

第 5 章 IEEE 802 组网技术

IEEE 802 成立以后，已经推出了一系列标准。这一系列标准中的每一个子标准都由委员会中的一个专门工作组负责。IEEE 802 委员会前有 20 多个分委员会。图 5.1 为 IEEE 802 体系结构。

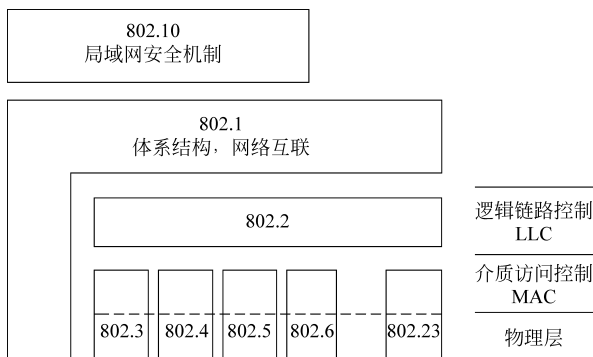


图 5.1 IEEE 802 体系

在 IEEE 802 庞大的标准体系中，目前影响最大、应用最广的是如下 3 个子协议/子系列：

- 面向以太网的 IEEE 802.3 子系列。
- 面向虚拟局域网的 IEEE 802.1q。
- 面向无线局域网的 IEEE 802.11。

5.1 以太网技术

5.1.1 以太网的发展

以太网已经成为当今局域网的一个工业标准。以太网（Ethernet）是一种以早先人们想象的传播电磁波的介质 Ether 命名的计算机网络，于 1975 年由 Xerox 公司推出。当时采用的是同轴电缆连接（最早是粗同轴电缆——10BASE-5，后来改用比较便宜的细同轴电缆——10BASE-2），形成一种总线式结构，如图 5.2 所示。

由于同轴电缆连接的网络在安装、扩充和维护都很不方便，不能满足局域网飞速发展的需要，1983 年就开始采用 Hub 连接、非屏蔽双绞线传输的星形结构，被命名为 10BASE-T，如图 5.3 所示。要注意的是，这种星形结构在逻辑上还是总线型的，因为它还是一种共享工作模式。

