

面向多网络体制并存的开放式可重构路由器体系结构设计与实践

卢泽新, 张晓哲, 马世聪, 王宝生

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对现有网络设备在支持可重构和多网络体制并存方面存在的不足, 提出了一种面向多网络体制并存的开放式可重构路由器体系结构。通过在控制、转发和交换体系结构设计上, 采用虚拟化和硬件分区配置技术, 能够对控制、转发和交换进行资源划分与隔离, 将路由器中同一个硬件资源虚拟化为多个功能上独立、资源上隔绝的逻辑路由器实例, 提高了核心路由器设备的开放性和安全性。

关键词: 可重构; 路由器体系结构; 虚拟化

中图分类号: TP393.4

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2013)03-0126-08

Design and implementation: an open and reconfigurable router architecture with different network system supported

LU Ze-xin, ZHANG Xiao-zhe, MA Shi-cong, WANG Bao-sheng

(School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Targeted the problems of current network device on supporting reconfigurable functions and multiple new network architectures, a novel open and reconfigurable router architecture was proposed to support the coexistence of multiple network architecture in one router. virtualization and hardware partition technology were used to divide a router hardware into multiple logical router instances, assured logical router instances that did not effect each other.

Key words: reconfigurable router; routing protocol; virtualization

1 引言

Internet 作为全球范围内最大的数据网络, 面对层出不穷的新型业务需求, 已经暴露出诸多的不适应性和僵化性, 目前在全球范围内掀起一股 Internet 反思的浪潮。同时作为发展速度最快的一种广域基础设施, Internet 吸引着传统的电信网络和电视网络的目光, 逐渐成为了下一代三网合一的基础平台。在此背景下, 各国家或组织都推出了相应的发展计划和项目, 如 ITU-T 等发起的 NGN(next generation network) 计划, 美国 NSF 的 FIND (future internet design) 计划和 GENI(global environment for network innovation) 计划, 美国 DoD 的 AGN(assurable global networks) 计划, 欧盟的 FP6 (the sixth EU

framework) 计划, 美国 DoD 的 NewArch (future generation Internet architecture) 项目, 欧洲的 FAIN (future active IP network)、FlexiNET (flexible networks) 和 ACCA (autonomic communications coordinated action) 系列项目, 我国“863”计划的“高性能宽带信息网(3Tnet)”和部委的 CNGI 等。

上述对下一代网络体系的探索分别从 3 个角度描绘出下一代网络体系的技术轮廓: 以分组交换为基础, 支持多种业务融合的一体化网络架构(如 NGN, 3Tnet, FP6); 从网络的可编程性、可扩展性和智能化等方面灵活地增强网络的服务能力(如 FAIN、FlexiNET、ACCA); 反思目前互联网的问题, 重新梳理理念和思路, 建立一套安全可控、灵活部署、业务适应性好的全新网络结构。

收稿日期: 2011-08-31; 修回日期: 2012-12-25

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(2008AA01A325); 国家自然科学基金资助项目(60803153)

Foundation Items: The National High Technology Research and Development of China (863 Program)(2008AA01A325); The National Natural Science Foundation of China (60803153)

从上述对下一代网络发展的研究中可以看出,具有可编程性、可扩展性和智能化等特点的可重构路由器系统将会逐渐替代传统的高性能核心路由器,互联网控制也将向分离独立的、便于扩展新的控制管理功能的方向发展。但目前传统网络设备控制平面的紧耦合性、封闭性和私有性等特点已经成为制约网络技术发展的瓶颈之一。传统的从嵌入式系统发展而来的网络设备系统软件已经远远不能满足可重构路由器系统的要求,必须寻求突破。

本文针对新型网络技术和部署对核心路由器的功能需求,分析了现有高端核心路由器体系结构在支持新型网络技术体制、开放性和可重构性等方面的不足,提出了一种支持多网络体制并存与隔离的、新型的、开放式可重构路由器体系结构,在控制、转发和交换体系结构设计上,采用虚拟化和硬件分区配置技术,能够对控制、转发和交换进行资源划分与隔离,将路由器中同一个硬件资源虚拟化为多个功能上独立、资源上隔绝的多个逻辑资源,提高了核心路由器设备的开放性和安全性;最后,在国家“863”(新一代高可信网络)项目支持下,基于本文提出的“支持多网络体制并存与隔离的、新型的、开放式可重构路由器体系结构”实现了“可重构高性能核心路由器”设备原型,并对设备原型进行了初步测试。

