

# 面向连接子网上的无连接网络层互连： 理论、方法、问题和展望

毕 军

(清华大学计算机系 北京 100084)

**摘 要** In this paper, we first give an overview of the connectless internetworking over connection-oriented subnetwork, from theory to application, then introduce the design and implementation of the transformation of ASPs and PDUs for IP over X.25 UNIX STREAMS-based. At last, the future research, interoperability testing, will be discussed.

**关键词** Internetworking, Abstract service primitive, Protocol data unit

## 1 引 言

网际互连研究目前十分活跃,其意义在于能解决客观存在的各种异构计算机网络的开放性互连,为实现真正信息化社会提供基础,它已成为国际上90年代计算机网络研究的热点课题,而且正在成为未来21世纪“信息高速公路”建设的重要技术雏形。

1995年2月在布鲁塞尔举行的西方七国首脑会议上,建议“全球信息高速公路”(或称全球信息基础设施 GII, Global Information Infrastructure)的计划被提上了日程。目前,Internet 已被人们普遍接受为 GII 的雏形。Internet 源于美国国防部的 ARPANET,在1982年开发了一组新的协议,其核心是传输控制协议(TCP)和网际互连协议(IP)。现在,TCP/IP 已经成为这组协议的代名词。今天,几乎所有工作站和 UNIX 系统都采用 TCP/IP 作为它的网络软件,而 PC 机上也出现了相应的 TCP/IP 软件,这使得采用 TCP/IP 的计算机和异构网络互连成为可能。目前,Internet 已成为全球最大的计算机网络,它连接的国家地区已近170个,连接着世界各地上万个异构子网,入网计算机已达几百万台,用户达数千万,并且每分钟都在高速增加。预计到2000年,Internet 将发展到数千万台计算机、几百万个异构子网和数亿的用户。Internet 已成为事实上的工业

标准,可以认为 Internet 是一个成功的开放型异构网络。

清华大学计算机系在参加国家“八五”重点科技攻关课题的研究中,对面向连接子网上的无连接网络层互连进行了研究,考虑到我国 X.25 公用分组交换数据网的作为 WAN 的骨干作用和 Internet 上丰富的资源,我们采用 UNIX 提供的一种用于开发通信协议的 STREAMS 机制重新构造了 UNIX 内核,在 UNIX 核心对 IP/X.25 路由软件进行了设计和实现。该软件不仅可以使 PC 机作为主机加入公用分组交换数据网,而且可以使 PC 机作为路由器实现 WAN 与 LAN 的互连。

本文提出了一个网络协议软件的抽象模型,对面向连接子网上的无连接网络层互连中的理论问题进行了探讨。我们采用 STREAMS 机制介绍了 ASPs 和 PDUs 转换的一般原理和在 IP/X.25 路由软件中的实现。最后,我们将提出一个崭新的研究领域。

## 2 网络协议的抽象模型的一般描述

复杂的数据通信系统并不使用单一协议处理所有的任务。网络按层的方式来组织,每一层都向上一层提供一定的服务,而如何实现这一服务则对上层屏蔽。上层是服务用户,下层是服务提供者。(N)层实

毕军 博士生。

体之间使用(N-1)层实体提供的服务,与通信对象的(N)层实体遵守共同的(N)层协议。层间服务通过抽象服务原语(ASP)实现。(N-1)-ASPs 规定了(N)实体与(N-1)实体通信的一组原语。服务在服务访问点(SAP)实现。各层之间通信通过协议数据单元(PDU)来进行数据传递。

在 ISO/OSI 中定义了两类数据单元:服务数据单元 SDU 和协议数据单元 PDU。(N)-PDU 是在互相通信的(N)实体之间按(N)协议定义的信息单元;(N)-SDU 是(N)层与(N-1)层之间进行传输的数据单元。(N)-PDU 作为(N-1)-SDU 通过(N-1)-SAP 到达(N-1)层,在(N-1)层加入(N-1)-PCI(协议控制信息),形成(N-1)-PDU,并通过(N-2)-SAP 继续下送。即:

$$[(N)-PDU] = [(N-1)-SDU]$$

$$[(N-1)-PDU] = [(N-1)-PCI] + [(N-1)-SDU]$$

每个协议层尽管具体功能不同,但其外部特征是相似的,我们可以构造(N)协议软件的抽象模型,如图 1 所示:

