

# 第一章 绪论

本章介绍了课题的研究背景和面临的挑战，讨论了课题研究的目的和意义，分析了一体化网络中的交换与路由，最后给出了所做的主要工作。

## 1.1 引言

### 1.1.1 研究背景

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。信息网络在各国经济与社会发展中起着重要作用。随着网络的传输技术、交换技术和应用技术的蓬勃发展，互联网正成为全球范围的信息资源、存储资源以及计算资源共享的信息基础平台，并成为影响世界经济发展模式、推动生产力进步的巨大动力。路由交换设备则是这一全球信息平台的基础设施，因此它一直是网络发展和演进中的重中之重，路由交换设备的技术水平在很大程度上决定了网络的发展水平。而路由交换设备中所采用的交换技术直接影响着吞吐率、数据包时延以及交换容量等关键性能指标，因此交换技术一直是学术界研究的重点和热点问题，很多重要学术成果已经在实际路由交换设备中得到了应用。新一代网络正朝着传输高速化、接入宽带化和应用多样化方向发展，对交换技术提出了新的挑战。具体来说，现有的交换技术面临的挑战主要表现在以下两个方面：

首先，网络规模的扩大和链路传输速率的提高，要求交换设备能够支持高速大容量交换。根据中国互联网络信息中心（CNNIC）发布的《第 27 次中国互联网络发展状况统计报告》<sup>[1]</sup>，中国总网民人数和宽带网民数与比例增长趋势如图 1-1 所示。截至 2010 年 12 月 30 日，中国网民规模达到 4.57 亿人，网民规模较 2009 年年底增长 7330 万人，年增长率为 19.1%，宽带网民规模达到 4.5 亿人，

较 2009 年增长 1.03 亿人，年增长率为 30%。

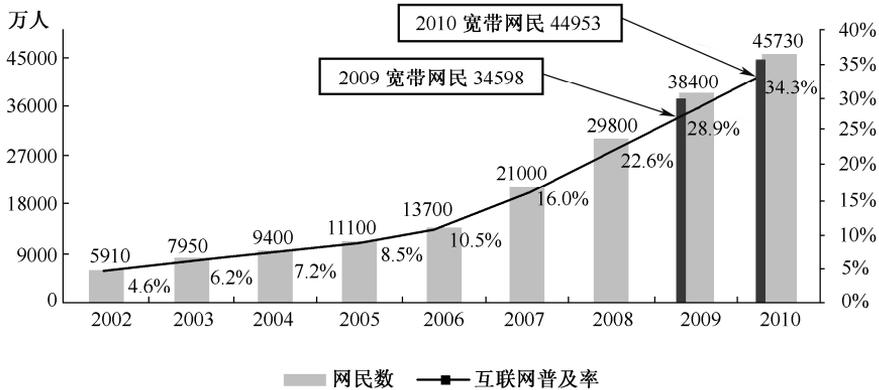


图 1-1 中国网民规模与普及率

无论是网民的增加还是网络规模的扩大，都导致网络所承载的信息量不断提高，这就要求交换设备能够提供大容量交换能力。在网络规模扩大的过程中，连接交换节点和交换节点之间的链路速率也在不断提高。WDM 和 DWDM 等光纤传输技术近年来取得了突破性进展；在一根光纤中复用大量的传输通道，而每个通道可以工作于 OC-48 (2.5Gb/s)、OC-192 (10Gb/s) 甚至 OC-768 (40Gb/s)；目前 DWDM 最多能够复用 128 种颜色<sup>[2]</sup>，在单个通道工作于 OC-768 (40Gb/s) 的情况下，一根光纤最高能够支持 5Tb/s 的传输速率。虽然硅晶体技术已经取得了快速的进步，但光传输数据率和电子交换设备所能处理的数据率之间的差距仍在不断扩大，而且在可以预期的将来，传统 CMOS 技术的物理极限将会出现。在这种情况下，交换节点就成为制约网络数据传输的一个瓶颈，造成链路传输带宽的浪费。纯光交换可以很好地解决这个问题，但是光存储等文件技术问题在短期内还无法解决，这就导致在很长一段时间内，网络的基础数据交换功能依然需要依赖于已有的光电混合交换设备。因此，基于已有的交换技术，在高速光纤链路环境下支持高速率数据交换，仍然是目前亟待研究和解决的问题。

并行分组交换<sup>[3]</sup>是一种提高交换速率和交换容量的有效手段。许多典型的交换系统在设计时都使用了这一方法，并行分布式处理机制对提升路由交换设备的

交换容量十分有益，克服了电子器件工艺水平的瓶颈限制，弥补了单平面交换结构的先天不足。但是即便采用并行分布式处理机制构建大容量交换结构，单平面交换结构的研制也依然十分关键。单平面交换结构的性能很大程度上决定了并行分组交换结构的性能，而且过多交换平面的并行处理机制不仅浪费硬件资源，同时导致交换结构的控制管理和流量分配机制过于复杂，甚至无法实现。因此研究具有良好可扩展性的交换技术是研制能够支持更高的端口速率和提供更大交换容量的路由交换设备的客观需要。

