

大恒图书

黎连业 刘占全 编著

十兆百兆千兆

以太网网络及其组网方案

中国科学院计算所(二部)
网络研究开发中心培训教材

计算机

丛书



大恒电子出版社

前 言

自从 1970 年代中期发明了以太网络以来,以太网经历了 1M APSX、10Mbps、100 Mbps、1000 Mbps 的发展过程。它的每一个发展过程都给人们带来了惊喜的进步。随着技术的发展又被人们以更好、更高性能、更高速率所取代。真是长江后浪推前浪,一浪更比一浪强。作为从事计算机网络的科技人员,对以太网的发展过程以及他的有关技术是非常关心的。同时,作为单位或部门根据自身的经济实力,选择什么样的以太网也是非常重要的,因此,我们写出了《十兆、百兆、千兆以太网及其组网方案》以供参考。

本书共有九章组成,他们是:

第一章 以太网发展简述。叙述的内容有:以太网络的创建过程;以太网络的技术成份;以太网络的标准;以太网络的重要概念;以太网络的介质访问控制技术。

第二章 以太网的设计指标、优点和主要协议格式。叙述的内容有:以太网络的技术指标和设计指标;以太网络的优点;IEEE802.3 与以太网的关系。

第三章 以太网络的传输介质和互连设备,叙述的内容有:双绞线;同轴电缆;光缆;调制解调器;中继器;集线器;网卡;网桥;交换机;路由器;网关;防火墙等基本知识。

第四章 十兆以太网,叙述的内容有:10M 以太网的 MAC;10M 以太网的 PHY 标准;10BASE-T;10BASE-T 的优点;10 兆的以太网交换机。

第五章 百兆以太网。叙述的内容有:百兆以太网简述;百兆以太网的主要特点;百兆以太网的协议特点;百兆以太网与千兆以太网之间的主要区别;百兆以太网标准与功能;百兆以太网介质与拓扑结构;交换式以太网;10 兆向 100 兆迁移等。

第六章 千兆以太网,叙述的主要内容有:千兆以太网简介;千兆以太网的 8 个不同点;千兆以太网标准;千兆以太网主要技术特点,千兆以太网有关介质等。

第七章 十兆以太网组网方案,叙述的主要内容有:家庭办公环境网络解决方案;华为公司为小型企业网络建立的方案;ISDN 接入 10M 网络的有关问题和方案。

第八章 十兆/百兆、百兆以太网组网方案。叙述的内容有:中小型企业网络组网方案;十兆产品自动升级到百兆;带宽不足升级的百兆方案;10/100 兆共享式工作组网络方案;100 兆交换式工作组网络方案;企业的大型网络方案等。

第九章 千兆位以太网组网方案,叙述了国家图书馆组网方案;电信总局组网方案。

本书写作时参考了许多技术资料和大量的书籍,尤其是华为公司、3Com 公司、Intel 公司的资料,借此机会表示感谢!

由于作者水平有限,对书中的错误和不当之处,欢迎读者批评、指正。

作 者
2000 年 4 月

目 录

第一章 以太网发展简述

1.1 以太网络的创建过程.....	1
1.2 以太网的技术成分.....	2
1.3 以太网的标准.....	3
1.4 以太网的重要概念.....	5
1.5 以太网的介质访问控制技术.....	7

第二章 以太网的设计指标、优点和主要协议格式

2.1 以太网的技术指标和设计指标.....	9
2.2 以太网的优点.....	9
2.3 IEEE802.3 与以太网的关系.....	10
2.4 802.3 以太网帧和地址格式.....	13

第三章 以太网的传输介质和互连设备

3.1 双绞线.....	15
3.2 同轴电缆.....	17
3.3 光缆.....	18
3.4 调制解调器.....	19
3.5 中继器、集线器.....	24
3.6 网卡.....	26
3.7 网桥.....	27
3.8 交换机.....	30
3.9 路由器.....	32
3.10 网关.....	34
3.11 防火墙.....	36

第四章 十兆以太网

4.1 10M 以太网的 MAC.....	42
4.2 10M 以太网 PHY 标准.....	44
4.3 10M 以太网 10BASE-T 详述.....	47
4.4 10BASE-T 的技术优点.....	52
4.5 10M 以太网交换器.....	56

第五章 百兆以太网

5.1 百兆以太网简述.....	58
5.2 百兆以太网的主要特点.....	58
5.3 百兆以太网的协议特点.....	59

5.4	百兆以太网与千兆以太网之间的主要差别.....	59
5.5	百兆以太网 802.3U 标准系列主要功能简要介绍.....	62
5.6	百兆以太网介质与拓扑结构简况.....	69
5.7	交换式的以太网简要介绍.....	76
5.8	10BASE-T 向 100BASE-T 迁移.....	77
5.9	10/100 快速以太网网络设计指南... ..	78
5.10	快速以太网的设计.....	80
5.11	虚局域网.....	82

第六章 千兆以太网

6.1	千兆以太网简介.....	85
6.2	千兆以太网与百兆以太网之间的主要差别.....	85
6.3	千兆位以太网标准.....	87
6.4	千兆位以太网的主要特点.....	88
6.5	千兆位以太网主要技术简述.....	88
6.6	千兆位以太网物理层.....	102
6.7	千兆位以太网的服务质量保证.....	103
6.8	千兆位以太网物理介质有关要求.....	103

第七章 十兆位以太网组网方案

7.1	家庭办公环境网络解决方案.....	114
7.2	华为公司为小型企业网络建立的解决方案.....	115
7.3	ISDN 接入 10M 网络的有关问题和方案.....	118

第八章 十兆/百兆 百兆以太网组网方案

8.1	中型企业网络组网方案.....	124
8.2	10 兆产品要能自动升级到 100 兆.....	127
8.3	带宽不足升级到 100 兆交换网.....	127
8.4	小型网络: 10/100 兆共享式工作组网络方案.....	128
8.5	中小型网络: 100 兆交换式工作组网络方案.....	129
8.6	企业级大型网络: 10/100 兆工作组网上连主干网.....	130
8.7	校园级网络: 10/100 兆交换式工作组网络.....	131
8.8	大型企业园区网解决方案.....	133
8.9	其他行业的典型方案.....	135

