

# 第 3 章 网络访问层

TCP/IP 协议栈的最底层是网络访问层，其中包含的服务与规范用于管理网络硬件的访问方式及规则。本章将介绍网络访问层的功能以及它与 OSI 模型的关系，并介绍网络访问层的典型应用网络——以太网。

本章要点：

- 网络访问层的功能
- 协议与硬件的关系
- 物理寻址方式
- 以太网的特点

## 3.1 网络访问层的功能

在 TCP/IP 协议栈中，网络访问层负责数据的连接与发送，其所在的位置对应于 OSI 模型的物理层和物理链路层，如图 3-1 所示。

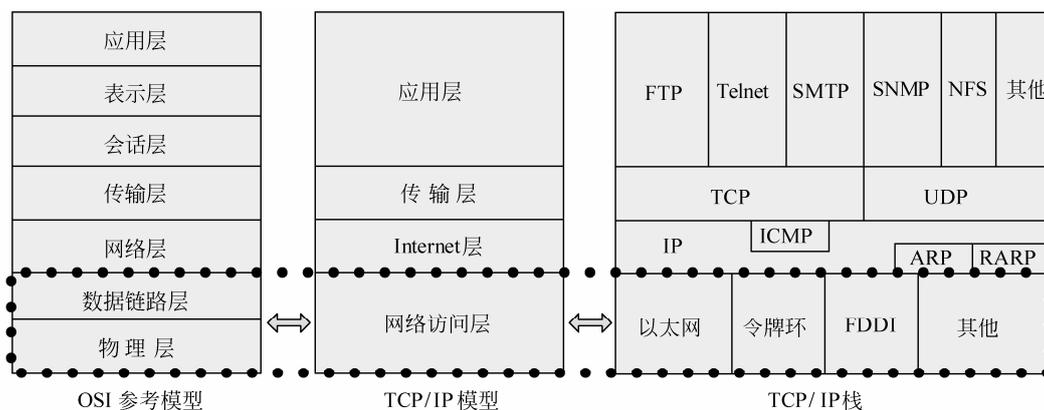


图 3-1 网络访问层与 OSI 模型

通过图 3-1 可以看出，TCP/IP 的网络访问层对应于 OSI 模型中的第一层和第二层，而对应于 TCP/IP 协议栈中的以太网、令牌环等接口，最常见的则是以太网。关于以太网的详细功能在本章的后文中还将详细讲解。

## 3.2 协议与硬件的关系

网络访问层是最神秘、最不统一的 TCP/IP 层，它负责管理为了实现最底层的物理网

络设备传送数据所必需的相关事务，包括：

- (1) 连接通信的计算机网络适配器（网卡）；
- (2) 根据设定的规则调整数据的传输；
- (3) 将数据转换为电子流或模拟脉冲的形式，以在传输介质上进行传输；
- (4) 对接收到的数据进行错误检查；
- (5) 为发送的数据添加错误检查信息，从而使接收方能够对数据进行校对。

在网络访问层中，当传送的数据到达目的计算机后，无论经过怎么样的处理，数据最终必须被还原为最原始的形式。

网络访问层还定义了与网络硬件交互和访问传输介质的过程，在 TCP/IP 网络访问层的下面，将会发现硬件、软件和传输介质规范之间复杂的相互作用。

但是，在现实世界中，存在很多不同类型的物理网络，它们都有自己的规范，而且可能作为网络访问层的底层，这样就为网络的互联带来了困难。好在网络访问层对于日常用户来说几乎是完全透明的。网络适配器与操作系统和协议软件的一些关键底层组件，管理与网络访问层相关的主要任务，用户只需要进行一些简单的配置步骤即可。

### 3.3 网络层与 OSI 模型

事实上，TCP/IP 协议栈是独立于 OSI7 层网络模型的，但是 OSI 模型经常作为一种通用的框架来理解各种协议系统。在讨论网络访问层时，OSI 属于和概念是通用的，因为 OSI 模型对网络访问的层进行了进一步的细分，因而能够更好地呈现出这一层的工作原理。

OSI 数据链路层执行两个独立的任务，相应地划分为两个子层。

#### 1. 介质访问控制（MAC）

MAC 子层提供与网卡连接的接口。实际上，网卡驱动程序称为 MAC 驱动，而网卡在工厂固化的硬件地址通常称为 MAC 地址。

#### 2. 逻辑链路控制（LLC）

LLC 子层对经过子网传递的帧进行错误检查，并且管理子网上通信设备之间的链路。

### 3.4 网络体系结构

在实际应用中，局域网并不是一种协议层的术语，而是代表整个局域网体系或者网络体系。网络体系具有一系列的规范来管理传输介质访问、物理寻址、计算机与传输介质的交互等。在决定网络体系时，实际上就是在决定如何设计网络的网络访问层。

#### 1. 网络体系结构的规范

网络体系结构包含对物理网络的定义，以及该物理网络上定义的通信规范。通信细节基于物理细节，所以这些规范通常以一个完整的包出现。这些规范包括：

### 1) 访问方法

访问方法实际上就是一组规则，它定义了计算机如何共享传输介质。为了避免数据冲突，计算机必须遵守由访问方法所定义的这些规则。

### 2) 数据帧格式

来自于网际层的 IP 级的数据报以预定义的格式封装为数据帧，封装在包头中的数据必须提供在物理网络上传递数据所需要的信息。

### 3) 布线类型

布线类型用来定义网络所使用的物理线缆的类型。物理线缆对于网络的设计参数具有一定的影响，比如网卡传递数据流的电子性能等。

### 4) 布线规则

协议、线缆类型和传输的电子特性影响着线缆的最大和最小长度，电缆连接器的规范等内容。

实际上，类似于线缆类型和连接器类型这样的细节问题并不是由网络访问层直接负责的，但为了设计网络访问层的软件组件，开发人员必须假定物理网络具有特定的性质。因此，网络访问层的软件必须伴随于特定的硬件设计。

TCP/IP 协议栈的设计保证了与硬件交互相关的细节都发生在网络访问层，这样就使得 TCP/IP 能够工作于多种不同的传输介质。

## 2. 网络访问层的体系结构

网络访问层包括的一些体系如下。

- (1) IEEE 802.3 (以太网): 在大多数办公室和家庭使用的、基于线缆的网络。
- (2) IEEE 802.11 (无线网络): 在办公室、家庭和咖啡厅使用的无线网络技术。
- (3) IEEE 802.16 (WiMAX): 用于移动通信长距离无线连接的技术。
- (4) 点到点协议 (PPP): 调制解调器通过电话线进行连接的技术。