其次，网络应用日益丰富多样化，要求交换设备由原先的“尽力而为”的服务方式转变为能够提供服务质量保障的交换。随着三网合一进程的演进以及 Everything over IP 思想的提出，互联网需要并正在承载各种不同的业务，这就要求原先的为单纯数据传输提供“尽力而为”服务的 IP 网络演变为可以为综合业务（文本、语音、图像、流媒体等）提供具有 QoS 保障服务的高性能网络。伴随实时多媒体应用和技术的飞速发展，网络上多媒体信息和实时任务的数量与日俱增。根据 CNNIC 发布的第 27 次中国互联网络发展状况统计报告，表 1-1 给出了我国网民各类主要网络应用的使用情况。截至 2010 年 12 月，网络应用使用率排名前三甲的仍然是搜索引擎（81.9%）、网络音乐（79.2%）和网络新闻（77.2%），搜索引擎使用率首次超过了网络音乐，成为我国网民规模最庞大的应用。但从发展速度上看，商务类应用用户规模继续领涨。网络购物用户年增长 48.6%，是用户增长最快的应用，网上支付和网上银行全年增长也分别达到了 45.8% 和 48.2%。此外，微博和团购的用户数已初具规模。在网络应用日益丰富和多样化的过程中，人们逐渐意识到传统的网络交换性能指标并不能保障各种应用获得最佳的用户体验。在这种情况下，就需要为不同种类的应用提供不同种类的性能，即服务质量保证。例如语音聊天应用需要较低的时延性能，而文件传输类应用则需要较低的丢包率，甚至不允许丢包。交换结构和调度算法作为交换设备的两个主要部分，直接影响了网络的吞吐率、时延等性能。在网络发生拥塞和资源争用的情况下，交换结构和调度算法的设计对语音和视频业务的质量起到决定性的作用。因此，研究具有 QoS 保障能力的交换技术是实现具有 QoS 保障的高性能网络的必然要求，也成为了新一代网络发展的必然要求。

表 1-1 各类网络应用使用状况及用户增长

类型	应用	2010 年 使用率	2009 年 使用率	用户 增长率	使用 率排名	增长 率排名
信息获取	搜索引擎	81.9% ↑	73.3%	33.1%	1	5
网络娱乐	网络音乐	79.2% ↓	83.5%	12.9%	2	16
信息获取	网络新闻	77.2% ↓	80.1%	14.7%	3	14
交流沟通	即时通信	77.1% ↑	70.9%	29.5%	4	7
网络娱乐	网络游戏	66.5% ↓	68.9%	15.0%	5	13
交流沟通	博客应用	64.4% ↑	57.7%	33.0%	6	6
网络娱乐	网络视频	62.1% ↓	62.6%	18.1%	7	12
交流沟通	电子邮件	54.6% ↓	56.8%	14.6%	8	15
交流沟通	社交网站	51.4% ↑	45.8%	33.7%	9	4
网络娱乐	网络文学	42.6% ↑	42.3%	19.8%	10	10
商务交易	网络购物	35.1% ↑	28.1%	48.6%	11	1
交流沟通	论坛/BBS	32.4% ↑	30.5%	26.6%	12	8
商务交易	网上银行	30.5% ↑	24.5%	48.2%	13	2
商务交易	网上支付	30.0% ↑	24.5%	45.9%	14	3
商务交易	网络炒股	15.5% ↑	14.8%	24.8%	15	9
交流沟通	微博客	13.8%	—	—	16	—
商务交易	旅行预订	7.9% →	7.9%	19.5%	17	11
商务交易	团购	4.10%	—	—	18	—

因此，随着我国信息化进程的不断发展，互联网所承载的业务无论是规模还是类别都在迅速增长，发生了深刻的变化，特别是多媒体、商务交易等业务在互联网上的应用快速膨胀，使得互联网在数据传输方面面临两大挑战性问题，要求交换设备：提供大的交换容量和对多种网络业务提供良好的 QoS 保障。而随着并行交换及多级交换等技术的发展，吞吐量最大化的重要性要低于对 QoS 等的保证。尤其是站在服务提供商 ISP 的角度，吞吐量的最大化并不意味着收益的最大化，而在用户的角度，吞吐量的最大化也不能保证自己关键性业务的 QoS，目前国内外的交换技术均朝着提高吞吐量的同时有效地保证 QoS 的方向发展<sup>[4]</sup>。

### 1.1.2 研究目的意义

“十一五”期间和国家中长期发展规划都将新一代信息网络关键技术与服务作为优先发展领域。

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，在此基础上的演进与发展难以突破原始设计思想的局限，无法满足网络及服务的多样性需求。例如电信网当初是面向语音业务传输设计的，它能够提供对称话务质量，但是其以电路交换为基础的通信机制决定了其网络效率低下，同时，电信网带宽受限，导致其难以适应宽带流媒体业务等的需要。互联网当初是面向数据业务传输设计的，遵从 TCP/IP 的四层体系结构（包括子网层、网络层、传输层、应用层），采用面向无连接的分组交换技术传输数据，并提供“尽力而为”的服务。

现有信息网络由于原创模式的局限，存在着诸多难以解决的问题，而当前关于新一代信息网络的研究还没有形成完整的体系，缺乏基础理论的原创性创新，因此迫切需要突破原有网络的局限，设计全新的网络体系结构，创建出兼有各家之长又能适应长远应用需求的一体化网络，解决现有信息网络在服务扩展、可信性（安全性、可靠性、可控性、可管性）以及移动性等方面存在的问题。

国内外为解决这些问题，很多机构正在研究下一代网络<sup>[5-9]</sup>，如 NewArch 计划及美国国家科学基金委员会（NSF）的 GENI、FIND 等项目都投入了大量精力开展新一代信息网络基础理论研究。NewArch 计划提出了一种抽象的网络体系结构模型 FARA<sup>[10]</sup>仍然沿用了现有互联网技术，仅在应用层进行了功能性验证；GENI 和 FIND 项目还处于起步阶段，虽然基本确定了研究方向<sup>[5]</sup>并取得了少量初步成果<sup>[11]</sup>，但还缺乏实质性的进展，至今尚未形成一个较为清晰和成熟的思路。文献[12-15]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。“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”是由北京交通大学主持的国家 973 重大科研项目<sup>[16-18]</sup>。该科研项目提出了一体化可信网络与普适服务的概念，力图在一种网络上支持多种服务，并解决可信、移动、传感网络接入等问题。

一体化网络的基本思想是将网络划分为接入层和核心层，然后在此基础上提

出分离映射机制，原理就是接入层使用接入标识，核心层使用交换路由标识。这样就实现了接入标识用来表示终端的身份信息，不再携带地址信息，交换路由标识仅仅用来在核心网中的路由数据包使用，不包含终端的其他信息。这种设计方案很好地解决了网络可信性、移动性等方面的问题。

