

# 千兆位以太网: 回顾与展望

王 磊 黄元庆 陈广文

(厦门大学机电工程系, 厦门 361005)

**摘要:** 以太网现在已经是最普遍的局域网技术, 占领了 90% 以上的市场。本文对以太网的原理做了介绍, 回顾了以太网的发展历程, 介绍了千兆位以太网的概念及相关标准, 同时介绍了几种千兆位以太网的实现, 最后展望了以太网的最新方向——10G 以太网。

**关键词:** 局域网, 千兆位以太网(GbE), LAN, Gigabit-Ethernet

## Gigabit ethorplet, review and future

Wang Lei Huang Yuanqing Chen Guangwen

(Mechanical & electrical Dep of Xiamen University, Xiamen 361005)

**Abstract:** Ether NET is the most prevalent LAN technic now, it has occupied almost 90% LAN market. This paper introduced the principle of Ethernet, reviewed te course of it, and introduce the standard of Gigabit Ether Net. At last We prospected the new development of GbE—10G Ether Net.

**Key words:** LAN, gIGABIT—Ethemet

## 1 以太网的发展历程

1973 年, Xerox 公司的 Palo Alto 研究中心为互连其“Alto”个人计算机, 组建了一个实验性的网络。因为它用一根共享的电缆作为物理介质将数据流送向所有的节点, 他们称之为以太(Ether)。以该网络为基础, 1980 年, 由 DEC, INTEL 和 Xerox 公司共同提出了关于以太网协议标准的正式建议, 建议在一个共享的介质上实现 10Mbps 基带传输速率的网络。这个网络可互连最多 1024 个, 最大站间距为 2.5 公里的计算机与数字设备。

1985 年, 10BASE5 规范作为 IEEE—802.3—1985 发布。以最长 500 米的粗同轴电缆为传输介质, 因为粗缆的直径太大而且很硬, 这种 LAN 相当昂贵难以安装。但是, 它证明了以太网协议是可行的, 而且网络配置比较方便。

1990 年, 10BASE-T 的推出是以太网成功的里程碑。它的成功归于多端口中继器和结构化布线的使用。多端口中继器(又称集线器 HUB), 作为星型布线的中心环节, 加上结构化电话布线, 使得 10BASE-T 网络成本低廉, 可靠性大大提高, 网络配置十分灵活, 而且其网络管理与故障排除都很简单。立刻得到了市场的认可, 1995 年, 全世界销售的局域网端口中 10BASE-T Ether Net 占 87%, 从而也为以太网后来的持续发展打下了良好的基础。

1993 年底开始发展的快速以太网在 1995 年推出了 100BASE-X 标准。它与 10BASE-T 有着相同的基础: 以太网帧格式, 多端口中继器, 网桥, 和结构化布线; 并将传输速率提高了 10 倍。因此也有一些改动, 首先是电缆, 100BASE-T4 使用 4 对 3 类或 5 类 UTP

(非屏蔽双绞线), 100BASE-T 使用 2 对 5 类 UTP 或 STP(屏蔽双绞线)。其次由于传输速度的提高, 冲突域直径(或网络直径)必须相应减小, 使用单个中继器的 100BASE-T 其网络直径不超过 200 米。

1994 年, 针对快速以太网的上述弱点, 交换式快速以太网出现了。在不改变传输速度、DTE 接口类型, 并不降低冲突域直径的情况下, 可以得到 2 倍于快速以太网的有效带宽。此后还出现了 10M/100M 通用端口交换机, 为高通信量端口提供 100Mbps 的速率, 为普通多数用户提供 10Mbps 的端口; 并允许光纤链路增大到 400 米。

