



可重构柔性网络架构与节能机制研究^{*}

黄万伟,汪斌强,王志明,袁 博

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州 450002)

摘 要:随着计算机网络业务的不断发展和网络规模的急剧膨胀,目前网络在服务能力可扩展性和低功耗方面存在不足。提出一种可支撑服务能力重构和绿色节能的可重构柔性网络架构,给出了可重构柔性网络的松耦合分层模型、组网架构和组网技术。通过在服务能力与资源之间建立或变更映射关系,灵活支持未来上层业务演进,并在网络设备制造产业、网络级和节点级实现网络绿色节能。结果表明,可重构柔性网络作为一种新型的未來网络架构,为未来构建可重构服务网络和绿色网络提供了可行的思路和方法。

关键词:计算机网络;网络架构;低功耗;绿色节能;可重构柔性网络

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.09.001

Research on Architecture and Energy-Saving Mechanism of Reconfigurable Flexible Network

Huang Wanwei, Wang Binqiang, Wang Zhiming, Yuan Bo

(National Digital Switching System Engineering & Technological R&D Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: With the development of network service and the expanding of network size, there are many problems of expandability and energy consumption in current network. A reconfigurable flexible network (RFN) architecture was proposed, which could carry the reconfiguration of service capability and green energy-saving, and the loose coupling layering model, networking architecture, and networking technology of RFN were given. By constructing or changing the mapping relationship between service capability and resource, the further evolution of upper layer service was supported flexibly. And green energy-saving could be achieved in network equipment manufacturing industry, network level and node level. Results show that, as a new architecture for future, RFN provides the ideas and methods for reconfigurable service and green network.

Key words: computer network, network architecture, low power consumption, green energy-saving, reconfigurable flexible network

1 引言

随着互联网新型业务的不断涌现和网络规模的急剧膨胀,现有网络设备的僵化结构造成网络服务能力已无法适应上层业务的多样性需求,节点可提供的基础能力与上

层应用需求之间存在鸿沟^[1];同时考虑功耗因素,信息通信领域作为全球增长最快行业之一,其碳排放也随着行业规模而不断增长,以目前的能耗增长趋势推算,互联网领域的能源消耗在 2025 年将占 IT 行业总能耗比重达 43%^[2],网络设备的能耗问题已成为互联网可持续发展的重要障

^{*} 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No.2008AA01A323),国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(No.2012Cb315901)



碍,并成为计算机网络领域的重要研究课题。

绿色网络概念由 Gupta M 在 2003 年的 SIGCOMM 国际会议上首次提出^[3],目标是在保证上层业务演进需求的前提下节省网络能耗。现有网络架构和运营部署模式与节能目标背道而驰,主要原因如下:

- 基于“打补丁”式的网络设备功能更新升级模式,导致网络设备功能复杂,服务能力越来越过剩,服务能力过剩导致能耗浪费;
- “峰值”设计模式,对设备的链路速率、处理能力和交换能力等指标按照峰值设计,设备在正常运行时的能力富余导致能耗浪费^[4];
- 现有网络设备的“刚性化”结构,导致扩展新型业务时需更换设备,造成大量的网络设备电子垃圾,电子垃圾的处理将耗费大量能源;
- 现有网络设备的“封闭式”生产模式,形成网络设备生产垄断加剧,设备厂商为一己之利盲目推进网络设备更新换代,造成网络资源和能耗的巨大浪费。

随着新型业务和网络规模的不断发展,网络设备不断升级替换,由此产生的高能耗、高浪费和低效率等问题日益突出。国家“863”计划信息技术领域重大专项“新一代高可信网络”提出了“可重构柔性网络(reconfigurable flexible network, RFNet)”的思想^[5],主要针对现有网络存在的服务可扩展性、灵活性和低功耗等问题,致力于构建一种新型的未来网络体系,支持服务能力可重构,按上层服务需求选择资源,并构建面向服务的实体服务网络^[6],有助于实现绿色节能网络。