973 课题中提出了广义交换路由理论、标识分离映射机制，并以此为核心创建了一体化网络模型与理论，以解决多种网络一体化问题。从业务层面上讲，可以承载各种不同类型的业务，即普适服务，包括互联网业务、电信网业务以及未来可能出现的新型信息业务。

通过三次解析映射（从服务标识到连接标识的解析映射，从连接标识到接入标识的解析映射、从接入标识到交换路由标识的解析映射），将标识理论贯穿从服务层到网通层的整个网络体系架构；而 MPLS 只是一个 2.5 层交换技术，MPLS 标识只能用于 2.5 层数据包交换。由此可见，我们可以把不同业务类型通过映射关系反映到网通层，从而为我们研究基于一体化网络支持多业务类 QoS 的交换技术提供了有力的依据。

根据 973 项目总任务书的要求，子课题 2 主要研究支持普适服务的一体化网络体系结构模型及交换路由理论与技术，主要包括以下两个方面：

- 支持普适服务的一体化网络体系结构机理与模型；
- 一体化网络中的交换与路由理论（主要包括骨干路由器的核心结构、如何支持普适服务 QoS 保证、动态路由协议）。

当前，Internet 是由一些数目相对较少的高速骨干网络连接很多小网络组成的。骨干网络的链路速率基本上是以 30% 的增长速率递增。这表明，传输线路已经不是解决网络拥塞的瓶颈。所以，设计高性能的核心路由器是提高 Internet 整体性能的关键所在<sup>[19-21]</sup>。这就对交换结构和调度算法的配合及路由处理能力提出了更高的要求。随着不同应用的增加，将来的交换结构也必须能够考虑到对更加丰富的 QoS 保证的支持。因此，受 973 子课题“一体化网络体系结构模型及交换路由理论与技术”的支持，本文将对这些问题展开研究。

“一体化网络体系结构模型及交换路由理论与技术”（No.2007CB307102）课题的主要研究内容之一就是在一体化信息网络体系结构下，研究新型交换机理、

原理和关键技术，解决普适地承载不同服务内涵的数据报文大规模交换问题。本文是在我校承担的该课题中研究新型交换技术，核心思想是把标识的概念引入交换结构，研究基于标识支持 QoS 的交换技术，以满足不同服务的需求。

普适服务是一体化网络的一个主要特征。所谓普适服务，就是指网络能够适应个性化、多元化应用的要求，对现在及未来可能出现的各种应用提供普适性服务，其中，QoS 保证是实现普适服务的关键，服务质量 QoS 从用户层面看，是服务性能的总效果，该效果决定了一个用户对服务的满意程度，体现的是用户对服务者所提供的一种服务水平的度量和评价<sup>[22]</sup>。IETF 从技术角度将网络 QoS 明确定义为用带宽、分组时延、抖动和丢失率等描述的分组传输的质量。

本文通过交换结构、调度机制等方面取得实质性创新，突破交换结构及实现机制方面缺乏 QoS 保证的缺陷，实现对各种现有以及以后可能出现的未知业务提供更好的 QoS 保证。因此研究新型的基于标识支持区分 QoS 交换技术不仅有利于充分利用现有网络资源、提供更好的网络服务和节约网络建设成本，而且可大大提升国产路由交换设备的性能和市场竞争力，对于加强我国核心骨干网建设都有重要的战略意义。

## 1.2 一体化网络研究

973 项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”提出“一体化网络”。通过三次解析映射，将标识理论贯穿到从服务层到网通层的整个网络体系架构，可以把不同业务类型通过映射关系反映到网通层，从而为我们研究基于一体化网络支持 QoS 粒度的交换技术提供了有力依据。下面着重介绍一体化网络的总体框架、工作原理及一体化网络交换结构对 QoS 的支持。

### 1.2.1 一体化网络体系结构

一体化网络中提出了接入标识、交换路由标识及其解析映射理论，由“网通层”和“服务层”两层次组成。“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 1-2 为一体化网络体系结构模型。

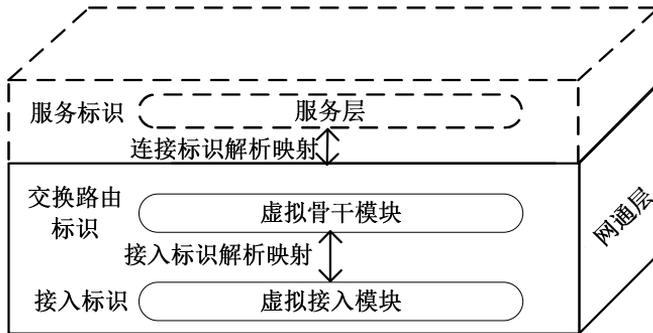


图 1-2 一体化网络体系结构模型

一体化网络实际上是一个全新的“标识分组网络”(以标识管理;以分组传输),包括交换路由层和普适服务层两个大的部分。

“标识分组”的设计思路是将目前的多种信息网络、多种服务模式通过“标识化”统一管理,抽象为一种一体化网络与普适服务的体系结构,再基于“分组”的形式进行传输。

一体化网络中的三次映射,严格说应该是四次映射,如图 1-3 所示。

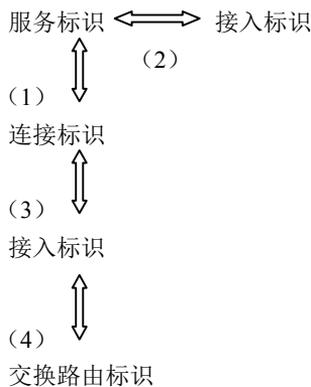


图 1-3 一体化网络中的四次映射

### ● 服务层

服务层又分为虚拟服务子层与虚拟连接子层,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。虚拟服务子层引入服务标识来描述和表示多种业务的服务；虚拟连接子层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。

在服务层，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，连接标识根据连接标识解析映射理论映射到网通层，实现广义交换路由。

