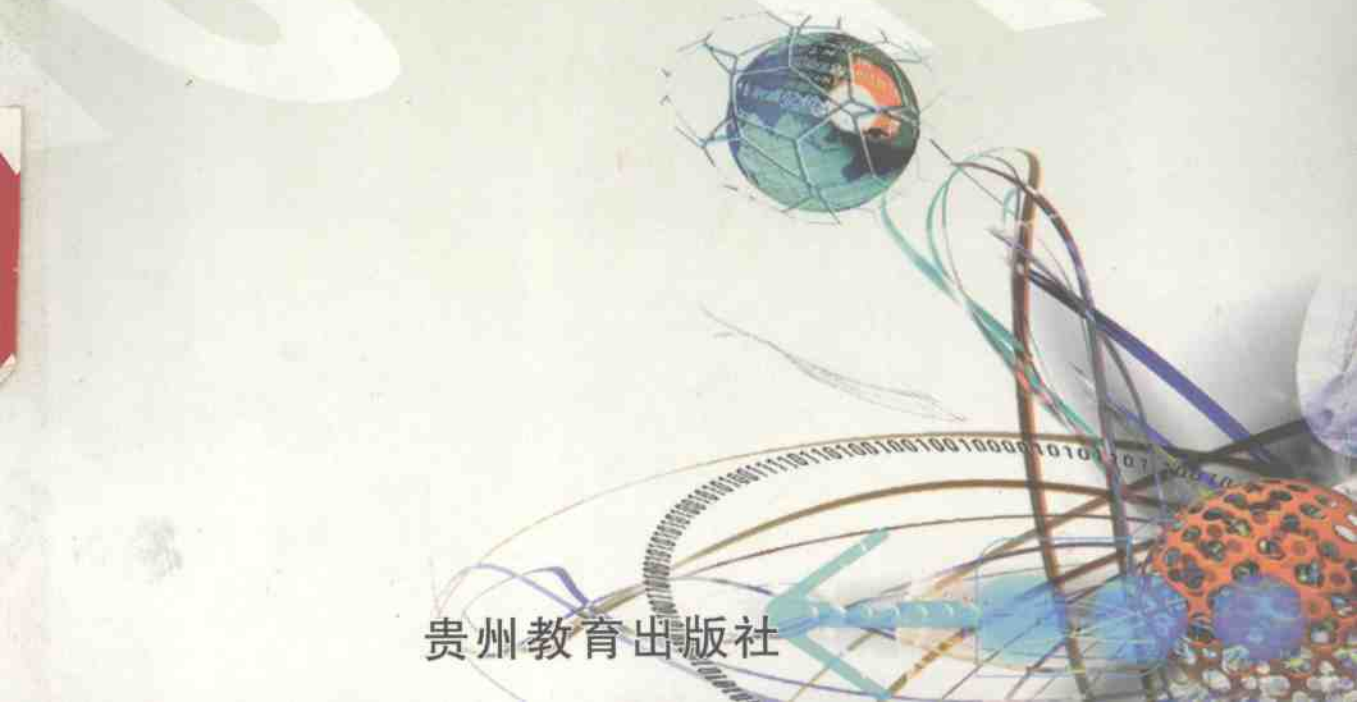
下一代互联网核心通信协议

——IPv6原理及应用

傅光轩 高鸿峰 卢朝晖 编著



贵州教育出版社

下一代互联网核心通信协议

——IPv6 原理及应用

傅光轩　高鸿峰　卢朝晖　编著

贵州教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

下一代互联网核心通信协议:IPv6 原理及应用/傅光轩编著.—贵阳:贵州教育出版社,2004.11
ISBN 7-80650-534-2

Ⅰ.下… Ⅱ.傅… Ⅲ.因特网—通信协议
Ⅳ.TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111551 号

下一代互联网核心通信协议
——IPv6 原理及应用
傅光轩　高鸿峰　卢朝晖　编著

出版发行　贵州教育出版社
地　　址　贵阳市中华北路 289 号(邮编:550004)
印　　刷　贵州兴隆印务有限责任公司
开　　本　787mm×1092mm　1/16
印张字数　15.75 印张　380 千字
版次印次　2004 年 11 月第 1 版　2004 年 12 月第 1 次印刷