## 3.5 典型网络——以太网

以太网是当今现有局域网采用的最通用的通信协议标准，组建于 20 世纪 70 年代早期。Ethernet (以太网) 是一种传输速率为 10Mb/s 的常用 LAN (局域网) 标准。在以太网中，所有计算机被连接在一条同轴电缆上，采用具有冲突检测的 CSMA/CD (载波侦听多路访问/冲突检测) 方法，采用竞争机制和总线拓扑结构。基本上，以太网由共享传输媒体，如双绞线电缆或同轴电缆和多端口集线器、网桥或交换机构成。在星状或总线型配置结构中，集线器/交换机/网桥通过电缆使得计算机、打印机和 workstation 彼此之间相互连接。

### 3.5.1 以太网的发展

从 1982 年 12 月 IEEE 802.3 标准出现至今，虽然以太网才出现了三十多年的发展时间，但是三十多年来，以太网在有线和无线领域的市场和技术方面蓬勃发展，取得了世

人瞩目的杰出成绩。下文对以太网的发展历程从标准、速度和服务质量三个方面做一个简要的介绍。

### 1. 以太网标准的发展

1982 年 12 月 IEEE 802.3 标准的出现，标志着以太网技术标准的起步，同时也标志着符合国际标准、具有高度互通性的以太网产品的面世。IEEE 802.3 标准规定以太网是以 10Mb/s 的速度运行，采用载波侦听多路访问/冲突检测（CSMA/CD、介质存取控制（MAC）协议在共享介质上传输数据的技术。

不久以太网产品在局域网中得到了广泛的应用。1990 年，为了提高网络带宽，一种能同时提供多条传输路径的以太网设备出现了，这就是以太网交换机，它标志着以太网从共享时代进入了交换时代。以太网交换机是一个多端口网络设备，不仅将竞争信道的端口数减少到两个，还支持在几个端口同时传输数据，因此，它的出现改变了共享式集线器多个端口共享 10Mb/s 带宽的局面，显著地提高了网络的整体带宽。

1993 年，全双工以太网的出现，又改变了以太网半双工的工作模式，不仅使以太网的传输速度又翻了一番，还彻底解决了多个端口的信道竞争。

1995 年 3 月，IEEE 802.3u 规范的通过，标志着以 100Mb/s 的速度运行的快速以太网时代的来临。

1998 年 6 月，IEEE 802.3z 规范的通过，又使以太网进入到了高速网络的行列，运行速度达到了 1000Mb/s(即 1Gb/s)。因此，我们已经可以听到高速以太网时代(或称为千兆位以太网时代)到来的脚步声，以快速以太网连接桌面，高速以太网连接核心的高速局域网的轮廓也已依稀可见了。

### 2. 以太网速度的发展

以太网从出现至今，仅经过三十多年的发展时间，其运行速度却提高了两个数量级，从 10Mb/s 到 100Mb/s 再到 1000Mb/s，乃至最近出现的 10Gb/s 的以太网原型，这是一个非常令人心动的变革。而以太网低廉的端口价格和优越的性能，使得以太网在不到二十年的发展时间里，占据了整个局域网市场的 85% 左右，从而使得 CSMA/CD 协议在局域网协议中居于统治地位，成了局域网协议的事实标准，也使得以太网成了局域网的代名词。

事实上，以太网提高的两个数量级的这个速度是其在介质上传输数据的实际速度，并不是以太网传输有用数据的速度。无论是以太网、快速以太网，还是高速以太网，MAC 层协议采用相同的 CSMA/CD 协议，也采用相同的以太网 802.3 的帧结构传输数据。以太网这种采用相同的协议和传输帧结构，使得以太网在对已有投资的保护基础上，完成对网络性能的升级。

由于 802.3 标准中规定的以太网帧是由 64 位前同步信号、96 位地址、16 位类型/长度字段、46~1500 字节的数据和 32 位校验等几部分组成，并且 CSMA/CD 还规定，在连续传输两个以太网帧时，必须等待至少 96 位的帧间隙时间，如果在这段时间信道内一直没有数据，就说明此时信道空闲，才允许此站点发送下一个以太网帧。因此，在一个以太网帧中，只有 46~1500 字节的数据才是有效数据，其他的字节均是消耗。因此，以太

网在连续发送数据的情况下，每发送一个以太网帧总共至少要消耗 304 位的额外开销。因此，10Mb/s/100Mb/s/1Gb/s 仅是在介质上传输数据的实际速度，通常将这个速度称为端口线速度，或称为信道带宽；而其传输有用数据的速度，无论是从理论上还是在实际中都要小于端口线速度，通常将这个速度称为端口吞吐量。

### 3. 以太网服务质量的发展

以太网帧结构是非常简单的，其主要目的就是完成简单的端到端寻址和转发，是没有 QoS 性能字节的，也不提供多个优先级的数据流，而这些 QoS 性能字节和数据优先级，应该是由处于第三层的网络层或更高层的协议软件来保证的。

以太网的数据传输具有高突发性和不确定性。所以，在一个以太网中同时传输实时业务与数据业务时，如在一个信道上同时提供实时多媒体业务和文件传输业务时，如果文件传输流量大，就会长久地占用信道，很难保证实时多媒体数据的实时传输。为了使以太网具有一些第三层的交换功能。开始第三层功能是由软件模块实现的，随着硬件技术的不断发展。第三层功能逐渐由 ASIC 硬件模板替代。

目前市场上有许多以太网多层交换机，如 3COM 公司的 CoreBuilder3500、Intel 公司的 Express550T。由于第三层交换的引入，从而使得以太网交换机可以完成那些只有高层交换设备才具有的性能如 QoS 和 CoS，如数据流分级和组播技术(Multicast)，不仅使重要的数据可以得到较高的优先级，一般的数据得到较低的优先级，还可以在大量节省信道带宽的情况下完成一点对多点和多点对多点的数据传输。

IEEE 802.1 工作组也已开展了局域网 QoS 方面的工作，组织开发了 802.1p/Q 标准，并已于 1998 年 6 月完成。这些系列标准中除提供标准的 VLAN 技术外，同时还将组播和数据分级技术加入到二层交换之中，从而使得第二层设备无须加入第三层功能模块就可以完成数据分级和组播功能。

可是，无论是以太网交换机采取多层交换还是二层交换，但均只能提供服务分类功能(CoS)，依旧无法提供有保证的服务性能，这是面向无连接的包转发机制的限制。不过，这归根结底还是带宽不够、速度不够所致。如果带宽足够宽，速度足够快，可以在一定范围内对具有最高优先级的数据流保证无阻塞的传输，就可以保证实时多媒体的实时传输，从而从另一个角度解决保证质量的 QoS。