1998 年, IEEE 推出了 802.3z 千兆位以太网标准 1000BASE-X。该标准使用了与以前的以太网相同的帧格式, 规定了长波光纤、短波光纤和短铜跳线三种介质上的 1000Mbps 的传输。1999 年又推出了名为 IEEE802.3ab 的标准 1000BASE-T, 提供了在 100 米的 4 对 5 类 UTP 上传输 1000Mbps 数据的方法。为广大以太网用户提供了无缝的升级手段, 进而成为宽带的 LAN、校园网主干乃至城域网的解决方案。

## 2 以太网帧结构与工作方式

2.1 以太网帧的结构。基本的以太网帧的结构如下:

Preamble	SFD	DA	SA	Length/Type	Data & Pad	FCS
----------	-----	----	----	-------------	------------	-----

Preamble——预同步码(7 个字节的 10101010)

SFD——帧起始定界符(1 字节 10101011)

DA——目标地址(48 位地址) SA——源地址(48 位地址)

\* 2001 年 7 月 16 日收稿

2001 年 9 月 17 日收到修改稿

Length/ Type——长度/类型字段(2字节,表示帧长度或类型)

Data & Pad——数据和填充字段(当数据小于46字节时,须填充PAD达到46字节)

FCS——帧校验序列(4字节,仅由DA, SA, Length/ Type, 和 Data/ Pad 字段生成)

目前定义的唯一控制帧是 PAUSE(暂停)。

通过在 SA 和 Length/ Type 字段之间插入 802 1Q 标记类型和标记控制信息,可以实现 VLAN 标记,并提供带有用户优先级的服务质量(QoS)。

2.2 以太网帧的发送:只要在一定时间内监听不到载波信号,CSMA/ CD 协议允许任意站开始发送一帧。如果在同一空闲期间 k 和 q 站都开始发送,这两个位流必然相互冲突,当发送站收到的位流与正在发送的位流不同时,该站就知道发生了冲突,它就发送一个阻塞信号,使得其他站也知道发生了冲突,然后停止发送。要指示出成功的帧发送,要求一个帧长度要长到足以保证在整帧送出之前能够检测到冲突。最坏的情况发生在当两个站在网络中最长路径的两端的时候,直到第一个站发送的帧到来前第二个站还未开始发送。因此从发送开始到第一个站检测到冲突这段时间是整个网络最大传输延迟的两倍,这个周期被称为冲突窗口。所有这些可能的站对之间的路径集合称为冲突域。冲突域中最长路径的长度为冲突域直径。当冲突窗口期满时,发送站可以认为该帧会被正确接收。在冲突域中的其他所有站都将会监听到载波,并一直等到网络再次回到空闲状态以后再尝试发送数据。如果为了降低发送站间出现冲突的概率,每个冲突站将其重发延迟一个随机选择的时间。如果额外冲突仍然发生,则将每个相继冲突之后选择的随机等待时间延长,直到重传成功或该站达到为连续发送尝试次数设立的极限。

2.3 以太网帧的接收:当每个站检测到传入帧的开始时,它就接着检查该帧的目标地址,以决定它是否与该站的单个地址或组地址匹配。如果匹配,那么该站就会接收传入帧的其余部分,并检查该帧的传输差错。一个冲突中涉及到的帧按与无冲突帧相同的方式处

理,但差错校验程序会检测出这是一个不完整帧,并将之丢掉。将接收到的有传输错误的完整帧也丢掉,并不通知该帧的发送站。从传输错误中恢复,包括通知发送站,都是 ISO 开放系统参考模型协议栈中上层的职责。

在千兆位工作速率下,由于冲突窗口的限制,为了使最小帧长度和 10Mbps 及 100Mbps 版的保持一致,必须在 FCS 字段后增加扩展位,称为载波扩展。要求扩展后的最小帧长度为 4096 位。

为了提高发送短帧的效率,千兆位 MAC 包括了另一个标准特性——帧突发(frame bursting);它允许用户发送一串小帧,而不必在每一帧之后释放网络介质,直到达到 burst Limit 超时。如果第一帧的长度小于 4096 位,必须包含载波扩展,如果此时没有冲突,后继的短帧也不必载波扩展,但在帧间隙中仍然要发送扩展位。

