



可重构基础网络体系研究与探索

兰巨龙,熊 钢,胡宇翔,刘释然,程东年

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州 450002)

摘 要:随着网络规模的急剧扩大和新业务的不断涌现,现有互联网在业务适应、传输能力、安全可控可控等方面的弊端日益凸显。为此,业界关于新型互联网体系结构的研究正蓬勃兴起。在此背景下,利用可重构技术在灵活性、可扩展性、适应性等方面的优势探索网络发展新的思路和途径。研究表明,该项目成果为解决网络发展面临的根本问题提供了有效解决途径,并且在国内外相关领域产生了重要影响。

关键词:未来网络体系架构;可重构网络;可扩展性;安全;元能力

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015099

Research on the Architecture of Reconfigurable Fundamental Information Communication Network

Lan Julong, Xiong Gang, Hu Yuxiang, Liu Shiran, Cheng Dongnian

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

Abstract: With the enlargement of network scale and deployment of various new business, it is becoming more and more obvious that the static and rigid architecture of the IP network is deficient in business adaptability, transport ability, security and controllability and so on. This fact makes the clean-slate design of future internet architecture be a hot research topic. Against this background, new ideas and methods for the internet development based on the advantage of reconfigurable technology with flexibility, scalability and adaptability were provided. The practice shows that the research results of the project have given solutions for some fundamental problems of network, and produced important influences on related fields at home and abroad.

Key words: future network architecture, reconfigurable network, scalability, security, atomic ability

1 引言

互联网自诞生以来,从当初单一军事科研通信,到现在复杂的商业化应用,再到全球信息通信基础设施,其广泛的应用深刻影响着社会发展的方方面面。然而,作为网

络基础承载机制,TCP/IP体系简单、开放、尽力而为的特征成就了互联网,但也正是这些特征使得互联网难以从根本上满足目前业务发展提出的泛在、异构、多样、质量、安全等迫切需求^[1]。此外,已有的多数零散式、修补式改进措施也均以不改变TCP/IP结构为出发点,导致其未能与网络

收稿日期:2014-12-26;修回日期:2015-04-09

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(No.2012CB315900)

Foundation Item: The National Basic Research Program of China (973 Program) (No.2012CB315900)

论文引用格式:兰巨龙,熊钢,胡宇翔等.可重构基础网络体系研究与探索.电信科学,2015099

Lan J L, Xiong G, Hu Y X, et al. Research on the architecture of reconfigurable fundamental information communication network. Telecommunications Science, 2015099



核心功能有效融合,使得整个网络系统越来越复杂。

针对互联网出现的种种弊端,业界就试图重新设计互联网进行了不懈的努力,新型网络体系研究计划不断启动、实施和重组,研究工作也不断深入。国际上,美国通过国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)分别于2005年和2006年启动了全球网络创新环境 GENI 计划^[2]和未來网络设计 FIND 计划^[3]。2010年,NSF在FIND第一期研究的基础上启动了NSF-FIA(future internet architecture)^[4]计划以持续新一代互联网体系结构研究,重点资助4个项目:NDN(named data networking,命名数据网络)^[5]、MobilityFirst^[6]、NEBULA^[7]和XIA(eXpressive Internet Architecture)^[8]。2007年,欧盟基于第七框架(FP7)计划,一方面通过对Challenge One项目中子项目4WARD^[9]和AUTOI(autonomic internet)^[10]的支持展开新型网络体系结构研究;另一方面启动了FIRE(future internet research and experimentation)^[11]等长期原创性试验床研究项目。此外,日本的AKARI计划^[12]、韩国未来网络计划^[13]等研究工作也在不断推进。

在国家“973”计划和“863”计划、国家自然科学基金等平台的支持下,国内团队也积极展开了新型互联网体系结构方面的研究,并取得了一系列研究成果^[14]。北京交通大学研究团队先后开展了“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”项目^[15,16]和“智慧协同网络体系研究”项目^[17]的研究;清华大学团队开展了“新一代互联网体系结构和协议基础研究”项目^[18];北京邮电大学团队开展了“面向服务的未来互联网体系结构与机制研究”项目^[19]。此外,还有其他相关研究项目也陆续启动,由此

表明,新型网络体系结构的基础研究在国内正不断兴起。

在此背景下,针对当今信息网络的刚性僵化结构和由此导致的一系列问题,国家科技部于2012年启动了“973”计划项目“可重构信息通信基础网络体系研究”,旨在利用网络重构这一全新的结构性技术,全面提升网络在业务适配、服务质量、安全性等方面的支持能力,进而建立新型可重构网络体系架构^[11,20]。该项目依托于解放军信息工程大学等国内10家知名科研机构,汇集了国内外该领域的30余名专家学者和上百人的研究队伍。相信通过项目团队的集体智慧与努力,本项目的创新性成果和突破性进展必将为提升我国在信息技术领域的国际地位做出贡献,对我国建设创新型国家具有现实意义。