通过对现有网络体系结构的研究,新型网络架构需在服务能力、低耗能、可扩展性、开放性和可管理性等方面进行改进。为支持未来网络的业务演进和大规模部署,将服务能力和绿色节能作为主要关注点,本文重点研究可重构技术支撑下的 RFNet 架构,引入 RFNet 4 层分层模型实现服务能力与网络资源松耦合,网络节点服务能力随着业务需求变化进行重构;根据上层业务变化构建或释放满足需求的实体网络。基于可重构能力使得 RFNet 在服务能力支撑和网络节能方面具有独特优势,分别在网络设备制造产业、网络级和节点级实现节能设计,从而满足未来多业务和绿色网络需求。

2 新型网络体系结构研究现状

新型业务迅猛发展对网络基础设施提出了挑战,现有

网络已无法适应上层服务的多样性需求,究其原因分为如下两个方面。

- 网络设备的“刚性化”结构。服务能力无法随上层业务发展而自我演进,新型业务部署主要依赖设备整体升级和更新换代,导致网络规模和设备淘汰速率急剧增长,不利于构建绿色节能网络。
- 网络设备生产和维护的垄断性。网络设备功能更新和运行维护只能由原设备提供商实施,第三方无法参与网络设备开发,使得不同制造商设备之间无法统一接入,导致各制造商之间设备不兼容,网络设备的可复用性差,造成网络资源的巨大浪费。

国外的各研究机构已对新型网络体系架构展开研究,较著名的研究计划包括:美国的 GENI 计划^[7]、FIND 计划^[8]、欧盟的项目^[9,10]、日本的 AKARI^[11]项目,国内的清华大学和北京交通大学借鉴 GENI 思想提出了自己的未来网络计划。以上未来网络计划参考 GENI 计划中 PlanetLab^[12]倡导的“覆盖网络(overlay)”思想,目的是探索一种以服务能力为核心的一体化融合网络架构,用以满足未来不断涌现的新型业务。

目前国际上对新型网络体系结构还未达成一致,各种研究计划处于百家争鸣的局面。各种相关计划基于对互联网需求的基本认识,对未来互联网的基本需求设定不同的研究内容,具体内容比较见表 1。从表 1 可以看出,相对于其他未来网络研究计划,RFNet 关注的研究点更全面,且围绕互联网体系结构的根本问题开展研究,并将网络耗能研究作为重要内容,为构建未来绿色节能网络提供思路。

3 RFNet 体系和组网架构

3.1 RFNet 分层模型

由于网络使用者不同导致上层应用的差异性,从而产生了上层业务需求的多样性,若采用统一的网络体系结构或服务模式满足所有业务需求,在技术上实现“one size fits all”模式很难,将造成网络设备的功能冗余复杂,而且设备成本大大提高。RFNet 基于“one size fits group”模式,通过区分不同业务的特性,根据不同的业务特性提供不同的承载网络,核心技术是可重构技术,在此基础上实现面向服务的网络构建技术。RFNet 通过改变网络设备自身的服务能力,保持了对业务多样性的适应,减少了网络设备对冗余性设计需求,有利于节约网络设备规模和能耗。采

表 1 国内外的新型网络架构研究侧重点

项目计划	可扩展性			开放性	服务质量	可管理	能耗
	规模	性能	功能				
GENI	一般关注	一般关注	重点关注	较为关注	较为关注	一般关注	较为关注
FIND(SILO ^[13] 、HIP ^[14] 、LISP ^[15] 架构)	较为关注	一般关注	重点关注	一般关注	一般关注	较为关注	一般关注
FIRE ^[10] (Perimeter、Nanodatacenter 子项)	较为关注	尚未关注	重点关注	尚未关注	一般关注	尚未关注	尚未关注
AKARI	较为关注	尚未关注	重点关注	较为关注	较为关注	尚未关注	一般关注
清华大学 IPv6 ^[16]	重点关注	较为关注	较为关注	尚未关注	一般关注	尚未关注	尚未关注
一体化网络与普适服务体系 ^[17]	重点关注	尚未关注	重点关注	尚未关注	较为关注	尚未关注	尚未关注
可重构柔性网络(RFNet) ^[5]	较为关注	重点关注	重点关注	较为关注	重点关注	较为关注	重点关注