2 相关研究工作

2.1 规模可重构路由器技术

通过多柜互连的集群路由器系统可以较好地解决单柜路由器系统在满足链路速率和端口密度提高的性能需求方面的不足。设备厂商近年来也推出了多种高性能集群路由器系统,最典型的代表 Cisco 的 CRS 路由器和 Juniper 的 T640 系统^[1]。但由于上述商用集群路由器系统都是统一的传统架构,但这种同构集群只能实现规模的可重构,无法支持功能重构。

与目前设备厂商不同,关于集群路由器的研究性成果已经将功能扩展作为主要目标,其中,典型的代表有 Pluris 公司的大规模并行路由器^[2]、NEC (USA) C&C 实验室的 CLARA (cluster-based active router architecture)^[3]、纽约州立大学的 Suez^[4]和普林斯顿大学的 VERA^[5]。网络设备厂商在如何实现网络设备的动态重组方面也积极进行了相关研究,并推出了相关产品。例如 Cisco 的安全域路由^[6]

(SDR, secure domain routers) 与 Juniper 的系统保护域^[7](PSD, protected system domains)。但是,SDR 与 PSD 都是基于硬件划分的思想,每个逻辑路由器实例的独占一部分硬件资源。这种模式支持的逻辑路由器数量会受硬件资源的限制,并且不支持硬件共享和动态切分。

2.2 开放控制路由器技术

路由器开放控制思想是指将在路由器系统中采用与现在计算机系统类似的标准开放架构,可以从不同的厂家采购不同部件,按照用户要求进行组装定制,构建完整用户系统。打破了少数厂商对系统的垄断。网络界从较早就开始了开放控制路由器方面的尝试。目前学术界有 2 种比较成熟的开放架构:第 1 种是开放控制架构,通过沿用了基于开放信令 (OpenSig) 的思想实现控制与转发的分离,包括: IETF 的 GSMP (general switch management protocol)、IEEE 的 P1520 参考模型^[8]以及 IETF 的 ForCES^[9] (forwarding and control element separation);第 2 种是部件接口标准化架构,如 NPF 论坛的路由器参考模型,该模型在转发平面内部件之间利用 ForCES 协议定义了一系列接口,将路由器分解为若干独立部件。

路由器软硬功能部件组件化是部件级可重构路由器发展所展示的前景。但目前的相关研究还很难在这方面取得突破,其中最大的阻力来自业界的自我保护,现有既得利益厂商不愿放弃技术垄断带来的高利润,所以该技术的发展需要多方力量协同发展。

2.3 可编程路由器技术

基于构件的设计技术可以有效提高了计算机系统可编程性。但是在网络设备系统中,构件技术的应用还处在十分初级的阶段。目前主流的网络设备均不支持第三方构件的集成。这不但影响网络运行商提供服务的质量和成本,也极大地限制了技术的创新。

最早的主动网络 (active network) 是网络领域在这方面的首次尝试。主动网络提出了存储-计算-转发的模型,即在网络报文中同时携带程序和数数据,携带的程序类似于构件,而主动网络节点则类似于构件容器。在主动网络的驱动下,关于构件化网络节点平台的研究蓬勃涌现:侧重转发服务功能构件化的研究,如 MIT 的 Click^[9]和 SMP-Click、亚利桑那大学和普林斯顿大学的 Scout^[10]、华盛顿大

学的 Router Plugin 等；侧重控制服务功能构件化的研究，如开源的 Zebra、Quagga、XORP 等；侧重构件执行环境的研究，如 OpenSig 的 xbind、宾西法尼亚大学的 SwitchWare、MIT 的 ANTS 等。近年来，FPGA 的发展使得可重构的构件化功能已经可以在硬件平台上进行实验和部署。

但上述研究只是在局部验证系统中，验证了动态功能重构路由器的思想。这些模块化构件距离实际应用尚有一定差距。随着网络业务类型的急剧增加，业务对网络服务的需求越来越呈现差异化，迫切地需要开发网络服务像软件编程一样灵活方便。

