

第7章 以太网的介质无关性

在部署以太网时，必须提供一些用于站间交换信息的物理介质。以太网通常按所使用的介质来划分，例如同轴电缆以太网、光纤以太网或双绞线以太网^[1]。因此，“以太网连接器(connector)”可以是同轴电缆连接器(如BNC)、光纤连接器(如双工SC)或非屏蔽双绞线RJ-45连接器。以太网体系结构中还包含一个第二连接点，通过它可在一个以太站内划分子系统。本章我们将考察这个第二连接点，制造商可利用它构造能完成预定功能并且与以太网站间互连通信的物理介质无关的设备。

7.1 多介质类型的以太网

最初的10Mb/s以太网在设计上使用的介质是粗同轴电缆，当时并没有使用多类型介质的想法。事实上，由于两个使用不同介质的设备无法连接到同一个网络上，它们之间将不能互操作。随着时间的推移，除粗同轴电缆(10BASE5)以外，10Mb/s以太网又增加了下列介质类型，它们如今已更为常见：

- 细同轴电缆以太网(10BASE2)。使用它是为了减少10BASE5的成本及其安装复杂性。这些好处是以减小网络规模、网络可连接的最大站数以及网络可靠性为代价的。
- 光纤以太网(10BASE-F)。使用它的主要目的是为了在建筑物之间(电气上是隔离的)和恶劣的电磁环境中实现网络操作。作为交换，光纤以太网与铜线以太网相比成本更高、安装更复杂。
- 双绞线以太网(10BASE-T)。使用它是为了简化大型网络中的移动/增加/修改问题。虽然10BASE-T比同轴电缆以太网的系统成本高，但是可在网络管理、故障隔离等方面得到更多好处^[2]。

类似地，100Mb/s也可工作在双绞线(屏蔽和非屏蔽)和光纤上。

除非在设计系统体系结构时专门考虑了介质无关性问题，否则以太网设备或接口的设计者只能从如下两种方法中选择其一：

- 为客户想要的每种介质单独生产一种产品(从产品衍生的角度看，这是一种不好的方法)。
- 产品只支持一种类型的介质(从市场渗透的角度看，这是一种不好方法的)。

幸运的是，每一代以太网都有一个介质无关接口。设计者利用此接口构造出的控制器和

[1] E-ther-net me-di-um，以太网介质

1) 在以太网LAN上用于各站间通信的物理电缆。
2) 能决定下一年将提供什么产品的人(例如：市场)。

[2] 许多人错误地认为双绞线以太网(10BASE-T)要比同轴电缆以太网(10BASE2)便宜。虽然双绞线的单位长成本比同轴电缆低，但双绞线以太网系统的成本要高于同轴电缆。这是因为：

1) 双绞线系统需要更多的电缆，每个站都需要一条专用“主线”(home run)连接到接线盒。
2) 双绞线系统需要hub，而这在同轴电缆系统中是不必要的。
3) 双绞线的收发器电子器件较贵，因为其介质传送特性较差(必须在收发器中予以补偿)。

站，能相对容易地连接任何可用物理介质。

7.2 10Mb/s连接单元接口

在10Mb/s以太网中，介质无关接口称为连接单元接口 AUI(Attachment Unit Interface) [IEEE96, 条款7]^[1]。通过AUI，介质无关的以太网控制器可连接到介质相关的收发器上。控制器完全从物理介质的细节中隔离出来。无论使用的介质是什么，控制器的功能都是一样的。实际上在使用AUI时，控制器完全不知道物理介质的性质。

7.2.1 介质无关性是一个意外产物

有趣的是，产生AUI的原因与介质无关性并无关系。最初的10BASE5在设计上要求控制器和收发器之间分离是出于下述几个原因：

- 电气方面的原因。收发器与同轴电缆在物理上必须连接到一起。同轴电缆和收发器电子器件间的距离不能超过几个厘米^[2]。如果控制器和收发器不分离开，那么粗缆就必须连接到每个站。这种连接方式很不灵活，而且可能使用过长的电缆。
- 将收发器电子器件做得尽量小是有利的，因为收发器经常安装在天花板或附加的楼层上。在苛刻和不易接近的物理环境(高低变化的温度和湿度、震动和颤动等)下，最小化的工作电路可增加系统整体的可靠性和可用性。
- 控制器和收发器使用的基础技术是有差异的。控制器主要采用数字技术，一般用高集成度的MOS器件实现；收发器主要是模拟的，使用ECL或分立晶体管技术，因此在技术上也存在着一条逻辑分界线。

因此，AUI产生的动机是为了分离控制器和收发器，丝毫没有让它来支持多类型LAN介质的想法。

7.2.2 AUI体系结构

图7-1 AUI体系结构

最易于用高集成度数字逻辑实现的那些功能放在控制器内部，包括总线接口、存储管理、以太网MAC以及曼彻斯特编码/解码器。收发器的功能应尽量少，它只包括一些必需的电路，一般用模拟技术实现。AUI的划分正好可支持这种逻辑和物理上的分离。可以认为控制器和收发器使用的技术互不相同，控制器产品制造商不会去制造收发器，反之亦然。因此设计AUI两端产品所需的技术也全不相同。在以太网早期，这几乎是肯定的事实，而今天也大概如此。虽然有一些公司同时成功地开拓了数字化控制器和收发器电路的市场，然而大部分公司仍具有明显的专业倾向，它们只属于这两个阵营中的一个。即使那些在AUI连接器两端产品都获得成功的企业，这两类产品也是由其不同的内部机构或技术部门开发的。