用分层参考模型将 RFNet 划分为 4 层:应用层、业务层、服务层和资源层,如图 1 所示。

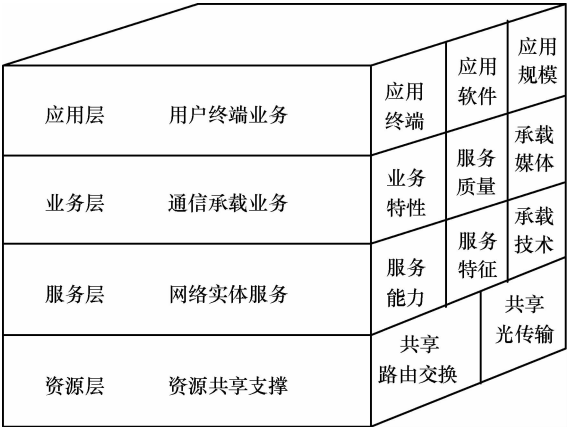


图 1 RFNet 的 4 层划分模型

RFNet 自顶向下各层的含义如下。

- 应用层:主要面向用户需求,包括互联网和各种应用终端出现的各种新型应用,应用终端业务包括电话机、移动终端、手机等。
- 业务层:主要实现通信承载参数提取功能,首先分析应用层业务的特征和该业务所需的服务质量需求,在此基础上确定承载该业务所需的承载媒体。
- 服务层:是 RFNet 实现面向服务重构的基础,根据业务层的承载需求,并结合资源层可提供的物理资源,为相应的上层业务层分配节点内部资源和链路资源,在此基础上实现构建服务承载网为上层业务提供支撑。
- 资源层:是一种资源可共享的物理实体网络,该网络中的节点功能可重构,链路连接拓扑可灵活改变,网络设备主要包括可重构路由节点、光传输设备等。

传统网络由于应用与网络无法分离,疲于应对新出现的网络业务,被迫不断地改造网络。

RFNet 通过引入分层模型,将服务与网络资源进行松耦合设计,从而实现基于服务需求构建实体网络。构建实体网络只需激活相应网络资源,取消该业务时释放实体网络占用的资源,可实现底层资源的循环利用;当业务负载降低时,可以休眠空闲的节点和链路节约能耗,从以上可以看出 RFNet 具有绿色节能的先天优势。

3.2 RFNet 体系结构

RFNet 体系架构中包括 6 种网络元素:可重构管理平台(后面简称为管理平台)、构件库系统、可重构路由交换平台、可重构光网络设备、媒体网关以及用户终端。RFNet 的组网结构如图 2 所示。

- 可重构管理平台:主要负责将上层业务需求转换为重构服务承载网 (reconfigurable service carrying network,RSCN)的构建请求,通过构建不同的 RSCN 支撑不同的用户业务需求。管理平台通过感知并管理 RFNet 全网的物理资源,根据上层业务层提供服务需求,在共享物理资源基础上构建 RSCN。在 RSCN 构建过程中涉及构件重构下载,在构件库系统中下载与服务相关的功能构件,对可重构路由交换平台加载并运行新构件,从而改变可重构路由交换平台的服务能力,从而支撑新的网络服务。
- 构件库系统:为实现 RFNet 向第三方开放,构件库系统存储各种功能构件,支持第三方厂商开发的标准构件。可重构路由交换平台根据管理平台的指令,从构件库中下载相关构件,通过在节点内部替换构件改变其功能,实现网络服务能力重构。