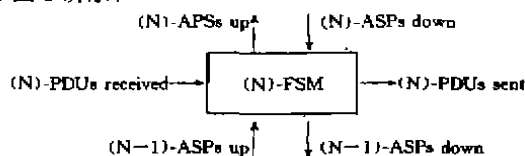


图 1 (N)层协议软件的抽象模型

(N)层协议软件要按(N)协议的要求,定义相应的数据结构表示(N)-PDUs,并设计相关的 ASPs 接口,为上层提供服务调用格式,并使用下层提供的 ASPs 接口。(N)协议软件必须有对 PDUs 进行编码/解码的模块。(N)协议软件的核心是协议有限状态机(FSM),它根据相应的事件和当前所处的状态,采取相应的动作,并转移到下一个状态,以完成(N)协议所规定的功能。

### 3 面向连接子网的无连接网络层互连

#### 3.1 OSI 中定义的两类服务

网络层与运输层的界面通常是通信子网与入网主机间的界面,所以网络层提供的服务一般意味着通信子网的服务。子网类型主要有两种:面向连接和无连接的。国际标准化组织 ISO 描述了网络层与运输层界面的面向连接和无连接的服务原语(ISO

8348),面向连接的服务原语比较复杂,有 16 条,而无连接服务原语只有 5 条。

在面向连接的子网服务中,网络层的功能很强,所做的事情很多,如差错控制、流量控制和确认机制等,都由子网完成,所以对入网主机的要求不高;而在无连接子网服务中,子网只做很少的工作,把大量工作留给主机的运输层来做,所以对入网主机的软硬件相对要求较高。

#### 3.2 OSI 中定义的两类网络层互连方案

异构网互连是使一个网络上的用户都能访问其他网络上的资源,它的实现是很有意义的。ISO 8648 和 ISO 8880 定义了两类网络层的子网互连方案,一种是 hop-by-hop 法,一种是 Internetworking Protocol 法。前者可以提供连接方式的网络互连,它以一个功能较全的子网的网络层服务为基础,在另一个子网的服务上附加补充的网络协议,以实现互连。这要求所选的子网的服务功能比较强,所以一般选取面向连接的子网<sup>[1]</sup>。后者只能在异构网间实现无连接方式的互连。它在所连的几个子网上定义公共的网际互连协议,在各子网上都要实现对网际互连协议的支持,在网关(路由器)上实现互连管理。网际 PDUs 在子网间传递,经路由器进行路径选择和转发。子网必须识别网际 PDUs,并实现网际 PDUs 与子网 PDUs 的转化<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 在面向连接子网上实现无连接网络层互连

Internetworking Protocol 法是目前国际上比较常用的网络互连方案。Internet 正是采用这一思路,它以 IP 作为互连协议,把 IP Datagrams 作为网际 PDUs,在各子网上实现对 IP Datagrams 的支持,而在网关上负责 IP Datagrams 的路由和转发。ISO 8473 定义了无连接网络层互连的国际标准<sup>[3]</sup>。

无连接网络层互连可以实现无连接子网的互连,也可以实现面向连接子网的互连,只要这些子网均提供对无连接网络层互连协议的支持即可。由于无连接网际互连协议要求子网提供无连接 ASPs,所以在无连接子网上进行无连接互连是简单和常见的,如 IP 实现 LAN 的互连。在面向连接子网上实现无连接网络层互连复杂一些,它需要进行无连接 ASPs 与面向连接 ASPs 的映射。然而,由于广域网

(如 X.25、Frame Relay、ATM 等)主要是面向连接的,而网际互连的主要方式是无连接网络层协议互连,所以在面向连接子网上实现无连接网络层互连是十分重要的,一种典型的例子是在 X.25 分组交换数据网(PSDN)上实现 IP 互连。