书　　号　ISBN7-80650-534-2/TN·1　**定价:35.00 元**
如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。
厂址:贵阳市金丰路 5 号　电话:6774152　邮编:550004

前　言

以因特网为代表的计算机互联网络已经渗透到人类社会的各个领域，成为国家进步和社会发展的重要支柱。因特网的广泛使用，得益于它所采用的通信协议——TCP/IP 协议。可以说，TCP/IP 协议是因特网的基础，它主要由两个协议构成，即 IP 协议和 TCP 协议。目前我们使用的 IP 协议是第 4 版，通常称为 IPv4。随着互联网的飞速发展，IPv4 已经不能满足需要。因此，IETF 工作组于 1995 年 12 月提出了 RFC2460 标准协议规范，这就是 IPv6 最早的文档。为了对 IPv6 协议特性进行研究并积累 IPv6 组网经验，IETF 于 1996 年建立了全球范围的 IPv6 实验床 6Bone。经过几年的实践和修改，到 1998 年 IPv6 得到进一步的完善。IPv6 是 IPv4 的升级和优化，是下一代互联网的核心通信协议。

IPv4 过渡到 IPv6，只是时间问题。因此不少人都渴望了解有关 IPv6 的知识。本书的宗旨就是较全面地、通俗地介绍 IPv6，使读者通过阅读本书，能对 IPv6 有一个比较全面的了解。本书的特点是注重基础，强调应用，理论联系实际。在讲清 IPv6 原理的前提下，结合我们建立 IPv6 实验床的实践，较详细地介绍了 IPv6 的各种应用系统及其实现方法。

本书由 17 章组成。第 1 章简要介绍计算机网络体系结构的概念；第 2 章简要介绍著名的 ISO/OSI 体系结构；第 3 章介绍 TCP/IP 协议簇；第 4 章介绍 IPv6 产生的背景；从第 5 章到第 11 章较系统地介绍了 IPv6 的原理；第 12 章到第 14 章介绍 IPv6 的主要应用系统及实现技术；第 15 章介绍了 IPv6 下的 Socket 编程及其应用实例；第 16 章简要介绍从 IPv4 到 IPv6 的过渡技术；第 17 章介绍如何建设 IPv6 试验床。

本书由傅光轩教授主编，高鸿峰、卢朝晖参加编写。傅光轩拟定编写大纲，并编写了第 1、2、3、4、5、6、7、8、10、11、16 章。高鸿峰编写了第 9、12、13、14、17 章。卢朝晖编写了第 15 章和 13.5 节。全书由傅光轩教授审阅定稿。

本书可作为高等学校计算机及相关专业的本科生、研究生的教材或教学参考书，也可作为有关人员学习了解 IPv6 用书。

在本书编写过程中，我们参考了有关著作和文献，在此一并表示感谢。

IPv6 出现的时间毕竟不太长，并且 IPv6 的许多特性还处在研究、完善和发展中，加之对 IPv6 的实践也不多，因此，书中缺点与错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编　者

2004 年 6 月

目 录

第1章 计算机网络体系结构的概念

在一个计算机网络中，计算机之间的通信必须协调进行，这种“协调”是相当复杂的。为了减少网络设计的复杂性，网络设计的专家们提出了协议分层的思想。1974年，IBM公司提出了它的“系统网络体系结构”SNA(System Network Architecture)，成为世界上较为广泛使用的一种网络体系结构。DEC公司也提出了自己的网络体系结构“数字网络体系结构”DNA(Digital Network Architecture)。后来，国际标准化组织ISO提出了不同网络互联的标准框架，即著名的“开放系统互联参考模型”(Open System Interconnection Reference Model)，简称OSI/RM。ISO的OSI/RM的推出，表明网络发展走向标准化。标准化的最大体现就是Internet的飞速发展。在本章，我们将简要介绍计算机网络体系结构的概念。

1.1 网络协议

计算机网络的一个重要功能就是实现资源共享，交换信息。不同计算机之间要实现资源共享，交换信息，它们必须有一些规则和约定，并且进行通信的双方必须遵守这些规则和约定。在计算机网络中，通信双方必须遵守的规则或约定的集合，通常称之为“通信协议”(或者叫做网络协议)。