- 重构通过在服务层构建 RSCN 实现,并在构建 RSCN 过程中实现绿色网络节能。管理平台负责 RFNet 中的 RSCN 建立过程,功能划分为需求解析、资源感知、承载网映射、网络服务映射 4 部分,其中需求解析功能用于分析对应业务所需的节点内部和链路资源需求;资源感知功能用于实时监控 RFNet 中的可用资源,判断剩余资源是否可满足当前业务构建承载网的需求;承载网映射功能用于确定承载网所涉及的节点和链路;网络服务映射功能用于将业务部署到承载网的节点运行。管理平台的各部分功能在 RSCN 构建过程中的作用如图 3 所示。

(1)通过可重构路由交换平台内部的资源代理功能,及时向管理平台发送本平台内部的资源使用情况,管理平台收集维护整个 RFNet 中的节点和链路资源信息。

3.3 RFNet 组网技术

4

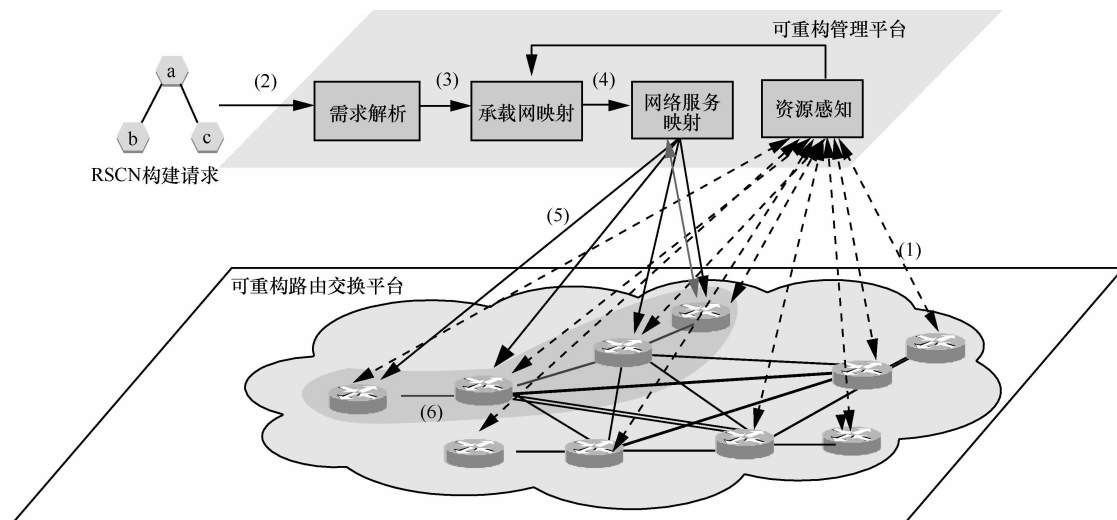


图3 管理平台的内部功能划分

足构建该 RSCN 要求。

(3)在当前资源可以满足 RSCN 构建需求的前提下,管理平台内部的承载网映射功能给出承载网映射算法,从而在 RFNet 中为 RSCN 确定所需的节点和链路资源。

(4)确定节点以后,管理平台内部的服务映射模块为各节点设计重构方案,确定在各节点中运行何种功能构件。

(5)管理平台将服务映射结果的重构指令发送至各个路由交换平台,平台内部的重构代理模块根据指令从构件系统库中下载对应的功能构件,功能重构代理负责对平台功能进行重构操作。

(6)路由交换平台执行重构指令以后,构建出的 RSCN 即可满足上层业务需求,由于节点重构涉及内部资源的再分配,需将剩余资源情况反馈给管理平台,便于后续构建新的 RSCN。

4 RFNet 的节能机制

4.1 网络设备产业级节能

在 RFNet 服务层中采用虚拟化技术构建 RSCN,即在单一网络架构下支持多种异构网络并存,将基础设施供应商(infrastructure provider,InP)和网络服务提供商(service provider,SP)进行分离,由不同基础设施供应商管理的底层物理网络形成资源共享的可虚拟化网络资源,网络服务提供商提供上层业务服务。在共享的节点资源和物理链路上规划虚拟网络的资源需求,在此基础上构建多个不同的 RSCN,实现底层资源的有效复用,从而提高基础设施资源利用率。