### 3.5.2 IEEE 标准符号

为了区别多种不同的可用以太网的实现，IEEE 802.3 委员会开发了简洁的包含以太网系统信息的符号格式，包含的项目有比特率、传输模式、传输介质和网段长度。IEEE 802.3 格式为：

<数据速率，以 Mb/s 为单位><传输模式><最大网段长度，以百米为单位>

或者

<数据速率，以 Mb/s 为单位><传输模式><传输介质>

指定用于以太网的传输速率是 10Mb/s、100Mb/s 和 1Gb/s。只有两种传输模式：基

带（基础）或者宽带（宽阔）。网段长度可以不同，取决于传输介质的类型，包括同轴电缆（不指定）、双绞线电缆（T）或者光纤（F）。例如，符号 10Base-5 意思是 10Mb/s 的传输速率，基带传输模式，最大网段长度是 500m。符号 100Base-T 指定 100Mb/s 的传输速率，基带传输模式，双绞线传输介质。符号 100Base-F 意思是 100 Mb/s 的传输速率，基带传输模式和光纤传输介质。

IEEE 现在支持 9 种 10Mb/s 标准，6 种 100Mb/s 标准，5 种 1Gb/s 标准。表 3-1 列出了一些常用的以太网类型、电缆选择、支持长度和拓扑结构。

表 3-1 现在 IEEE 以太网标准

传输速率	以太网类型	传输介质	最大网段长度
10Mb/s	10Base-5	同轴电缆（RG-8 或 RG-11）	500m
	10Base-2	同轴电缆（RG-58）	185 m
	10Base-T	UTP/STP 3 类或者更好	100 m
	10Base-36	同轴电缆（75Ω）	变化
	10Base-FL	光纤	2000 m
	10Base-FB	光纤	2000 m
	10Base-FP	光纤	2000 m
100 Mb/s	100Base-T	UTP/STP 5 类或者更好	100 m
	100Base-TX	UTP/STP 5 类或者更好	100 m
	100Base-FX	光纤	400 m ~2000 m
	100Base-T4	UTP/STP 5 类或者更好	100 m
1000 Mb/s	1000Base-LX	长波光纤维	变化
	1000Base-SX	短波光纤维	变化
	1000Base-CX	短铜跳线	变化
	1000Base-T	UTP/STP 5 类或者更好	变化

### 3.5.3 桥接式以太网

近来在双绞线电缆技术上的改进和局部网环境下光纤的引入已经促使局域网传输速率超过了 2Gb/s（每秒 20 亿个位）。此外，近来四线桥接和交换技术的改进导致了几种创新局域网拓扑结构的开发。例如桥接式以太网。

网桥是两端口第二层连接设备，所以，网桥可以用于把网络分成几个网段，每个网段具有单独的冲突域。因为网桥基于硬件地址转发帧，所以它们只把传输和那些卷入传输的网段（即源和目的地设备驻留的网段）隔离开。

图 3-2 显示了具有 20 台设备的以太局域网，这些设备连接到公共总线。所以，所有的 20 台设备必须共享相同的传输介质。这有时称为共享地带，但是实际上，共享的是时间，而不是带宽。无论设备何时向介质上发送，它能够使用传输介质的整个宽带。但是，整个网络时间必须被 20 台设备共享，每次只有以太设备发送。因次，假定具有同等的访问权利，每台设备从理论上讲，大约分到整个网络时间的 1/20。

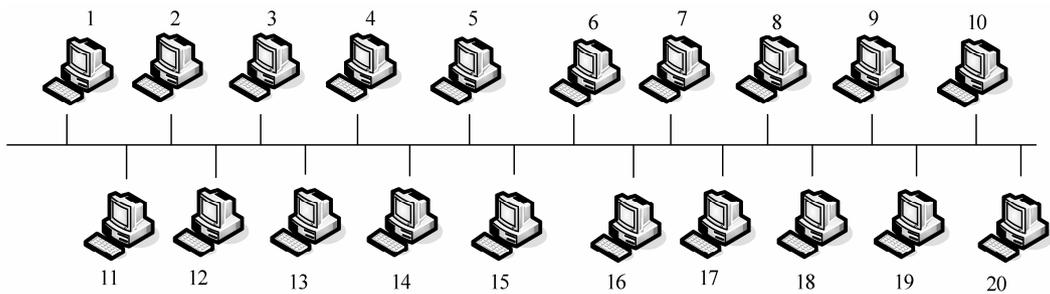


图 3-2 没有网桥的总线拓扑结构

在传输介质上共享传输时间称为时分多路复用（Time Division Multiplexing TDM）。图 3-3 说明了 TDM 的概念。所有的 20 台设备都有机会在传输介质上发送，但是每次只有一台设备能够发送。平均来讲，每台设备能够访问时间的  $1/20$ ，这就等于把它们能够发送的数据量降低到整个网络数据的  $1/20$ 。这就等于给每台设备分配了  $1/20$  的宽带，或者把平均有用宽带降低了 20 倍。



图 3-3 总线拓扑结构的局域网的 TDM

图 3-4 显示了使用网桥把网络分成两个网段，每个网段具有 10 台设备。网桥阻止一个网段的两个设备之间的传输传播到另一个网段，再组织一个网段的冲突传播到另一个网段。当通信不通过网桥传递时，每个网段的网络时间现在只分给了 10 台设备，这等于把带宽分成了 10 份。所以，与不使用网桥的网络相比，每台设备有效具有两倍带宽。当然，这假定大多数数据交换发生在相同网段的两台设备之间。

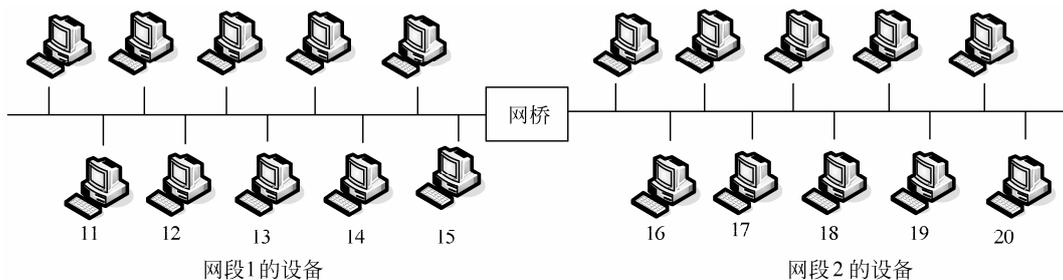


图 3-4 带有网桥的总线拓扑结构网段

图 3-5 显示了每个网段的传输是时分多路复用的，一个网段上的传输不会影响另一个网段上的传输，从而允许不同网段的两台设备可以同时发送消息，假如目的设备位于相同网段。因而，网桥有效地加倍了网络的数据吞吐量。

