

# 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务

张宏科, 苏 伟

(北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

**摘 要:** 现有信息网络的原始设计思想基本上是一种网络支撑一种主要服务的解耦模式, 难以满足网络和服务的多样性需求. 本论文从现有多种信息网络存在的严重弊端出发, 研究和探索新一代信息网络体系的基础理论, 给出一体化网络与普适服务新体系结构模型; 创造性地提出新网络体系下的网络一体化模型与理论, 建立接入标识、广义交换路由标识及其映射理论; 提出普适服务体系模型与理论, 创建服务标识及其映射理论、连接标识及其映射理论; 最后通过原型系统对上述机理、原理及理论进行验证, 实验结果表明, 这种新的网络体系在有效地解决现有网络安全、移动、异质异构等弊端的同时, 可支持普适服务.

**关键词:** 新网络体系; 一体化网络; 普适服务

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2007) 04-0593-06

## Fundamental Research on the Architecture of New Network ——Universal Network and Pervasive Services

ZHANG Hong ke, SU Wei

(College of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Due to historical reasons, the original model of existing information networks is that one network corresponds to one main service, and this mode can't adapt well to increasing multi demands of networks and services. In this paper, we study the new information network architecture to address the serious shortcomings of existing information networks. First we give a new framework of Universal Network and Pervasive Services, which includes two layers: Network Communication Layer and Service Layer. Second we propose the basic model and theory of Universal Network, including accessing identifier, switching routing identifier and mapping mechanism between them. Third we bring forward theory and mechanism of Pervasive Services, including service identifier and its parsing theory, connecting identifier and its parsing theory. In the end, we develop the prototype system and validate responding theories. Results show that our new network architecture overcomes shortcomings of existing information networks in mobility, security and so on. Also, the new network system can support pervasive services perfectly.

**Key words:** new network architecture; universal network; pervasive services

### 1 引言

随着科学技术的发展, 信息已成为当今推动社会向前发展的巨大动力, 信息领域竞争的焦点取决于信息网络技术的掌握和应用水平, 而信息网络领域竞争的关键又取决于原创的新信息网络体系及基础理论研究水平.

现有信息网络的原始设计思想基本上是一种网络支撑一种主要服务的解耦模式. 例如电信网最初是为语音业务设计的, 不适应高速数据和视频业务的传输; 而互联网最初是为数据业务设计的, 不适应语音和图像的传输. 这种“多种网络支持多种服务”的模式, 导致基础

设施重复建设, 造成资源等巨大浪费, 也无法满足网络及服务的多样性需求. 另外, 互联网的原始设计思想在移动和安全等方面存在着严重弊端: 互联网是以“固定、有线”为主的连通方式, 不能满足无线和移动环境下用户的需求; 在安全方面, 互联网的拓扑结构是具有幂律结构的无标度网络<sup>[1]</sup>, 导致其对恶意攻击和欺骗的抵御能力十分脆弱. 不难看出, 现有网络已经不能很好的满足当今应用的需求, 严重阻碍着信息网络的进一步发展. 急需突破性、跨越式的重新构思和设计一种全新的网络体系, 以解决现有信息网络存在的严重弊端.

为此, 近年来世界各国纷纷展开了这方面的相关研

究,如 2003 年美国自然科学基金委启动“100×100”下一代网络研究项目<sup>[2]</sup>;2004 年英国电信提出“21CN”下一代网络计划<sup>[3]</sup>;2005 年 8 月,美国自然科学基金委提出著名的 GENI (Global Environment for Networking Innovations) 计划<sup>[4]</sup>,2005 年 12 月针对互联网提出 FIND(Future Internet Network Design)<sup>[5]</sup> 计划等.特别是 GENI 和 FIND 计划,拟从根本上重新设计新一代信息网络,以解决现有网络在安全性、移动性、传感性和普适服务支持等方面存在的严重弊端.但需要指出的是,GENI 等计划对新一代信息网络的研究只是停留在起步和规划阶段<sup>[4]</sup>,还没有形成清晰的理论研究方案,其他一些计划也只是从新一代信息网络的某一个或某几个方面展开研究,缺乏对新信息网络体系及关键理论与技术的全面性和系统性研究.