RFNet 中的 RSCN 虚拟化模型如图 4 所示,虚拟网(virtual network)请求由虚拟节点通过虚拟链路构成的虚拟拓扑形成,服务供应商根据虚拟网请求组建虚拟网。

RFNet 在服务层采用虚拟化技术,根据上层业务需求适应未来各种新兴业务的增量式部署应用。在新业务部署过程中,RFNet 通过变换服务与资源映射关系更改服务能力,RFNet 中的节点无需进行扩展或替换,从而保证 RFNet 对未来新型业务支持的可持续性。通过服务层与资源层映射变换,可实现按需构建或拆除实体网络,增强底层资源的可复用性,提高网络资源利用率,节约 RFNet 中的设备能耗。通过部署 RFNet 可满足未来较长一段时间内新型业务的发展,增加网络设备的使用时间,延长电子设备的更新换代周期,减少网络设备淘汰产生的电子垃圾,有助于构建绿色节能可持续发展网络。

4.2 网络和节点级节能

RFNet 中资源层所描述的物理网络,共享资源包括可重构路由节点和光链路传输设备。可重构服务实体网通过对网络资源的规划和管理,利用最小的资源构建符合需求的实体网络,提高网络资源利用率,达到降低网络能耗的目的。实体网络在运行过程中,通过感知上层业务的变化,若发现当前网络资源承载该业务时存在冗余,通过重构网络,关闭不需要的节点,以较少的节点资源满足当前业务的需求,从而降低网络能耗,如图 5 所示。

在网络中业务量和链路利用率都较低的情况下,通过重新建立 RSCN,将流经不同链路的数据流迁徙到单一链路上,在此情况下可关闭部分链路或将部分链路处于休眠状态,实现对链路能源的有效管理及利用,进而可降低物