2 科学问题

现有网络体系结构面临的根本问题是推动新型网络体系结构研究的主要动力。下面对当前TCP/IP网络体系结构存在的主要问题展开分析,从而明确可重构网络研究的任务出发点。主要包括业务适应性、传输能力、资源利用、安全可控问题。

2.1 业务适应性不足

伴随云计算、大型数据中心(如Google公司)、在线社交网络(如Facebook公司)、电子商务(如阿里巴巴公司)等网络应用的飞速发展,IP网络业务形态不断丰富,由此也导致了网络业务对网络服务能力的需求越来越多样和多变。然而,现有互联网由于受TCP/IP体系结构的限制,其服务能力是有限和确定的,这就直接导致了业务需求与

首席科学家

兰巨龙 男,1962年生,国家数字交换系统工程技术研究中心总工程师、教授、博士生导师,国家下一代广播电视网(NGN)总体专家委员会委员,中国通信学会高级会员,《通信学报》、《电信科学》编委,国家“973”计划项目首席科学家。

自1997年以来,一直从事IP网络理论与技术研究、核心设备开发工作,先后参与了“中国高速信息示范网(CAINONET)”、“中国高性能宽带信息网(3TNet)”等国家重大计划工程的建设,先后主持了1项国家“973”计划项目,3项国家“863”计划重大课题和1项国家支撑计划重大项目,于2005年主持研制成功我国第一台全部核心技术拥有自主知识产权的高性能IPv6路由器。获省部级科技进步一等奖3次,出版学术专著3本,申请国家发明专利20余项,发表学术论文100余篇,已培养硕士、博士研究生50余名。

网络固有能力之间的差距日益扩大,最终将使得网络难以甚至不能支持多样化的业务。例如云计算、数据中心等新型应用产生的巨大网络流量,远远超过现有以点到点通信模型为基础的网络路由器设备的承载能力;IP网络依据端口号对应用服务进行区分的模式限制了新应用的部署;IP网络的“细腰”结构难以实现网络业务负载均衡、容错、复制、多宿、移动性、安全信、定制应用等各种业务需求。因此面对未来大量的业务需求,网络的基本属性之一就是需要较强的业务适应性。解决这一根本问题需要探索网络按照业务需求动态进行结构重组、功能重构的机理与方法,通过网络结构的自组织、功能的自调节和业务的自适应来最大程度地弥合网络能力与业务需求之间的时变鸿沟,使网络能有效适配多变的业务需求。

2.2 传输能力薄弱

TCP/IP网络的基本传输模式是基于IP地址的端到端单播通信,其难以支撑对新业务(如YouTube视频分发)需要的多播或者任意播等通信模式。同时,现有互联网分组转发的“尽力而为”原则难以满足网络电话等新业务对网络服务质量(QoS)的需求。此外,在IP网络中,由流量工程、多宿主技术等导致的路由表急剧膨胀现状,使得网络路由查询性能不断降低,增加了网络处理负担。大量事实已经证明,互联网所依赖的基础互联传输能力过于简单且长期不变,而且对现有互联网的各种修修补补都难以满足泛在、互联、质量、融合、异构、可信、可管、可扩展等信息网络的高等级需求。依据“结构决定功能”的物理法则,面对这些高等级需求,重新设计网络体系结构、模型与协议,直接增强网络基础互联传输能力便成为解决上述问题的一个

关键切入点和突破口。

2.3 资源利用率低

TCP/IP网络“核心简单,边缘智能”的特点导致网络自身缺乏感知、管理、控制的能力,从而导致网络资源利用率低下。例如,研究表明,当前互联网骨干网链路的平均利用率仅为30%~40%^[21];此外,由于休眠、自适应、按需定制等智能机制的缺失,目前网络设备(如数据中心服务器)带来巨大的能耗。据预测,如果维持当前低效能的现状,2015年仅我国数据中心的能耗就将达到1 000亿千瓦时左右,相当于三峡电站1年的发电量。当前作为支持信息网络泛在互联、融合异构及可信可管可扩展等的新型网络服务要素,可重构技术日益成为一个重要的研究和发展方向,并且为网络资源的高效利用提供了技术支撑。为此,项目将围绕可重构网络的基础理论,重点研究网络重构过程中的资源虚拟管理机制、节点能力组合机制、逻辑承载和控制管理之间的配合机制,构建完整的基础网络重构机理和结构,通过网络层面的结构可重构、资源自配置、能力自调整,有效解决了网络资源利用这一主要问题。