第九章 千兆位以太网组网方案

9.1	中国国家图书馆干线千兆网的组网方案.....	145
9.2	电信总局网管大楼 CoreBuilder9000 应用实例.....	147

第一章 以太网发展简述

1.1 以太网络的创建过程

以太网的关键技术是使用共享的公共传输信道，这种思想来源于美国夏威夷大学，早在 60 年代，夏威夷大学的 Norman Abramson 及其同行研究了一个名为 ALOHA 系统的无线网络。这个无线电广播系统为了把该校位于 Oahu 岛上的校园内的一台 IBM 360 主机与分布在其它岛屿上、海洋船舶上的终端连接起来而设计的，最初设计的传输速度为 4800bps，后来改变为 9600bps。ALOHA 系统的独到之处是用“入境”和“出境”无线电信道作两路数据传输。

出境：出境无线电信道是从主机向终端，只要终端地址放在传输的电文标题上，然后由相应的接收站译码。

入境：入境无线电信道是从终端向主机，但它复杂，是采用一种随机化的重传方法。方法的思想是：

终端操作是键入回车键 (Return) 之后发送它的电文或信息包，然后等待主机发回确认电文，在这过程中，如果在于 200 到 1500 毫微秒内，未能收到主机发回确认的电文，说明这时有其它站也在试验传输信息，因而发生了“碰撞冲突”使传输数据受到破坏，这时允许终端站再次选择一个随机时间重新发送它的信息包，这种方法对传输信息的成功率非常大。也被称谓“争用型网络”，原因就是不同的站都在争用相同的信道。

争用型网络向人的展示了二个重要的意义：

(1) 这一方法允许多个节点用简单的方法，准确地在同一信道上传输信息；

(2) 使用这一信道的站点越多发生碰撞的机率就越高，从而引出了传输延迟增加和信息流通降低。

1972 年，一位刚从麻省理工学院毕业的 Bob Metcalfe 来到 Xerox Palo Alto 研究中心 (PARC) 的计算机实验室工作，并被 Xerox 雇用为 PARC 的网络专家，Bob Metcalfe 的第一件工作是把 Xerox ALTO 计算机连到 Arpanet 上 (Arpanet 是现在流行的 Internet 的前身)。在访问 Arpanet 的过程中，偶然发现了 Abramson 的有关 ALOHA 系统的早期研究成果，在阅读 Abramson 的有关 ALOHA 论文后，Metcalfe 认识到：虽然 Abramson 已经作了大量的研究和假设，如果通过优化可以把 ALOHA 系统的速率提高到近 100%。1972 年底，Metcalfe 和 David Boggs 设计了一套网络，将不同地点的 ALTO 计算机连接起来，接着又把 NOVA 计算机连接到 EARS 激光打印机。Metcalfe 把他这一研究性工作命名为 ALTO ALOHA。1973 年 5 月，世界上第一个个人计算机局域网 ALTO ALOHA 投入了运行，在计算机网络研究史上起了里程碑的作用，揭开了计算机网络研究的崭新的一页，Metcalfe 将 ALTO ALOHA 网络改名为以太网 (Ethernet)，其意为：其灵感来自于“电磁辐射是可以通过发光的以太来传播的这一想法”。

最初的以太网以每秒 2.94Mbps 的速度运行，运行速度慢的原因是以太网的接口定时是采用 ALTO 系统时钟，即每 340 毫微秒才发送一次脉冲，构成了传输率为 2.94Mbps，后来作了许多许多的改进，以适应以太网的载波监听为特点的传输 (载波监听即每个终端站在要传输自己的数据信息之前，先要探听网络上的动静)，经过一段时间的研究与发展，1976 年，以太网已发展到连 100 个用户结点，并在 1000 米长的粗电缆上运行。Metcalfe 和 Boggs 于 1976 年 6 月发表了《以太网：局域网的分布型信息包交换》的著名文章，1977 年 12 月获得专利 (美国专利号 N04, 063, 220)，经过长时期研究，以太网终于象诞生婴儿经过“十月怀胎”一样正式诞生了。Xerox 急于把这一成果迅速产品化推向市场，因此，将以太网改名为 Xerox Wire。在 Intel 公司、DEC 公司和 Xerox 共同制定其网络标准

时又改名为以太网这个名称。

在制定标准过程中, Xerox 提供技术, DEC 有雄厚的技术力量, 而且是以太网硬件的强有力的供应商, 英特尔提供以太网硅片构件, 三方于 1979 年首次举行联席会议, 1980 年 9 月, DEC、Intel 和 Xerox 公布了第三稿的“以太网, 一种局域网数据链路层和物理层规范 1.0 版”这就是现在著名的以太网蓝皮书, 也称 DIX (DEC Intel Xerox) 的以太网 1.0 规范, 而规范的开始是规定在 20Mbps 下运行, 经过一段时间试验最后降为 10Mbps, 并重新定义了 DIX 标准, 并以 1982 年公布的以太网 2.0 版规范作为终结。

在 DIX 进行以太网标准化工作的同时, IEEE 组织一个定义与促进工业 LAN 标准的委员会, 并以办公室环境为主要目标, 称之为 802 工程, 尽管 DIX 推出了自己的以太网标准, 但 IEEE 不认为是国际标准, 所以, 1981 年 6 月 IEEE802 工程决定组建 802.2 分会, 以生产基于 DIX 工作成果的国际公认标准。19 个大公司参与了这项工作, 1982 年 12 月宣布了新的 IEEE802.3 草稿标准, 1983 年最终以 IEEE10BASE5 而面世并得到了国际上的认可。