2.4 网络虚拟化技术

目前，传统的互联网体系结构面对着越来越多的问题，而关于新型网络结构、网络协议等方面的研究一直存在着缺少部署环境与实验环境的问题，网络虚拟化技术被认为是解决这一问题的有效手段。基于网络虚拟化技术的网络实验床在网络协议与网络应用开发中发挥了重要的作用，其中最具有代表性的就是由普林斯顿大学、加州伯克利分校、Intel 等在 2002 年建立了 Planet Lab 实验床^[12]。Planet Lab 通过切片 (slice) 的思想搭建开放且全球化的实验床，用于开发全新的互联网技术。切片是节点中计算、存储、网络等资源的总称，切片之间通过虚拟机共享系统的硬件资源，使得 PlanetLab 能够支持不同网络应用的研究。

近年来，大量关于新型网络技术的研究都在该实验床上进行验证，Planet Lab 的成功描绘出下一代构件化可重构路由器的发展趋势——虚拟化，构件化，灵活重构，便于部署。

遗憾的是目前最代表构件化可重构路由器的 Planet Lab 只能以网络应用的模式存在，并且不能将其与路由器紧密关联，因此无法在面向特定业务服务的应用虚拟网络中充分利用底层网络的特性。

3 支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构

随着对新型网络技术体制、新型网络控制协议、转发技术研究的深入，在实验室范围内对新型网络技术的研究已经远远不能满足上述技术的未来实用化需求，迫切需要在实际网络运行环境中对新的网络技术进行部署、试运行，以验证其实际运行效率。而目前网络设备厂商的路由器设备是私有的、自包含的、封闭系统，受各个厂商技术壁垒的限制，路由器设备的私有开发环境和开发接口很难开放给科研院校免费使用，客观上造成了网络新技术研究与实际应用之间的难以跨越的障碍。

基于以上原因，本文提出了一种支持多网络体制并存与隔离的、新型的、开放式可重构路由器体系结构(如图 1 所示)。开放式可重构路由器

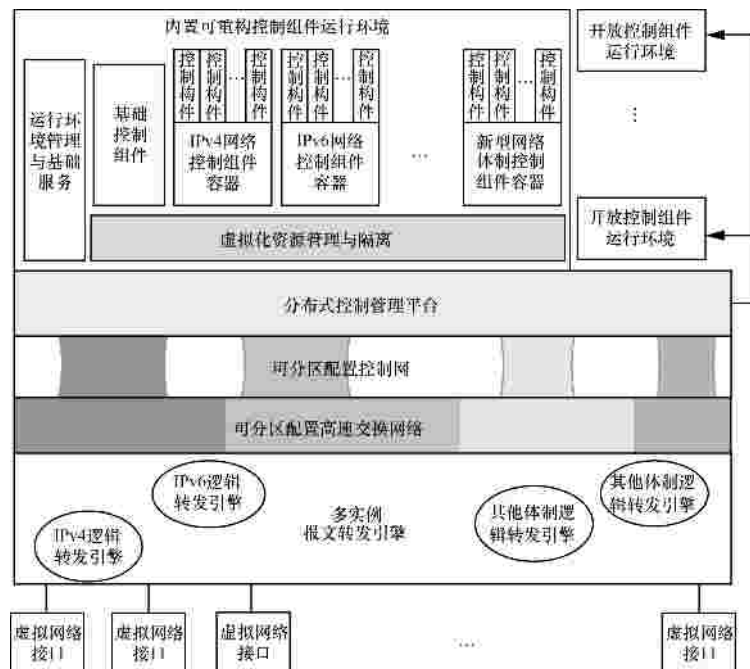


图 1 支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构

体系结构在控制、转发和交换体系结构设计上，采用虚拟化技术，能够对控制、转发和交换进行资源分区配置，将路由器中同一个硬件资源虚拟化为多个功能上独立、资源上隔绝的多个逻辑资源，通过将这些逻辑资源进行组装，构成一个独立的逻辑路由器系统，能够像真实的物理路由器一样启动路由器控制软件，配置交换网络和逻辑转发引擎，执行控制协议交互和各种网络体制的报文转发功能。

支持多网络体制并存与隔离的、新型的、开放式可重构路由器体系结构由以下几部分构成。

1) 虚拟网络接口

虚拟网络接口对应某个特定网络体制的逻辑转发引擎所需物理接口的逻辑实例，通过在虚拟网络接口与物理接口之间增加一个接口抽象服务层实现虚拟接口实例，并完成物理网络接口与虚拟网络接口的映射关系。虚拟网络接口存在2种模式，一是独占模式，即某个物理网络接口只属于一个逻辑转发引擎；另一种方式是共享模式，即通过接口抽象服务层的服务质量保证技术将物理接口划分为多个具有不同带宽约束并且相互独立的虚拟网络接口，使得多个逻辑转发引擎共享同一个物理接口。