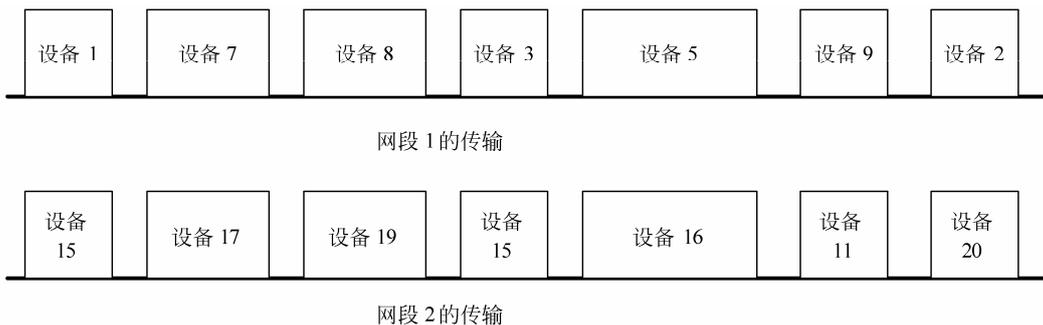


图 3-5 两个网段的 TDM

### 3.5.4 交互式以太网

如 3.5.3 节所述，带有网桥的分段局域网提供给网络更高的数据吞吐量、提高的性能和更高的可靠性。所以，坚持把第二层交换机合并到局域网层次结构中的原因是会提升更高的性能。

使用  $N$  个网桥把网络分成  $N+1$  个网段。所以，具有 20 台设备的网络使用 3 个网桥能够形成 4 个网段，每个网段有 5 台设备。但是，因为交换机是多端口网桥，使用交换机可以用于隔离单台设备，所以相同网络能够分成 20 个网段，每台设备一个网段。这还把网络分成 20 个冲突域，使它实际上不可能发生冲突。不可能发生冲突是因为，一个网段发送的唯一设备就是连接到网段的设备，因为传输是按照顺序发生的（一个接一个），所以，从一台设备发送的帧不可能和相同设备发送的另一个帧冲突。

理论上冲突能够发生在设备成对接收上，但是只有当交换机同时向相同网段发送多帧时才可能发生，否则绝不可能发生。如果发生了冲突，交换机把冲突隔离在一个网段内，使得连接到其他网段的设备不能检测到冲突。所以，冲突变得相对不明显了，除非是连接到发生冲突的网段的设备。这是个缺点，因为卷入冲突的设备很可能不在发生冲突的网段中，这样就不知道自己发送的帧卷入了冲突。第二层交换机是改进的  $N$  端口网桥，允许把传输只隔离成两个网段，更快更有效地转发帧。

图 3-6 显示了带有 8 台设备的以太局域网，这些设备连接到相同的交换机上。从理论上讲，交换机促进每对设备之间同时进行 4 个传输，而不会互相干扰。

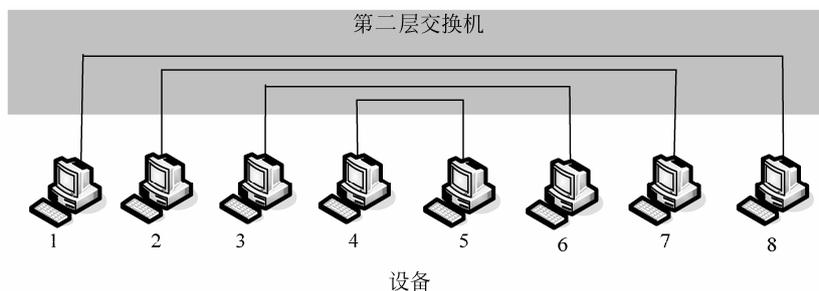


图 3-6 交换式以太网

图 3-7 显示了 4 对设备之间如何同时发生传输。

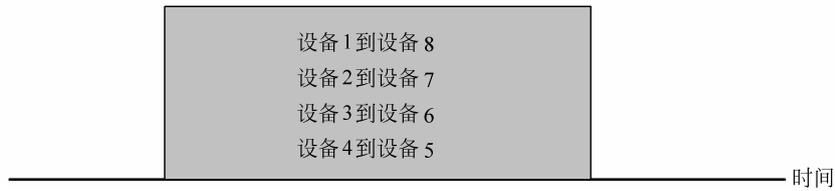


图 3-7 使用多端口传输

### 3.5.5 全双工以太网

允许全双工信息帧的交换实际上加倍了局域网的容量，也可以说，通过使用四线传输设备和四线连接设备加倍了带宽。四线操作只把传输隔离到传输介质的一个方向上，所以允许设备在一个介质上发送，同时在另一个介质上接收。