到 1995 年人们已经不满足于 10M 以太网。而是建立 100M 以太网也称快速以太网。在此同时, 向人们揭示了二个方面的问题, 第一, 计算机网络技术发展是非常快的, 而且新技术是不断被涌现出来。第二, 人们的观念、工作效率、环境要求也发生了变化, 向着更快、更高、技术更新的方向发展, 需要发展千兆以太网。

1.2 以太网络的技术成份

在 20 世纪 80 年代早期以太网刚刚被普遍采用的时候, 桌面计算机还处于相对弱小的地位。集中式大型计算机占统治地位, 通过低速串行异步链路与之连接的终端使用户可以访问计算资源。几乎没有人能想像使用由 10Mb/s 以太网所提供的近乎巨大的带宽功能。

事实上, 起初的以太网所提供的 10MHz 带宽直到 90 年代早期对于几乎所有的桌面连接都是足够的。但是人们在早期就认识到由大量的桌面连接汇集而成的主干网连接需要更大的带宽。追溯到 1982 年, 在 IEEE802 委员会内部就提供了使用 100Mb/s 互联标准的建议。然而 IEEE802 成员大多为现存的由低数据率时代发展而成的局域网标准所吸引。但是 100Mb/s 网络在美国国家标准局 (ANSI) 中找到了自己的位置。由于 IEEE802 限于最初的 1Mb/s 到 20 Mb/s 范围内的局域网, 而 ANSI 则坚持 100 Mb/s 网络并最终将其发展成为分布式光纤数据接口 (FDDI) 系列标准, 所以这些标准被近乎于武断地分裂开来。

FDDI 作为一种技术被很好地接受, 但是由于其特有的性质, 如冗余和成熟的命令管理, 造成的相对昂贵的结构在很大程度上限制了其在主干网上的应用。以太网在桌面互联技术上仍旧占统治地位, 而 FDDI 则常被用于超出以太网局域网地理范围的连接。

在 1990 年运行于非屏蔽双绞线上的 10 Mb/s 以太网被定义为 IEEE 10BASE-T 标准而被采纳, 这使得以太网被大量地采用。既然以太网可以在廉价的双绞线上运行, 那么建筑物就可以与电话服务相近的连线方式提供局域网连接。另外, 10BASE-T 在技术方面也带来了好处, 它允许芯片和系统供应商大大地降低实现成本。当客户-服务器模式取代集中式大型机时, 简单且廉价的以太网连接正好符合了分布式高性能桌面计算技术而加速其发展。结果出现了更大的网络, 更多的网络应用程序以及大大增长的带宽需求。

迅速增长的带宽需求和复杂系统的低成本芯片实现导致了 1990 年代初的两个关键趋势。第一个趋势是由自以太网最初被定义以来就存在的共享式以太网拓扑结构向交换式拓扑结构的转换。共享式以太网的本质就是所有的工作站共享 10 MHz 的信道。随着网络中用户数目和流量的增加, 共享结构成了瓶颈。交换式以太网允许每个工作站有可能获得全部的 10 MHz 带宽而无需共享。第二个趋势是能够以 10 倍于原始数据率的速度 (即 100 Mb/s) 运行的以太网设备的开发与应用。快速以太网, 或者叫 IEEE 100BASE-T 在 1995

年正式成为标准,同时其产品被大量采用。快速以太网和交换式以太网具有很强的互补性,因为多个 10Mb/s 网络可以被汇聚到一个 100 Mb/s 连接上。另外由于 10 Mb/s 和 100 Mb/s 以太网使用同一种以太网帧格式(而 FDDI 使用与以太网不同的帧格式),所以由互联设备带来的额外费用和绩效都可以实现。快速以太网同时还包含了这样的能力,它允许设备既可以以 10 Mb/s 也可以以 100 Mb/s 速度工作,并定义了一种自动协商机制用于控制并选择合适的速度。这种能力被证明是非常重要的,它允许大量的 100 Mb/s 网络适配卡被应用到已大量存在的基于 10 Mb/s 的网络中去。这就有效地激发了对 100 Mb/s 基础设施的需求,从而导致快速以太网中继器和交换机的大规模使用。

10 Mb/s 交换式以太网和 100 Mb/s 以太网的使用同样也增加了网络流量和带宽需求,尤其是在多个 10 Mb/s 和(或)100 Mb/s 网络汇聚的主干网中。随着桌面计算机和工作站的功能不断增长,像 World Wide Web 之类要求高质量彩色图像内容的新的应用程序也在不断地增加带宽需求。

后来就有了最新的千兆速以太网。数据流为每秒 1 000 000 000 字节,速度为起初(现在仍非常流行)的 10 Mb/s 版本的 100 倍。

1.3 以太网络的标准

现在没有任何一种网络技术的描述不是以 OSI(开放式系统互联)7 层模型为对象的如图 1-1 所示。尽管七层模型被广泛使用,但是它仍然是一个很好的参照物,由它出发我们可以了解哪些是“以太网”对应的部分,以及哪些是在 IEEE 802.3 标准之外的部分。