学术界近年来也撰写论文阐述发展新一代信息网络的重要性.如因特尔研究中心的 Kumar Ranganathan 将可审计性(accountability)作为新一代信息网络设计的核心目标<sup>[6]</sup>,认为新一代信息网络的系统行为和状态应该是安全可靠的.波士顿大学 Mark Crovella 和 Eric Korlaczyk 认为新一代网络应该在负载均衡、错误恢复以及网络管理等几个方面做出了一些改进和探讨<sup>[7]</sup>.文献[8~11]则分别从业务拓展、通信方式和质量控制等几个方向对新一代信息网络提出一些初步的设计目标.

综合上述主要研究现状不难看出,国际上已经投入大量精力开展新一代信息网络的基础理论研究,但这些研究尚未形成清晰的理论体系,仅仅处于起步和战略规划阶段.因此,对新信息网络体系理论的实质性突破研究是当前迫切需要解决的重大科学问题.此外,再加上我国在信息网络基础研究和知识产权方面严重不足,如在互联网方面,IP 地址我国只占 3%,美国占 70%;IETF 的国际标准有四千多个,而我国只占 2 个,并且是与汉字相关的.由此可见,我国也迫切需要进行新网络体系基础方面的研究,以形成自己的知识产权.

本论文依托国家 973 项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”,在总结多年信息网络基础理论研究成果和经验的基础上<sup>[12~14]</sup>,创造性地提出了一种全新的网络体系,即一体化网络与普适服务的两层新体系结构模型;创建了一体化网络体系模型与理论,提出接入标识、交换路由标识及其映射理论,建立广义交换路由的概念与机制,在支持安全和移动的基础上实现网络一体化;提出了普适服务体系模型与理论,创建服务标识、连接标识及其映射理论,实现对普适服务地支持,并解决移动、安全等问题.

## 2 新信息网络体系结构与模型

传统信息网络的分层结构,如国际 OSI 的七层体系

结构,互联网的四层体系结构等,在信息网络的发展过程中曾经发挥过重要的作用,但也日益暴露出越来越多的缺陷和原始设计模式的不足,如过于复杂,难以适应新型移动互联网、传感网络以及普适服务的需求等.因此,新一代信息网络在体系结构模型上必须相对已有网络做出重大的创新.

通过对传统信息网络分层体系结构理论的长期研究,并对互联网和电信网等机理、原理进行深入剖析,发现各种网络体系结构,都可以划分为两个基本层面:一个是服务层面,一个是网络层面.由此本论文创新性地提出一种全新的两层体系结构模型,即“网通层”和“服务层”,如图 1 所示.

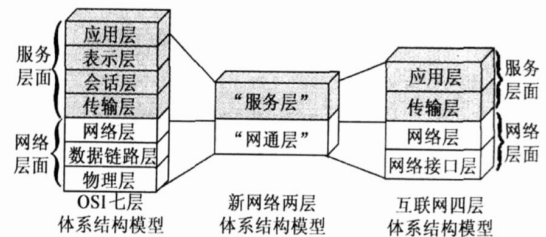


图 1 OSI 七层结构及互联网四层结构与新网络体系结构模型比较

在新网络体系的模型中,“网通层”完成网络一体化,“服务层”实现服务普适化,这两层模型结合在一起,构成了一体化网络与普适服务体系的基础理论框架.图 2 对一体化网络与普适服务新型体系结构模型做了进一步的描述.

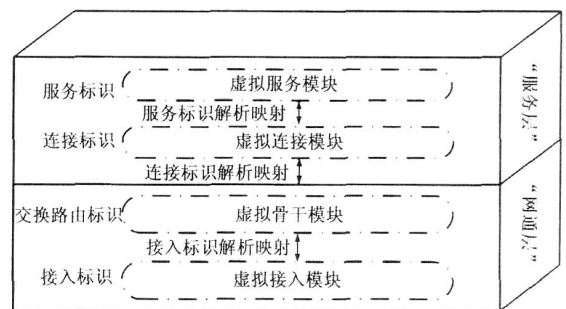


图 2 一体化网络与普适服务新型体系结构模型

“网通层”的作用是在一个一体化的网络平台上提供多元化的网络接入,为数据、语音、视频等业务提供一个一体化的网络通信平台,从而达到有效支持普适服务(即多种服务)的目的.在图 2 中,“网通层”创造性地引入虚拟接入模块和虚拟骨干模块及接入标识与交换路由标识的分离聚合映射(简称接入标识解析映射).虚拟接入模块通过引入接入标识实现多元化接入.虚拟骨干模块为各种接入提供交换路由标识,用于核心网络上的广义交换路由.接入标识解析映射理论则是将多个交换路由标识映射到多个接入标识,实现交换路由标识与接入标识的分离聚合.