图 3-8 显示了四线交换以太网局域网。注意连接到交换机的每台设备都有两种传输介质，一个连接到它的发送器，一个连接到它的接收器。

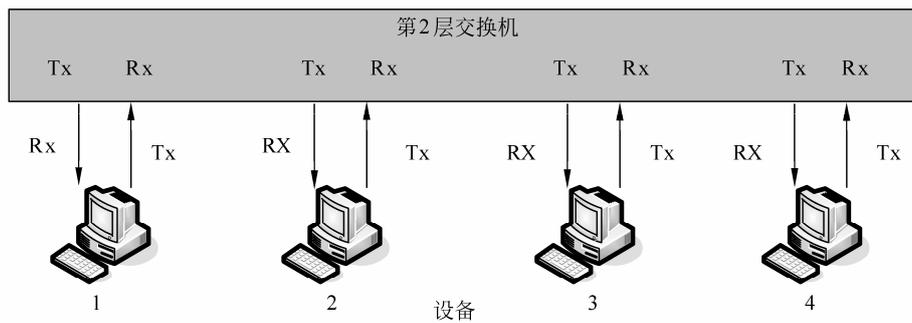


图 3-8 配置

图 3-9 显示了设备 1 在发送，同时从设备 4 接收。

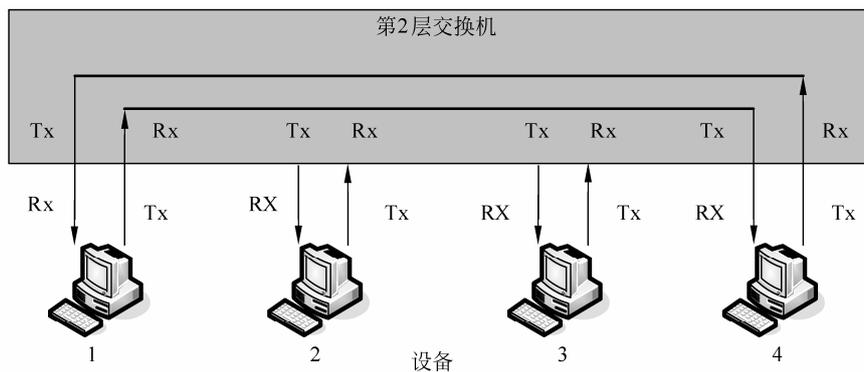


图 3-9 四线交换式以太网局域网

对于四线、全双工交换式以太网，实际上不可能发生冲突。所以，使用多路复用方法（如 CSMA/CD）是不必要的。交换机隔开的网段上的方向分开了传输，控制访问的任务留给了第二层交换机，它在合适的时候接收、存储和转发帧。

### 3.5.6 全双工交换式以太网

因为以太网最初设计成无连接协议，所以它不包括 MAC 子层中用于控制数据流量或者用于恢复接收到包含错误的帧的过程。以太网使用 CRC-32 进行检错，这是非常可靠的检错机制。但是，这不意味着能够成功接收应答帧，当检测到错误时，没有过程处理传输错误。这些缺点降低了传统以太网局域网的吞吐量、可靠性和有效性。

为了消除全双工交换式以太网的这些缺点，在 MAC 子层增加了一个新的子层，来提供流量控制和错误控制。新子层恰当地称为 MAC 控制。所以，全双工交换以太网局域网使用细分为三个子层的数据链路层，如图 3-10 所示。



图 3-10 全双工交换式以太网的数据链路层

MAC 控制包封装在 MAC 帧中，封装方式和上层协议传下来的数据包方式一样，但是，MAC 控制包在数据包之间传输，以提供链路控制和错误控制，并且它们实际上不发送用户信息。为了避免浪费，MAC 控制包限制在 46B。

图 3-11 显示了 MAC 控制包封装在以太网 MAC 帧中的方法。带有封装 MAC 控制包的 MAC 帧格式和在数据字段中带有 MAC 控制包的标准 MAC 帧格式相同。但是，数据字段中的信息稍微有些不同。



图 3-11 载送 MAC 控制包的以太网 II 帧

#### 1. 目的地址字段

在全双工交换式以太网中接收 MAC 控制帧的不是帧的最终目的地，而是连接设备

的交换机（即链路另一端的设备）。所以，目的地址 01-08-C2-00-00-01 是指定的多播地址，只能被交换机接收。使用多播地址是为了使所有的 MAC 控制包具有相同的地址，而不管是哪个设备发送的控制包，并且设备不需要保存路径，该路径是用于载送 MAC 控制包的帧的指定地址的路径。另外，网桥和交换机不传递多播地址，所以这就把每个 MAC 控制帧同网络的唯一网段隔离开，即网段用于载送流量和错误控制信息。此外，指定的多播地址只能被执行 MAC 控制子层协议的设备接收，其他所有设备都会忽略该地址。

## 2. 源地址字段

源地址字段载送了 MAC 控制帧的源硬件地址——设备的或者交换机的。

## 3. 类型/长度字段

MAC 控制包的长度固定在 46B。所以，在载送 MAC 控制包的所有帧中，在类型/长度字段中放置了十六进制的 8808，来指定载送 MAC 控制包的帧。

## 4. 数据字段

因为 MAC 控制包不能从上层协议载送用户信息，所以 MAC 控制包中的数据字段中只包含和 MAC 控制功能有关的信息。

## 5. 帧校验序列字段

该字段载送了在所有以太网的帧中常用的 CRC-32 帧校验序列。

至此，MAC 控制包只定义了一种类型的包：暂停包。暂停包提供了一种相对简单的执行流量控制的方法，称为停止-开始法。一台设备向另一台设备发送暂停包，把它设置为暂停模式，这就说明接收设备在指定时间内暂时停止发送帧（暂停），称为暂停阶段。当设备接收到暂停包时，设置定时器，并且停止发送数据帧，直到停止时间期满。如果暂停设备接收到另一个带有新的暂停时间的暂停包，那么以新的暂停时间设置定时器，继续等待。如果设备在暂停模式下接收到暂停时间是 0 的暂停包，那么就自己从暂停模式中释放出来，开始再次发送帧。暂停模式的设备能够发送暂停包，以暂时停止全双工链路上另一个方向上的帧传输。

暂停包的作用是减缓全双工链路上两端连接设备之间帧交换的速率。例如，如果交换机接收帧比它发送帧快，那么它的缓冲区将会过载。交换机使用暂停包通知发送设备降低数据帧的传输速率，否则，交换机开始丢弃接收到的帧。

图 3-12 显示了暂停包的格式。包上 46 字节，包括 2 字节代码字段和 44 字节参数字段。暂停包的代码是十六进制的 0001。到现在为止，指定的唯一参数是暂停时间，它定义了发送器在重新发送之前必须等待的时间段。参数字段实际上包含一个数字，该数字是发送 512 位所需时间的倍数，得出实际的暂停时间。512 位等于 64 字节，是以太网中包含 18 字节头的最短长度的帧。很明显，传输速率越高，给定乘数的暂定时间就越短。

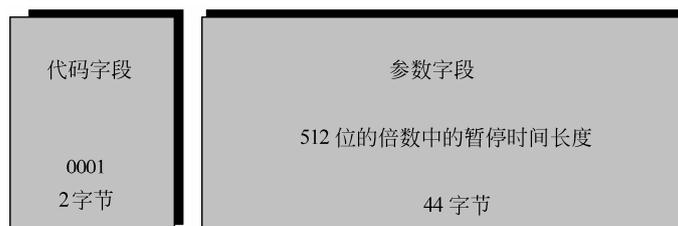


图 3-12 暂停包格式

## 3.6 剖析帧类型

在网络访问层，协议数据单元称为帧；在 TCP/IP 术语中，这些 PUD 也可以称为 IP 数据报，它可以封装在不同类型的帧中。本节学习目前最常用的本地网络类型中的 TCP/IP 通信网络——以太网和令牌环网。