2.4 网络安全性差

TCP/IP互联网设计的初始目标主要是科研交流,其网络规模限制在一个相对封闭、可信、可控的范围内,因此网络安全问题并不突出,从而也导致在互联网设计之初并未考虑构建网络内嵌的安全机制。然而,伴随网络应用与技术的发展,现有互联网已经成为一个开放、难以管控的复杂系统,面临着各种安全威胁。网络地址欺骗、数据泄露、拒绝服务攻击、异常流量等频发的网络安全问题使得互联网疲惫不堪。可以说,缺乏安全可控的服务性能是互联网

项目简介

目前的互联网已经成为国家乃至全球的信息基础设施,但是随着网络规模的不断扩大和新业务的不断涌现,互联网在可扩展性、可靠性、泛在服务、安全可控等方面远远不能满足用户需求。为此,科技部设立了“973”计划项目“可重构信息通信基础网络体系研究”,意在探索一种新型基础网络体系结构,为未来网络实现服务自适应、异构融合、安全可信可管以及可扩展提供一种综合解决方案。该项目的核心思想是在构建一个功能可动态重构和扩展的基础物理网络的基础上,为不同业务构建满足其根本需求的逻辑承载网,关键突破思路是增强OSI 7层网络参考模型中网络层与传输层的功能,解决IP网络中网络层的功能瓶颈,并使之与日益增长的应用需求和丰富的光传输资源相匹配。



当前面临的又一个根本性问题。网络的安全可控直接受制于网络内在功能和结构要素,通过建立内嵌的网络安全与管控机制提升网络安全服务性能,是本项目研究的一个重要出发点。

3 研究方案

针对当今信息网络面临的一系列问题,本项目基于可重构技术的核心思想,将实现支持多样化业务需求,增强基础传输能力,满足泛在互联、融合异构、安全可控的研究目标,为设计新型信息通信网络提供一种综合解决途径。

3.1 研究思路

针对现有网络内在能力与结构对业务需求的适应性差,对融合、泛在、质量、安全、扩展、可控、移动等支持能力低下的一系列亟待解决的科学问题,本项目提出解决上述问题的核心思想——“可重构网络”。具体研究思路如下:

- 创立网络元能力理论,建立可重构、可扩展的基础网络体系结构,使网络的内在功能结构能够针对业务的特征和要求进行自适应调整,实现对多样业务的有效适配;
- 提出“可重构多态网络层”的概念、模型和结构,直接增强基础网络互联传输能力;
- 研究多态寻址路由机制,使网络呈现多样的功能体制;
- 基于元能力理论,研究网络重构过程中资源虚拟、网络能力组合、逻辑承载与控制等机制,构建完整的基础网络重构机理和结构,实现网络层面结构、资源和能力的可重构、自配置与自调整;

- 研究可重构网络的安全可信模型,建立具有多级强度的安全基片结构及安全管控机制,提出基于逻辑承载的业务与网络的安全可控机理和结构。

3.2 研究目标

在上述研究思路的指导下,项目总体目标是突破传统IP承载的能力瓶颈,形成具有重要科学意义的基础理论和方法,创建可重构信息通信基础网络的体系结构,形成一系列具有自主知识产权的国家、国际标准,为提高我国信息技术领域的国际竞争力。项目的具体目标如下。

(1)创建可重构信息通信基础网络理论体系,具体包括:创立网络元能力理论,构建可重构信息通信基础网络体系结构模型,揭示可重构的自匹配机理;建立基于元能力和元服务的网络资源多尺度、多层次描述体系,创建基于元能力理论的多业务普适网络重构机理,形成元能力和元服务的建模规范;提出面向业务的精细化流量特征分析方法,提出业务自适应的承载重构认知机理及构建机制;建立面向多态的网络寻址及路由体系结构模型,提出新型网络体系结构下协议寻址和路由机理,构建支持宏电路的交换机制;提出可重构网络的安全可控体系,提出具有多级强度的安全基片结构及相关的管控机制;研制原型系统,建立可重构网络实验平台,进行实验验证。

(2)创建具有重要科学意义的基础结构和方法,掌握具有自主知识产权的核心技术,形成可重构信息通信基础的系列国内国际标准,具体包括:可重构信息通信基础网络体系结构的相关标准;元能力、元服务、多态寻址及路由交换的相关标准。

项目简介

该项目从增强信息通信网络基础互联传输能力入手,提出了控制平面、管理平面、数据平面分离的可重构网络功能参考模型,并在此基础上创立了包括网络元能力理论、多态寻址路由机制、网络重构机理和安全可控机理在内的可重构信息通信基础网络理论体系,进而构建起具有支持现有网络兼容演进、满足多种业务普适服务、易于规模扩展的可重构网络结构体系。