“网通层”的工作机理为: 虚拟接入模块将各种接入网络和终端等映射为接入标识, 然后接入标识通过接入标识解析映射理论映射到虚拟骨干模块的交换路由标识; 虚拟骨干模块通过广义交换路由算法选路传输; 到达对端的广义交换路由器后, 数据包的交换路由标识被置换回原来的接入标识. 这样用户的隐私性、网络的安全性、可控可管性和移动性在“网通层”都得以很好的实现.

“服务层”创建了虚拟服务模块与虚拟连接模块, 和服务标识解析映射与连接标识解析映射, 以实现对各种业务的统一控制和管理等. 虚拟服务模块引入服务标识来描述和表示多种业务的服务; 虚拟连接模块为每个业务提供多种连接. 服务标识解析映射将服务对象映射到多个服务连接, 以支持多种业务; 连接标识解析映射将服务连接映射到“网通层”的多个连接, 体现了一次服务可对应多个连接、多种路径选择的思想, 从而使服务的实现更加可靠.

“服务层”的工作机理为: 首先, 各种不同的业务映射成服务标识符, 然后根据服务标识解析映射将服务标识符映射为连接标识, 最后连接标识根据连接标识解析映射理论映射到“网通层”, 实现广义交换选路.

安全和移动问题是新网络体系的重要支撑理论与技术, 在设计之初就必须考虑. 在对互联网等机理深入研究的基础上, 发现安全和移动性差的主要原因是 IP 地址的定义既包含位置信息也包含身份信息, 易被冒充和欺骗且不利于移动. 为此, 在新网络体系中的“网通层”提出了“接入标识与交换路由标识的分离聚合映射理论”, “服务层”提出了“连接标识解析映射理论”, 以解决新体系下的安全和移动问题.

总之, 这种全新的网络体系有效地解决了现有信息网络存在的严重弊端, 实现了在一种网络上支持普适服务, 同时提供了对安全性、移动性等的支持.

### 3 一体化网络模型与理论

一体化网络模型与理论集中研究“网通层”的机理、原理与模型, 探索一体化网络中的广义交换路由理论, 其目标是在一个统一的网络平台上提供多元化的网络和终端接入, 保证信息交互的安全性、移动性和传感性, 并有提供普适服务的能力.

根据图 2 中的新网络体系总体模型, 创造性地提出一体化网络体系结构模型, 如图 3 所示. 在一体化网络模型中原创性地提出了接入标识与交换路由标识分离聚合映射理论, 创建并引入了虚拟接入模块和虚拟骨干模块.

在图 3 中, 虚拟接入模块引入接入标识 ID 的概念和机制, 实现各种固定、移动、传感网络等的统一接入;

虚拟骨干模块为各种接入网络提供交换路由标识 ID, 用于核心网络上的广义交换路由; 接入标识解析映射将多个交换路由标识 ID 映射到多个接入标识 ID. 接入标识解析映射定义如下:

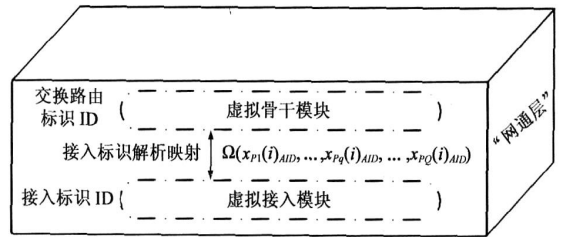


图 3 一体化网络的体系结构模型

$$\begin{bmatrix} z_1(i)_{RID} \\ \vdots \\ z_t(i)_{RID} \\ \vdots \\ z_r(i)_{RID} \end{bmatrix} \triangleq \Omega \begin{bmatrix} x_{11}(i)_{AID}, \dots, x_{1q}(i)_{AID}, \dots, x_{1Q}(i)_{AID} \\ \vdots \\ x_{p1}(i)_{AID}, \dots, x_{pq}(i)_{AID}, \dots, x_{pQ}(i)_{AID} \\ \vdots \\ x_{r1}(i)_{AID}, \dots, x_{rq}(i)_{AID}, \dots, x_{rQ}(i)_{AID} \end{bmatrix}_{P \times Q} \quad (1)$$