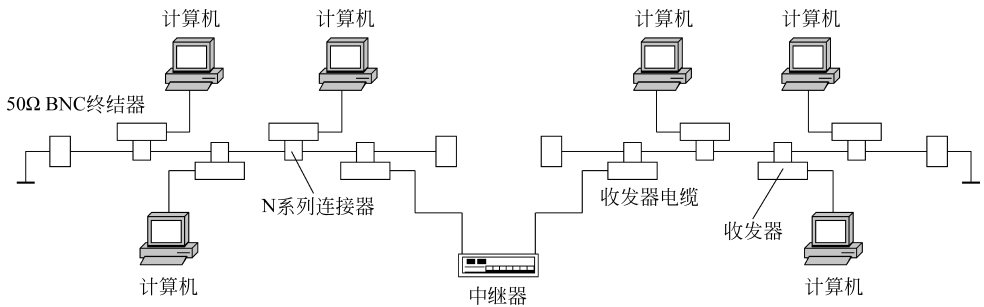


图 5.2 10BASE-5 以太网结构图

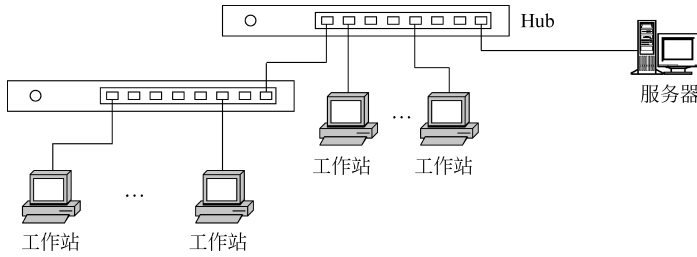


图 5.3 10BASE-T 以太网结构图

10BASE-T 以太网的基本参数如下：

- Hub——集线器，可将接收的数据分发到各端口，每个端口的速率为 10Mbps；
- 双绞线——两端用 RJ-45 分别与 Hub 和计算机连接。

10BASE-T 以太网的主要性能指标：

- 集线器与网卡、集线器之间的最长距离为 100m；
- 最长两点之间的距离不超过 500m；
- 不使用网桥时，最多接入站点数为 1023。

以后，以太网不断发展，但很长时间内基本上都保持了这种基本的结构形式。表 5.1 为采用集线器的以太网发展情况。

表 5.1 采用集线器连接的以太网发展情况

| 类型 | IEEE 802 标准 | 标准批准时间 | 带宽 (b/s) | 通信交互方式 | 以太网名称 | 传输介质 | 网段最大长度 (m) |
|-------|-------------|--------|----------|--------|------------|----------------|------------|
| 标准以太网 | 802.3 | 1983 | 10M | 半双工 | 10BASE-T | UTP | 100 |
| 快速以太网 | 802.3u | 1995 | 100M | 全双工 | 100BASE-TX | 两对 UTP5 类线/STP | 100 |
| | | | | | 100BASE-FX | 两根光纤（发送、接收各一根） | 2k |
| | | | | 半双工 | 100BASE-T4 | 4 对 UTP3 类/5 类 | 100 |

| 类型 | IEEE 802 标准 | 标准 批准 时间 | 带宽 (b/s) | 通信 交互 方式 | 以太网名称 | 传输介质 | 网段最 大长度 (m) |
|---------------------|-------------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 千兆位 以太网 | 802.3z | 1997 | 1G | 全半 双工 | 1000BASE-SX | 850nm 激光器多模光纤 (62.5/50 μ m) | 550 |
| | | | | | 1000BASE-LX | 1300nm 激光器多模光纤 (62.5/50 μ m) | 550 |
| | | | | | | 1300nm 激光器 10 μ m 单模光纤 | 5k |
| | | | | | 1000BASE-CX | 两对短距离屏蔽双绞线 | 25 |
| | 802.3ab | 1997 | 1G | 全/半 双工 | 1000BASE-T | 4 对 UTP5 类线 | 100 |
| 万兆位 以太网 | 802.3ae | 2002.6 | 10G | 全/半 双工 | 10GBASE-SR | 850nm 激光器的多模光纤 | 300 |
| | | | | | 10GBASE-LR | 1300nm 激光器的单模光纤 | 10k |
| | | | | | 10GBASE-ER | 1500nm 激光器的单模光纤 | 40k |
| | 802.3ak | 2004 | 10G | 全/半 双工 | 10GBASE-CX4 | 4 对双芯同轴电缆 | 15 |
| 802.3an | 2006 | 10G | 全/半 双工 | 10GBASE-T | 4 对 UTP6A 类 | 100 | |
| 40G/ 100G 以太网 | 802.3ba | 2010.6 | 40G/ 100G | 全双工 | 40G/BASE-KR4 | 背板 | 1 |
| | | | | | 40G/100GBASE-CR4/10 | 铜缆 | 7 |
| | | | | | 40G/100GBASE-SR4/10 | 多模光纤 | 100 |
| | | | | | 40G/100GBASE-LR4/10 | 单模光纤 | 10k |
| | | | | | 100GBASE-ER10 | 单模光纤 | 40k |

说明：

(1) 4 对线并非 4 条 2 芯电缆，可以是 4 对双绞线电缆，就是一根网线。同轴电缆也有类似概念。对于光纤则可以采用 4 个波长复用。

(2) 从表 5.1 中可以看出，随着传输技术的发展，以太网的最小网段长度已经突破了一般局域网概念中的覆盖范围。这也说明，现在局域网与城域网的界线正在模糊，因此人们常用园区网来称呼它们。

(3) 半双工采用集线器连接，形成共享介质并共享带宽模式。全双工采用交换机连接，形成分配带宽模式。图 5.4 为两种传输网络的结构比较。关于冲突域的概念，将在 5.1.2 节介绍。

5.1.2 共享以太网中的 CSMA/CD 协议

1. 多路访问与冲突

介质访问控制 (Medium Access Control, MAC) 协议也称多路访问控制协议，是用于在共享信道上有效、合理地分配信道资源的控制机制。它是局域网网卡功能的重要组成部分。