### 3.6.1 以太网帧类型

以太网 II 帧类型是用于 IP 数据报在以太网中传输的约定俗成的标准帧类型。因此，以太网 II 帧类型在本章和本书所占篇幅最大。以太网 II 帧类型有协议标识域（Type），它包含值 0x0800 以表明封装协议是 IP 协议。

在 IP 数据报被传输到电缆之前，数据链路驱动程序把前导帧放在数据报中，驱动程序也确保帧符合最小的帧大小规范。最小的以太网是 64B，最大的以太网帧是 1518B。如果帧不符合最小 64B 的要求，驱动程序必须填充数据域。

以太网 NIC 对帧的内容执行循环冗余校验过程，并且把值放在帧校验序列域的帧尾。最后，NIC 发送帧，由序言引导，序言是接收器用以将位正确转换为 0 和 1 的主要位模式。

以下是 TCP/IP 可使用的三种以太网帧类型。

- (1) 以太网 II。
- (2) 以太网 802.2 逻辑链接控制（LLC）。
- (3) 以太网 802.2 子网访问协议（SNAP）。

#### 1. 以太网 II 帧结构

如图 3-13 所示为以太网 II 帧的格式。

以太网 II 帧类型包含以下值、域和结构。

##### 1) 序言

序言的长度为 8B，由 1 和 0 交替组成。正如它的名称所表明的，这种特殊的位串位于实际的以太网帧之前，它不作为帧全部长度的一部分计算。末尾以 10101011 结尾，表明信宿地址域的开始。该域为接收端提供必要的定义解释帧中的 0 和 1，并为以太网回路建立必需的定时机制以识别和开始读取传入的数据。

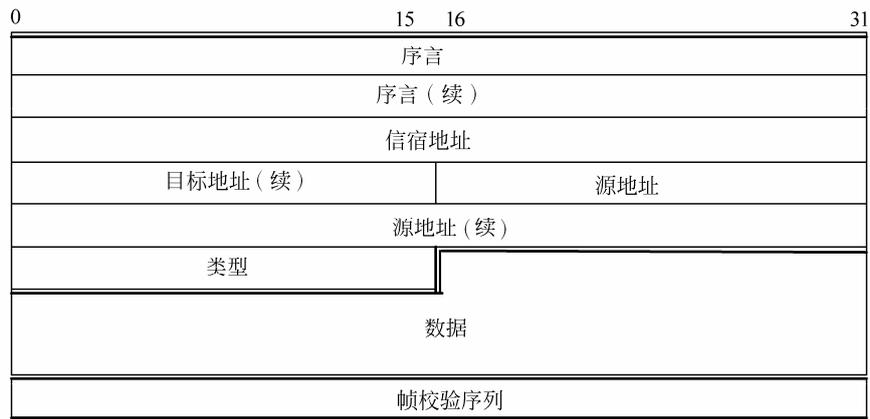


图 3-13 以太网 II 帧结构

## 2) 信宿地址域

该域的长度为 6b，它表明信宿 IP 主机的数据链接地址（也称为硬件地址或 MAC 地址）。信宿地址可以是广播、多播和单播。APR（地址解析协议）用于获取信宿 IP 主机（如果信宿是本地的）或下一跳路由器（如果信宿是远程的）的硬件地址。

## 3) 源地址域

源地址域的长度为 6b，它表明发送端的硬件地址。该域只包含单播地址——不包含广播或多播地址。

## 4) 类型域

类型域的长度为 2B，它表明使用该帧类型的协议。表 3-2 举例说明了由 IANA 保留的一些已分配类型数字。

表 3-2 分配的协议类型（按照编号顺序）

类型	协议
0x0800	IPv4
0x0806	地址解析协议
0x809B	AppleTalk
0x8137	Novell 跨网络帧交换 (IPX)
0x6004	DEC LAT

## 5) 数据域

数据域的长度在 46~1500B 之间。

## 6) 帧校验序列

帧校验序列域的长度为 4B，它包括 CRC 计算结果。

在接收以太网 II 帧时，IP 主机检验 CRC 内容的有效性，并且将结果与帧校验序列中包含的值比较。

当确定将信宿地址作为接收器（或者广播地址，或者接收的多播地址）后，接收的 NIC 去除帧校验序列域，并且把帧传输到数据链路层。

在数据链路层检验帧以确定实际信宿地址（广播、多播或单播）。协议标识域（例如

以太网 II 帧结构的类型域）在此处检验。

然后去除剩余的数据链接结构，这样帧可以传输到适当的网络层（在这种情况下指 IP）。

本节将学习以太网 II 帧结构，它是目前最流行的用于以太网 TCP/IP 网络的帧结构。以太网 II 帧类型是以太网网络 Windows XP 中 TCP/IP 的默认类型。IEEE 802.3 规范也定义了跨 IEEE 802.3 帧结构运行 TCP/IP 的方法。下面将介绍 IEEE 802.2 LLC 帧结构，尽管 IP 通常不查看这种帧类型。

## 2. 以太网 802.2 LLC 帧结构

图 3-14 表述了以太网 802.2 LLC（逻辑链路控制）帧的格式。虽然与以太网 II 帧结构类似，但是以太网 802.2 LLC 帧类型使用 SAP 代替类型域表明使用该帧的协议。IP 的分配值是 0x06。

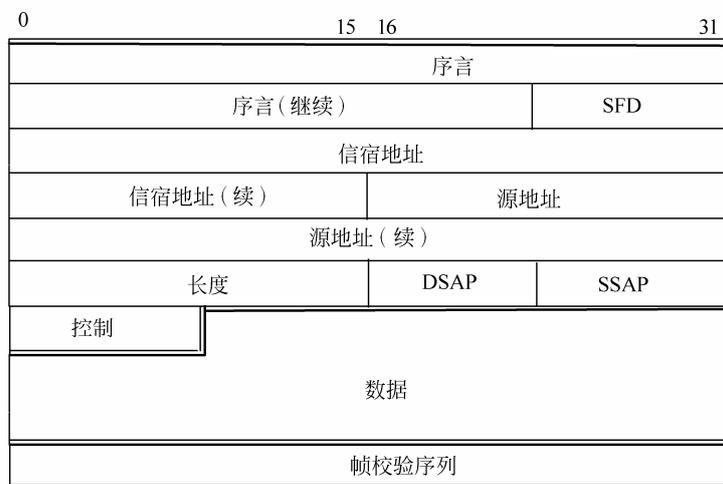


图 3-14 以太网 802.2 LLC 帧结构

以太网 802.2 LLC 帧类型包括序言、SFD（起始帧定界符）域、信宿地址域、长度域、DSAP（信宿服务访问点）域、SSAP（源服务访问点）域、控制域、数据域和 FCS（帧检验序列）域。