在式(1)中,  $z_t(i)_{RID}$  表示一体化网络中的交换路由标识, 其中  $i$  代表终端类型,  $t$  表示某次选路,  $RID$  是交换路由标识 ID;  $x_{pq}(i)_{AID}$  表示端系统的接入标识,  $p$  标识不同的终端,  $q$  表示接入位置,  $AID$  表示接入标识 ID; 式(1)中  $\Omega(\cdot)$  为解析映射变换, 完成交换路由标识 ID 到接入标识 ID 的映射; 其逆映射  $\Omega^{-1}(\cdot)$  将不同的接入标识 ID 映射回交换路由标识 ID.

接入标识解析映射理论具备如下主要功能:

1. 使得网通层实现了多元化接入网络与终端(如互联网中的固定网络、移动网络和传感网络等, 电信网中的各种接入网络和终端等)的统一接入, 拓展了网络服务的范围.

2. 保证用户的安全性和隐私性. 各种接入网络的接入标识代表它们的身份, 而交换路由标识仅仅用于核心网络进行交换路由. 接入标识和交换路由标识分离后, 代表用户身份的接入标识不会在核心网络上传播, 使得其他用户不可能通过用户的身份来截获他们的信息进行欺骗和攻击, 有效地保证了用户信息的安全性; 也不可能通过截获核心网络的信息分析用户的身份, 保证了用户的隐私性.

3. 保证了网络的可控可管性. 各种接入网络在申请接入标识时, 网络管理者根据用户的签约信息, 对各种接入网络进行接入控制和鉴权, 鉴权的结果决定是否接受用户连接请求, 同时决定为用户提供的服务质量水平.

4. 保证了各种接入网络及用户的移动性. 各种接入网络在移动到其它位置之后, 仅其交换路由标识需要发生变化, 代表用户身份的接入标识不需要发生变

化,只需要改变交换路由标识和接入标识的映射关系.这样,用户的连接不需要中断就可以保证用户继续接受各种服务.

在“网通层”的一个重要理论就是广义交换路由理论.现有的电信网实际上是由多个交换机连接而成,互联网由多个路由器连接而成.本文在归纳总结、长期深入分析传统各种信息网络交换路由理论的基础上,发现各种信息网络的交换路由的工作机理与原理非常类似,都是完成各种数据的交换与转发,区别只是数据的格式和所支持的服务不同.基于这种共性机理,本文引入了广义交换路由的理论,以普适的解决承载不同服务内涵的数据报文的交换路由问题,同时解决多元化接入网络与终端的移动性、隐私性、安全性和可控可管性问题.

#### 4 普适服务模型与理论

随着信息技术的飞速发展,人们对网络需求的日益增长,网络新服务不断涌现.纵观各种服务(业务)类型,可以看出如下特点:服务实现方式不同(主要有电信业务和互联网数据业务等);服务类型不同(数据、语音、视频等);服务面向的终端不同(普通的计算机终端和手机终端等).由于上述原因,在现有信息网络上很难实现多种服务的普适化.

解决这些问题的根本出发点是找出不同网络下服务模式共性机理.通过长期深入研究和分析,发现目前各种网络完成服务的机理和原理非常类似:所有服务首先需要建立连接,然后这个连接再基于交换路由

$$\begin{bmatrix} \langle z_{11}(h)_{CID}, z_{11}(j)_{CID} \rangle, \dots, \langle z_{1m}(h)_{CID}, z_{1m}(j)_{CID} \rangle, \dots, \langle z_{1M}(h)_{CID}, z_{1M}(j)_{CID} \rangle \\ \vdots \\ \langle z_{n1}(h)_{CID}, z_{n1}(j)_{CID} \rangle, \dots, \langle z_{nm}(h)_{CID}, z_{nm}(j)_{CID} \rangle, \dots, \langle z_{nM}(h)_{CID}, z_{nM}(j)_{CID} \rangle \\ \vdots \\ \langle z_{N1}(h)_{CID}, z_{N1}(j)_{CID} \rangle, \dots, \langle z_{Nm}(h)_{CID}, z_{Nm}(j)_{CID} \rangle, \dots, \langle z_{NM}(h)_{CID}, z_{NM}(j)_{CID} \rangle \end{bmatrix}_{N \times M} \triangleq \Phi \begin{bmatrix} z_1(h)_{SID} \\ \vdots \\ z_n(h)_{SID} \\ \vdots \\ z_N(h)_{SID} \end{bmatrix} \quad (2)$$

