IP 路由器技术发展迅猛。从设备架构来看,IP 路由器经历了 CPU 集中式处理、CPU 分布式处理、CPU/ASIC 协同处理、NP/ASIC 协同处理 4 个发展阶段。从设备转发能力来看,单板卡处理能力从 2.5 Gbit/s 开始,经历了 10 Gbit/s、40 Gbit/s、100 Gbit/s 及 400 Gbit/s 发展^[5]。从设备形态来看,主要有单机、背靠背与集群 3 种类型,重点关注容量扩展性。这种通过专用硬件与封闭操作系统提高功能和性能的 IP 路由器称为传统 IP 路由器。该类设备的研发是一个复杂的系统工程,除设备架构之外,芯片、背板、节能减排及集群等技术的实现是重点。

收稿日期:2015-03-06;修回日期:2015-04-15

论文引用格式:陈华南,黄勇军,朱永庆. IP 路由器技术发展趋势. 电信科学, 2015107

Chen H N, Huang Y J, Zhu Y Q. Development trend of IP router technologies. Telecommunications Science, 2015107



2.1 芯片技术

专用芯片处理能力及其工艺水平对 IP 路由器的能力至关重要,每一代芯片的推出都极大地提升了路由器容量。路由器专用芯片主要包括网络处理器(network processor, NP)、流量管理(traffic management, TM)以及交换套片等。芯片能力自 2004 年进入 10 Gbit/s 时代,每隔 2~3 年翻一番,同时每吉比特能耗下降 30%以上。现阶段,网络处理器芯片制程已达到 22 nm 工艺水平,能力达到 400 Gbit/s,芯片集成度也达到 10 亿个/cm² 晶体管的规模。但随着工艺与集成度的提升,芯片电域处理在物理漏电、电磁干扰等方面的问题也愈发严重,芯片性能、体积以及能耗控制遭遇到技术瓶颈。

2.2 背板技术

背板是路由器输入端与输出端之间的物理通道,其关键技术包括交换矩阵与高速 I/O,其性能是决定单设备容量的重要因素。现阶段,IP 路由器主要采用 Crossbar、Clos 与 Benes 等交换网络架构,重点解决内部阻塞,降低系统复杂程度,提升交换效率及可扩展能力。背板高速 I/O 主要采用 SerDes(serializer/deserializer)技术,用于实现多路低速并行信号与高速串行信号转换。根据香农定理,电域 SerDes 最大速率可达 28 Gbit/s。当前 400 Gbit/s 平台设备(单槽带宽能力达到 400 Gbit/s)主要采用 11.25 Gbit/s 速率的 SerDes,下一阶段将向 25Gbit/s 迈进,接近理论极限,制约了设备的发展。

2.3 绿色节能技术

传统 IP 路由器能耗在网络中占比较大,需在节能减排方面寻求突破。绿色节能技术包括动态调频调压、内置温控、智能风扇与分区供电等功能。动态调频调压采用芯片独立模块供电方式,可按需关启板卡内 SerDes 和流量管理等功能模块,可基于负荷状态动态调整内核主频和电压,降低芯片功耗。内置温控芯片实现设备功耗智能监控,同时与 CPU 调整、端口闲时自动关断等控制技术协同,实现设备功耗可管理、可配置。智能风扇技术可根据设备温度与板卡负荷监测,实现风扇转速调整,降低风扇能耗。分区供电技术实现机箱的划区自治,可根据板卡数量及流量大小调整电源输入,未来 240/360 V 高压直流电的应用将进一步提升电源效率。

2.4 路由器集群技术

路由器集群采用并行分组交换技术实现控制平面与交换平面的扩展,使得多台路由器能够协同工作与并行处

理,对外呈现为一台逻辑路由器。路由器集群打破了单机系统在交换容量、功耗、散热等多方面的限制,大幅度提升了设备的扩展性,是设备技术发展的里程碑式突破。路由器集群包括中央交换框与线卡框,中央交换框是指路由器集群系统中用于集中控制、维护线卡框以及实现线卡框之间业务交换的设备,不对外提供业务接口。线卡框是指路由器集群系统中只保留报文转发与部分交换功能的单机设备,对外提供业务接口,在非集群状态下也可作为单机路由器使用。路由器集群通常使用“N 拖 M”模式表示,其中 N 表示中央矩阵框数量, M 表示线卡框数量,理论上可扩展至“16 拖 64”。但集群系统对机房的空間、承重、电源与空调有较高要求,同时鉴于线缆长度、节点可靠性等因素,其实际最大拓展模式为“2 拖 9”。

3 IP 路由器发展趋势

随着视频、云计算、移动互联网等新兴业务的发展,互联网流量保持着年均 40%以上的增速,对路由器容量提出更大的需求。同时,随着互联网业务的层出不穷以及互联网模式的变化,上层应用希望将网络能力变为业务能力的一部分,以便通过接口灵活调用网络资源,从而满足快速变化的业务需求,这就对 IP 路由器的发展提出新的要求。