#### ● 网通层

“网通层”又分为虚拟接入子层和虚拟骨干子层，采用基于接入标识 AID 与交换路由标识 RID 分离映射机制的通信方案，为语音、数据、图像等服务提供一个一体化的通信平台，从而达到有效支持普适服务（即多种服务）的目的。其核心思想是在一体化网络上分出接入层和核心层，接入层使用接入标识，核心层使用交换路由标识，在接入交换路由器上实现接入标识和交换路由标识的分离映射。

虚拟接入子层引入了接入标识 AID 作为终端接入的身份标识，实现多元化接入。虚拟骨干子层引入了交换路由标识 RID，用于虚拟骨干子层的广义交换路由和寻路。接入标识解析映射理论则是将多个 RID 映射到多个接入标识，实现 RID 与 AID 的分离聚合。

网通层设计需求：

- 支持普适服务——具有支持多种不同类型业务传输的能力；
- 安全性和可靠性——不弱于电信网的安全性；
- 控制与管理——网络配置、升级、监控、诊断、修复；
- 支持新的网络技术——移动节点、移动网络、传感器网络。

一体化网络理论的研究目标：

- 在一个可信的一体化网络平台上，提供多元化的网络和终端接入；
- 保证信息交互的可信性、移动性和传感性；
- 有提供普适服务的能力。

主要功能实体：

一体化网络中必须添加一些功能实体，正是在这些实体的协同工作下，才完成了一体化下的通信过程。图 1-4 为一体化网络体系结构图。

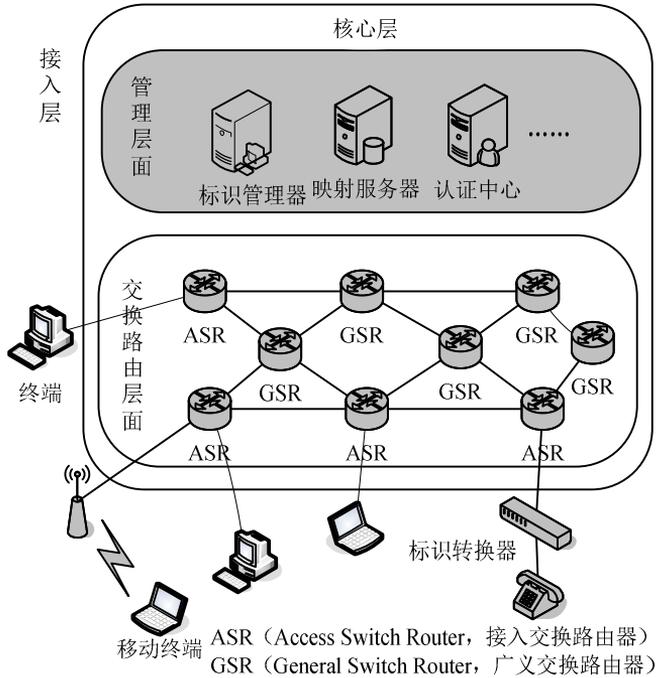


图 1-4 一体化网络体系结构图

### ● 映射服务器

映射服务器的主要功能是维护管理整个一体化网络中所有接入标识与交换路由标识的映射关系，整个一体化网络通信是建立在该映射关系基础之上的。当用户终端接入到网络上时，接入交换路由器（ASR）会首先检查自己的数据表，看是否存在该接入标识的映射关系，如果存在即可建立通信过程；如果不存在，则会到映射服务器中查询。如果映射服务器中存在该映射对应关系，则会返回给 ASR，并顺利进行网络通信。如果映射服务器中不存在该接入标识的对应映射关系，则说明该接入标识对应的终端没有接入到一体化网络中，因此它将无法与其他终端建立通信过程。

- 标识管理器

用于管理网络中的接入标识池和交换路由标识池；接入标识池用于存储未用的接入标识，交换路由标识池用于存储未用的交换路由标识。

- 认证中心

认证中心存储了已注册终端的身份信息，包括用户所属类别及要求享有的服务等级等信息，当接入交换路由器接收到终端的接入请求时，将会建立与认证中心的通信，以查询该请求是否为合法接入用户，当为合法用户时，终端会通知接入交换路由器允许该终端的接入，否则将会通知接入交换路由器拒绝该终端的接入。

- 广义交换路由器

广义交换路由器 GSR 主要负责一体化网络中的数据包转发工作，不用处理分配接入标识与交换路由标识的分离工作，同样不用进行设定服务等级等。因此它必须位于核心层中，并不能直接处理用户发送出的信息。

- 接入交换路由器

接入交换路由器 ASR 主要负责各种终端包括各级子网与一体化网络的接入工作，接入交换路由器主要为接入的用户分配路由交换标识，并处理接入标识与路由交换标识的映射关系，同时完成数据包的地址替换工作。

凡是处于接入路由器接入端口一侧的网络都属于接入子网，而处于接入路由器骨干网络接口一侧的网络都属于骨干网，因此接入交换路由器是接入网与骨干网的分界线。在接入交换路由器中主要保存两种映射表：源标识映射表和目的标识映射表。源标识映射表保存本地接入标识与本地路由交换标识的映射关系。

接入路由器还包括接入请求确认单元、标识分配单元、标识替换单元和数据转发单元。接入请求确认单元用于接收用户的接入请求，并确认是否接受用户的接入请求；标识分配单元用于为接入网络核心层的用户分配接入标识和交换路由标识；标识替换单元用于将所述用户的接入标识和交换路由标识进行替换；数据转发单元用于转发标识替换后的数据包，其关系如图 1-5 所示。

- 终端

终端是通信过程的发起者或接收者。用户终端上存有自身的接入标识，该信息是公开的，如果知道另一个终端的接入标识，即可建立与它的通信过程，终端

不参与核心层的具体数据转发工作。由于终端的接入标识固定不变，因此无论在何处接入一体化网络，只需到认证中心进行认证工作，并有接入交换路由器为其分配接入标号与路由交换标识的映射关系后，即可实现网络通信。