可重构信息通信基础网络体系研究工作的开展,是满足信息社会进步的迫切需要、弱化乃至摆脱对国外信息网络理论及标准依赖的重要一步。这既是一份项目组面临的迫切科学使命,又是我国立足于信息网络高端领域的历史机遇。项目的设立及其预期成果将对提升我国社会信息化水平、提高信息技术领域核心竞争力具有重要意义。

(3)培养一批高素质的科研人才;发表一批该领域内的高水平学术论文;建立起可重构网络的专利标准群,提交国际标准草案,形成国家或行业标准和国际标准。

该项目通过以上研究目标的实现,将泛在互联网、服务保障、融合异构、安全可信、可管可扩等功能内嵌到可重构网络体系结构中,从而使得新网络具有天然的“基因”去解决网络发展面临的相关问题。

3.3 功能模型

可重构信息通信基础网络体系按照自顶向下设计方法,采用以网络元能力为基础、以可重构基础网络为核心、以满足业务多样要求为目标的新型模型,其功能参考模型

如图 1 所示。该网络功能模型是一种新型的功能分层模型,主要表现在:数据平面中通过增强网际互联传输层的能力形成可重构多态网络层,管理平面中引入一个全新的认知承载功能,控制平面中提出了多态寻址、服务承载、安全基片等新型网络重构控制机理。

可重构多态网络层的直接目标是增强网络的基础互联传输能力,其基本功能包括 OSI 7 层网络参考模型中网络层和传输层的功能,并增加了支持业务需求的新功能。可重构多态网络层包括基态和多态两个子层,基态子层实现基本寻址、路由、交换功能,能同时支持面向连接和无连接分组传递;多态子层针对业务要求,呈现性能特定、安全

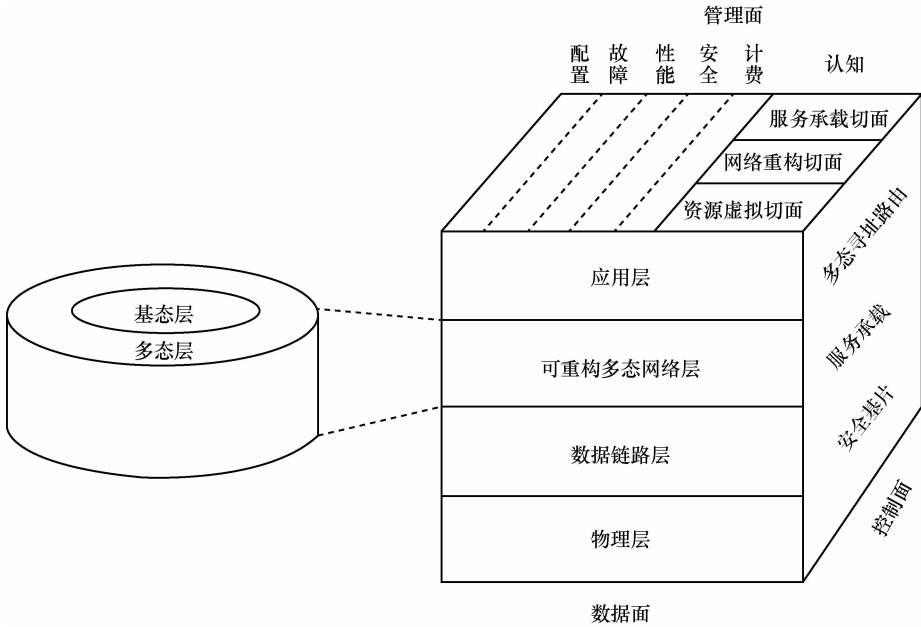


图 1 可重构网络体系功能参考模型

学术团队

本课题由解放军信息工程大学牵头,香港中文大学、浙江工商大学、浙江大学、北京大学深圳研究生院、北京航空航天大学、国防科学技术大学、北京科技大学、原工业和信息化部电信研究院、上海宽带技术及应用工程研究中心共同承担。项目根据拟解决的关键科学问题和研究内容,设置 6 个研究课题。

课题一:可重构信息通信基础网络的理论与体系结构。其目标是创立可重构信息通信基础网络理论体系,构建可重构信息通信基础网络体系结构模型,解决网络基础能力和重构的理论支撑问题,由解放军信息工程大学、香港中文大学负责承担。

课题二:网络重构的关键机制及结构。其目标是通过建立网络资源多尺度多层次描述体系,创建基于元能力理论的多业务普适网络重构机理,解决网络重构的关键机制问题,由浙江工商大学、原工业和信息化部电信研究院负责承担。



特定、多播特定等的多模态特性,即对于具有同类性能(或安全、多播等)要求的一组业务流,通过确保其性能要求的特定虚电路形态(亦称为“宏电路”)予以承载,为此多态子层就包含各种模态的宏电路。