一个计算机网络协议有3大要素：语法、语义和时序。

所谓“语法”，就是对信息的数据结构所作的规定，即对数据和控制信息的结构与格式的约定。

所谓“语义”，就是对协议元素含义的解释。比如对各种控制信息以及完成的动作和做出何种应答等的解释。

所谓“时序”，即对事件实现顺序的详细说明。

协议对计算机网络是必不可少的。不同的网络、不同厂家的网络产品，可能使用的协议不一样。但是，为了实现不同网络、不同网络产品之间的互联互通，它们必须遵守一些共同的标准，这就是所谓的协议标准化问题。目前流行的网络协议很多，但最主要的有国际标准化组织ISO提出的“开放系统互联参考模型”OSI/RM(Open Systems Interconnection Reference Model)，即通常所说的ISO/OSI模型，美国电气工程师协会提出的IEEE802协议系列和Internet广泛使用的TCP/IP协议簇。

1.2 协议分层与计算机网络体系结构

计算机网络是一个十分复杂的系统，如何使一个复杂系统便于理解、便于实现和管理呢？通常的办法是采取“分而自治”的思想，使复杂的问题简单化。因此，人们为了减少网络系统在实现时的复杂性，提出了网络系统协议“分层”的思想。这样做的目的是使得协议的设计、分析、实现、编程、测试、修改和维护变得简单、容易。

协议分层的方法很多，但都基于一个基本思想：信宿机第 n 层所收到的对象应当与信源机第 n 层所发出的对象完全一致。

协议分层，每层应具有其特定的功能，且每层都建立在它的下层之上，下层向上层提供服务。在每一对相邻层之间有一个接口（软接口），定义下层向上层提供的操作和服务。如何实现这种服务的细节对上层是屏蔽的。不同的网络，分层的数量、各层的名称、每层的内容和功能等都不尽相同。

在计算机网络中，两台主机如何进行通信呢？从逻辑上讲，是一台主机的第 n 层与另一台主机的第 n 层进行通信，通过第 n 层协议。不同主机上所包含的对应层实体通常叫“对等实体”。也就是说，两台主机之间的通信，就是对等实体利用协议进行通信。但是，从物理上看，数据不是从一台主机的第 n 层直接传送到另一台主机的第 n 层，而是每一层都把数据和控制信息传给它的下一层，这样一层一层往下传，直到最底层，最终通过物理介质把数据传送给信宿