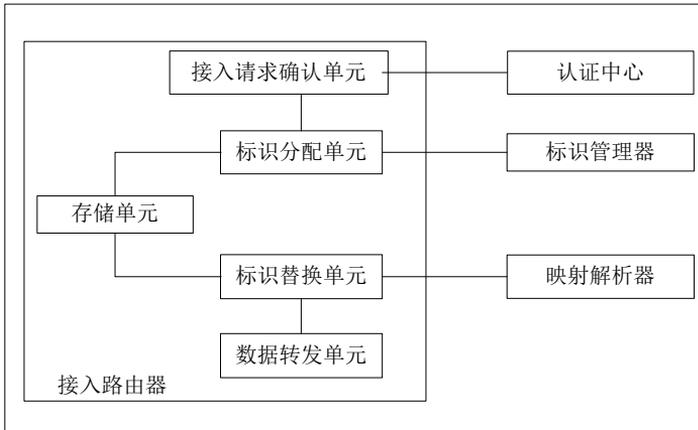


图 1-5 接入路由器各功能单元关系示意图

### 1.2.2 一体化网络中的交换与路由

随着信息网络技术的飞速发展及人们对通信需求的日益增长，网络服务如雨后春笋般不断涌现，未来的互联网一定要满足日益增长的、各种各样的多媒体业务的服务质量要求；现有信息网络原始设计思想基本上是一种网络支撑一种主要服务的模式，“多种网络支持多种服务”导致基础设施重复建设，也无法满足网络及服务的多样性需求。一体化网络正是在这种情况下提出了“一种网络支持多种服务”的新网络体系。接入网支持“多业务”，其核心是识别不同业务类型；核心网专注于确保 QoS 的交换路由结构。

一体化网络普适服务的目标是满足业务对网络的个性化数据传送要求；一体化网络的服务层目标是对业务个性化数据传送要求的充分表达；一体化网络的网通层则根据清晰表达的业务个性化数据传送要求，在边缘提供针对细粒度流量、有质量的传送，在骨干提供针对粗粒度流量、有质量的传送。