功能参考模型中的认知功能主要是针对管理面中的业务承载管理需求,提供对业务和网络的认知服务以及节点与网络之间的协同服务。作为一种全新的管理功能,认知功能主要包含资源虚拟切面、网络重构切面和服务承载切面。资源虚拟切面对网络内节点资源和网络资源的特征及动态行为进行感知,从而为网络重构切面提供基础重构组件;网络重构切面对全网范围内相互分离无关的抽象资源以及对位于数据面的基础传输能力(分组和宏电路)进行认知聚合与组配,形成服务承载切面需要的基本重构承载能力;服务承载切面是为多样化的网络业务提供直接承载的网络功能部分,它直接表现为各种具有特定能力的服务承载网,从而构成具体承载控制实体运行的直接物理基础。控制平面的寻址、服务承载、安全管控等机制则融合于认知功能各切面的构建与重构之中。

4 研究内容

基于上述顶层思路,本项目主要研究内容为^[20]:可重构网络理论体系、网络重构的关键机制及结构形态、业务自适应认知承载机理、多态寻址及路由交换、安全可控机理以及模拟仿真实验平台。下面从项目关键技术和创新性两方面进行简要介绍。

4.1 关键技术

为实现新型网络能够按照业务需求动态进行结构和

功能重组,从而达到提供多样化和全方位的网络业务、满足多样性的业务要求、具备高质量通信效果的设计目的,该项目的技术核心是建立可重构网络理论体系,其主要内容包括元能力理论、认知与重构机理以及多态寻址路由机制,如图2所示。

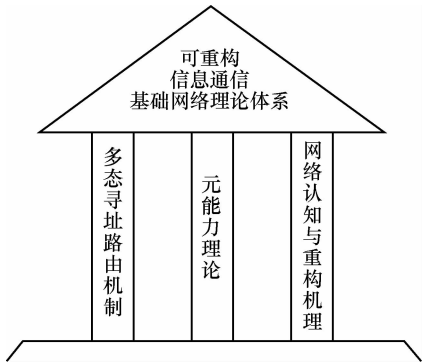


图2 可重构信息通信基础网络理论体系

在图2中,元能力理论主要是针对网络业务需求多样多变与网络服务能力有限确定之间的差异性,研究基于业务特征需求与网络承载服务二者抽象的“网络业务—网络元服务—网络元能力”这一基础理论模型及相关机制^[20]。认知与重构机理则是从网络管理角度出发,研究支撑可重构网络构建与重构操作的全新网络认知重构功能,该功能对底层资源进行认知,并基于认知结果构建针对不同业务类型的服务承载网和动态调整服务承载网结构。多态寻址路由机制是研究可满足未来网络多样化通信主体需求的多态路由协议体系,该体系既可表示为通过基态协议特化的不同协议体系,也可以表示为某一种协议体系的多个运行态。

项目简介

课题三:业务自适应认知承载机理。其目标是提出业务自适应的承载重构认知机理及构建机制,解决可重构基础网络的业务适配问题,由浙江大学负责承担。

课题四:可重构基础网络的寻址及路由交换。其目标是建立多态寻址路由机制,构建支持宏电路的路由交换机制,解决可重构基础网络中支持多种网络体制并存的网络寻址及路由交换问题,主要由北京大学深圳研究生院、香港中文大学负责承担。

课题五:可重构基础网络的安全和管控机理与结构。其目标是提出具有多级强度的安全基片结构及相关的安全管控机制,解决可重构基础网络的安全可控可控问题,主要由北京航空航天大学、北京科技大学、解放军信息工程大学负责承担。