2) 多实例报文转发引擎

多实例报文转发引擎支持在一个高速报文转发引擎硬件上，通过管理配置可以建立多个逻辑报文转发引擎实例。每个逻辑报文转发引擎实例通过与多个虚拟网络接口以及高速交换网络分区连接，组成一个逻辑路由器完整的报文转发平面。每个逻辑报文转发引擎是一个独立的报文转发构件，具有独立的转发表存储空间，以及基于硬件构件或软件构件实现的独立报文转发处理过程。

3) 可分区配置高速交换网络

在高速交换网络上支持交换能力的分区配置功能，可以将一个交换网络配置为多个具有不同交换能力的、多个逻辑上独立的虚拟交换网络，通过与逻辑报文转发引擎绑定，构成连通的逻辑路由器转发平面。

4) 可分区配置控制网络

在内部控制网络上支持控制报文带宽的分区配置功能，对应于控制平面的每个控制组件，划分逻辑控制接口和最大带宽配额限制，保证每个控制组件具有独占的逻辑控制网络。

5) 分布式控制管理平台

分布式控制管理平台使用 ForCES(forwarding and control element separation)开放控制协议，对底层多个逻辑控制网络、虚拟交换网络、逻辑报文转发引擎和虚拟网络接口进行统一的管理和抽象，基于 ForCES 开放控制协议为上层的内置可重构控制组件运行环境和外置的开放控制组件运行环境提供标准的访问接口和通信 API。

6) 内置可重构控制组件运行环境

内置可重构控制组件运行环境运行在可重构路由器内置的高性能控制板卡上，主要包括：运行环境管理与基础服务、虚拟化资源管理与隔离、基础控制组件以及运行在其中的不同网络体制的控制组件容器。其主要功能是：对虚拟网络接口、多实例报文转发引擎、高速交换网络和控制网络进行管理，按照配置要求划分构成逻辑路由器的各个功能部件并进行配置连接；对控制组件运行环境进行管理，基于虚拟化资源管理与隔离模块，建立具有独立计算资源和存储资源保证的控制组件容器。

7) 开放控制组件运行环境

开放控制组件运行环境可以运行在可重构路由器的内置扩展控制板卡上，也可以运行在外置的独立控制服务器中，主要包括：虚拟化资源管理与隔离模块和运行在其中的不同网络体制的控制组件容器。开放控制组件运行环境实现的功能与内置可重构控制组件运行环境基本相同，主要解决在原有可重构路由器内置控制平面资源受限时，通过扩展控制板卡来实现可重构路由器计算资源和存储资源的在线扩展。

4 体系结构比较与评价

假设一台高性能核心路由器具有如下硬件配置。

$R = \{C, S, F, I\}$ ，其中， C 表示路由器的控制板卡集合， S 表示路由器的交换网络硬件集合， F 表示路由器的硬件转发板卡集合， I 表示路由器的物理接口集合。

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ ，表示路由器的控制板卡集合由 m 块 CPU 主控卡构成。

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ，表示路由器的交换卡集合由 n 块交换卡构成。

$F = \{f_1, f_2, \dots, f_o\}$ ，表示路由器的转发卡集合由 o 块转发卡构成。

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_{p \times o}\}$ ，表示路由器的接口集合由 p

$\times o$ 个接口构成, 每个转发卡连接 p 个物理接口。

假设用户对核心路由器 R 存在一个 W 个逻辑路由器的切分需求, 其中每个逻辑路由器需要 Y 个逻辑网络接口, 逻辑路由器的主控处理能力、交换能力、转发能力和接口带宽分别是物理路由器 R 相应板卡的 $1/X$ 。进一步地, 假设路由器 R 各种板卡集合中每个类型的板卡具有相同的能力。

在支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构下, 需要的控制板卡、交换卡、转发卡和接口数量如下: 控制板卡数量为 $[W/X]$ 个; 转发板卡需要 $[(W \times Y/X)/p]$ 个; 物理接口需要 $[W \times Y/X]$ 个; 其中 $[]$ 表示向上取整。由于交换卡连接路由器的各个转发板卡, 因此交换卡的逻辑划分需要使用交换卡集合中的全部交换卡, 数量为 n (此处忽略交换卡热备份的情况)。