X.25 协议是国际电报电话咨询委员会 CCITT (现为 ITU)制定的“公用数据网中通过电路连接的数据终端设备(DTE)和数据电路端接设备(DCE)之间的接口”的建议<sup>[5]</sup>。它已成为国际公认的组建 PSDN 的基础,目前已在世界上许多国家普及,我国于 1993 年建成我国国家主干网 CHINA PAC,形成了有主干网和地区网组成的覆盖全国的公用数据网,1995 年底将提供 5 万多个端口,未来将连接几乎所有的县城。由于 X.25 网在我国作为广域网(WAN)的主干作用和我国各单位局域网(LAN)的普及,实现 WAN 与 LAN 的互连很有意义。采用 IP 协议实现 X.25 网与 LAN 通过路由器的互连,而整个 LAN 可在路由器处抽象为 X.25 的一个 DTE<sup>[4]</sup>,如图 2 所示。

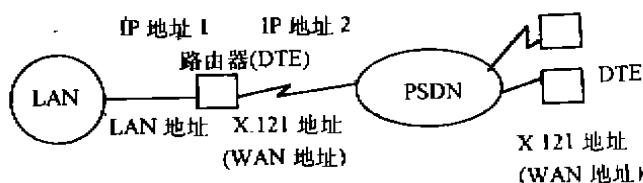


图 2 X.25 网与局域网的异构网互连

#### 4 ASPs 映射和 PDU 转换问题

X.25 网与 LAN 的 IP 互连中,需要解决 ASPs 映射和 PDU 转换问题,我们在 UNIX 内核中,采用 STREAMS 机制进行了设计和实现。

##### 4.1 ASPs 和 PDU 分析

IP 要求下层提供无连接子网 ASPs,它由两个原语组成:DL\_UNITDATA\_req 和 DL\_UNITDATA\_ind。IP 的 PDU 是 RFC 791 定义的 IP 数据报<sup>[4]</sup>。

X.25 分组层提供面向连接的网络层 ASPs 接口,它由 CCITT X.213 定义的网络层 16 个服务原语组成 N\_CONNECT request/indication/response/confirmation; N\_DATA request/indication; N\_DATA ACKNOWLEDGE request/indication; N\_EX-

PEDITED DATA request/indication; N\_RESET request/indication/response/confirmation; N\_DISCONNECT request/indication。其 PDU 是 X.25 建议第 5 节定义的分组格式。

##### 4.2 隧道效应

为了实现面向连接子网上的无连接网络层互连,需要在此子网上实现对该互连协议的支持。这要求实现一个协议转换机制。隧道效应(Tunneling)就是把具有自身协议的复杂网络作为一般物理传输系统对待。在 X.25 分组层之上实现 IP 互连,每一个 IP 数据报传输隧道就是一个 X.25 连接(虚电路)。RFC 877<sup>[7]</sup>和 RFC 1356<sup>[8]</sup>对 X.25 网上传输 IP 数据报提供了标准,它要求转换机制具有以下功能:在面向连接子网服务上模拟无连接子网服务平台,即实现 ASPs 的转换;网际 PDU 作为 X.25 完整包序列传输;子网对互连协议的识别;网络地址的映射;解决互连机制中的相关问题,如虚电路管理等。目前,几乎所有路由器软硬件都采用了这一标准,如 Sunlink 和 CISCO 等。

##### 4.3 基于 STREAMS 机制的设计与实现

为了实现路由器的高效率,我们在 UNIX 内核中进行设计和实现,这里用到了 STREAMS 机制。STREAMS 机制是 UNIX 为开发通信服务提供的一套通用灵活的工具,它包括一整套系统调用、核心数据结构和例程。我们采用 AT&T UNIX SVR4.0,将 IP 层、IP/X.25 路由层和 X.25 分组层分别实现为 UNIX 核心中的多路器,将 X.25 LAPB 实现为模块,将 X.25 物理层同步卡驱动实现为设备驱动程序,它们可对 STREAMS 上传送 Message 进行识别和处理。

由于 IP 只识别无连接数据报服务,所以 ASPs 映射要将一组数据报的发送原语映射为一组与连接有关的原语(建立、拆除、重置等)和数据传输原语,并引入应答机制,这些工作都可以通过有限状态机实现。利用 STREAMS 的通信机制,ASPs 可以作为 STREAMS 中的 Message 来识别。我们将 ASPs 设计为原语类型的消息 M\_PROTO,把相关控制和状态设计为 M\_IOCTL。PDU 作为消息中的数据块,由有关指针指示。