OSI 7层参考模型

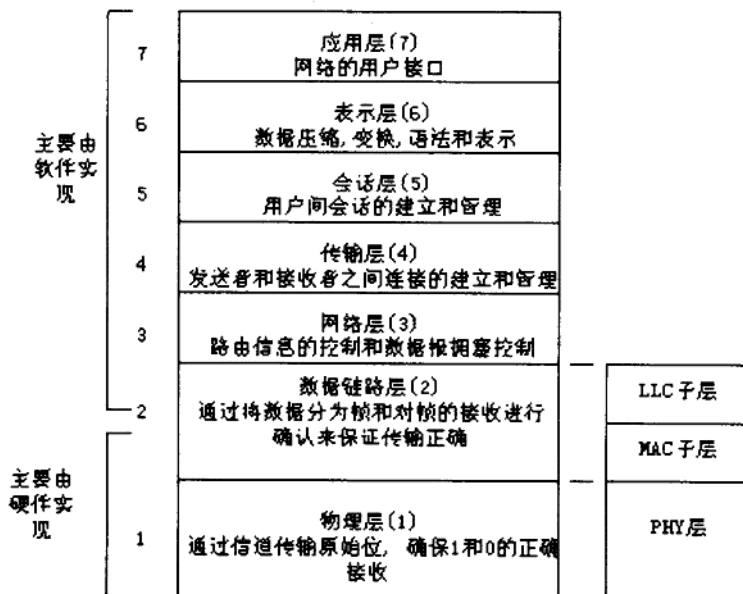


图 1-1 OSI 参与模型

802.3 以太网标准位于 ISO/OSI 7 层参考模型的第 1 层(物理层)和第 2 层(数据链路层)。802.3 标准仅仅是由 IEEE 802 标准制定的第 1 和第 2 层标准之一,如图 1-2 所示。其他的标准还包括 802.4(令牌总线)、802.5(令牌环)、802.6(局域网)、802.11(无线网)、802.12(需求优先级)。

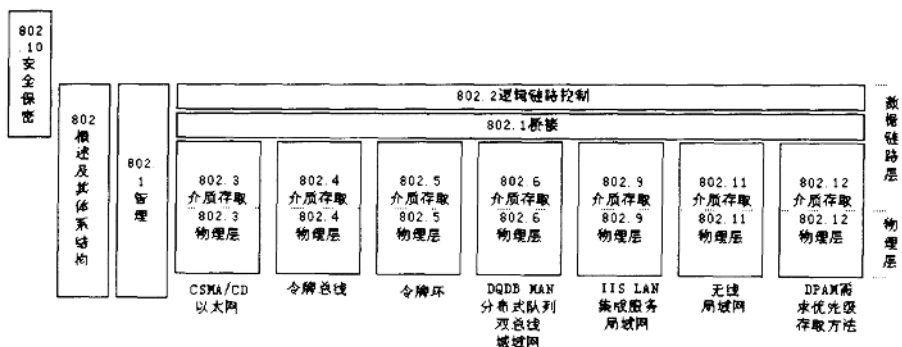


图 1-2 ANSI/IEEE 标准之间的相互关系

整个标准制定过程由最底层开始，如图 1-3 所示。起初由个人或一群人向高层工作组请求考虑一个新的工作领域。通常这是由那些相互协作研究某一问题和某些潜在的解决方案，并将这些建议提交工作组成员请求予以考虑的专家们来完成的。一旦工作组内成员对其有浓厚兴趣并愿意在该主题上进一步详细研究，工作组将成立一个研究小组（尽管它有可能并非真正执行标准制定工作的工作组）。研究小组成立时带有一定的时限，通常是两次 IEEE 全体会议的间隔时间（大约 8 个月）。若要继续更长时间，研究组必须提出延期请求。

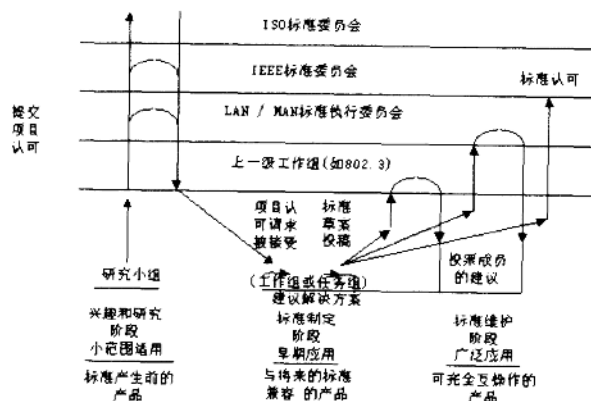


图 1-3 IEEE 标准制定过程

如果成功地确定了某一种问题及可能的技术解决方案，同时又有足够的成员继续对其有兴趣，那么研究小组将制定出一个项目认可请求（PAR），以及“五条标准”。它们将被提交给负责人工作组，如果被接受就将使标准认可过程达到 802 执行委员会并最终到达 IEEE 标准委员会。为了判断某项工程在技术上和经济上是否可行，五条标准被用于衡量研究小组工作的关键性需求。它们是：

1. 广阔的市场潜力（引起工业界广泛的兴趣）。
2. 与现有标准的兼容性（不破坏现有标准）。
3. 鲜明的特点（不与现有标准或正在进行的工作相重复）。
4. 技术可行性（可以用已有技术实现）。
5. 经济可行性（可以用成本—效率的方式实现）。

如果 PAR 被接受,那么一个新的工作请求将得到认可,研究小组被解散,一个新的工作组或一个现存工作中新的任务组将得以形成。这才是进行真正的标准开发工作的地方。通常情况下,真正用于草案文档撰写的时间是几个月甚至是几年。在这一段时期,任务组的成员可以提出各种建议或相反的建议,并将考虑和分析各种不同的解释方案。参与者通常来自于那些对之感兴趣的系统供应商、芯片制造商以及用户个人。如果读者对此感兴趣,可与其他国家和国际性标准化组织进行联络。

最后,如果任务组工作得以顺利完成,那么他们制定出的草案将移交给投票过程。投票过程也是一个多级过程。文档首先在任务组内进行投票,然后是在工作组内(即在 802.3 一级内),接着是在 LSMC Sponsor Ballot 级。在每一阶段中,来自于各个组中投票成员的建议都将被认真分析,这样做的目的是为了确保最终标准在技术上的准确性。应注意这是 802.3 的做法。某些工作组在操作上可能有一些微小差别。

最后,草案文档(经常在很大程度上作了修正)将等待 IEEE 标准委员会的认可,并且在顺利通过这一阶段之后就将成为正式 IEEE 标准。正常情况下,文档将进一步移交给 ISO 进行认可,并由国际标准化组织(ISO)认可和出版。如果工作组事先很好地解决了技术方面的问题,并且得到了多个供应商和国际性参与者的一致认可,那么这最后两步将不会对文档进行重大的修改。

1.4 以太网的重要概念

1.4.1 IEEE 802.3 帧结构

图 1-4 给出了 IEEE802.3 帧结构,各字段的功能如下:

前导同步码 7 字节	SFD 1 字节	目的地址 6 字节	源地址 6 字节	数据长度 2 字节	协议首部 20 字节	数据和填充字节 0~1500 字节	帧校验 4 字节
---------------	-------------	--------------	-------------	--------------	---------------	----------------------	-------------

图 1-4 IEEE 802.3 帧结构

- (1) 前导同步码由 7 个同步字节组成,用于收发之间的定时同步。
- (2) SFD 是帧起始定界符。
- (3) 目的地址是帧发往的站点地址,每个站点都有自己唯一的地址。
- (4) 源地址是帧发送的站点地址。
- (5) 数据长度是要传送数据的总长度。
- (6) 协议首部是数据字段的一部分,含有更高层协议嵌入数据字段中的信息。
- (7) 数据字节的长度可从 0 到 1500 个字节,但必须保证帧不得小于 64 个字节,否则就要填入填充字节。
- (8) 帧校验占用 4 个字节,采用 CRC 码,用于校验帧传输中的差错。

1.4.2 IP 地址与以太网地址

(1) 地址

地址实际上是一种标识符,用以标识系统中的某个对象。通常标识符被分为 3 类:

- ① 名字 (name) 用来标识对象是什么。
- ② 地址 (address) 用来标识对象在那里。
- ③ 路由 (route) 用来指示如何去访问对象。

地址类似于通讯地址和用户电话号码,用于对象之间的通信。

(2) IP 地址

IP 地址是 Internet 网络使用的地址,要点如下:

- ① IP 地址采用点分十进制表示法,例如 192.168.1.10 等。
- ② IP 地址分类,如图 1-5 所示,共分五类 IP 地址:
 - A 类地址中,共有 $2^7=127$ 个网络,每个网络可连接 $2^{24}=16\,777\,216$ 台主机。
 - B 类地址中,共有 $2^{14}=16\,384$ 个网络,每个网络可连接 $2^{16}=65\,536$ 台主机。

- C 类地址中, 共有 $2^{21}=2\,097\,152$ 个网络, 每个网络可连接 2^8 台主机。

③常用的地址有 A、B、C 类, D、E 类暂保留。

- 主机没有 IP 地址, 只有网卡才有 IP 地址。
- 一台主机可有多网卡, 即可能有多个 IP 地址, 例如路由器。
- 网络之间是根据网络号进行寻径的, 即只关心找到相应的网络, 主机的寻径由网络内部完成。

• IP 地址由 Internet 网络信息中心 (InterNIC) 分配和管理, InterNIC 负责分配网络 ID 号, 网络管理员负责分配主机 ID 号。每台主机都有唯一的 IP 地址。-

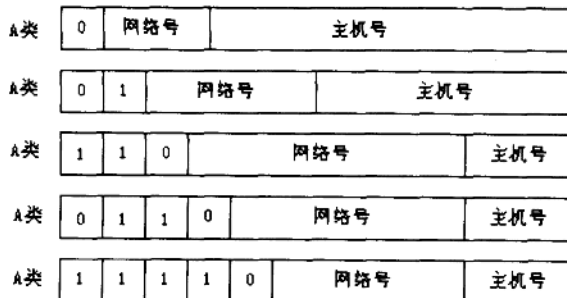


图 1-5 IP 地址分类

(3) 以太网地址

以太网使用的是 MAC 地址, 即 IEEE 802.3 以太网帧结构中定义地址。由 IEEE802.3 委员会分配给各网卡生产厂商。每块网卡出厂时, 都被赋予一个 MAC 地址, 网卡的地址共有 6 个字节, 其组成如下:

- ①前 3 个字节为厂商编号, 全世界每个网卡生产厂商的编号都不相同, 因此不会产生两个网卡的地址相同的情况。

- ②后 3 个字节为网卡的编号。

那么是否会发生两个网卡厂商是有相同的网卡 MAC 地址? 当然不会, 因为每个网卡生产厂商都必须先进行注册登记, 只有取得厂商编号后才能开始生产网卡, 而厂商编号是经过统一规则后才赋予的, 因此, 不同厂商的编号是不可能相同的。

(4) IP 地址与以太网地址之间的转换

以太网使用的是 MAC 地址 (OSI 的第 2 层), 而 Internet 网络使用的是 IP 地址 (OSI 的第 3 层), 因此, 以太网要连接到 Internet, 就存在着 IP 地址与以太网地址之间的转换和映射问题。这由 TCP/IP 标准中的 ARP (Address Resolution Protocol) 地址转换协议和 RARP (Reverse Address Resolution Protocol) 逆向地址转换协议完成。

1. 4. 3DIX 2.0 与 IEEE 802.3 比较

(1) 相同点

- ①DIX 2.0 和 IEEE 802.3 均采用 CSMA/CD 介质访问控制技术。
- ②DIX 2.0 和 IEEE 802.3 均属广播型网络, 这就是说, 所有的站点均可收到传输介质上的帧, 而不管帧的目的地址在什么地方。每个站点均要检查收到的帧, 以判定本站点是否为帧的目的地。如果本站点是该帧的目的地, 则该帧将被送往高层协议进行处理。
- ③DIX 2.0 和 IEEE 802.3 均由硬件管理。

(2) 差异

DIX 2.0 提供符合 OSI 参考模式的第 1 层和第 2 层服务, 而 IEEE802.3 定义了 OSI 参

考模型第 2 层（数据链路层）的介质访问控制（MAC）子层，并没有定义第 2 层的逻辑链路控制（LLC）子层。

1.5 以太网的介质访问控制技术

1.5.1 CSMA

(1) 原理

CSMA 是英文 Carrier Sense Multiple Access 的缩写，中文译为载波监听多路访问，其工作原理如下：一个站点要发送信号，首先需监听总线，以确定传输介质上是否存在其他站点发送的信号。