在目前商用高端核心路由器体系结构下, 逻辑路由器的划分是以硬件板卡或物理端口作为划分的基本单位。因此, 对目前的商用高端核心路由器, 支持 W 个逻辑路由器, 需要控制板卡数量为 W 个, 转发板卡数量为 $[W \times Y/p]$ 个, 物理接口需要 $W \times Y$ 个, 交换板块数量同样为 n 个。

从 2 种路由器体系结构的比较可以看出, 支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构在支持多个逻辑路由器切分时能够大幅度降低实际需要的物理硬件板卡数量, 有助于提高硬件平台的利用率, 降低用户在硬件平台上的投资。除此之外, 支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构还具有以下一些特点和优势。

1) 更加绿色节能。支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构下, 可以将用户对多个逻辑路由器的切分需求尽量聚合在相同的硬件板卡和物理接口上, 保证在线使用的板卡和接口达到最大利用率。对不使用的板卡和接口, 可以通过关闭板卡供电, 关闭接口收发或者配置板卡、接口进入休眠模式来降低不使用的硬件板卡和物理接口的能耗。

2) 强大的开放可编程特征。支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构, 在 2 个层面上来支持更加通用的开放可编程接口。一是通过对 ForCES 协议的增强, 支持内置控制板卡与外置开放控制单元的混合控制模式, 能够方便地扩展外置开放控制实体; 二是通过在控制组件运行环境中采用虚拟化技术, 将路由器设备的硬件资源进行统一

描述和标准化访问接口封装, 为第三方开发的控制协议构件、高速报文转发构件提供统一的虚拟化操作系统运行环境, 使第三方构件开发可以在不了解路由器设备底层硬件细节的基础上, 基于标准化访问接口实现对路由器各种硬件资源、路由表资源和报文转发资源的管理和控制。

3) 更好地支持多种网络体制的并存与隔离。支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构在网络接口、转发引擎、交换网络、控制网络, 以及控制板上通过硬件分区配置、软件虚拟化技术进行严格的隔离, 保证各个逻辑路由器之间的完全隔离。同时在控制平面、转发引擎上支持不同网络体制的组件容器和逻辑转发引擎, 更好地支持在同一个硬件平台上多个不同网络体制的逻辑路由器并行工作。

4) 在线快速功能重构。可重构路由器支持控制组件容器、组件容器中控制构件、逻辑转发引擎中转发构件的在线升级和重构。由于逻辑路由器之间的完全隔离, 上述组件、构件的升级和重构并不会影响到其他逻辑路由器。而传统体系结构下路由器功能的升级和重构需要升级系统映像或替换硬件板卡, 可能会造成业务中断。

5) 面向未来新型网络技术。支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构在路由器控制平面、转发平面上具备更强的功能可扩展性, 在逻辑路由器中支持自底向上的全新设计, 不会受到现有 IPv4/IPv6 协议体系的约束, 能够内含地支持 RCP 等新型路由控制体系的快速功能扩展, 避免新型网络技术研究中面临的从原型到实际商用系统转化间存在的技术壁垒问题。

5 体系结构实践与测试

笔者所在课题组在国家“863”(新一代高可信网络)项目支持下, 基于本文提出的“支持多网络体制并存与隔离的可重构路由器体系结构”, 实现了“可重构高性能核心路由器”设备原型。设备在控制平面、转发引擎上, 通过虚拟化技术和硬件分区配置功能支持逻辑路由器的切分功能。受项目研制周期限制, 目前该设备尚未支持体系结构中定义的虚拟网络接口层和可分区配置交换网络, 而使用共享相同的高速交换网络硬件和基于物理接口的逻辑路由器划分方式。