3.1 未来 IP 路由器特征

未来,传统 IP 路由器不会在短期内消失,而是会逐渐向能力开放与虚拟化方向演进。同时,以可编程为特征的新型 IP 路由器也将出现,并在中低端路由器市场逐渐占据优势。未来的 IP 路由器主要具备以下特征。

(1) 容量扩展支撑流量持续增长

无论设备形态如何,单设备容量提升仍是 IP 路由器研发的主要发展方向。具体表现在围绕着设备单槽能力的提升,不断提升芯片处理能力、端口吞吐量、背板能力以及整机降耗水平,其研发重点在于提升芯片性能以及 SerDes 速率,并逐步利用硅光子^[6]等技术突破电域技术瓶颈。

(2) 虚拟化提升资源调度精度

虚拟化主要表现为路由器虚拟化与网络功能虚拟化(network function virtualization, NFV)^[4]。逻辑路由器属于典型的路由器虚拟化(在一个物理路由器划分独立硬件资源以及网络功能实例,形成逻辑路由器);NFV 强调通过通用 x86 架构实现路由器功能,并通过云化技术实现路由器能力扩展,打破专用硬件的限制。

(3) 开放架构推动网络能力开放

传统 IP 路由器的接口开放只能实现部分的能力开放。网络能力开放需借助于路由器的开放架构。在开放架构下,路由器由一组逻辑分离且接口标准化的实体组成,各个实体可作为标准部件开发,客户按需利用实体建构路由器。现阶段,“白牌”路由器已具备开放架构雏形。另外,基于 NFV 的设备实现也是开放架构研究的重点。

(4) 软件可编程实现业务灵活加载

软件可编程是网络能力开放的高级形式。路由器的软件可编程特性可基于网络定位、业务需求,通过逻辑编排来分配资源和定义业务流程,从而实现业务的灵活、动态部署。路由器的软件可编程主要体现在系统架构、网络接口、数据报文处理流程、新协议升级以及网络管理方式等方面,强调用户对网络自定义。现阶段,OpenFlow 交换机^[7]是软件可编程设备的代表。

3.2 未来 IP 路由器关键技术

设备基础技术创新带动 IP 网络设备产业链的发展。现今业界研究热点主要围绕未来 IP 路由器发展趋势而展开,主要聚焦在硅光子、高速接口以及网络操作系统等领域。

3.2.1 硅光子技术

硅光子技术是在硅晶圆上实现的光互连的技术,将光学与电子元件集成至一个芯片,用光代替电子传输数据,从而突破电域技术瓶颈,以实现更高速率以及更低的能耗与成本。硅光子可实现芯片间及芯片内的互连,在路由器领域主要应用于接口光模块与光背板。需要注意的是,硅光子技术并非全光技术,无法直接对光数据分组进行存储转发,仍然难以摆脱光电转换的制约。目前,硅光子技术已在光模块领域实现规模商用(思科公司 2013 年推出了以硅光子技术为主的 100 Gbit/s 光模块 CPAK),并预计在 2018 年左右推出基于硅光子技术的光背板。

3.2.2 高速接口技术

高速以太网接口已成为网络高速互连接口的主流类型。目前,100GE、40GE 端口已规模商用,ITU-T、IEEE 和 OIF 等国际标准化组织正在积极推动 400 Gbit/s 标准的制订工作,其中,ITU-T SG15 围绕下一代支持 400 Gbit/s 的 OTN 结构演进、IEEE 802.3 聚焦新一代高速以太网速率、OIF 则侧重 400 Gbit/s 光模块及芯片接口等技术的研究。依照 400 Gbit/s 以太网标准工作组(IEEE 802.3bs)工作计划,预计 2017 年 400GE 标准可正式推出。需要关注的是,为适应未来网络灵活负载的需求,业界还推出了 25 / 50 Gbit/s 的

以太网标准。该标准目前主要针对数据中心网络性能优化而提出,未来还可能应用到广域网中。

3.2.3 网络操作系统

传统 IP 路由器采用封闭的操作系统且与底层硬件垂直整合优化,以实现硬件资源使用效率和设备整体性能最优。尽管为了提升系统性能与扩展性,此类操作系统也采用模块化设计,并基于一些虚拟化技术提供网络资源和能力的封装组合,但在提供用户可编程接口方面仍无法满足互联网未来发展需求。随着开放架构与软件可编程技术的发展,打破封闭的设备操作系统,屏蔽底层硬件差异,为上层应用和业务提供标准化的能力开放接口,成为大势所趋,适配所有设备型态的网络操作系统呼之欲出。网络操作系统与 SDx、NFV 技术相结合是未来发展方向。将功能按需部署,可实现网络与应用之间的协同,在提升网络业务灵活提供水平的同时,提高硬件资源的使用效率。