从最初的 10BASE5 直到最近的 1000BASE-T, CSMA/CD 的介质访问控制(MAC)方式一直是以太网的标准方式。CSMA/CD——载波监听、多路访问/冲突检测本身就概括了这一方法的运行方式。网络自身是一个被动广播介质,没有任何中央控制器,每个站可以收听到其它所有站的信息,也自己负责控制接收和发送。CSMA/CD 方式决定了任何时刻网络上只能有一个有效的数据流(帧),也就是说,它其实是半双工传输。

如果将冲突域限制到只有一对 DTE,即在点对点方式下,则可以实现真正的全双工通信。在全双工方式下,共享介质——以太,已不再需要,每个发送站不用管接收也不对接收作出反应,而由中央控制器——交换机(Switcher)来实现访问控制。实现全双工的关键技术就是交换(Switching)。我们可以看出交换机其实是一个多端口的网桥,它的每一个端口连接了一个仅包含一个 DTE 的冲突域。全双工的引入,使得以太网的流量增加了一倍,也是千兆位以太网的主要工作方式。

### 3 千兆位以太网(GbE)标准简介

ISO 的 OSI 参考模型与以太网参考模型的关系如图 1:

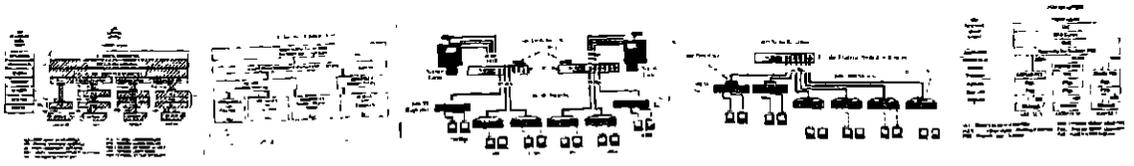


图 1 OSI 参考模型与以太网参考模型的关系 图 2 千兆位以太网网 图 3 交换机网络应用 图 4 千兆位主干应用 图 5

以太网参考模型的关系 次简图

A) MDI——介质相关接口:该接口规定了传输介质上的物理信号;

B) AUI——附加单元接口:主要用于当 DTE 与共

享介质有一定距离时连接 PCS 与 PMA;

C) MII——介质无关接口:主要规定了 MAC 子层与物理层的接口;

D)GMII——千兆位介质无关接口:规定了千兆位速率下的MAC子层与物理层的接口;

E)PCS——物理编码子层:主要完成8B/10B编码;

F)PMA——物理介质附加子层:实现10位并行数据与串行数据的转换(SERDES);

G)PMD——物理介质相关子层:针对不同的物理介质实现具体的信号的发送和接收;

千兆位以太网(GbE)层次结构简图如图2;

MAC层的功能和工作方式在上一节做了介绍,这里主要介绍一下物理层的特点。GbE规定了四种工作介质,分别为1000BASE-X规定的LX—长波光纤, SX—短波光纤;CX—短铜跳线;1000BASE-T规定的5类或以上的UTP。

LX为使用长波长(1310nm)的光纤,多模光纤可以支持2—550米距离,单模光纤可支持5公里传输距离。SX为使用短波长(850nm)的光纤,最大支持距离为220米到550米。CX为短铜跳线,最大距离25米,用于室内或机箱内连接。

1000BASE-T定义了5类UTP上传输1000Mbps的方法,通过使用五电平二进制编码,4对双绞线和125Mbps的线速,从而实现1Gbps的速率。最大传输距离100米。由于现代建筑早已普遍使用5类UTP的结构化布线,因此1000BASE-T产品的研究和开发是极具价值的一个热点。