- ②如果传输介质空闲，则可以发送信号。
- ③如果传输介质忙，则等待一段时间重试。

(2) 坚持退避算法

传输介质的最大利用率取决于帧的长度和传播时间。帧越长，传输时间越短，则传输介质的利用率越高。

为了提高传输介质的利用率，通常采用坚持退避算法，如图 1-6 所示。

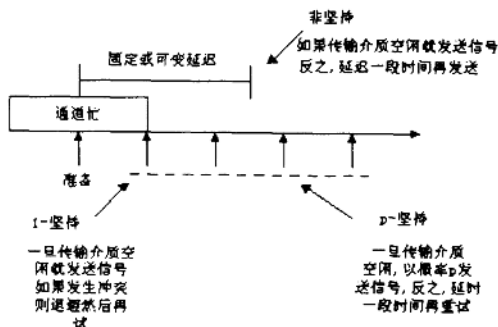


图 1-6 CSMA 坚持退避算法

①非坚持 CSMA

- a.如果传输介质是空闲的，则发送信号。
- b.如果传输介质是忙的，则随机延迟一段时间，再重复 a。

②1-坚持 CSMA

- a.如果传输介质空闲，则发送信号。
- b.如果信号发生冲突，则随机等待一段时间后，再重复 a。
- c.如果信号发生冲突，则随机等待一段时间后，再重复 a。

③P-坚持 CSMA

- a. 如果传输介质空闲，则以概率 P 发送信号，而以概率 $(1-P)$ 延迟一个时间单位。时间单位等于最大的传播延迟时间
- b.如果传输介质忙，则继续监听，一旦传输介质空闲，则重复 a。
- c.如果发送被延迟一个时间单位，则重复 a。

(3) 三种 CSMA 坚持退避算法比较

①非坚持算法

非坚持 CSMA 算法利用随机延迟重传时间来减少冲突发生的概率，这种算法的缺点是传输介质的利用率较低，这是因为即使多个站点有数据重发，传输介质仍可能处于空闲状态。

②1-坚持算法

为了提高传输介质利用率,可采用 1-坚持 CSMA 算法,当站点有数据要发送时,只要传输介质空闲则立即发送。这种算法的缺点是:如果有两个(或两个以上)的站点有数据发送,则冲突就难以避免。

③P-坚持算法

P-坚持 CSMA 算法是前两种算法的折中,即试图既降低 1-坚持算法的冲突概率,又提高传输介质的利用率。

P-坚持算法的难点在于如何选择最佳的 P 值,因为如果 P 值选择太大,则冲突概率增加,如果 P 值选择太小,则会降低传输介质的利用率。

1. 5. 2 CSMA/CD

载波监听多路访问/冲突检测 CSMA/CD (Collision Detection) 是以太网的介质访问控制协议,CSMA/CD 是 CSMA 的改进方案,其目的是提高传输介质的利用率。

采用 CSMA 算法时,由于传输延迟的影响,当两个站点同时监听到传输介质上没有发送信号,仍然会发生冲突。由于 CSMA 没有冲突检测功能,即使冲突已发生,也要将破坏的帧发完,导致降低传输介质的利用率。

一种改进 CSMA 算法是采用载波监听多路访问/冲突检测 CSMA/CD 协议,CSMA/CD 是以太网的介质访问控制协议。其基本思想是:每个站点在发送帧时,同时检测冲突,一旦检测到冲突,就立即停止发送信号,并向传输介质发送一串阻塞信号,通知传输介质上已发生冲突,由此提高传输效率。

1. 5. 3 二进制指数退避算法

在 CSMA/CD 算法中,在检测到冲突并发完阻塞信号后,为了降低再次发生冲突的概率,随机延时一段时间,再按 CSMA/CD 算法发送信号。采用二进制指数退避算法来确定随机延时间,其工作原理如下:

- (1) 对每个帧,第 1 次发生冲突时,设置参数 $L=2$ 。
- (2) 退避时间从 $1 \sim L$ 个时间片中随机选取。
- (3) 当帧重复发生冲突时,参数 L 加倍。
- (4) 设置一个最大的重传次数,如果超过该重传次数,则不再重传,并报告出错。
- (5) 未发生冲突或很少发生冲突的帧成功发送的概率大。反之,发生多次冲突的帧成功发送的概率小。

1. 5. 4 以太网介质访问控制协议

IEEE 802.3 以太网 MAC 层采用 CSMA/CD 介质访问控制协议,并用 1-坚持算法和二进制指数退避算法。这种算法在低负载时,如果传输介质空闲,则站点能立即发送信号;在重负载时,仍能保证系统稳定可靠运行。

第二章 以太网的设计指标、优点和主要协议格式

2.1 以太网的技术指标和设计指标

以太网的主要技术指标如下：

传输率：10Mbps；

拓扑方式：总线，-星型；

访问方式：CSMA/CD；

传输类型：包交换；

包长：72~1526 字节；

ISO/OSI 实现层次：物理层和数据链路层；

同轴电缆结构：

站间最大距离：2500m；

网段的最大长度：500m；

最大站数：1024；

每段最大站数：100。

以太网的设计指标是：

1. 简易性

结构简单，易于实现并易于修改。

2. 低成本

随着 VLSI 的发展，使连接设备本身的成本不断下降。

3. 兼容性

建成的各个以太网在数据链路层交换数据。因此，去掉了一些可有可无的特性，以利于消除以太网各种变型之间不相容的因素。

4. 编址灵活性

编址机构能指示信息帧送往一个节点，一组节点，或所有的节点。

5. 均等性

按时间平均值来看，所有节点网络的访问机会均等。

6. 扩展性

按照协议工作的统一节点，都不会妨碍其它节点的扩展。

7. 高速

以太网以 10Mbps 的数据率进行传输。

8. 低延时

在提供的任何给定信息量的水平上，使网络上的帧的传输延迟尽可能小。

9. 稳定性

在满载荷的条件下，网络是稳定的。

10. 可维护性

层次体系结构采用便于分析数据链路协议、逻辑概念和通信媒体的物理细节，以提高可维护性。

2.2 以太网的优点

以太网具有的优点主要表现为：

- (1) 传输速率较高，给高速信息传输提供了物理基础，加上分布式控制的灵活性、高效率 and DMA 技术，使以太网获得较高的传输率；

- (2) 结构简单、灵活、便于扩充，易于实现；
- (3) 工作可靠，单个工作站发生故障不会影响整个网络，并可通过总线对各工作进行检测，诊断，便于维护和故障恢复。