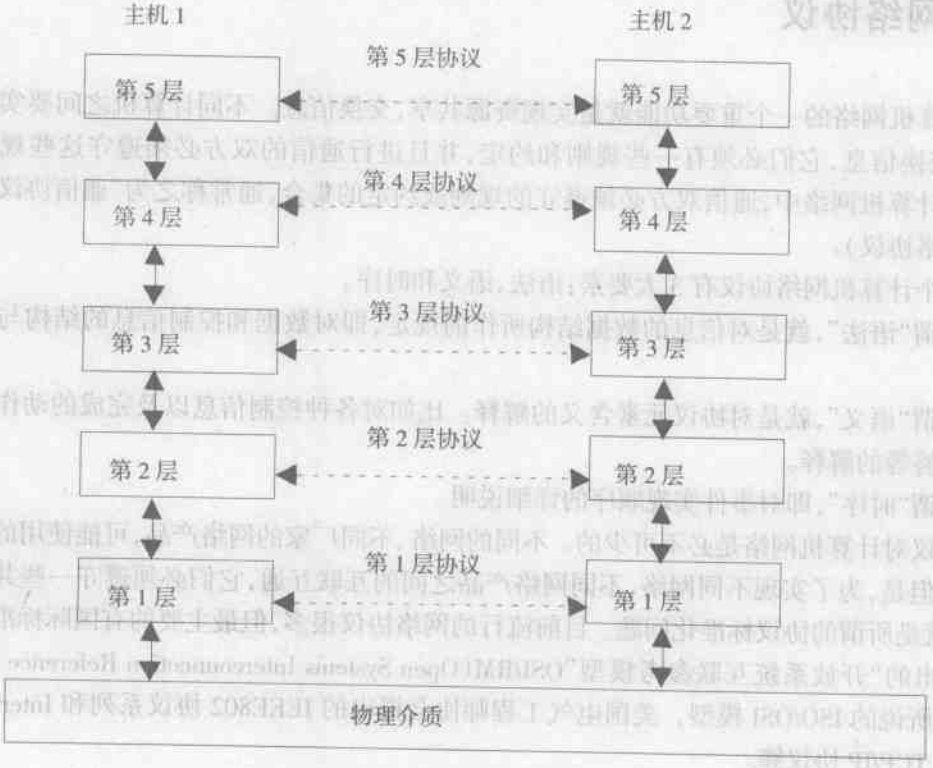


图 1.1 两台主机之间的通信过程

机。两台计算机之间的通信过程如图 1.1 所示，图中我们假设协议分为 5 层。

通常把协议和分层的集合称为计算机网络的体系结构（Computer Network Architecture）。也就是说，计算机网络体系结构是关于网络如何分层，每一层应当提供哪些功能的精确定义。至于这些功能如何实现（包括软件和硬件），不属于网络体系结构范畴，而属于计算机网络体系结构的实现。计算机网络体系结构是抽象的，而实现是具体的。

1.3 接口和服务

前面我们提到，在分层结构的网络体系结构中，每层都向它的上层提供服务。上下层之间如何实现服务呢？为此，我们先介绍几个术语。

（1）实体（Entity）：任何可发送或接收信息的硬件或软件，在计算机网络中统称为“实体”。

（2）对等实体（Peer Entity）：在网络层次体系结构中，不同主机上居于同一层的实体，称为“对等实体”。

（3）服务（Service）：是各层向它的上一层提供的一组操作。

N 层实体实现的服务被 N+1 层所利用。在这种情况下，N 层实体被称为服务提供者（Service Provider），N+1 层被称为服务用户（Service User）。

服务通过什么来实现呢？通过服务访问点 SAP 来实现。N 层的服务访问点就是 N+1 层可以访问 N 层服务的地方。每个 SAP 都有一个唯一标识的地址。

在计算机网络中，服务通常有两种形式：面向连接的服务和无连接的服务。

面向连接的服务（Connection-oriented Service）：两实体在进行通信之前，通信双方必须先建立连接，然后才能进行数据传输，数据传输完成后，要释放连接。这个过程类似于使用电话进行通话的过程。

无连接服务（Connectionless Service）：两实体在进行通信之前，通信双方不需事先建立连接，在数据传输时动态分配网络资源，每个要传输的数据单位都携带有信宿地址，在系统中独立传送。这种服务可以看成邮政服务模式的抽象。在这种服务模式下，先发出的数据不一定先到达目的地，因为不同的数据可能选择不同的路径到达目的地。无连接的服务不保证报文传输的可靠性。

要注意，协议和服务是有联系又有区别的两个概念。协议的实现保证了能够向上层提供的服务，服务用户只能看见服务提供者所提供的服务而无法看见协议，协议对上层的服务用户来说是透明的。协议是“水平”的，即是控制对等实体之间通信的规则；而服务是“垂直”的，即是下层向上层通过接口提供的。

1.4 协议数据单元

同等层实体之间交换信息的基本单元叫做“协议数据单元”PDU（Protocol Data Unit）。每

个 PDU 一般包括两部分内容：协议控制信息 PCI(Protocol Control Information)和来自上层的服务数据单元 SDU(Service Data Unit)。协议数据单元与服务数据单元的关系如图 1.2 所示。

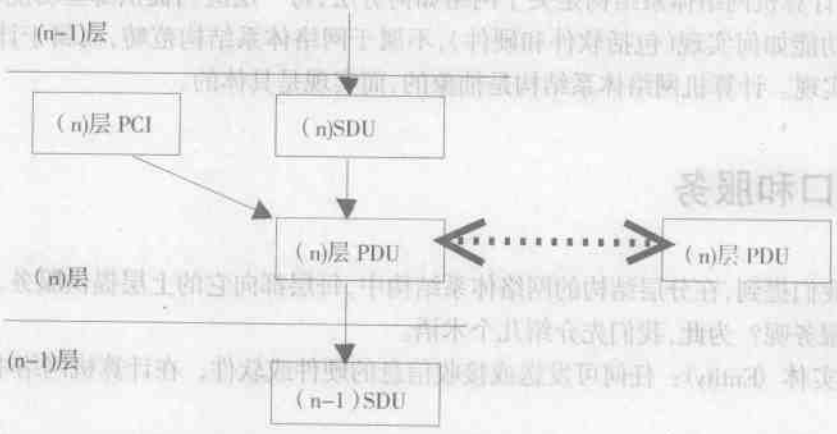


图 1.2 协议数据单元

在有些网络体系中，把网络层的 PDU 叫做数据报文(简称报文)或者分组(Packet)，在本书中，我们也使用数据报文。链路层的 PDU 叫做数据帧(Frame)(通常简称为“帧”)。