图 2 给出了“可重构高性能核心路由器”在控

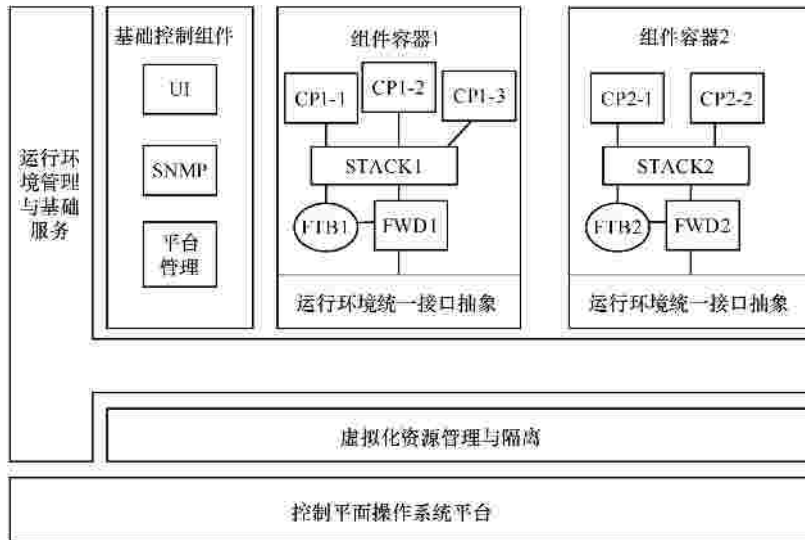


图 2 支持逻辑路由器切分的虚拟化可重构控制平面实现

制平面支持逻辑路由器控制平面切分的实现方式。将一个逻辑路由器的控制平面组件通过大粒度切分,划分为 STACK(协议栈)、FTB(转发表)、FWD(转发引擎)、CP(控制协议)等若干功能构件。用户在部署某种网络体制的组件时,对上述功能构件进行依赖关系、加载内容和顺序的描述(对图 2 组件容器 2 中的网络组件的依赖关系如图 3 所示),并将描述文件与构件集合打包形成网络组件。

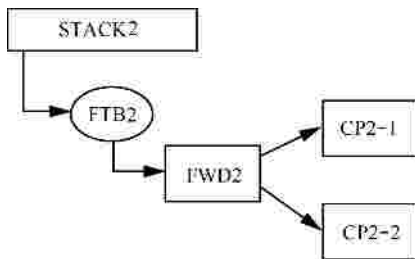


图 3 组件容器 2 中构件的逻辑依赖关系树

“可重构高性能核心路由器”对网络组件的创建和加载方法如图 4 所示。

网络组件的创建与加载方法使用广度优先的树搜索算法,从根节点开始顺序加载树中每一层的功能构件,能够严格保证构件间的前后依赖关系。构件间的通信机制采用进程间异步通信方式,可以保证在组件运行过程中动态升级或替换功能构件。

最后,为了验证体系结构的可行性,本文基于“可重构高性能核心路由器”设备原型,在图 4 所示的应用场景中对逻辑路由器、组件容器、各种构件的创建或加载时间进行了初步测试。测试使用 5 台设备:1 台构件服务器,3 台路由器设备原型以

及一台 AX4000 网络测试仪,3 台路由器原型上运行多个逻辑转发引擎实例,测试拓扑如图 5 所示。每台路由器之间互联组成数据网络(如图 5 实线所示),用于进行基本的网络通信功能,而每台路由器的控制平面互连组成控制网络,(如图 5 虚线所示),路由器通过控制网络与构件服务器相连。当网络需要进行网络体制重构时,只要每台路由器通过控制网络从构件服务器上下载所需的组件就可以完成路由器的软件升级。