图 1-6 和图 1-7 分别为网通层基本功能和细化功能结构图。其中基于标识的广义转发与交换为本文的研究内容。

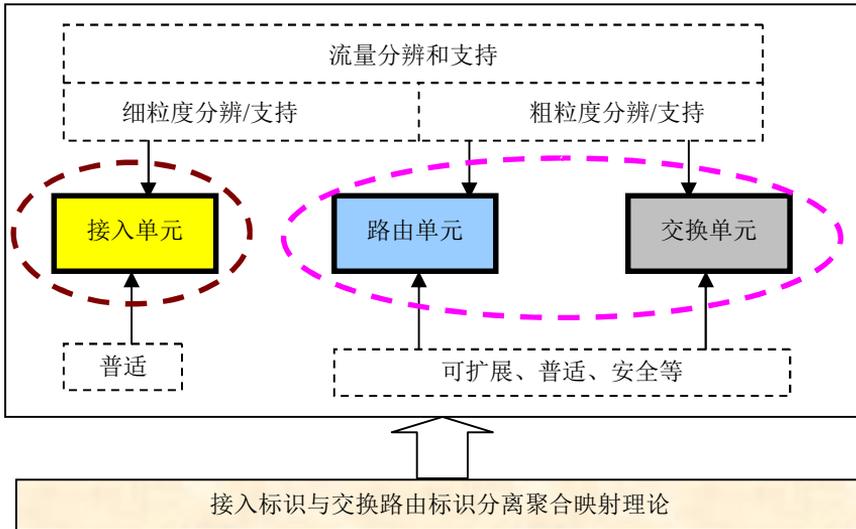


图 1-6 网通层基本功能结构图

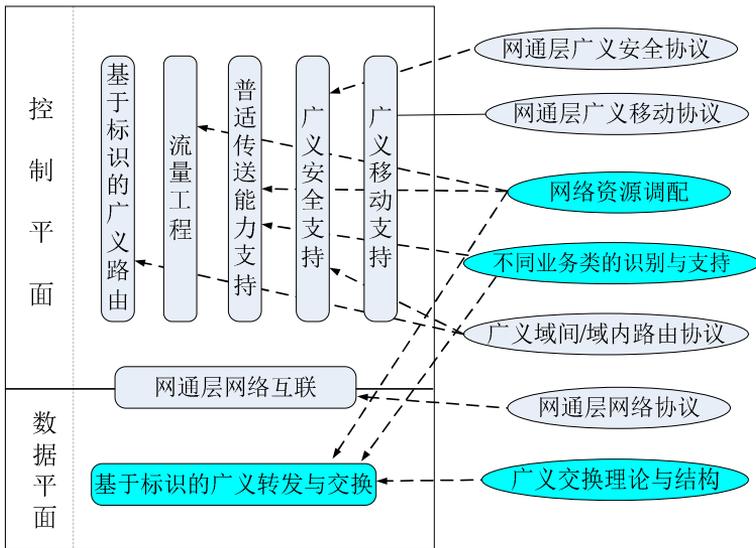


图 1-7 网通层细化功能结构图

● 一体化网络交换路由理论与机制

根据一体化网络的体系结构模型，并遵循标识解析映射理论的原创设计思路，

以传统交换路由体系结构模型为基础，创造性地提出了广义交换路由理论模型，图 1-8 为传统交换路由与广义交换路由体系结构对比。

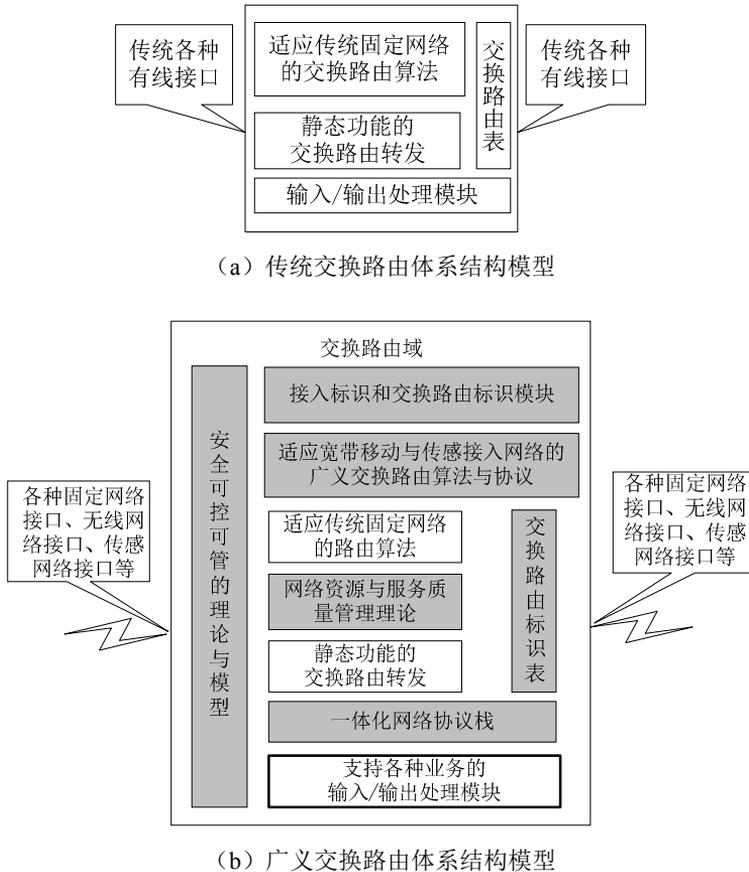


图 1-8 传统交换路由与广义交换路由体系结构对比

广义交换路由体系结构模型，除了保留传统交换路由体系结构模型原有的关键模块之外，为了给一体化网络中的用户提供多业务的服务质量保证，引入了网络资源与服务质量管理理论，完成了合理的网络资源调度，实现了网络实时流量工程能力；为了一体化网络能够接入各种移动和传感网络与终端，在保留了传统的各种有线接口之外，又新引入了各种无线网络接口和传感网络接口，提供了多元化的网络和终端接入能力。图 1-9 为细化的网通层广义交换路由框架。

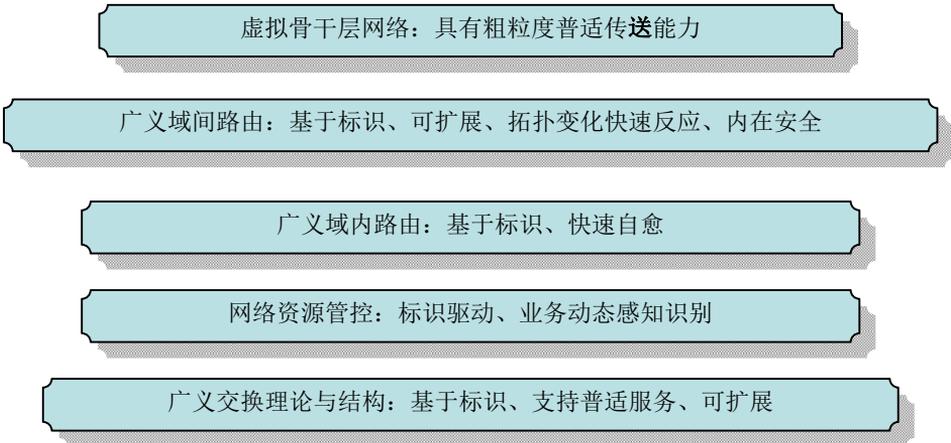


图 1-9 广义交换路由框架

● 网通层研究问题分析

通过上面的分析研究，我们得出网络层要研究的问题内容，具体问题界定如图 1-10 所示。其中黑体部分为本文的主要研究内容，后续章节的研究将围绕此图进行。

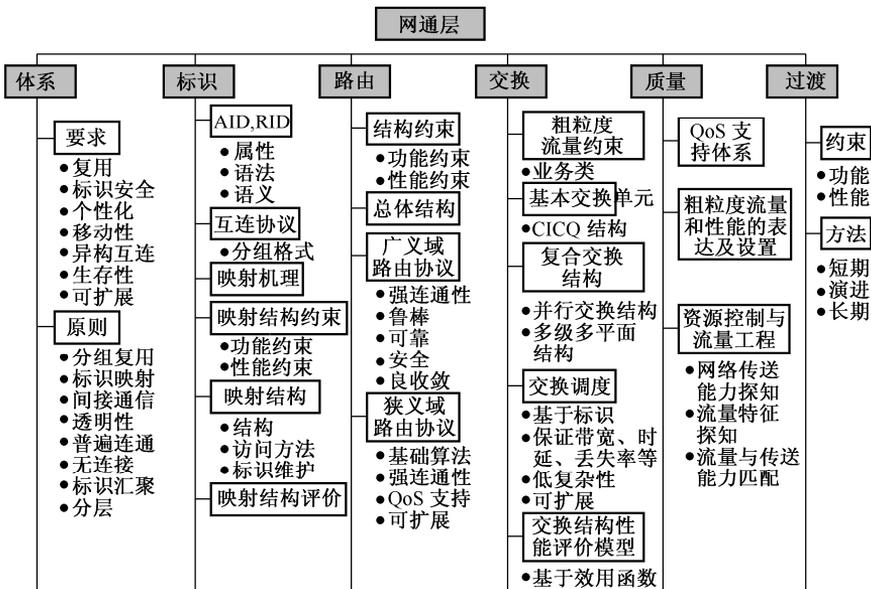


图 1-10 网通层研究问题分析

### 1.3 课题研究思路与研究工作

本文结合“十一五”国家 973 计划项目《一体化网络体系结构模型及交换路由理论与技术》的研究工作，针对信息网络高速化和宽带化对交换技术满足用户的个性化和多样化的新需求，必须对其服务重新区分等级。本文阐述了一体化网络下，个性化、多样化用户服务的定义、分类和标识的设计，从而统一标识和处理各种网络服务。