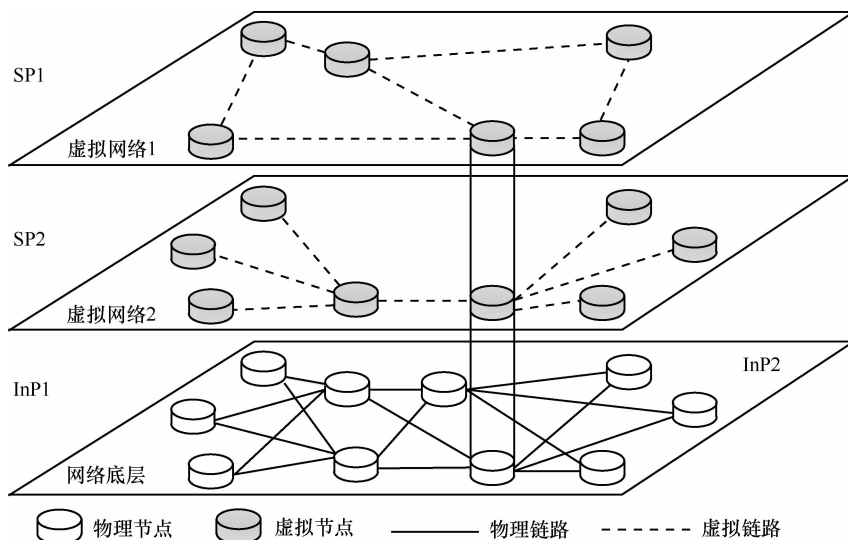


图4 RSCN 虚拟化模型

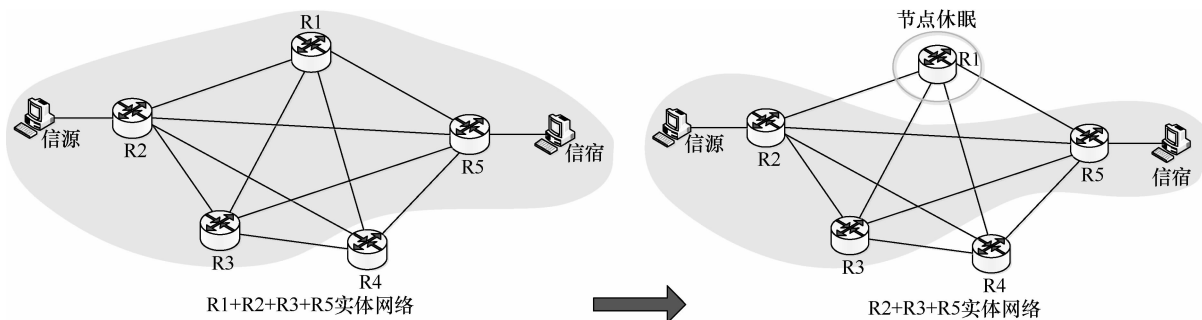


图5 节点休眠实现网络节能

理网络能耗,如图6所示。

为支持第三方的构件应用,RFNet的节点设备采用构件化组装开发技术,事先在构件库中存放各种可用的功能构件,当上层业务需求变化时,在构件库中搜索选择相应的新构件,重构组装后形成不同的服务能力,因此可重构路由由交换平台的服务能力变化可以通过更新、添加和删除不同构件完成。当上层业务功能取消或删减时,在对应的服务能力构件组中休眠部分构件,如图7所示。通过在节

点设备内部引入构件休眠机制,不但满足上层业务的功能需求,同时可降低节点设备本身的功耗。

5 结束语

现有网络采用资源冗余满足未来新型业务的动态变化需求,在服务能力、绿色节能和开放性等方面存在不足,本文对比分析了国内外提出的新型网络结构,提出了一种符合未来网络业务演进的 RFNet 体系结构,重点关注服务