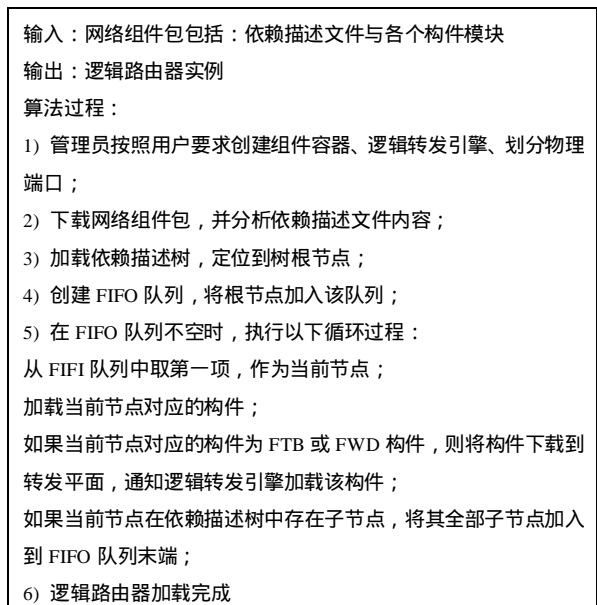


图 4 网络组件的创建与加载方法描述

测试主要针对多网络体制并存的可行性和路由器在线可重构性 2 个方面的特性进行测试。为测试路由器体系结构的多网络体制并存的可行性,在

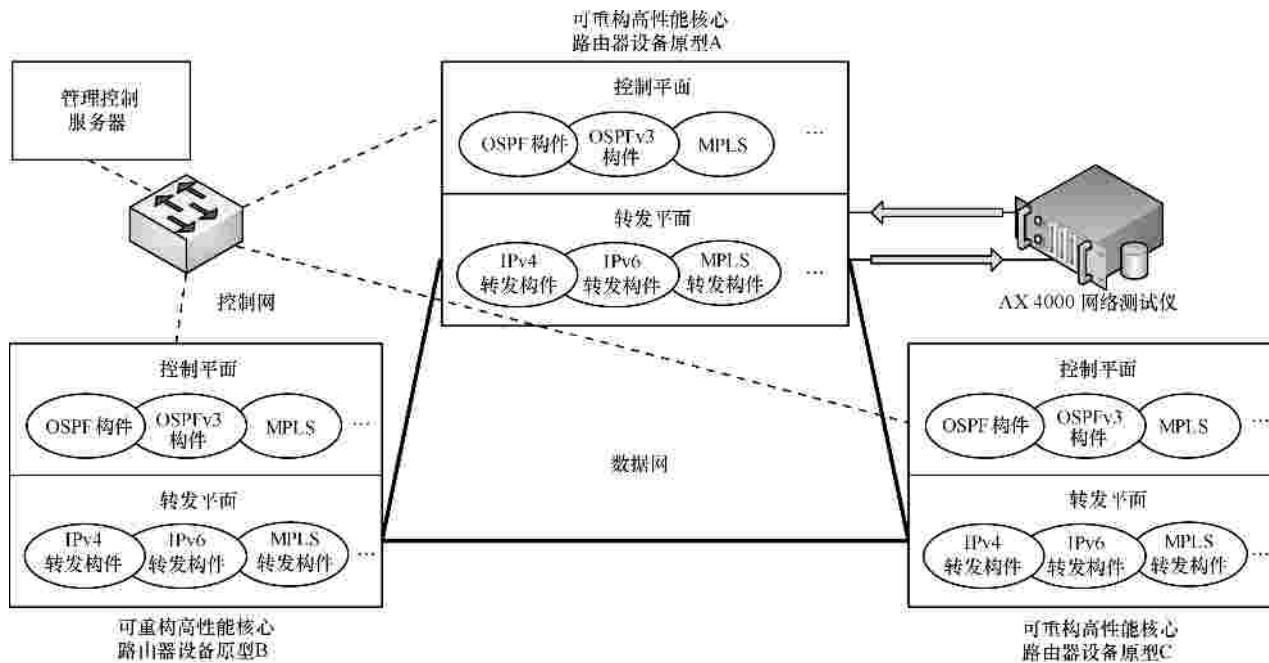


图 5 测试拓扑

固定注入流量的情况下，不断增加路由器中的属于不同网络体制的逻辑转发实例数量，来测试路由器可支持的最大逻辑路由器个数；为测试路由器体系结构在线重构功能，在路由器运行时对路由器进行组件容器加载操作和 OSPF 构件、IPv6 构件的加载与切换操作，来测试路由器可重构功能在线更新时的性能开销。测试结果如表 1 所示。

表 1	测试结果
测试内容	测试结果
内置控制卡支持的具有硬件资源保障的逻辑路由器数量	28 个
组件容器的加载时间	<7s
OSPF 协议构件的加载时间	<1s
OSPF 协议构件的切换时间	<3s
IPv6 转发构件的加载时间	<210ms
逻辑转发引擎中 IPv4 转发构件 IPv6 转发构件的切换时间	<300ms

从测试结果可以看出，本文所提出的路由器原型在单个主控板上可以支持 28 个属于不同网络体制的逻辑路由器，而 Juniper 推出的路由器控制系统 JCS1200 在每个主控板中只能支持 16 个逻辑路由器实例^[14]，证明了多网络体制并存的可行性，本文所提出的体系结构能够为属于不同网络体制的逻辑路由器实例提供良好的性能保证。在组件容器加载速度方面，传统的路由器在对组件进行升级

时，需要重新下载整个路由器操作系统的镜像，并重新加载，整个过程需要 30min 左右，在此期间路由器无法正常工作，而基于本文提出的路由器体系结构的设备原型可以在 7s 内完成组件升级，升级过程中路由器可以正常运行。并且通过实验测试，OSPF 协议构件从加载到切换需要不到 4s 的时间，以及 IPv6 构件从加载到切换不到 0.5s，可以保证路由器软件在线更新是不会对性能产生很大影响。