### 1) 序言

序言的长度为 7B，由 1 和 0 交替组成。与以太网 II 帧结构不同，这种序言不以连续的 1 结尾。SFD 域用于标识信宿地址域的起始部分。

### 2) SFD（起始帧定界符）域

1B 的 SFD 域由 10101011 模式组成，它表明信宿地址域的起始。读者可能注意到，802.2 序言和 SFD 域与以太网 II 帧的序言相同。

### 3) 长度域

2B 的长度域表明帧的数据部分的位数。它的值在 0x002E（十进制 46）和 0x05DC（十进制 1500）之间。这种帧在该位置不使用类型域——它使用 SAP（服务访问点）域

来表明预定的协议。

#### 4) DSAP (信宿服务访问点) 域

这种 1B 域表明信宿协议。表 3-3 列出了一些分配的 SAP 号 (由 IEEE 规定)。

表 3-3 分配的 SAP 号

编号	信宿协议
0	Null LSAP
2	Indiv LLC Sublayer Mgt
3	Group LLC Sublayer Mgt
4	SNA Path Control
6	DOD IP
14	PROWAY-LAN
78	EIA-RS 511
94	ISI IP
142	PROWAY-LAY
170	SNAP
254	ISO CLNS IS 8473
255	Global DSAP

#### 5) SSAP (源服务访问点) 域

这种 1B 域表明源协议 (通常与信宿协议相同)。

#### 6) 控制域

这种 1B 域表明该帧是否为未编号格式 (为连接) 或者信息的/管理的格式 (用于面向连接和管理目的)。

下面学习以太网 SNAP 帧结构。

### 3. 以太网 SNAP 帧结构

RFC 1042, “IEEE 802 网络 IP 数据报传输标准”表明如何在 802.0LLC 帧上封装 IP 通信, 该帧包括 SNAP (子网访问协议)。虽然 Windows XP 默认传输以太网帧类型上的 IP 和 ARP 通信, 但是可以通过添加 ArpUseEtherSNAP 注册表设置 (如表 3-4 所示) 修改注册表以支持以太网 802.2 SNAP 帧结构上的 IP 和 ARP 的传输。

表 3-4 ArpUseEtherSNAP 注册表设置

注册表信息	细节
位置	HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Services\Tcpip\Parameters
数据类型	REG_DWORD
有效范围	0~1
默认值	0
默认表示	无

注册表项 ArpUseEtherSNAP 必须设置为 1 才能将以太网 802.2 SNAP 帧格式用于以太网上的 IP 和 ARP 信息。当以太网 802.2 SNAP 项无法使用时, Windows XP 主机仍然可以从另一台 IP 主机接收以太网 802.2 SNAP 帧结构。但是, Windows XP 主机使用以太

网 II 帧类型响应。这项功能需要原传输主机自动交换到以太网 II 帧类型以支持两台主机之间随后的通信。

图 3-15 描述了以太网 SNAP 帧的格式。虽然类似于以太网 802.2 帧结构，但是以太网 SNAP 帧使用以太类型域代替 SAP 域来标识使用该帧的协议。以太类型域值与本节前面介绍的以太网 II 帧使用的以太类型域值相同。但是，SNAP 帧可以根据它们在 DSAP、SSAP 和控制域中分别使用的 OxAA、AA 和 03 来区分。

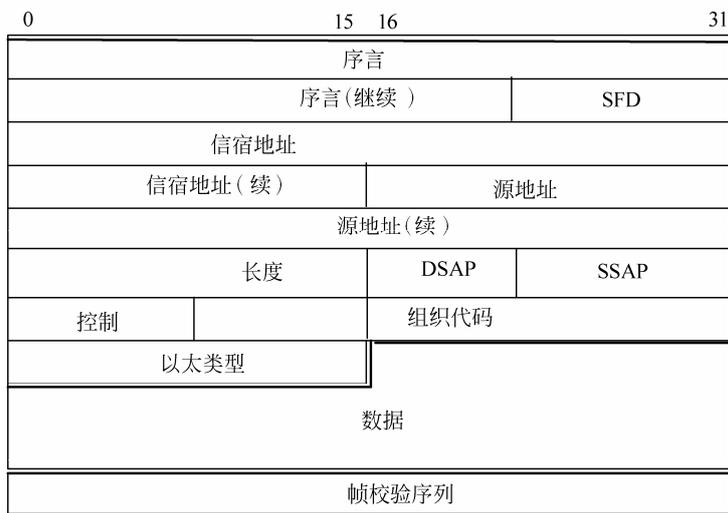


图 3-15 以太网 SNAP 帧结构

以太网 SNAP 帧类型除了包含以太网 802.2 LLC 帧类型所包含的域以外，还包含组织代码域和以太类型域。

### 3.6.2 令牌环帧类型

IEEE 802.5 标准定义了令牌环大网络。令牌环网络取决于物理星状设计，尽管它们使用逻辑环传输路径，如图 3-16 所示。

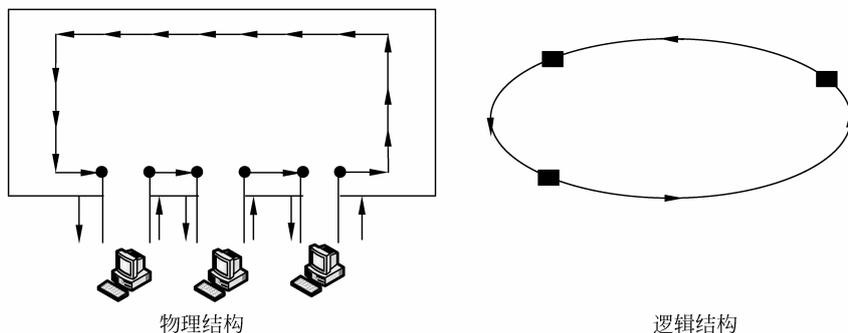


图 3-16 令牌环网络为物理星状，但是在逻辑上是环状

在令牌环网络中，每一个令牌环工作站作为一个中继器——把接收的数据包发回到网络。如果帧用于接收的令牌环工作站，该站在将帧发回到网络时会复制一个帧。

以太网 NIC 以同样方式执行传输数据包内容的错误检验程序。令牌环帧包括 FCS 资（帧校验序列域）。

### 1. 令牌环 802.2 LLC 帧格式

令牌 802.2 LLC 帧包括与以太网 802.2 LLC 帧相同的 LLC 域。这种帧类型包括以下域。

#### 1) 起始定界符域

这种 1B 起始定界符域用于指定令牌环帧的起始。

#### 2) 访问控制域

这种 1B 访问控制域表明随后的域是否构成令牌或帧，令牌或帧的优先权，以及令牌或帧是否已经构成环状。

#### 3) 帧控制域

这种 1B 域表明是否包含令牌环管理信息或者数据。

#### 4) 信宿地址域

这种 6B 域表明信宿硬件地址。该域包含单播、多播或广播地址。也请注意令牌环和以太网以相反的顺序读取 MAC 地址：以太网按相反顺序从右往左读值，而令牌环从左往右读值。