为此，本文通过对一体化网络体系结构的分析，深入研究现有典型交换结构和调度算法对支持 QoS 的不足，将标识的概念引入交换结构，提出基于标识的交换技术。

具体而言，本文主要研究工作体现在以下几个方面：

- 对传统的典型交换技术进行了分析和评述。传统的交换模式基本上都是基于每流调度的。由于在穿过路由器的网络流量中同时并存的数据流可能多达上百万个，数据流粒度的路由、交换以及 QoS 控制在现有的硬件条件下极难实现，如果采用 Diffserv 技术以聚合流的方式管理数据流，虽易于管理，但是粒度太粗，只有 8 个级别。它们相对而言对 QoS 的保证比较少。本文提出的基于标识的交换以业务类为单位管理网络数据流。业务类的数目基本数百个量级，既易于管理，又可以精确反映不同业务的 QoS 需求。
- 研究了基于标识支持区分 QoS 的 CICQ 调度机制。对通信中用到的标识和区分 QoS 进行了定义和说明，基于 CICQ 交换结构设计出支持区分服务的 DS-CICQ 交换结构，在 DS-CICQ 交换结构基础上，提出一种基于标识支持区分 QoS 的分布式动态双轮询 ID-DDRR 调度算法。在不同类业务和不同输出端口，采用双指针双轮转型调度策略，调度复杂度大为降低；其份额函数是基于队长信息和优先级的。理论分析和仿真实验说明：ID-DDRR 算法是有效的，在 CICQ 交换结构下，算法能够稳定运行，为不同优先级的业务类别提供公平的、保障 QoS 的传输服务。算法不仅

能有效处理不同业务类的突发数据，比较迅速地缓解网络的拥塞状况，具有良好的时延性能，而且又保持了各优先业务类的相对公平性，能够更好地支持区分服务，从而实现 QoS 保障。

- 提出了一种新型的 PSVIOQ-CICQ 解决方案。分析了主流 PPS 交换技术的研究现状，并基于联合输入交叉节点排队交换结构提出一种新型 PPS 体系结构——PSVIOQ-CICQ，采用在输出缓存引入 VIQ 队列结构的办法保证信元的传输顺序，基于此设计负载均衡器和分组整合器的调度算法，能够为不同服务需求的业务提供 QoS 支持。仿真实验结果表明，该并行系统解决方案能够对进入系统的负载进行均衡的分配，在无需内部加速的情况下能够获得 99% 以上的吞吐率，具有较好的吞吐性能，同时仿真结果中，吞吐率、负载均衡系数以及时延性能与中间交换平面数的关系表明，系统性能随着中间交换平面数目的增加未出现明显的下降，说明系统具有良好的可扩展性，该方案基本达到了设计目标的要求，能够适应未来网络环境的要求。
- 针对 PSVIOQ-CICQ 的不足，提出一种基于标识支持区分 QoS 的新型 PSCICQ 解决方案。基于联合输入交叉节点排队交换结构提出一种新型 PPS 体系结构——PSCICQ，其每一解复用器中引入 NK 个信元大小的缓存。基于 PSCICQ 体系结构，提出一种基于标识支持区分 QoS 的 PPS 调度机制。证明了 PSCICQ 体系结构能够保证业务信元的传输顺序；利用带缓存交叉开关的分布式调度特性，以业务类为单位管理网络数据流，在汇聚模块设置少量缓存采用双指针轮询算法 DPRR 实现区分 QoS 保障，保证了交换对高层不同业务类的有效支持。仿真实验表明：新型 PPS 实现方案是有效的，在满负载情况下获得高达 99% 以上的吞吐率，在过载情况下根据预定带宽分配输出链路带宽，系统确保分组具有时延的上界，能够比较均衡的将负载分配到各中间交换平面，具有较好的负载均衡度，与目前主流的 PPS 设计相比，易于硬件实现，具有较好的扩展性。
- 研究了支持 QoS 的三级 Clos 网交换结构。针对新一代网络对服务质量和交换容量提出的更高要求，在分析研究三级 Clos 网交换结构和调度算

法的基础上,对三级 Clos 网交换结构进行改进,提出了一种支持 QoS 的三级 Clos 分布式交换结构,分别从输入端口和输出端口进行了设计与分析;并从算法的有效性和复杂度等方面,对提出的交换结构的可扩展性和提高交换结构的 QoS 策略作了分析;并基于此结构提出了一种基于时限优先级可预测匹配的调度算法 DHIRRM 算法,该算法使三级 Clos 网互连交换结构能够提供更好的 QoS 保证。

- 研究了基于效用函数支持 QoS 的交换结构性能评价模型。分析了业务流的效用函数研究现状,给出了业务流的时延效用函数,提出了一种新型的性能评价模型——基于时延的效用函数评价模型,并借助“效用”最大化等理论,寻找出网络资源配置的较优方案。并且将该模型进行扩展,把时延、带宽这两个与业务流本身性质和用户直观感受最密切的指标科学地结合起来,提出了双指标的评价模型,使评价更具综合性、直观性和实用性。本方案能有效利用现有网络资源为各种业务流尽可能提供更好的服务质量。
- 将一体化网络的重要思想引入到 MPLS 网络,阐述了一体化网络的基本工作原理,着重分析了交换路由标识所发挥的作用;提出了一种新的基于协调数据流的 MPLS 网络抢占机制 TPN,该机制可以在保证高优先级数据流服务质量的前提下,快速恢复网络的稳定传输;通过重新设计出口、入口及核心路由器的工作机制,实现了网络资源优化分配的任务。并基于 NS2 平台进行了扩展仿真,验证了所提出的 TPN 机制。

## 1.4 本章小结

全文共分八章。第一章是绪论,介绍了本文研究背景与意义,并对一体化网络中的交换与路由进行了评述,对本文研究思路和主要工作进行了概括。第二章从 QoS 角度对典型的交换结构及调度算法进行了分析,将标识的概念引入交换结构,提出了基于标识的交换,给出了适合一体化网络基于标识支持 QoS 的交换技术应具有的特征。第三章提出了一种基于标识支持区 QoS 的 CICQ 调度机制。对