基于可重构网络的研究方案和理论体系,项目设计了可重构信息通信基础网络体系的总体框架,如图3所示。

如图3所示的总体框架主要涉及管理面、控制面、数据面3部分内容。管理平面主要执行多维状态感知和实时资源认知操作,以获取应用传送要求、网络资源配

置和网络运行状态信息,并依据可重构管理决策结果向控制平面下达网络重构操作命令。管理面涉及的关键技术主要包括网络重构的关键机制及结构形态、业务自适应认知承载机理。

控制平面主要负责从管理平面获取网络重构操作命令,将其转换为相应的流程命令,并实施具体的网络重构

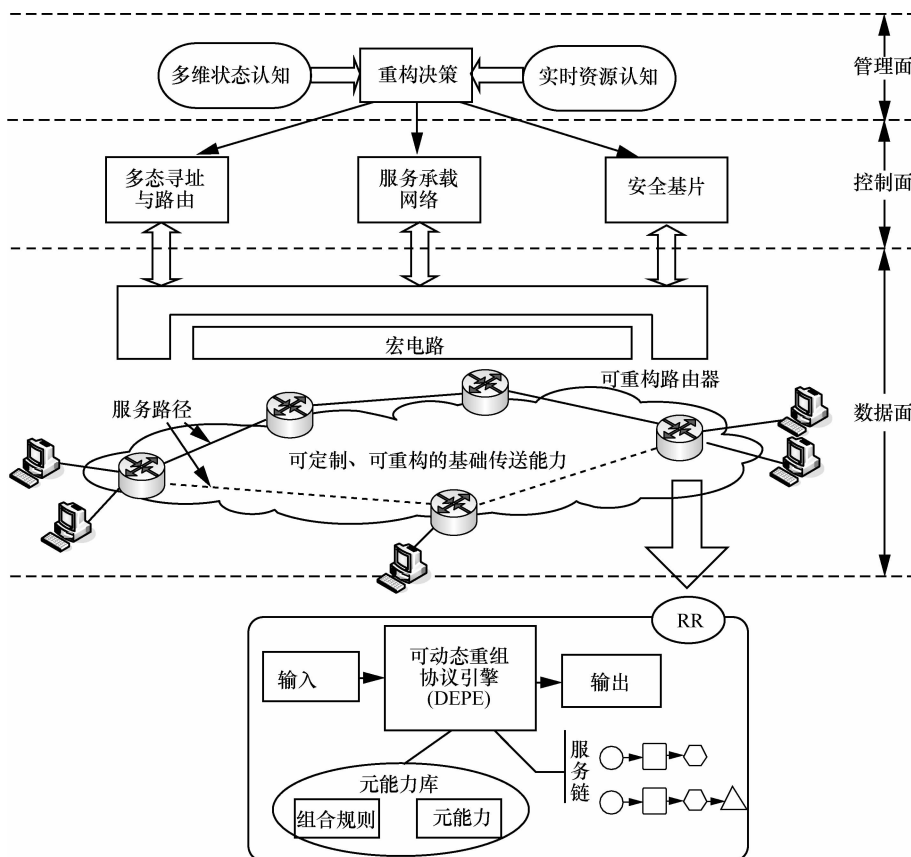


图3 可重构通信基础网络体系总体架构

项目简介

课题六:可重构基础网络的验证平台。其目标是建立可重构网络实验平台,对可重构基础网络的体系结构、理论和机制等进行有效性验证,由国防科学技术大学、原工业和信息化部电信研究院、解放军信息工程大学、上海宽带技术及应用工程研究中心负责承担。

项目中6个课题中,课题一为其他课题提供体系支撑和理论基础;课题二为课题三、课题四和课题五提供网络重构支持;课题三为课题四和课题五建立承载网认知构建基础;课题四为课题五提供多态寻址、路由和交换技术支持;课题六全面验证本项目理论、机制、结构和方法的合理性与有效性。项目的6个课题覆盖基础理论的建立、机制结构方法的形成和效果验证问题,形成一个统一的整体。



操作,主要技术包括多态寻址与路由技术、服务承载网络技术以及基于安全基片的网络安全可管可控机理。

数据平面按照控制平面的具体操作构造数据传送通道(宏电路和分组传递),保证数据的传送,并完成节点资源和服务路径的组合和重构。其中主要支撑技术是基于可重构信息通信基础理论体系而实现的宏电路技术、可重构路由器平台以及网络重构机制。

4.2 创新性

以创立由网络服务需求驱动的可重构网络的基础理论与体系结构为核心目标,项目分别在网络元能力理论、增强的网络核心基础传输能力、可重构网络的安全可管可控机制以及可重构服务承载网构建理论4个方面取得了如下创新成果。

第一,提出了网络元能力理论。为解决现有网络的“刚性”结构难以支持不断涌现的新型业务问题,本项目从业务、元服务、元能力3个功能层面对网络功能和资源进行了抽象和划分,提出了支撑元能力理论的可重构信息通信基础网络体系结构模型。项目通过组织国际学术会议“西湖国际学术论坛”,参加全球ONS峰会、国内CONS峰会等平台宣传和展示了的网络元能力理论的研究成果,并与美国加州大学洛杉矶分校、美国西北大学等著名高校的知名学者进行了深入研讨交流与合作。

第二,提出了宏电路机制。为了增强网络核心基础传输能力,项目提出了可适配业务需求的自适应基础传输通道——宏电路,建立了与宏电路相匹配的多态寻址与路由交换机制。宏电路机制为克服当前网络基础传送能力薄弱问题和网络内在能力与结构对业务需求适应性差的问题提供了一个有效途径。项目研究团队先后参加IETF国际会议、国际电信联盟(ITU)未来网络工作组(SG13)会议,与国外研究机构的研究者一直保持着良好的研究交流和合作关系,推动了该方向关键技术与整体架构的标准研制工作。