4 结束语

随着物理空间与网络空间的不断融合,IP 网络的计算、存储功能将逐渐凸显,软件定义、云—网络融合将是 IP 网络发展的方向,未来的 IP 网络架构可以定位为信息处理、传输与存储的超级计算机架构。设备与网络是个体与整体之间的关系。业务需求决定网络需求,网络需求最终决定设备发展。同时,网络也随设备技术的发展而不断演变。

作为 IP 网络的重要网元,IP 路由器除持续扩展容量以提供互联能力外,还应聚焦可编程能力与虚拟化能力的提升,进一步增强网络开放与资源灵活调度能力,并同步增加信息处理、存储等功能,以满足 IP 网络与业务发展需要。

未来,IP 网络需建设用户—网络—业务融合的协同模式,通过应用的快速迭代研发,满足人类信息生活需求。随着开放架构与能力开放等技术的发展,以开源为基础的网络操作系统最终将在 IP 网络设备上出现,以更为便利的方式满足网络应用需求。设备产业链由封闭走向开放,用户按需定义功能是当今时代不可阻挡的趋势,将推动 IP 路由器向高速化、通用化、智能化与开放化方向不断发展。

参考文献

- 阮科,冯明,朱永庆等.下一代互联网架构演进分析.电信科学,2014,30(Z2): 50~53

(2015107-4 接排在 2015081-6 后)

Liu M, Zhang Z, Cheng F, *et al.* Analysis of network demand and research on the key technology for integration of 5G and Wi-Fi. *Telecommunications Science*, 2014, 30(8): 99~105

- 10 王晨. 一种远程网络智能电源管理系统的硬件设计. 电子制作, 2013(7)

Wang C. Hardware design of a remote network intelligent power management system. *Electronic Production*, 2013 (7)

- 11 郑涛. WLAN 的绿色设计. IP 领航, 2009(5)

Zheng T. Green design of WLAN. *IP Navigator*, 2009 (5)

- 12 杨柯, 王志功, 李志群. 0.18 μm CMOS 工艺 5 GHz WLAN 功率放大器设计. 电子工程师, 2006(3)

Yang K, Wang Z, Li Z Q, *et al.* 0.18 μm CMOS technology 5 GHz WLAN power amplifier design. *Electronics Engineer*, 2006(3)

[作者简介]



李雯雯,女,中国移动通信有限公司研究院中级工程师、项目经理,主要从事TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN 绿色通信及无线承载领域的研究工作,关注无线网络能效提升的相关技术。



吴博,男,中国移动通信有限公司研究院中级工程师、项目经理,主要从事移动互联网业务开发及网络性能优化领域的研究工作、移动互联网应用安全研究及开发工作。



李可,男,中国移动通信有限公司研究院中级工程师、项目经理,主要从事 2G/3G/LTE 终端节能技术研究与应用以及绿色业务、高效网络的协同优化研究工作。



边森,男,中国移动通信有限公司研究院中级工程师、室经理,主要从事TD-SCDMA/TD-LTE 绿色通信、新能源基站等领域的研究工作,主导多项中国移动集团重大重点课题的研究与产品开发。

2015081-6

(上接 2015107-3)

Ruan K, Feng M, Zhu Y Q, *et al.* Evolution analysis of next generation internet architecture. *Telecommunications Science*, 2014,30(Z2): 50~53

- 2 黄勇军, 朱永庆. 新一代互联网发展趋势与技术浅析. 电信科学, 2013, 29(4): 1~6

Huang Y J, Zhu Y Q. Development trend and technologies analysis of the new generation internet. *Telecommunications Science*, 2013, 29(4): 1~6

- 3 IETF. Forwarding and control element separation (ForCES) model extension, <http://datatracker.ietf.org/doc/rfc7408/>, 2014

- 4 ETSI NFV. NFV white paper. <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv>, 2013

- 5 中国电信. 中国电信 IP 网络设备技术要求-核心路由器(CR). Q/CT 2554-2013, 2013

China Telecom. Technical requirements for IP network equipment of China telecom (Core Router). Q/CT 2554-2013, 2013

- 6 Yole Developpement. Silicon photonics market & technologies 2011-2017: big investments, small business. http://www.okokok.com.cn/Htmls/PE_Product/121012/154893.html, 2012

- 7 Open flows witch specification (Version 1.3.2). <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/OpenFlow/OpenFlow-spec-v1.3.2.pdf>, 2013

[opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/OpenFlow/OpenFlow-spec-v1.3.2.pdf](https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/OpenFlow/OpenFlow-spec-v1.3.2.pdf), 2013

[作者简介]



陈华南,男,中国电信股份有限公司广州研究院工程师,主要研究方向为城域网优化建设、网络新技术与设备新技术。



黄勇军,男,中国电信股份有限公司广州研究院副院长、高级工程师,政府特殊津贴专家,长期从事运营商通信网络发展规划和通信信息新技术应用研究工作,曾从事电信市场经营管理工作,重点研究方向为宽带网络技术、云计算。

朱永庆,男,中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师,主要研究方向为超宽带城域网技术、网络新技术。

2015107-4