IP 数据报作为网际 PDUs 以 X.25 数据分组的数据部分附加分组头后传输。由于 X.25 数据分组一般采用 128 字节的长度,而 RFC 877 要求至少支持 576 字节的 IP Datagram (RFC 1356 要求更长),所以源主机可以采用 M-bit 来实现对 IP Datagram 的分段,在目的主机上根据 M-bit 来完成对同一 IP 数据报的一组 X.25 数据分组的识别和重组。

我们把服务界面设计为一组规定的消息及通过边界传递这些消息的规则。网络体系结构和高层协议可以独立于基础协议和通信媒体。我们通过实现可兼容的服务界面,同样的协议模型可以随驱动程序不同而用于不同的机器上,同一台机器上具有同等服务界面实现的多个协议模块可以进行替换。这样,我们今后对模块加以改造就可以适用于对不同互连协议的支持和同一互连协议对不同子网的互连,同时也适于在不同的机器和物理适配器上实现移植。由于具有可移植性、可替换性、可迁移性和可复用性,为我们今后的工作提供了很好的基础。

## 5 结论和展望

本文就面向连接子网上的无连接网络层互连所涉及的机制和理论模型进行了讨论,并以具体实现为例对所提出的理论进行了支持。我们在 IP/X.25 路由软件中已成功地实现了广域网(X.25)与局域网(Ethernet)的 IP 互连,并于 1995 年 9 月通过了国家“八五”攻关鉴定。1992 年制定的 RFC 1356、1993 年制定的 RFC 1490<sup>[9]</sup>和最近(1995 年)制定的 RFC 1754<sup>[10]</sup>、RFC 1755<sup>[11]</sup>对 X.25、ISDN、Frame Relay、ATM 等协议上的多协议互连(IP、CLNP、SNAP 等)进行了建议,最近下一代 IP 协议(IPng)<sup>[12]</sup>的研究在国际上也十分火热。随着 B-ISDN 和高速网如 ATM 和 INTERNET 的发展,异构网互连技术必将越来越重要,成为构成未来信息高速公路的基础。我们将在今后的工作中对其进行研究。

异构网互连的前途是不是一片光明了呢?我们在研究中发现了一个重要的问题,就是异构网互连造成的互操作问题。由于异构性,造成了同一协议的不同版本之间和同一功能的不同协议实现之间的互操作问题。这个问题在异构网互连中日益突出,我们

认为它将成为今后一个重要的研究方向,而解决这个问题关键是进行互操作测试。今年 9 月在法国举行的 IWPTS 第 9 次年会上决定将互操作测试作为下次年会的重要题目。目前真正意义上的互操作测试理论框架还没有形成,它的研究在国际上刚刚起步。我们将在“九五”期间花比较大的力气进行这个课题的研究。这不仅对协议测试领域是有重大理论意义,对异构网互连更具有重大的实践意义。

## 参考文献

- [1] D. M. Piscitello 等, Internetworking in an OSI Environment, Data Comm., Vol. 15, No. 5, 1986
- [2] H. Schepers 等, LAN/WAN interworking in the OSI environment, Computer Network & ISDN System 23, 1992
- [3] ISO/IEC 8437, Information Processing System—Data Communications—Protocol for Providing the Connectionless Mode Network Service, 1988
- [4] 毕军, X.25 分组层上多协议互联中网络地址映射的研究与实现,《微型计算机》, 1995 年第 4 期
- [5] CCITT Recommendation X.25, Interface between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-terminating Equipment (DCE) for Terminals Operating in the Packet Mode on Public Data Networks, 1988
- [6] RFC 791, Internet Protocol, 1981
- [7] RFC 877, A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Public Data Networks, 1983
- [8] RFC 1356, Multiprotocol Interconnect to X.25 and ISDN in the Packet Mode, 1992
- [9] RFC 1490, Multiprotocol Interconnect over Frame Relay, 1993
- [10] RFC 1754, IP over ATM Working Group's Recommendations for the ATM Forum's Multiprotocol BOF, 1995
- [11] RFC 1755, ATM Signaling Support for IP over ATM, 1995
- [12] RFC 1752, The Recommendation for the IP Next Generation Protocol, 1995