多路访问与多路复用不同。多路复用是将一条信道静态地分割成多条逻辑信道，使多个用户信息在同一信道上同时传输的技术。但是用静态分配的方法不能有效地处理多路访

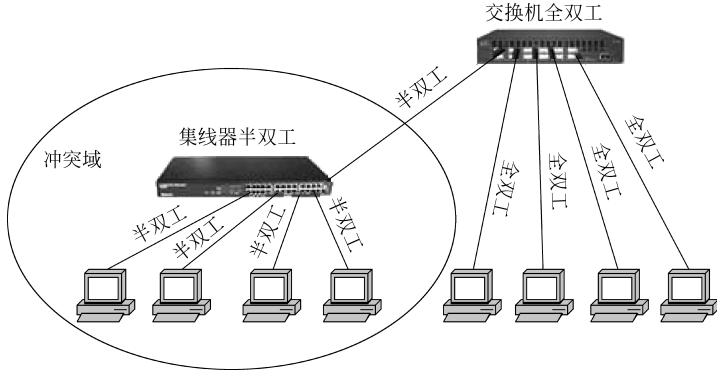


图 5.4 全双工以太网与半双工以太网结构

问问题，因为每路用户的数据发送都具有突发性。突发性可能引起多个用户争相使用介质造成信道冲突（Collision，也称碰撞），使发生冲突时的发送都遭到失败。面对竞争，介质访问控制协议有两种处理方式。

（1）避免冲突。即避免竞争出现，具体地说，就是采用控制授权，形成一种发送受控的方式。例如，使用令牌，只授权给获得令牌的站点才能发送数据。

（2）允许竞争。正视冲突，形成可以随机发送的方式，但是要采取措施尽量减少冲突，降低冲突的影响。例如，带有冲突检测的载波监听多点接入（Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection，CSMA/CD）协议就是一种允许冲突的介质的随机发送的多路访问控制协议。

2. CSMA/CD 原理

CSMA/CD 的工作原理有点像多人开讨论会。当一个人想发言时，要先听听有没有人在发言：若有人在发言，就继续听，等等再说；若无人发言，就发言。但是，也许别人也在这么做，出现同时发言的情形，这称为冲突。一旦发生冲突，就立刻停止发言，等一段时间再发言；如果冲突了多次，就暂时放弃发言。上述过程可以简要地叙述为：讲前先听，忙则等待，无声则讲，边讲边听，冲突即停，后退重传。与此相仿，CSMA/CD 具有以下 4 个要点。

（1）MA（Multiple Access，多路访问）——相当于多人讨论。

（2）CS（Carrier Sense，载波侦听）。每个站点在发送数据前，都要先检测信道有没有脉冲信号，即有没有别的站点在发送数据；没有检测到脉冲信号再发送，否则避让一段时间再继续监听——相当于“讲前先听，忙则等待，无声则讲，边讲边听”。

（3）CD（Collision Detection，冲突检测）。在发送数据的过程中，还要继续监听，目的是发现冲突。一旦发现冲突，立即停止发送，并发出一串阻塞信号，使其他站点也立即停止发送，以便尽快恢复信道，然后避让一段时间再开始监听信道——相当于“冲突即停，后退重传”。

(4) 如果 CS 和 CD 过程进行了多次，都没有发送成功，就需要暂时放弃发送——相当于“多次无效，暂缓发送”。

如图 5.5 所示为 CSMA/CD 的基本工作流程。图中， n_r 是已经检测到的碰撞次数，每检测到一次碰撞， n_r 增 1； n_{max} 是设定的最大碰撞次数。

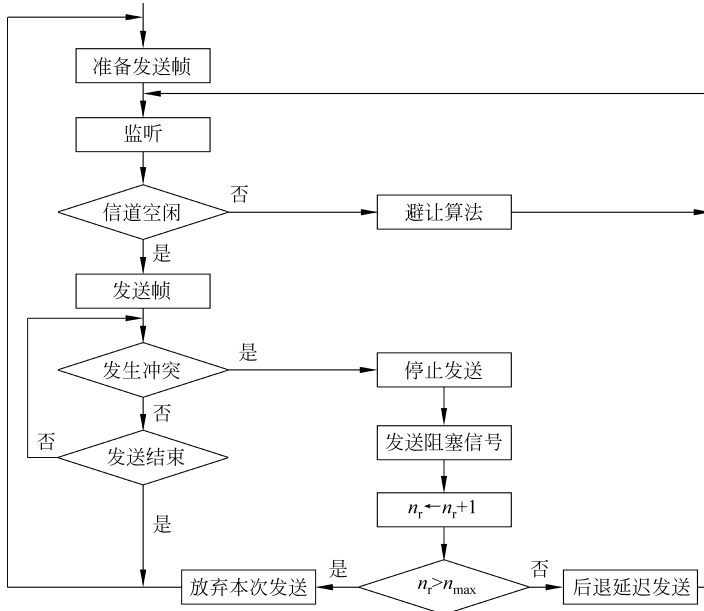


图 5.5 CSMA/CD 的基本工作流程

5.1.3 IEEE 802.3 以太网帧格式

在以太网的发展过程中，先后形成了 5 种帧格式标准：

- (1) Ethernet V1 (1980)。
- (2) Ethernet V2 (ARPA, 1982)。
- (3) RAW 802.3 (Novell, 1983)。
- (4) IEEE 802.3/802.2 LLC (1985)。
- (5) IEEE 802.3/802.2 SNAP (1985)。