2. 3 IEEE 802.3 与以太网的关系

2. 3. 1 背景

以太网是局域网家族的一员，它包括以下三种主要类型：

- (1) 以太网和 IEEE 802.3：标准局域网，速率为 10Mbps，传输介质为同轴电缆；
- (2) 100-Mbps 以太网：快速以太网，速率为 100Mbps，传输介质为双绞线；
- (3) 1000-Mbps 以太网：千兆级的以太网，速率为 1000Mbps，传输介质为光纤和双绞线。

由于灵活性高且易于理解和实现，以太网成了最基本的介质技术。尽管其它技术被吹捧得可以完全替代以太网，但是网络管理者最终还是选择以太网及其衍生技术作为实施小型网络的有效解决方案。为了解决以太网的局限性，专家们（和标准制定组织）逐步扩大了以太网的范畴。评论家们不喜欢以太网，把它作为一种难以评价的技术。但以太网的传输方法正逐渐成为当代小型网络数据传输的主要方法。本章主要介绍发展至今的各种以太网技术。

2. 3. 2 以太网和 IEEE 802.3

以太网是 Xerox 公司发明的基带 LAN 标准，它采用带冲突检测的载波监听多路访问协议（CSMA/CD），速率为 10Mbps，传输介质为同轴电缆。以太网是在七十年代为解决网络中零散的和偶然的堵塞开发的，而 IEEE 802.3 标准是在最初的以太网技术基础上于 1980 年开发成功的。现在，以太网一词泛指所有采用 CSMA/CD 协议的局域网。以太网 2.0 版由数字设备公司(Digital Equipment Corp)、Intel 公司和 Xerox 公司联合开发，它与 IEEE 802.3 兼容。图 2-1 就是在同轴电缆上运行 CSMA/CD 的以太网。

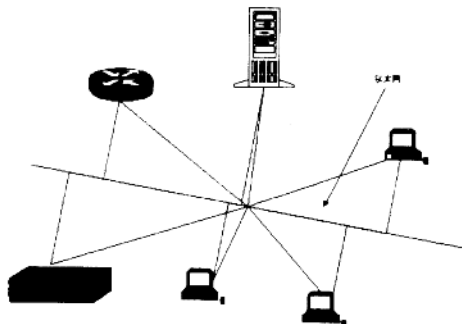


图 2-1 在同轴电缆上运行 CSMA/CD 的以太网

以太网和 IEEE 802.3 通常由接口卡（网卡）或主电路板上的电路实现。以太网电缆协议规定用收发器电缆连到网络物理设备上。收发器执行物理层的大部分功能，其中包括冲突检测。收发器电缆将收发器连接到工作站上。

IEEE 802.3 提供了多种电缆规范，10Base5 就是其中的一种，它与以太网最为接近。在这一规范中，连接电缆称连接单元接口（AUI），网络连接设备为介质访问单元（MAU），而不再是收发器。

(1) 以太网和 IEEE 802.3 的工作原理

在基于广播的以太网中，所有的工作站都可以收到发送到网上的信息帧。每个工作站

都是确认该信息帧是否是发送给自己的。一旦确认是发给自己的，就将它发送到高一级的协议层。

在采用 CSMA/CD 传输介质访问的以太网中，任何一个 CSMA/CD LAN 工作站在任何一时刻都可以访问网络。发送数据前，工作站要侦听网络是否堵塞，只有检测到网络空闲时，工作站才能发送数据。

在基于竞争的以太网中，只要网络空闲，任一工作站均可发送数据。当两个工作站发现网络空闲而同时发出数据时，就发生冲突。这时，两个传送操作都遭到破坏，工作站必须在一定时间后重发。何时重发由延时算法决定。

(2) 以太网和 IEEE 802.3 服务的差别

尽管以太网与 IEEE 802.3 标准有很多相似之处，但也存在一定的差别。以太网提供的服务对应于 OSI 参考模型的第一层和第二层，而 IEEE 802.3 提供的服务对应于 OSI 参考模型的第一层和第二层的信道访问部分（即第二层的一部分）。IEEE 802.3 没有定义逻辑链路控制协议，但定义了几个不同的物理层，而以太网只定义了一个。图 2-2 说明了以太网和 IEEE802.3 与 OSI 参考模型的对应关系。

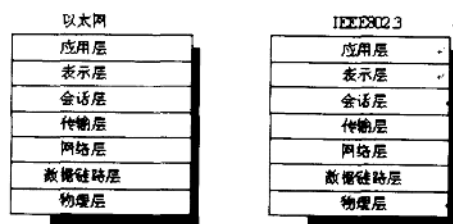


图 2-2 以太网和 IEEE 802.3 与 OSI 参考模型的对应关系

IEEE 802.3 的每个物理层协议都可以从三方面说明其特征，这三方面分别是 LAN 的速度、信号传输方式和物理介质类型，如图 2-3 所示。表 2-1 总结了以太网与 IEEE 802.3 以及 IEEE 802.3 不同物理层规范之间的差别。