第三,提出了基于安全基片的网络安全理论模型。为了解决当前互联网安全功能简单叠加不能满足系统复杂安全要求的问题,实现安全可管可控的网络传输,项目创立了基于安全基片的网络安全理论模型,构建了面向业务应用的、内嵌的和基于安全基片的安全管控机制。相关研究成果得到了法国巴黎第八大学等众多院校的知名密码学家的肯定。

第四,提出了基于“时一空”资源分配的服务承载网构

建理论。为了解决当前服务承载网构建未考虑其动态的时间属性等问题,项目提出了基于“时一空”资源分配的服务承载网构建理论,有效地提高了资源的利用率和服务承载网构建的成功率,实现了可重构网络资源的精细化管理与动态调配,为不同的业务提供了确保服务质量的服务承载网。项目组多次受邀到国际重要会议、论坛上发表该方向上的主题报告或演示,积极推广服务承载网构建理论等可重构网络的研究成果,扩大了项目研究在国际上的影响力。

5 研究进展

自2012年启动以来,项目按照课题组的形式在各自领域和任务范围展开深入研究,目前圆满完成了前一阶段的预期目标,并成功召开了多次项目阶段性总结会和项目中期检查评审会。项目取得的重要研究成果的具体情况如下。

- 建立了可重构信息通信基础网络体系结构的标准体系。项目组积极参与IETF标准化组织工作,主导完成IETF标准2项,完成并提交IETF草案3项;启动和主导国际电信联盟关于可重构网络的标准研制工作,在ITU-T SG13完成了标准制定1项(ITU-T Y.2622),完成标准立项1项;启动和主导中国通信标准化协会开展了可重构网络的标准研制工作,完成国内行业标准立项10项。
- 建立了可重构信息通信基础网络体系结构的专利群。项目以建立可重构网络体系结构的专利群为目标,分别围绕可重构网络总体结构、网络元能力理论、增强基础传送能力(宏电路)、认知与重构机制、多态寻址路由与交换、安全管控体系和试验验证设备共7个方面开展了专利申请工作。目前,项目组已累计申请国内外发明专利70余项,建立了可重构信息通信基础网络体系结构的专利群。
- 发表了一批高质量的学术研究成果。项目组已发表论文170余篇,其中SCI检索论文40余篇,国际顶级会议8篇,EI检索论文120余篇,国内一类学报百余篇;组织出版专著7部;组织国际学术会议3次;组织举办《通信学报》“可重构网络柔性网络技术”专刊1次,积极扩大可重构信息通信基础网络体系结构的影响。

- 建立了基于可重构网络的多样化实验验证环境。项目组紧紧围绕研究任务,分别开发建立了可重构网络专用模拟仿真平台、虚实结合的可重构网络仿真验证平台以及可重构柔性驻地试验网,为项目理论研究和关键技术仿真试验验证提供了坚实基础。

6 结束语

针对现有 IP 网络结构僵化和由此导致的一系列问题,国家“973”计划“可重构信息通信基础网络体系研究”项目提出立足可重构技术实现新型网络体系结构,支持新型业务快速部署,具有灵活的可扩展性和安全服务能力,并且随着项目研究的不断深入,可重构网络体系将会越来越完善并标准化。本文结合项目开展情况,从项目的研究背景、解决问题、研究方案、研究内容与进展几方面对相关研究工作进行了概述。实践证明,该项目的实施对我国新型网络体系架构的研究起到了积极的推动作用,也必将提高我国在信息技术领域的国际影响力。