通信中用到的标识和区分 QoS 进行了定义和说明,基于 CICQ 分布式调度的优势,在 CICQ 交换结构基础上设计出支持区分服务的 DS-CICQ 交换结构,基于 DS-CICQ 交换结构,提出一种基于标识支持区分 QoS 的分布式动态双轮询 ID-DDRR 调度算法,并对其性能进行了理论分析和仿真验证。第四章分析了主流 PPS 交换技术的研究现状,并基于 CICQ 交换结构提出一种新型 PPS 解决方案 PSVIOQ-CICQ。该方案,采用在输出缓存引入 VIQ 队列结构的办法保证信元的传输顺序,基于此设计负载均衡器和分组整合器的调度算法,能够为不同服务需求的业务提供 QoS 支持,该方案基本达到了设计目标的要求,能够适应未来网络环境的要求。第五章针对 PSVIOQ-CICQ 解决方案的不足,提出一种 PSCICQ 解决方案,提出一种基于标识支持区分 QoS 的 PPS 调度机制。证明了 PSCICQ 体系结构能够保证业务信元的传输顺序;利用带缓存交叉开关的分布式调度特性,以业务类为单位管理网络数据流,在汇聚模块设置少量缓存采用双指针轮询算法 DPRR 实现区分 QoS 保障,保证了交换对高层不同业务类的有效支持。理论分析和仿真实验表明:文中提出的基于标识支持区分 QoS 的新型 PPS 实现方案是有效的,该系统不仅能实现保序功能,而且能对不同业务类实现区分 QoS 保障,能够比较均衡地将负载分配到各中间交换平面,具有较好的负载均衡度。第六章为了适应新一代网络对服务质量和交换容量提出的更高要求,在分析研究三级 Clos 网交换结构和调度算法的基础上,提出了一种基于 Clos 网络支持 QoS 的 DHiRRM 调度算法,该算法使三级 Clos 网互连交换结构能够提供更好的 QoS 保证。第七章研究了基于效用函数支持 QoS 的交换结构性能评价模型。将微观经济学中效用函数的思想引入到交换结构性能评价中,分析了业务流的效用函数研究现状,给出了业务流的时延效用函数,提出了一种新型的性能评价模型——基于时延的效用函数评价模型,并借助“效用”最大化等理论,寻找出网络资源配置的较优方案。并且将该模型进行扩展,把时延、带宽这两个与业务流本身性质和用户直观感受最密切的指标科学地结合起来,提出了双指标的评价模型,使评价更具综合性、直观性和实用性。第八章将一体化网络的重要思想引入到 MPLS 网络,研究了 MPLS 协议在新一代网络交换路由的应用中,提出了基于一体化 MPLS 网络架构的协调数据流抢占机制。

### 参考文献:

- [1] 中国互联网络信息中心. 第 29 次中国互联网络发展状况统计报告[EB/OL]. 中国互联网络信息中心官方网站, 2011.1.
- [2] Bigo, S., and W. Idler. Multi-Terabit/s Transmission over Alcatel Teralight Fiber[J]. Alcatel Telecommunications Review, 4th Quarter 2000, 288-296.
- [3] Iyer S, Awadallah A, McKeown N. Analysis of a packet switch with memories running slower than the line rate[C]. In Proceeding of the IEEE INFOCOM'00, Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 529-537.
- [4] L. Shi, B. Liu, W. Li, et al. DS-PPS: A Practical Framework to Guarantee Differentiated QoS in Terabit Routers with Parallel Packet Switch[C]. IEEE INFOCOM'06, Barcelona, Spain, 2006.4:1-12.
- [5] NewArch project: future-generation Internet architecture [EB/OL]. <http://www.isi.edu/newarch/>.
- [6] GENI: global environment for network innovations [EB/OL]. <http://www.geni.net>.
- [7] FIND: future Internet network design [EB/OL]. <http://find.isi.edu>.
- [8] 100x100 Project[EB/OL]. <http://100x100network.org/>.
- [9] 21CNProject[EB/OL].  
[http://www.btglobalservices.com/business/global/news.2005/edition\\_1/21CN.html](http://www.btglobalservices.com/business/global/news.2005/edition_1/21CN.html).
- [10] David Clark, Robert Braden. FARA: Reorganizing the Addressing Architecture [C]. ACM SIGCOMM, Germany, 2003:313-321.
- [11] A Bavier, N Feamster, M Huang. In VINI Veritas: Realistic and Controlled Network Experimentation [C]. ACM SIGCOMM , Pisa, Italy, 2006:3-14.
- [12] B Y Zhao, L Huang, J Stribling, et al. Tapestry: a global-scale overlay for rapid service deployment[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004 22(1):41-53.
- [13] Hongiu Yeom, Hwasung Kim. An efficient multicast mechanism for data loss prevention[C]. The 7th International Conference on Advanced Communication Technology, Phoenix Park, Korea: IEEE, 2005:497-502.
- [14] Gkantsidis C, Rodriguez P R. Network coding for large scale content distribution[C]. IEEE

- Proceeding of Infocom,Miami,FL,USA,IEEE,2005:2235-2245.
- [15] David D. Clark,Craig Partridge,Robert T. Braden,et al.Making the world(of communication) a different place[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2005 35(2):91-96.
- [16] 张宏科, 苏伟. 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务[J]. 电子学报.2007, 35(4):593-598.
- [17] 张宏科等. 一体化网络的构建方法和路由装置[P]. 中国专利, 申请号: 200610169726.3, 2006.
- [18] 郭云飞等. 一体化网络体系结构模型及交换路由理论与技术[R]. 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目课题申请书. 郑州: 国家数字交换系统工程技术研究中心, 2007-5.
- [19] H.Jonathan Chao. Next Generation Routers[J]. Proceeding of the IEEE,2002(9):1518-1558.
- [20] S.Keshav,Rosen Sharma Cornell. Issue and Trends in Router Design[J]. IEEE Communication Magazine, 2001(5):144-151.
- [21] Bux W,Denzel ED,Engbersen T, et al. Luijten RP.Technologies and Building Blocks for Fast Packet Forwarding[J]. IEEE Communication Magazine,2001,39:70-77.
- [22] 谢希仁. 计算机网络(第三版)[M]. 大连: 大连理工大学出版社.