#### 4 当前常用的千兆位以太网实现方案

GbE目前主要用于校园网主干、高速服务器连接、数据仓库等应用,并期望逐步向桌面布置。目前各大公司都已有1000BASE-X和1000BASE-T的网卡(NIC)产品面市。

由于GbE的标准规定每个冲突域最多只能有一个中继器,而且中继器的半双工方式效率较低,全双工是GbE的主要工作方式,中心的集线器设备主要是交换机(Switcher),依靠背板上的高速总线实现个端口间的全双工(2Gbps)数据交换。交换机的唯一缺点是成本较高。

全双工中继器(又称缓冲分配器)是一种性价比较好的中心集线设备。利用共享带宽、集中仲裁的策略。在各端口设置发送与接受缓冲区,和各DET进行全双工通信,接受缓冲区的内容按一定策略发往所有发送缓冲区,用PAUSE帧进行流量控制以避免溢出。使用这种简单的中央控制的方法有效的避免了冲突带来的效率下降和交换所须的复杂性。经实验证实,在图象传输中,当网络负载不超过60%时,与交换机性能没有明显差异;但比起CSMA/CD方式,在同样的延迟下,负载可提高50%~60%。图3和图4给出了两种典型的千兆以太网结构形成。

#### 5 结论与展望

推动网络带宽不断发展的因素,主要有四方面:①更强大的桌面计算能力使得网络不断成为瓶颈;②广域网技术的发展,使得LAN与WAN交换的信息量从以前的20%增长到现在大约80%;③网络多媒体的应用越来越多;④网络计算尤其是科学与工程计算对带宽的需求。不但有力的刺激了网络技术的不断发展,也使得高带宽局域网的部署势在必行。GbE的主要竞争对手是ATM,但是由于GbE有以下一些优点:①与已经大量部署的10M、100M以太网关系密切,其技术上的一致性使得升级对于用户和维护人员都很容易;②以太网协议的简单性,使得基于非连接(Non-Connection)、包交换(Packet-Switching)的应用程序十分普遍而且仍不断出现;③成本相对ATM低很多。GbE已占有越来越多的市场。

IEEE正在加紧进行GbE的升级标准802.3ae——10G位以太网标准的制定,其任务组已于2000年第一季度成立,并于2000年第三季度提出了第一批草案,预计2002年一季度推出正式标准。10GbE抛弃了传统的CSMA/CD半双工方式,只支持全双工和光纤介质。并首次提供了广域网接口。其层次结构简图如图5;

10G以太网使用了64B/66B编码方式,使用了包括WDM(宽波分复用)和SONET/SDH(同步光网络)等技术,极大提高了网络带宽和传输距离,使用1550nm光源和单模光纤时,距离预期为40公里。

GbE为当前的以太网提供了很好的升级手段,甚至也是城域网的一个很好的选择,又有足够的升级前景,因而倍受瞩目;由其所带动的光纤传输技术、数字信号处理技术及相应的软件技术,必将迅速成为国内研究和部署的热点。

#### 参考文献

- [1] David G. Cunningham, William G. Lane, 韩松等译. Gigabit Ethernet Networking. 北京:电子工业出版社, 2001年
- [2] Matthew Sadiku, Shobha Subramanian. Gigabit Ethernet And ATM In High Speed Arena. 0—7803—4391—3/98 IEEE, 1998
- [3] Gigabit Ethernet White Paper. Gigabit Ethernet Alliance, 1999 <http://www.10gea.org/GEA-Accel1999rev-wp.pdf>
- [4] Kenneth J. Christensen, Mart Molle. Comparison of the Gigabit Ethernet Full-Duplex Repeater CSMA/CD, and 1000/100Mbps Switched Ethernet. 0—8186—8810—6/98 IEEE, 1998
- [5] 10 Gigabit Ethernet Technology Overview White Paper. 10 Gigabit Ethernet Alliance May, 2001
- [6] Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications. IEEE Standard <http://standards.ieee.org/catalog/IEEE802.3.html>