在式(2)中,  $z_{nm}(h)_{CID}$  表示客户终端  $h$  上对应于服务  $n$  的连接  $m$ ,  $\langle z_{nm}(h)_{CID}, z_{nm}(j)_{CID} \rangle$  表示客户终端  $h$  与服务器终端  $j$  之间对应于服务  $n$  的连接  $m$  的标识对,其中  $m$  代表某个连接,  $n$  代表某次服务,  $CID$  是连接标识;  $z_n(h)_{SID}$  表示客户终端  $H$  上的服务  $n$ , 其中  $SID$  是服务标识;  $\Phi(\cdot)$  是服务标识解析映射变换.从式(2)可知  $\Phi(\cdot)$  为解析映射变换,完成从服务到连接的映射;其逆映射  $\Phi^{-1}(\cdot)$  完成将连接模块收到的连接向服务的映射.

虚拟连接模块引入了连接标识,作为服务连接和用户身份的标识,可以很好的支持移动性、安全性,并提供一定的服务质量保证.

在传统互联网体系结构中,用户身份和用户位置都使用 IP 地址来标识,这样用户位置的变化就会导致 IP 地址的频繁改变,进而引发服务连接的不稳定性以

进行选路,实现数据传输.如电信网打电话是先建立电路连接,进行交换,传输语音;再如互联网中的浏览是先建立 TCP 或 UDP 的连接,进行路由转发,传输数据.在这种共性机理的基础上,根据图 2 中的新网络体系总体模型,本文提出了能够解决普适服务问题的服务标识和连接标识解析映射理论,并以此机理为核心构思和创建了普适服务的“服务层”模型,如图 4 所示,最终实现数据、语音、视频等服务内容的一体化传输.

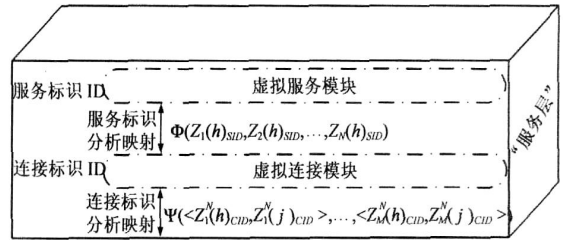


图 4 普适服务的体系结构模型

在新网络的体系中,“服务层”创新性地引入虚拟服务模块和虚拟连接模块;服务标识解析映射和连接标识解析映射.

虚拟服务模块是实现普适服务的基础,用于解决各种服务的统一描述和表示,提供服务的可控可管等.在该模块中引入服务标识的概念.服务标识用于对多样化的服务进行统一的分类标识和描述,从而体现普适服务的思想.

服务标识解析映射将虚拟服务模块和虚拟连接模块的工作联系起来,完成服务标识到连接标识的映射,从而为多种服务建立连接.该解析映射定义如下:

及用户身份的欺骗行为.而在新网络体系下,连接标识作为稳定的服务连接标识和用户身份标识,交换路由标识作为位置标识.这样,当用户位置发生变化时,表示服务连接的连接标识不发生改变,连接标识对主机身份的合法标识也不会受到影响,从而有效解决了传统信息网络中的移动和安全问题.