#### 5) 源地址域

这种 6B 域表明源硬件地址。它必须包含单播地址。

#### 6) DSAP（信宿服务访问点）域（LLC 802.2）

这种 1B 域是 LLC 段的起始，它表明信宿协议。与以太网 802.2 LLC 帧结构类似，令牌环 802.2 LLC 帧有 DSAP、SSAP 和控制域。参见以太网帧 802.2 帧信息了解分配 SAP 值的示例。

#### 7) SSAP（源服务访问点）域（LLC 802.2）

这种 1B 域表明所使用的源协议。它的值与信宿 SAP 特别相同。

#### 8) 控制域（LLC 802.2）

这种 1B 域表明该帧是否未编号（无连接）或者是管理的/信息性的（用于面向连接和管理目的）。

#### 9) 数据域

该域的长度在 0~18 000B 之间，它包含 TCP/IP 数据。

#### 10) 帧校验序列域

帧校验序列域的长度为 4B，它包括用于检验数据包错误的 CRC 计算结果。

#### 11) 终端定界符域

这种 1B 域表明令牌环帧的终端（不包含帧状态域）。

## 12) 帧状态域

这种 1B 域用于表明帧的信宿地址是否重新组合以及帧是否被复制。

图 3-17 显示了令牌环 802.2 LLC 帧结构。

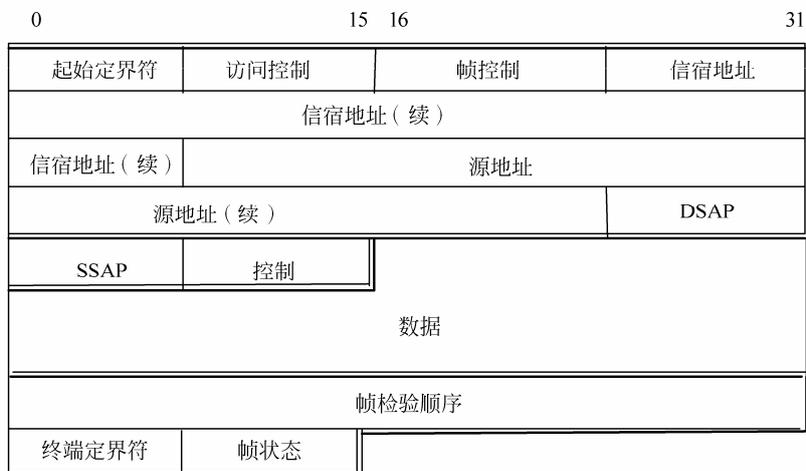


图 3-17 令牌环 802.2 LLC 帧结构

## 2. 令牌环 SNAP 帧格式

令牌环 SNAP 帧格式通过添加组织代码域和以太类型域扩展标准 802.2 LLC 层。的确如此——虽然这是令牌环帧，但是 SNAP 格式可以使用以太类型域值。该域包含的所有 IP 通信的值为 0x0800，ARP 通信的值为 0x0806，如图 3-18 所示。



图 3-18 令牌环 SNAP 帧结构

令牌环 SNAP 帧除包括令牌 802.2 LLC 帧类型所包括的所有域以外，还包含组织代

码域和以太类型域。

## 思考与练习

### 一、填空题

1. TCP/IP 可使用的三种以太网帧类型包括以太网、以太网 802.2 逻辑链接控制 (LLC) 和\_\_\_\_\_。(以太网 802.2 子网访问协议 (SNAP))
2. 令牌环 SNAP 帧格式通过添加组织代码域和\_\_\_\_\_扩展标准 802.2 LLC 层。(以太类型域)
3. 在 MAC 子层增加了一个新的子层, 来提供流量控制和错误控制。新子层恰当地称为\_\_\_\_\_。(MAC 控制)
4. 在传输介质上共享传输时间称为\_\_\_\_\_。(时分多路复用 (TDM))
5. MAC 协议是特定于局域网的, 包括\_\_\_\_\_、令牌环和令牌总线。(以太网)
6. \_\_\_\_\_是最初用于 TCP/IP 通信的点对点协议, 是一种在串行线路上对 IP 数据报进行封装的简单形式。(SLIP)

### 二、选择题

1. ATM (异步传输模式) 技术中“异步”的含义是\_\_\_\_\_。(C)
  - A. 采用的是异步串行通信技术
  - B. 网络接口采用的是异步控制方式
  - C. 周期性地插入 ATM 信元
  - D. 可随时插入 ATM 信元
2. 宽带 ISDN 的核心技术是\_\_\_\_\_。(A)
  - A. ATM 技术
  - B. 光纤接入技术
  - C. 多媒体技术
  - D. SDH 技术

3. 在一个标准 1000Mb/s 交换式以太网的结构中\_\_\_\_\_。(B)
  - A. 只能包括 100Mb/s 交换器
  - B. 包括 1000Mb/s、100Mb/s 或 10Mb/s 交换器
  - C. 包括 1000Mb/s 和 100Mb/s 交换器
  - D. 只能包括 1000Mb/s 交换器
4. 网桥是在\_\_\_\_\_上实现不同网络的互连设备。(A)
  - A. 数据链路层
  - B. 网络层
  - C. 对话层
  - D. 物理层
5. 局域网的协议结构\_\_\_\_\_。(A)
  - A. 包括物理层、数据链路层和网络层
  - B. 包括物理层、LLC 子层和 MAC 子层
  - C. 只有 LLC 子层和 MAC 子层
  - D. 只有物理层
6. 帧中继系统设计的主要目标是用于互连多个\_\_\_\_\_。(C)
  - A. 广域网
  - B. 电话网
  - C. 局域网
  - D. ATM 网

### 三、简答题

1. 简述以太网 802.2 LLC 帧类型包括的域。
2. 简述以太网 II 帧类型包含的值、域和结构。
3. 简述 TCP/IP 可使用的三种以太网帧类型。
4. 介绍令牌环 802.2 LLC 帧类型包括的域。
5. 简述令牌环 SNAP 帧包括的域。