1.5 服务原语

服务是通过一组原语来描述的，(n)层实体所提供的服务用服务原语(Service Primitive)来表示。原语可划分为 4 类，即请求、指示、响应和确认，如表 1.1 所示。

表 1.1 四类服务原语

原 语	含 义
请求(request)	用户实体发出请求服务的要求
指示(indicate)	告诉用户实体某事件发生
响应(response)	实体对某事件的响应
确认(confirm)	对请求的答复

“请求”原语是用于服务用户提出某项服务的请求，比如请求建立连接、发送数据等。服务提供者执行这一请求后，将用“指示”原语通知接收方的用户实体。例如，某实体发出“连接请求”(CONNECT.request) 原语之后，该原语地址段内所指向的接收方的对等实体将得到一个“连接指示”(CONNECT.indicate)原语，告诉它有实体要与之建立连接。收到连接指示原语的实体用“连接响应”(CONNECT.response)原语给予响应，表示是否愿意接受建立连接的请求。无论接收方是否愿意建立连接，请求建立连接的一方都可以通过接受“连接确认”(CONNECT.

confirm)原语来知道接收方的态度。

原语可以带参数,而且大多数原语都带有参数。比如,“连接请求”原语可以带参数指明“要与哪台机器连接”、“需要的服务类别”、拟在该连接上使用的“最大报文长度”等。“连接指示”原语的参数可以指明“呼叫者的标志”、“需要的服务类型”、“建议的最大报文长度”等。如果被呼叫的实体不同意呼叫实体建议的最大报文长度,它可以在“连接响应”原语中提出一个新的建议,呼叫方会从“连接确认”原语中获知。

服务分“有确认”和“无确认”。对有确认的服务,包括“请求”、“指示”、“响应”和“确认”4个原语,而无确认的服务只有“请求”、“指示”两个原语。

建立连接的服务总是“有确认”的服务,对于建立连接的请求,可用“连接响应”作肯定的应答,也可以用“断连请求”(DISCONNECT.request)表示拒绝,做否定的应答。数据传送可以是有确认的,也可以是无确认的,取决于发送方是否需要确认。