连接标识解析映射完成连接标识到“网通层”选路的映射,该解析映射定义如下:

$$\begin{bmatrix} z_{11}^N(h)_{RID}, \dots, z_{1l}^N(h)_{RID}, \dots, z_{1L}^N(h)_{RID} \\ \vdots \\ z_{m1}^N(h)_{RID}, \dots, z_{ml}^N(h)_{RID}, \dots, z_{mL}^N(h)_{RID} \\ \vdots \\ z_{M1}^N(h)_{RID}, \dots, z_{Ml}^N(h)_{RID}, \dots, z_{ML}^N(h)_{RID} \end{bmatrix}_{M \times L}$$

$$\triangleq \Psi \begin{bmatrix} \langle z_1^N(h)_{CD}, z_1^N(j)_{CD} \rangle \\ \vdots \\ \langle z_m^N(h)_{CD}, z_m^N(j)_{CD} \rangle \\ \vdots \\ \langle z_M^N(h)_{CD}, z_M^N(j)_{CD} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

在式(3)中 $\langle z_m^N(h)_{CD}, z_m^N(j)_{CD} \rangle$ 表示客户终端 $h$ 与服务器终端 $j$ 之间对应于服务 $N$ 的连接 $m$ 的标识对,其中 $N$ 代表从虚拟服务模块传递过来的某次服务, $m$ 代表某次连接, $CD$ 是连接标识; $z_{ml}^N(h)_{RD}$ 表示客户终端 $h$ 上连接 $m$ 的交换选路 $l$ ,其中 $l$ 表示某次选路, $RD$ 是交换路由标识;式(3)中 $\Psi(\cdot)$ 是解析映射变换,完成从“服务层”的连接标识到“网通层”选路的映射;其逆映射 $\Psi^{-1}(\cdot)$ 将来自“网通层”的交换路由信息映射回“服务层”的某次连接。

由上述“服务层”的描述可以看出,新网络体系下的“服务层”模型与理论,有效克服了传统信息网络存在的严重弊端,实现了在一种网络上支持多种服务.此外,服务标识的引入可实现服务的可控可管等,连接标识的引入提供了新网络体系下的移动性和安全性支持。

### 5 新网络体系下原型系统研制与验证

为了对新网络体系的机理与原理等进行验证,我们研制了如图5所示的原型系统。

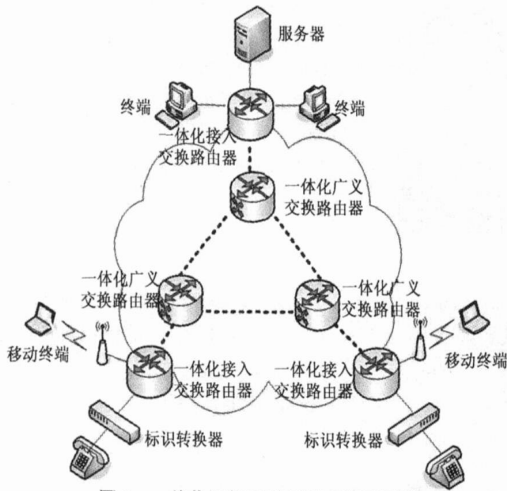


图5 一体化网络和普适服务原型系统

该原型系统的总体设计思路是图2所示的新网络体系总体模型,具体设计与实现时则是按照以下关键理论与机理:图3中描述的一体化网络(即“网通层”)体系结构模型,“网通层”中的接入标识、交换路由标识,式(1)所定义的接入标识解析映射理论;图4中描述的普适服务(即“服务层”)体系结构模型,“服务层”中的服务标识、连接标识,式(2)和式(3)所定义的服务标识解析映射与连接标识解析映射机理等.整个原型系统

包括核心网、接入网和终端三部分。

核心网由“一体化广文交换路由器”构建,是新网络的主体部分.一体化广文交换路由器支持“网通层”的设计原理,选路的标记使用交换路由标识,根据广文交换路由协议理论和算法完成选路。



图6 新网络体系对电话业务支持的验证结果

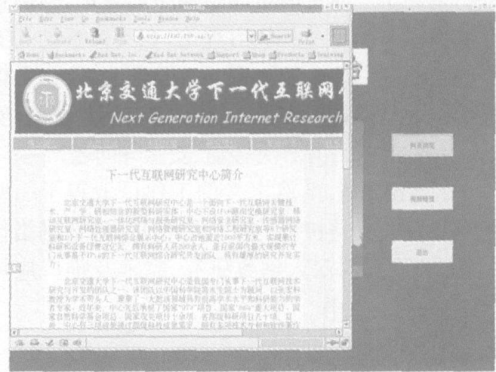


图7 新网络体系对数据业务支持的验证结果



图8 新网络体系对视频业务支持的验证结果

接入网功能由一体化接入交换路由器实现.一体化接入交换路由器引入接入标识解析映射理论,完成接入标识到交换路由标识的转换。

终端包括各类服务器、终端计算机、移动终端、专用电话终端以及用于支持普通电话接入一体化网络的标识转换器等,对于一些不能完全支持“网通层”和“服

务层”设计的终端(如普通的电话终端),使用标识转换器为其分配接入标识或交换路由标识完成交换路由的选择。

利用图5中的原型系统,我们在新网络上同时运行语音业务、数据业务和视频业务,得到的验证结果分别如图6、图7和图8所示,可以看出新网络体系能够同时提供对语音、数据和视频等多种不同业务的支持,并且效果良好。