今天，大多数 TCP/IP 应用都是用 Ethernet V2 帧格式，IEEE 802.3—1997 改回了对这一格式的兼容。这就是现在称为 IEEE 802.3 以太网帧格式。其结构如表 5.2 所示。

表 5.2 IEEE 802.3 以太帧格式

| 位置 | 字段 | 字段长度 (B) | 用途 |
|----|----------------|----------|-------------------|
| 帧头 | 前导码 (preamble) | 7 | 同步 |
| | 帧开始符 (SFD) | 1 | 标明下一个字节为目的 MAC 字段 |
| | 目的 MAC 地址 | 2~6 | 指明帧的接受者 |
| | 源 MAC 地址 | 2~6 | 指明帧的发送者 |
| | 长度 (length) | 2 | 帧的数据字段的长度 (长度或类型) |
| | 类型 (type) | 2 | 帧中数据的协议类型 (长度或类型) |

| 位置 | 字段 | 字段长度 (B) | 用途 |
|----|----------------------|----------|---|
| 数据 | 数据和填充 (data and pad) | 46~1500 | 高层的数据, 通常为 3 层协议数据单元。对于 TCP/IP 是 IP 数据包 |
| 帧尾 | 帧校验序列 (FCS) | 4 | 对接收网卡提供判断是否传输错误的信息; 如果发现错误, 则丢弃此帧 |

注: (1) 原则上 MAC 地址可以用 2~6B 来表示, 但实际都是 6B。

(2) 如果帧长小于 64B, 则要求“填充”, 以使这个帧的长度达到 64B。

5.1.4 以太网体系结构

图 5.6 为两种典型的以太网体系结构。图 1.25 关于 IEEE 802 体系的具体化。

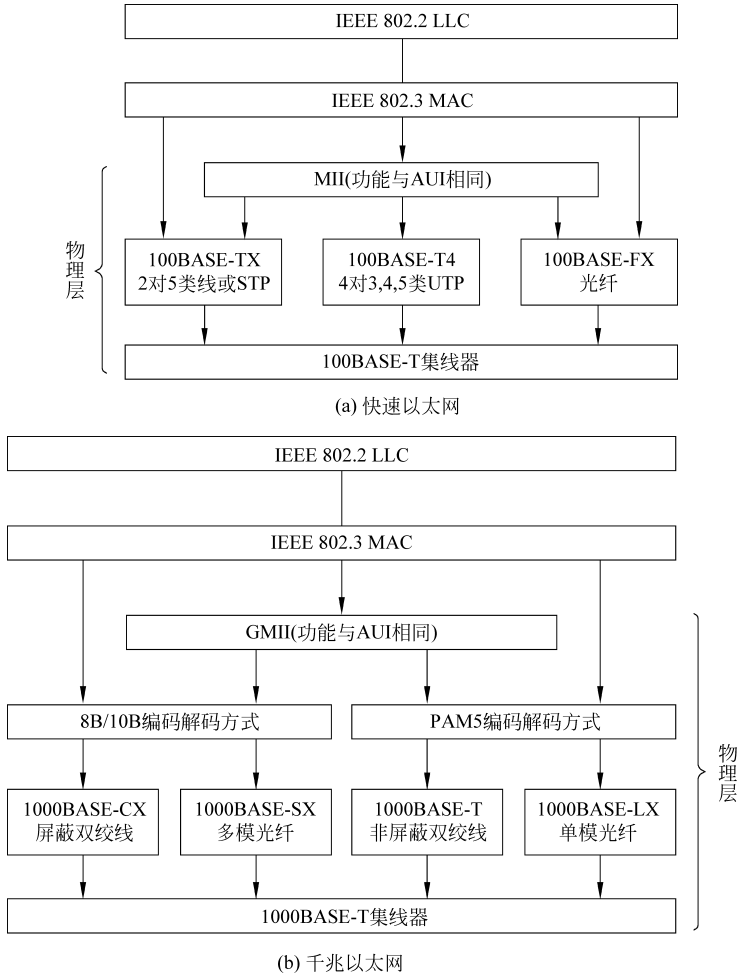


图 5.6 两种典型的以太网体系结构

下面做一些说明:

(1) 最下层是集线器, 表明这是共享网络, 采用半双工工作方式。若把集线器换为交换机, 就称为全双工方式。表 5.3 为共享式以太网与交换式以太网的比较。

(2) 从下起的第 2 层是传输介质。

表 5.3 共享式以太网与交换式以太网的不同比较

| | 连接设备 | 连接设备的工作层次 | 拓扑结构 | 通信方式 | 结点的带宽使用方式 |
|-------|------|-----------|--------|-------|-----------|
| 共享以太网 | 集线器 | 物理层 | 逻辑总线结构 | 广播 | 共享 |
| 交换以太网 | 交换机 | 数据链路层 | 逻辑星形结构 | 可以点对点 | 分配 |

(3) MII (Media Independent Interface, 介质独立接口) 一般应用于 MAC 层和 PHY 层之间的以太网数据传输, 也可叫数据接口。它的一头是二层芯片, 另一头是一层芯片。也就是一头是数据源或者说是控制器, 另一头是与介质相关的收发器 (tranceiver)。千兆以太网中使用的是 GMII。

(4) 8b/10b 编码是将一组连续的 8 位数据分解成两组数据: 一组 3 位, 一组 5 位, 经过编码后分别成为一组 4 位的代码和一组 6 位的代码, 从而组成一组 10 位的数据发送出去。8b/10b 编码的特性之一是保证 DC 平衡, 采用 8b/10b 编码方式, 可使得发送的 0、1 数量保持基本一致, 并且可以在早期发现数据位的传输错误, 抑制错误继续发生。

8b/10b 编码是目前许多高速串行总线采用的编码机制, 如 USB3.0、1394b、Serial ATA、PCI Express、Infini-band、Fibre Channel (光纤通道)、RapidIO 等总线或网络等。

用于 1000BASE-T 的符号编码方法。是将 8B1Q4 数据编码接收到的 4 维五进制符号 (4D) 用 5 个电压级别 (PAM5) 传送出去。每个符号周期内并行传送 4 个符号。

5.1.5 基于交换的园区网三层架构

交换式以太网, 尤其是单模光纤传输的交换式以太网, 可以将传输距离扩大到城域网和广域网的范围, 非常适合组建大型网络。这种大型的以太网, 常称为园区网。如图 5.7 所示, 典型的园区网一般由 3 层组成: 核心层、汇聚层和接入层, 目的是进行设备的合理配置, 以达到良好的经济技术效果。

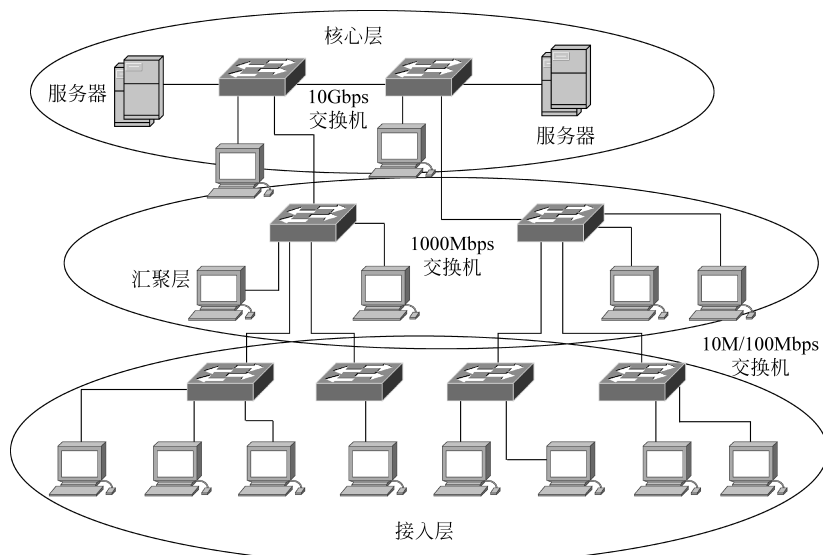


图 5.7 三层网络架构

1. 接入层

接入层直接面向工作组或主机，由提供用户物理接入的接入点设备组成，主要作用是为用户接入网络提供支持。由于每一组的主机数量都比较少，流量需求比较低，并且需要为网络提供充分的接入端口，因此接入层所使用的交换机有低成本和高端口密度的特点，并配有高速上联的端口以便接入汇聚层。