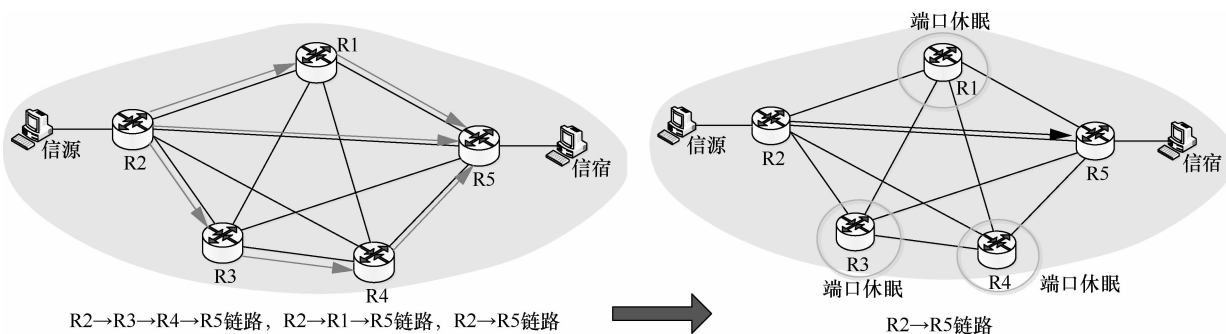


图6 链路休眠实现网络节能

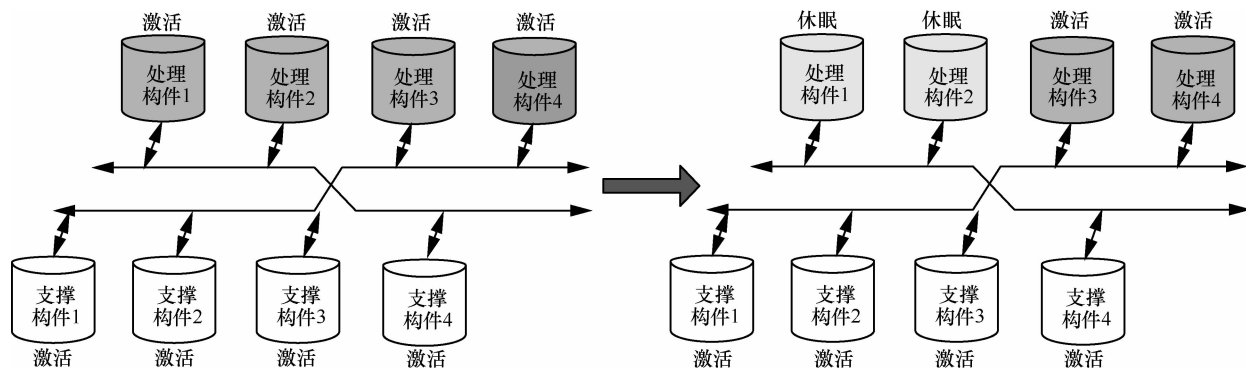


图7 构件休眠实现节点节能

支撑能力和绿色节能。RFNet采用分层架构实现了服务能力与网络资源解耦合设计,在不改造RFNet的前提下,通过构建不同的RSCN实现服务能力可重构,满足上层业务不断演进的需求。RFNet基于虚拟化技术组建实体服务网络,可在网络设备生产、部署和升级等环节实现产业节能。通过实时感知底层网络资源,在满足上层业务需求的前提下,利用RSCN优化构建新的服务实体网络,实现网络级的节点和端口休眠节能;根据上层业务功能变更,对节点内部的部分空闲构件引入休眠技术,从而降低网络设备功耗。下一步工作是在RFNet体系结构下研究区分上层业务属性的服务能力重构机制,并在网络级和节点级建立功耗评估模型。

参考文献

- Turner J, Taylor D. Diversifying the internet. Proceedings of IEEE Conference on Global Telecommunications, St Louis, USA, 2005: 755~760
- Yun D, Lee J. Research in green network for future internet. Journal of KIISE, 2010, 28(1):41~51
- Gupta M, Singh S. Greening of the internet. Proceedings of SIGCOMM'03, Karlsruhe, Germany, 2003:19~26
- 林闯,田源,姚敏.绿色网络和绿色评价:节能机制、模型和评价.计算机学报,2011,34(4):593~612
- 汪斌强,邬江兴.下一代互联网的发展趋势及相应的对策分析.信息工程大学学报,2009,10(1):1~10
- 齐宁,汪斌强,郭佳.可重构服务承载网构建方法的研究.计算机学报,2010,33(9):1533~1540
- GENI. <http://www.geni.net/>
- FIND: future internet network design. <http://find.isi.edu>, 2010
- CORDIS website, european union 7th framework program. <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/challenge1>
- FIRE: future internet research and experimentation. <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>, 2010
- National Institute of Information (NICT). AKARI project. <http://akari-project.nict.go.jp/>
- Planet-Lab: an open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services. <http://www.planet-lab.org/>
- Rouskas G, Dutta R, Baldine I. The SILO architecture for services integration, control and optimization for the future internet. <http://www.nets-find.net/Funded/Silo.php>
- Moskowitz R, Nikander P, Jokela P. Host Identity Protocol (HIP) Architecture. IETF RFC4423, May 2006
- Farinacci D, Fuller V, Oran D, et al. Internet Draft: Locator/ID Separation Protocol (LISP), draft-farinacci-LISP-03, August 13, 2007
- 吴建平,刘莹,吴茜.新一代互联网体系结构理论研究进展.中国科学(F辑:信息科学),2008,38(10):1540~1564
- 张宏科,苏伟.新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务.电子学报,2007,35(4):593~598

[作者简介]



黄万伟,男,博士,国家数字交换系统工程技术研究中心讲师,主要研究方向为可重构计算和网络虚拟化技术。

汪斌强,男,博士,国家数字交换系统工程技术研究中心教授,主要研究方向为下一代网络技术。

王志明,男,国家数字交换系统工程技术研究中心博士研究生,主要研究方向为网络虚拟化。

袁博,男,国家数字交换系统工程技术研究中心博士研究生,主要研究方向为绿色通信网络。

(收稿日期:2013-06-03)