第 2 章　ISO/OSI 体系结构

在计算机网络体系结构中，ISO/OSI 是非常重要的一种体系结构，这种体系结构是国际标准化组织制订的一种网络体系结构。

2.1　ISO／OSI 的协议层次

ISO/OSI 体系结构从逻辑上将计算机网络功能划分为 7 个层次，如图 2.1 所示。

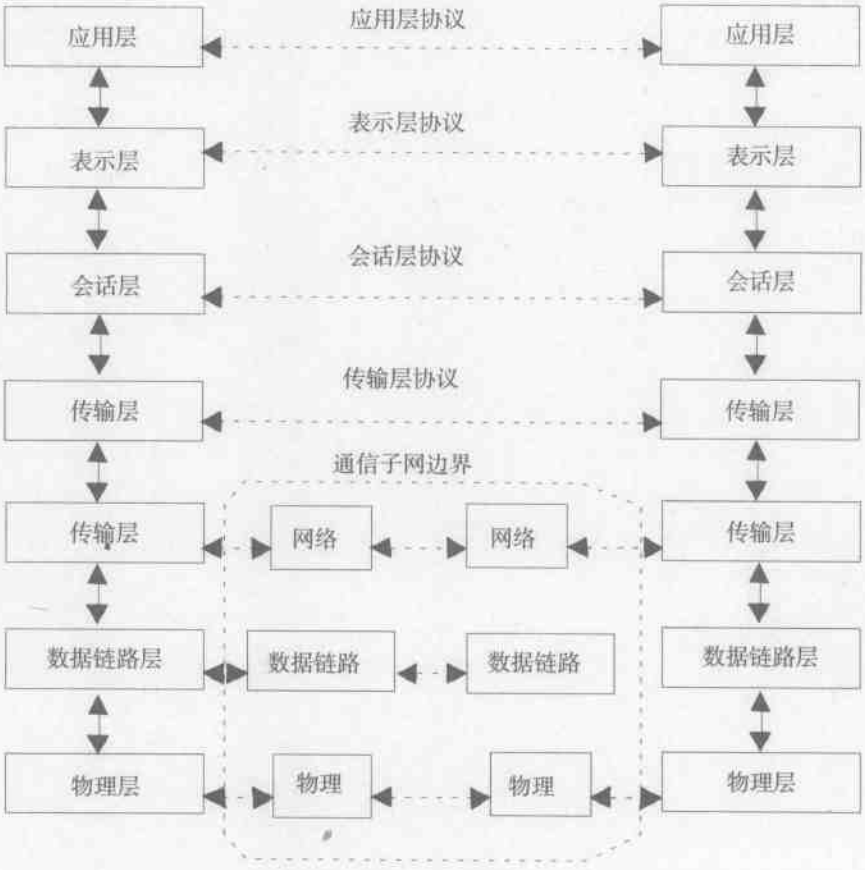


图 2.1　ISO/OSI 参考模型

从底向上分别是:物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。下面简要介绍一下各层的功能。

2.2 物理层

物理层是七层协议的最底层,它的功能主要是定义物理链路的机械、电气、功能特性,通过与物理介质建立、维持和拆除物理连接,给数据链路实体之间提供数据位流的透明传输。

物理层有如下 4 个重要特性:机械特性(比如接口的形状、插针的分配、引线的数目和排列等);电气特性(比如接口电缆的某条线上电压、电平等);功能特性(即接口电路的功能规定,比如某一电平电压的含义等);规程特性(比如接口电路所使用的规程、协议标准、各种可能事件的出现顺序等)。

物理层的主要功能有:

◆为数据端接设备提供传输数据的物理通路。无论何种通信,通信双方都得通过物理传输介质来连接,计算机间的通信也如此。

◆传输数据的功能。为使数据能够在物理介质上有效传输,可能对传输的数据要进行适当转换,转换成在通信链路上可以传输的格式。另外,要为数据的传输提供足够的带宽。数据传输方式可以是点到点方式、点对多点方式,串行或并行方式,全双工或半双工通信方式,同步或异步方式传输等。

◆提供各种必要的服务质量参数和故障状态信息,比如传输误码率、速率、延时、服务可用性、时序等。

◆编码,0 和 1 在可用的信号系统中如何表示。

最常见的物理层的接口标准有:RS-232-C 接口标准、RS-449 接口标准等。RS-232-C 是美国电子工业协会 EIA 制订的物理层接口标准,它是 DTE(Data Terminal Equipment)与 DCE(Data Circuit Equipment)之间的接口标准,采用 25 根插针的标准连接器。RS-232-C 接口标准的数据传输速率较低(小于 20Kb/s),连接电缆的最大长度不超过 15m。因此,EIA 又制订了一个新的标准 RS-449。RS-449 实际上由 3 个标准构成,即 RS-449,RS-423-A 和 RS-422-A 电气标准。RS-449 规定接口的机械特性、功能特性,采用 37 根引脚的插头座,在 CCITT 的建议中,相当于 V.35;RS-422-A 标准是平衡方式的,最高速率可达 10Mb/s(当电缆长度在 10m 时);RS-423-A 标准是非平衡方式的,比 RS-232-C 有更大的电缆长度和更高的速率。

在计算机网络中,最常用的传输介质有:双绞线、同轴电缆、光纤、微波、红外线等。

双绞线一般分为屏蔽双绞线 STP(Shielded Twisted Pair)和非屏蔽双绞线 UTP(Unshielded Twisted Pair)两大类。目前计算机网络中,双绞线主要用于室内数据传输。屏蔽双绞线 STP 比非屏蔽双绞线 UTP 有更好的特性,特别是具有较好的抗干扰能力和保密性能,一般用于对保密性要求较高的场合。但是,在大多数网络环境下,都使用非屏蔽双绞线。对于数据传输来说,最常用的非屏蔽双绞线是 5 类双绞线和超 5 类双绞线。

室外的传输介质用得最多的是光纤,它具有传输损耗小、容量大、距离远、抗干扰(雷电、电磁干扰)能力强、保密性好、体积小、重量轻等优点,是计算机网络最好的一种传输介质。光纤分多模和单模两种,单模光纤比多模光纤的传输距离更长,具有更高的数据传输速率。在计算机