2. 汇聚层

汇聚层通常作为连接本地小型网络的逻辑中心，是网络接入层各工作组的流量和业务的汇聚点，为它们提供聚合与转发的功能，以减轻核心层设备的负荷。它一方面要能够处理来自接入层设备的所有通信量，另一方面要提供到核心层的上行链路。与接入层交换机相比，汇聚层交换机需要较高的性能、较少的接口和更高的交换速率。

3. 核心层

核心层也称骨干层，是网络的枢纽。它对汇聚层的流量和业务进一步汇聚，通过高速转发通信，提供优化、可靠的骨干传输结构。由于流量较大，重要性突出，对整个网络的连通起到至关重要的作用，在可靠性、高效性、冗余性、容错性、可管理性、适应性、低延时性等方面也具有更高的要求，通常选择高带宽（千兆以上）的设备。为了提高可靠性，也使负载均衡、网络性能改善，还常常选择双机冗余热备份。

说到底，这样的结构就是汇聚再汇聚-交换再交换结构。因此，并不局限于三层，也可以做成四层、五层，或简化为二层。

5.2 虚拟局域网

5.2.1 虚拟局域网概述

虚拟局域网（Virtual LAN, VLAN）就是按照某种要求由一些局域网段构成的与物理位置无关的逻辑组。划分在这个逻辑组中的网段或站点，可以来自一个物理的局域网，也可能来自互相连接的不同的局域网中。还可以将一个物理的局域网中的站点，划分在不同的逻辑组中，形成不同的 VLAN。

在传统的局域网中，任何一个站点所发送的广播数据包都将转发至网络中的所有站点。而在交换式以太网中，VLAN 技术使得网络的拓扑结构变得非常灵活，如位于不同楼层的用户或者不同部门的用户根据需要加入不同的 VLAN。这些用户可以处在不同的物理 LAN 上，但它们之间可以像在同一个 LAN 上那样自由通信而不受物理位置的限制。网络的定义和划分与物理位置和物理连接没有任何必然的联系。网络管理员可以根据不同的需要，通过相应的网络软件灵活地建立和配置虚拟网，并为每个虚拟网分配它所需要的带宽。

在大型局域网中，VLAN 技术给网络管理员和网络用户都带来了许多好处，归纳起来主要有以下几点：

- 简化了网络变化的开销，方便网络的维护和管理；
- 增加组网的灵活性，建立不受物理位置限制的具有一定独立性的 VLAN；
- 有效隔离 VLAN 间广播，防止网络的广播风暴；
- 可以有效地管理和限制 VLAN 间的访问，减少路由开销；
- 增加网络内部的安全性。

5.2.2 VLAN 的划分方法

VLAN 建立在交换技术的基础上，通过交换机“有目的地”发送数据，灵活地进行逻辑子网（广播域）的划分，而不像传统的局域网那样把站点束缚在所处的物理网络之中。

划分 VLAN 的方式有多种，每种方法的侧重点不同，所达到的效果也不尽相同。下面介绍几种划分方法。

1. 根据端口划分 VLAN

这是最广泛、最有效的一种 VLAN 划分方法，目前绝大多数使用 VLAN 协议的交换机都提供这种 VLAN 配置方法。这种划分 VLAN 的方法是根据以太网交换机的交换端口来划分的，它将 VLAN 交换机上的物理端口和其内部的 PVC（永久虚电路）端口分成若干个组，每个组中被设定的端口都在同一个广播域中，构成一个虚拟网。通过交换机的端口定义，可以将连接在一台交换机上的站点划分为不同的子网，在图 5.8 (a) 中，将与端口 1、2、3、7、8 连接的计算机定义为 VLAN1，将与端口 4、5、6 连接的计算机定义为 VLAN2；也可以将连接在不同交换机上的站点划分在一个子网中；在图 5.8 (b) 中，将与交换机 1 的端口 1、2、3 和与交换机 2 的端口 4、5、6、7 连接的计算机定义为 VLAN1，将与交换机 1 的端口 4、5、6、7、8 和与交换机 2 的端口 1、2、3、8 连接的计算机定义为 VLAN2。