参考文献

- 1 兰巨龙,邢池强,胡宇翔等.可重构技术与未来网络体系结构.电信科学,2013,29(8):16~23
Lan J L, Xing C Q, Hu Y X, *et al.* Reconfiguration technology and future network architecture. Telecommunications Science, 2013, 29(8): 16~23
- 2 GENI. Global environment for network innovations. <http://www.geni.net>, 2005
- 3 FIND. Future internet network design. <http://find.isi.edu>, 2006
- 4 NSF. Future internet architecture project. <http://www.nets-fia.net>, 2010
- 5 Zhang L X, Estrin D, Burke J. Named Data Networking (NDN) Project. Research Proposal, 2010
- 6 MobilityFirst, a robust and trustworthy architecture for the future internet. <http://mobilityfirst.winlab.rutgers.edu/Index.html>, 2010
- 7 NEBULA project. <http://nebula.cis.upenn.edu/index.html>, 2010
- 8 Anand A, Dogar F, Han D, *et al.* XIA: an architecture for an evolvable and trustworthy internet. Proceedings of the 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, Cambridge, MA, UK, 2011
- 9 The European Community's Seventh Programme. The FP7 4WARD project, <http://www.4ward-project.eu/>, 2007
- 10 The European Community's Seventh Programme. The FP7 autonomic internet project, <http://ist-autoi.eu/autoi/>, 2007
- 11 FIRE: future internet research and experimentation. <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>, 2007
- 12 AKARI architecture conceptual design. <http://akariproject.nict.go.jp>
- 13 Future internet forum. <http://fif.kr/home.php>, 2012
- 14 黄韬,刘江,霍如等.未来网络体系架构研究综述.通信学报,2014,35(8):184~197
Huang T, Liu J, Huo R, *et al.* Survey of research on future network architectures. Journal of Communications, 2014, 35(8): 184~197
- 15 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
Zhang H K, Su W. Fundamental research on the architecture of new network-universal network and pervasive services. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 593~598
- 16 Luo H B, Qin Y J, Zhang H K. A DHT-based identifier-t-locator mapping approach for a scalable internet. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(12): 1790~1802
- 17 张宏科,罗洪斌.智慧协同网络体系基础研究.电子学报,2013,41(7):1249~1255
Zhang H K, Luo Y B. Fundamental research on theories of smart and cooperative networks. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(7): 1249~1255
- 18 吴建平,林嵩,徐恪等.可演进的新一代互联网体系结构研究进展.计算机学报,2012,35(6):1094~1108
Wu J P, Lin S, Xu K, *et al.* Advances in evolvable new generation internet architecture. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(6): 1094~1108
- 19 Xie G, Sun Y, Zhang Y, *et al.* Service oriented future Internet architecture. Proceedings of INFOCOM, Shanghai, China, 2011
- 20 兰巨龙,程东年,胡宇翔.可重构信息通信基础网络体系研究.通信学报,2014,35(1):64~76
Lan J L, Cheng D N, Hu Y X. Research on reconfigurable information communication basal network architecture. Journal of Communications, 2014, 35(1): 64~76
- 21 Jain S, Kumar A, Mandal S, *et al.* B4: experience with a globally-deployed software defined WAN. Proceedings of ACM SIGCOMM, Hong Kong, China, 2013

【作者简介】



兰巨龙,男,博士,国家数字交换系统工程技术研究中心教授、博士生导师,主要研究方向为宽带信息网络、新型网络体系、网络建模。

(2015099~10 接排在 2015104~6 后)

- Wang G Z, Zhang J Y, Wang B T. SA-DTN: research of DTN routing based on node social activity. Application Research of Computers, 2011, 28(4): 1524~1526
- 8 Pan H, Crowcroft J, Yoneki E. Bubble rap: social-based forwarding in delay tolerant networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 10(11): 1536~1550
- 9 Dale E M, Haahr M. Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETS. Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Montreal, Quebec, Canada, 2007: 32~40
- 10 Gao W, Li Q H, Zhao B, *et al.* Social-aware multicast in disruption-tolerant networks. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2012, 20(5): 1553~1566
- 11 Keränen A, Ott J, Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation. Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (ICST), Athens, Greece, 2009: 1~10
- 12 黄沛昱, 应俊. 消息替换风险动态感知的缓存管理策略. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2014, 26(2): 233~237
- Huang P Y, Ying J. Dynamical message replicating risk aware cache management scheme. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2014, 26(2): 233~237
- 13 Spyropoulos T, Psounis K, Raghvendra C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. Proceedings of SIGCOMM, PA, USA, 2005:252~259
- 14 Vahdat A, Becker D. Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks. Technical Report CS-200006, Duke University, 2000

[作者简介]



吉福生,男,重庆邮电大学宽带泛在接入技术研究所工程师,主要研究方向为网络管理及无线网络核心技术。



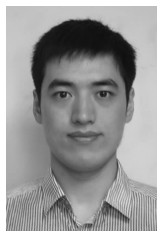
张洪沛,男,重庆邮电大学宽带泛在接入技术研究所硕士生,主要研究方向为社会化泛在无线网络路由技术及服务发现机制。



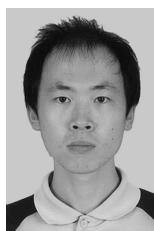
张炎,男,中国信息通信研究院工程师,主要研究方向为物联网技术及网络测试技术。

2015104-6

(上接 2015099-9)



熊钢,男,国家数字交换系统工程技术研究中心博士生,主要研究方向为新型网络体系、网络安全。



刘释然,男,国家数字交换系统工程技术研究中心硕士生,主要研究方向为新型网络体系、网络安全。



胡宇翔,男,博士,国家数字交换系统工程技术研究中心讲师,主要研究方向为新型网络体系、网络安全。



程东年,男,博士,国家数字交换系统工程技术研究中心教授,主要研究方向为宽带信息网络、网络建模。

2015099-10