这些实验结果验证了新网络体系模型与理论(如“网通层”体系结构模型及接入标识、交换路由标识、接入标识解析映射理论,“服务层”体系结构模型及服务标识、连接标识、服务标识解析映射与连接标识解析映射理论等)的正确性、可行性和有效性。

## 6 结论

本文针对现有信息网络存在的严重弊端,创造性地提出了全新一体化网络与普适服务的体系理论与总体框架;创建了一体化网络体系模型与理论,提出接入标识、交换路由标识及其映射理论,在支持移动和安全的基础上实现网络一体化;建立了普适服务体系模型与理论,创建服务标识、连接标识及其映射理论,实现对普适服务的支持,并解决移动、安全等问题。

需要指出的是,虽然本文的工作已取得了一些可喜的成果,但仅仅是初步的设计和构思,对新网络体系理论与关键技术的深入细致研究、完善及推广应用还有待于进一步的工作。

### 参考文献:

- [1] D J Watts, S H Strogatz. Collective dynamics of ‘small-world’ networks[J]. Nature, 1998, 393: 440- 442.
- [2] 100×100 Project[EB/OL]. <http://100x100network.org/>
- [3] 21CN Project[EB/OL]. [http://www.btglobalservices.com/business/global/new/s/2005/edition\\_1/21CN.html](http://www.btglobalservices.com/business/global/new/s/2005/edition_1/21CN.html)
- [4] GENI: global environment for network innovations[EB/OL]. <http://www.geni.net>
- [5] FIND: future Internet network design[EB/OL]. <http://find.isi.edu>
- [6] Kurnar Rangonathan. Trustworthy pervasive computing: the hard security problems[A]. IEEE Proceedings of the 2nd Annual Conference on Pervasive Computing and Communications

Workshops[C]. Orlando, USA: IEEE, 2004. 117- 121.

- [7] M Crovella, E Kolaczyk. Graph Wavelets for Spatial Traffic Analysis[A]. 2003 IEEE Proceeding of Infocom[C]. San Francisco, USA: IEEE, 2003. 1848- 1857.
- [8] B Y Zhao, L Huang, J Stribling, S C Rhea, A D Joseph, J D Kubiatowicz. Tapestry: a global scale overlay for rapid service deployment[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004 22(1): 41- 53.
- [9] Hongiu Yeom, Hwasung Kim. An efficient multicast mechanism for data loss prevention[A]. The 7th International Conference on Advanced Communication Technology[C]. Phoenix Park, Korea: IEEE, 2005. 497- 502.
- [10] Gkantsidis C, Rodriguez P R. Network coding for large scale content distribution[A]. 2005 IEEE Proceeding of Infocom[C]. Miami, FL, USA: IEEE, 2005. 2235- 2245.
- [11] Dave Clark, et. Making the world (of communication) a different place[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2005 35(2): 91- 96.
- [12] 张宏科,等.一种实现一体化网络服务的体系结构[P]. 专利申请号: 200510134579. 1.
- [13] 张宏科,等.一体化网络的构建方法和路由装置[P]. 专利申请号: 200610169726. 3.
- [14] 张宏科,等.实现一体化网络中普适服务的方法[P]. 专利申请号: 200610169727. 8.

### 作者简介:



张宏科 男,1957年9月出生于山西大同,北京交通大学教授、博士生导师。目前主要从事下一代信息网络关键理论与技术的研究工作,作为首席科学家主持国家973项目“一体化网络与普适服务体系基础研究”的研究工作。

E-mail: hkzhang@center.njtu.edu.cn



苏伟 男,1978年10月出生于河北省景县,北京交通大学在读博士研究生,主要研究下一代互联网关键理论与技术。

E-mail: hjsuwei@163.com