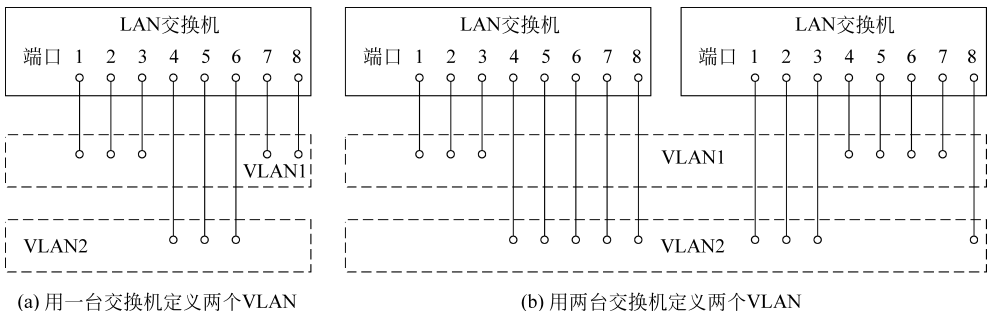


图 5.8 端口定义 VLAN

从这种划分方法本身可以看出，定义端口 VLAN 成员时非常简单，只要将所有的端口都定义为相应的 VLAN 组即可，适合于任何大小的网络。它的缺点是不允许多个 VLAN 共享一个物理网段或交换机端口。如果某一用户从一个端口所在的虚拟网移动到另一个端口所在的虚拟网，网络管理员需要重新进行设置。

2. 根据 MAC 地址划分 VLAN

MAC VLAN 是根据每个主机的 MAC 地址来划分的。其优点是允许工作站移动到网络

的其他物理网段中。因为 MAC 地址是与硬件相关、固定于工作站的网卡内的，当网络用户从一个物理位置移动到另一个物理位置时，VLAN 交换机将跟踪属于 VLAN 的 MAC 地址，自动保留其所属 VLAN 的成员身份。

MAC VLAN 的不足之处在于所有的用户必须被明确地分配给虚拟网，要求所有用户在初始阶段必须配置到至少一个 VLAN 中；初始配置必须由人工完成，然后才可以自动跟踪用户。这对于用户较多的大型网络是非常烦琐的。

3. 基于网络层协议划分 VLAN

基于网络层协议划分的 VLAN 也称第三层 VLAN，是按网络层协议，如 IP、IPX、DECnet、AppleTalk、Banyan 等划分 VLAN。这种方法的优点是用户的物理位置改变了，不需要重新配置所属的 VLAN，这对网络管理者来说很重要。这种划分方法由于不需要附加的帧标签来识别 VLAN，可以减少网络的通信量。

这种方法的缺点是效率低，因为检查每一个数据包的网络层地址是需要消耗处理时间的（相对于前面两种方法），一般的交换机芯片都可以自动检查网络上数据包的以太网帧头，但要让芯片能检查 IP 帧头，需要更高的技术，同时也更费时。当然，这与各个厂商的实现方法有关。

这种按网络层协议来组成的 VLAN，可使广播域跨越多个 VLAN 交换机。这对于希望针对具体应用和服务来组织用户的网络管理员来说是非常具有吸引力的，用户可以在网络内部自由移动，但其 VLAN 成员身份仍然保留不变。

4. 按策略划分 VLAN

基于策略组成的 VLAN 能实现多种分配方法，包括 VLAN 交换机端口、MAC 地址、IP 地址、网络层协议等。网络管理人员可根据自己的管理模式和本单位的需求来决定选择哪种类型的 VLAN。

5. 其他划分方法

(1) 利用 IP 广播域来划分 VLAN。利用 IP 广播域来划分虚拟网的方法给使用者带来了巨大的灵活性和扩展性。在这种方式下，整个网络可以非常方便地通过路由器或第三层交换机扩展网络规模。

(2) 按用户定义、非用户授权划分 VLAN。为了适应特别的 VLAN 网络，根据具体的网络用户的特别要求来定义和设计 VLAN，而且可以让非 VLAN 群体用户访问 VLAN，但是需要提供用户密码，在得到 VLAN 管理的认证后才可以加入一个 VLAN。

5.3 无线局域网

无线局域网 (Wireless Local Area Network, WLAN) 是以无线方式相连的计算机之间的资源共享，它除具有传统网络所支持的各种服务功能外，还可以在一定的区域实现移动并随时与网络保持联系。通常在下列 3 种情形下可能需要使用无线局域网：