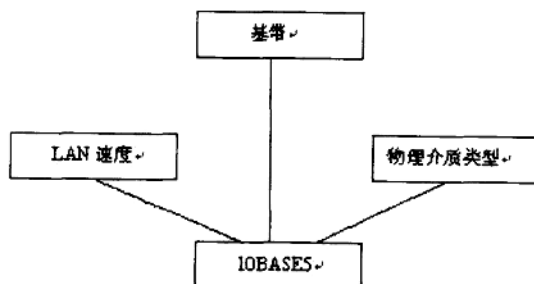


图 2-3 IEEE 802.3 组件的三方面

表 2-1 不同 IEEE 802.3 物理层规范比较

特性	以太网	IEEE 802.3				
		10Base5	10Base2	10BaseT	10BaseFL	10BaseT
速率 (Mbps)	10	10	10	10	10	100
信号传输方法	基带	基带	基带	基带	基带	基带
最大网段长度 (m)	500	500	185	100	2,000	100
传输介质	50 欧姆 同轴粗缆	50 欧姆 同轴细缆	50 欧姆 同轴粗缆	非屏蔽 双绞线	光纤	非屏蔽 双绞线
拓扑结构	总线型	总线型	总线型	星型	点对点	总线型

(3) 以太网和 IEEE 802.3 的帧格式

图 2-4 说明了以太网和 IEEE 802.3 的帧结构。

下面对以太网和 IEEE 802.3 的帧域做几点说明：

- ① 帧头：由 0 和 1 组成，告诉接收站一个帧到了。在以太网帧中，还包含一个与 IEEE 802.3 帧的开始分隔符 (SOF) 等价的字节。
- ② 帧开始分隔符 (SOF)：用以同步局域网中所有工作站对帧的接收，它用两个连续的 1 结尾。以太网中明确定义了帧开始分隔符。

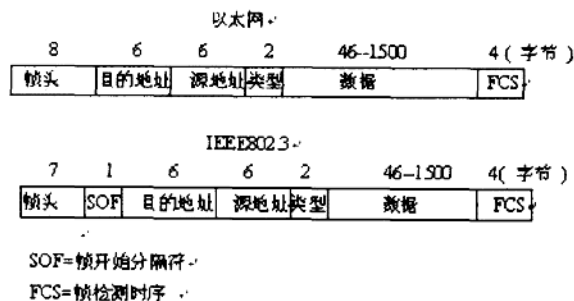


图 2-4 以太网和 IEEE 802.3 的帧结构

- ③ 源地址和目标地址：它们的前三个字节由 IEEE 指定，后三个字节则由以太网和 IEEE 802.3 的开发者指定。源地址总是单节点地址，目标地址可以只指向一个节点，也可以指向多个或所有节点。
- ④ 类型（以太网）：指定了以太网处理完后用以接收数据的上层协议类型。
- ⑤ 长度（IEEE 802.3）：指定了数据帧的字节数。
- ⑥ 数据（以太网）：在物理层和数据链路层处理完后，帧中的数据被发送到由类型域指定的上一协议层。尽管以太网标准 2.0 版没有定义任何填充的方法（与 IEEE 802.3 相反），但仍希望数据长度至少达到 46 字节。
- ⑦ 数据（IEEE 802.3）：物理层和数据链路层处理完后，帧中的数据被发送到由其自身指定的上一协议层。如果帧中数据不足 64 字节，则要插入填充字节，以保证 64 字节的帧长度。
- ⑧ 帧校验序列 (FCS)：该校验串由发送设备生成，其中含有一个 4 字节的循环冗余校验值，接收设备通过对它的重新计算，检测帧是否被破坏。

2.4 802.3 以太网帧和地址格式

规范地址格式

以太网/802.3（以及 802.4，令牌总线）设备以最低位在前的顺序发送字节，而 802.5（令牌环）和 FDDI 采用的是最高位在前的顺序。这个差别相对而言不是那么重要，但是根据规定，目的地址域中是单目地址还是多目地址将由线路上的第一位指明，而不是由地址的最高位或最低位指明。因此以太网中的多目地址在 802.5 或 FDDI 中就有可能不是一个多目地址。这将导致相当程度上的混淆，以及在互操作性方面的问题，此外在网桥、路由器以及交换机设备中也将导致更大的复杂性，因为它们将不得不在两种规范之间进行转换。

为了降低这种混淆性人们使用了一种规范地址格式，这种格式使用十六进制表示法，并且采用最低位在前的顺序。例如，地址 c4-34-56-78-9a-bc 就不是一个多目地址，因为第一个字节的最低位（c4，二进制为 1100 0010）是 0。图 2-5、图 2-6 说明了它们的存储方式。

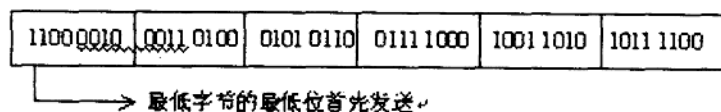


图 2-5 以最低位在前方式发送的帧的规范地址 c2-34-56-78-9a-bc 的存储方式

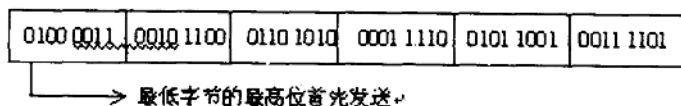


图 2-6 以最高位在前方式发送的规范地址 c2-34-56-78-9a-bc 的存储方式

2.0 版以太网帧格式

2.0 版以太网帧格式保留大多数网络中广为使用的形式。从以太网最初出现直到 1997 年，以太网类型域是由 Xerox 负责维护的，它起到了协议复用域的作用。在 1997 年，IEEE802 接替 Xerox 对以太网类型域进行维护。

该 2 字节域所携带的协议标识信息使得发送设备可以指明它所使用的协议，接收设备也可以用它来判断自己是否理解这样一个协议。由于该域长度为 16 位，所以有足够空间来支持大量的协议。

为了防止以太网类型值与有效的 802.3 长度值（两者由同一域携带）相互冲突，有效以太网类型值由 0600h 开始。与之相对应的长度值为 1536 字节，该值在作为 802.3 帧长度值时是非法的。这样 802.3 和以太网设备就可以共存。

在 802.3 采纳以太网协议之前，有一些早期的协议被赋予了低于 0600h 范围的以太网类型值，但是随后这些协议要么废弃了，要么就被重新分配了值。以太网帧格式如图 2-7 所示。