6 结束语

本文分析了下一代网络体系的技术发展轮廓，针对新型网络技术研究和部署对核心路由器的功能需求，分析了现有高端核心路由器体系结构在支持新型网络技术体制、开放性和可重构性等方面的不足，提出了一种支持多网络体制并存与隔离的、新型的、开放式可重构路由器体系结构，通过在控制、转发和交换体系结构设计上，采用虚拟化和硬件分区配置技术，能够对控制、转发和交换进行资源划分与隔离，将路由器中同一个硬件资源虚拟化为多个功能上独立、资源上隔绝的多个逻辑资源，提高了核心路由器设备的开放性和安全性；最后，在国家“863”（新一代高可信网络）项目支持下，基于本文提出的“支持多网络体制并存与隔离的、新型的、开放式可重构路由器体系结构”实现了“可重构高性能核心路由器”设备原型，并对设备原型

进行了初步测试。

支持多网络体制并存与隔离的开放式可重构路由器体系结构融合了传统数据传输网络体系架构和当前各种新型网络技术体制的特点，在转发平面能够支持三网融合以及多种新型网络体制的数据报文传输要求，同时支持在物理路由器上动态创建多个逻辑路由器并保证各个逻辑路由器之间的资源隔离，可以在同一个物理数据传输网络之上构造一层虚拟的、面向不同网络技术体制的用户逻辑网络，为各种在现有网络环境下难于部署的新型网络体制提供支持。支持多网络体制并存与隔离的开放式可重构路由器体系结构既保持了传统 Internet 的开放、简单、灵活的优点又不改变底层网络的基础设施，为解决日益增长变化的网络需求提供了很好的解决方案。逻辑路由器中支持自底向上的全新设计，不会受到现有 IPv4/IPv6 协议体系的约束，有助于避免新型网络技术研发中面临的从原型到实际商用系统转化间存在的技术壁垒问题。

参考文献：

- [1] JUNIPER NETWORKS. Juniper Networks T640 Internet Routing Node with Matrix Technology[R]. Juniper Solution Brief, 2002.
- [2] HALABI S. Pluris Massively Parallel Routing[R]. Pluris Inc, 1999.
- [3] WELLING G, OTT M, MATUR S. A cluster-based active router architecture[J]. IEEE Micro, 2001, 21(1):16-25.
- [4] PRADHAN P, CHIUEH T. A Cluster-Based Scalable and Extensible Edge Router Architecture[R]. ECSL Technical Report, 2000.
- [5] KARLIN S, PETERSON L. Vera: an extensible router architecture[J]. Computer Networks, 2002, 38(3):277-293.
- [6] Router virtualization in service providers[EB/OL]. <http://www.cisco.com>, 2009.
- [7] Applications for an independent control plane[EB/OL]. <http://www.juniper.com>, 2010.
- [8] IEEE P1520 proposed IEEE standard for APIs for networks[EB/OL]. <http://www.ieeeipin.org/>.
- [9] IETF ForCES WG homepage[EB/OL]. <http://www.ietf.org/html.charters/forces-charter.html>.
- [10] MONTZ A, MOSBERGER D, MALLEY O S, *et al.* Scout : a communications-oriented operating system[A]. IEEE HotOS Workshop[C]. 1995.
- [11] KOHLER E, MORRIS R, CHEN B, *et al.* The click modular router[J]. ACM Trans Computer Systems, 2000, 18(8): 263-297.
- [12] PETERSON L, MUIR S, ROSCOR T, *et al.* PlanetLab Architecture: an Overview[R]. 2006.
- [13] SOLTESZ S, P'OTZL H, FIUCZYNSKI E M *et al.* Container-based operating system virtualization: a scalable, high-performance alternative to hypervisors[A]. Proc EuroSys[C]. 2007. 275-287.
- [14] Control plane scaling and router virtualization[EB/OL]. <http://www.juniper.com>, 2010.

作者简介：



卢泽新（1963-），男，重庆人，国防科学技术大学研究员、硕士生导师，主要研究方向为高性能计算机、高性能路由器。



张晓哲（1976-），男，辽宁铁岭人，国防科学技术大学副研究员、硕士生导师，主要研究方向为高性能路由器、路由协议、协议分布并行处理。



马世聪（1986-），男，辽宁营口人，国防科学技术大学博士生，主要研究方向为网络虚拟化。



王宝生（1970-），男，河北沧州人，国防科学技术大学研究员、博士生导师，主要研究方向为高性能路由器体系结构、新型网络协议技术等。