由于应用需要使用不同的LAN介质，AUI显然成为介质无关控制器和介质相关收发器之间标准化接口的一种理想选择。如果收发器的AUI接口在设计上就能支持细同轴电缆、光纤和双绞线介质，现有的控制器不需做任何改变就可使用。

[1] 最初的DIX以太网规范称此为收发器电缆接口。

[2] 10BASE2也是如此。但它是通过将同轴电缆直接网桥接到集成的控制器/收发器上实现的，而不是在分离的控制器和收发器之间提供一个物理接口。

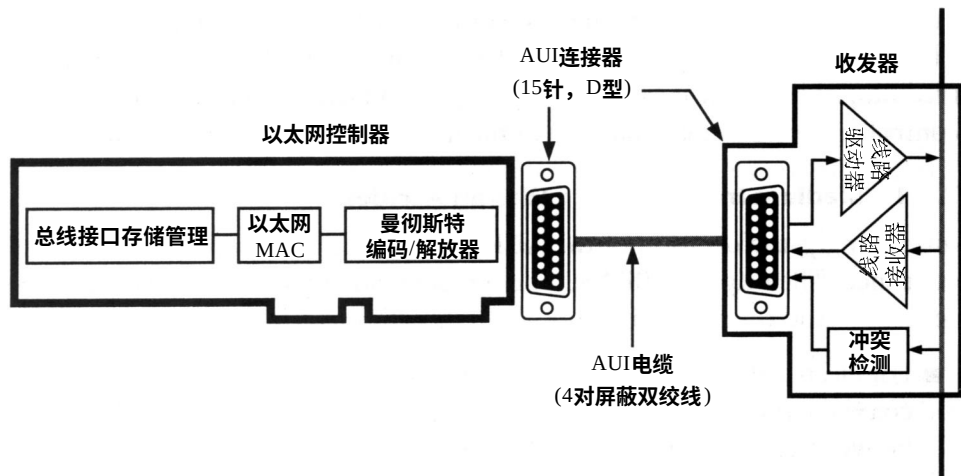


图7-1 显示了通过AUI实现控制器和收发器在逻辑功能上的分离

这种分离的结果是把编码/解码器放在了接口的控制器端。这意味着10Mb/s以太网无论使用什么介质都必须使用曼彻斯特编码。曼彻斯特编码是一种相当低效的线路编码（line code）。发送1比特数据需要2个波特。即是说，它需要的带宽是未编码（非归零制，或NRZ）^[1]发送数据所用带宽的2倍。对同轴电缆介质这不是什么问题，因为它本身具有的带宽要比发送或接收10Mb/s信号要求的带宽大得多。然而当以太网使用UTP时就会有问题了。假如以太网从开始在设计上就使用UTP，显然不会选择曼彻斯特作为线路编码^[2]。但是，由于基于AUI的以太网控制器已经大量使用了，10BASE-T以太网因此也使用曼彻斯特编码。这使得收发器设计变得更为复杂和困难。

7.2.3 AUI设计

AUI包括4种信号：

- 1) 发送数据。这个信号加载了从控制器到收发器、发送到介质的曼彻斯特编码数据。
- 2) 接收数据。这个信号加载了从收发器到控制器的曼彻斯特编码数据。
- 3) 冲突数据。这个信号指示控制器，收发器检测到介质上出现了多个并发的发送数据。
- 4) 电源。电源(+12V~15VDC，差分)由控制器提供，用于收发器操作。

所有信号(除了电源)都使用差分ECL电平。图7-2显示了AUI连接器、信号和引脚分配。

AUI使用了一个15针D形连接器和一条4对线单独屏蔽的电缆。规定AUI应能驱动长达50m的电缆。

由于AUI只支持10Mb/s设备，所以它只是一个历史上的过客。特别是快速以太网和千兆

[1] 使用曼彻斯特编码，一个10Mb/s(10百万比特每秒)信号产生20Mbaud(在20百万个跳变每秒，最坏情况下)。附加的10Mbaud用于转换时钟信息。其他一些编码方法不是每比特都发送时钟信息，因此比曼彻斯特编码更高效。

[2] 曼彻斯特编码还对绝对电压值敏感。双绞线电缆的极性反转会导致数据倒置。差分曼彻斯特编码（在令牌环中使用）只对电平跳变敏感（即电压的改变而不论绝对值是什么），因而可正确传送数据而与电线的极性无关。令牌环网最初设计时使用的是双绞线，因此使用这种略为复杂的编码方法可避免极性问题。10BASE-T收发器通常使用某些极性检测方法，当感受到极性不正确时能自动反转电线的极性。

以太网都不能使用这种物理 AUI，而且它们之间的介质无关接口模型也不尽相同，将在后面的章节中予以讨论。这里给出 AUI 仅仅是为了显示从单介质系统（粗同轴电缆）到介质无关以太网的发展历程。

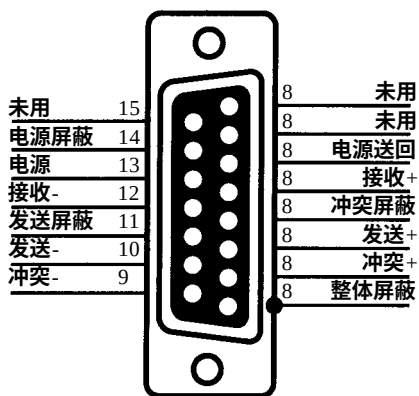


图7-2 AUI信号

标准规定了一个可选的“对外控制”线对，但很少被实现过。这些线对一般总是未用的。

7.3 100Mb/s介质无关接口

MII是一个用于互连控制器和收发器的全新介质无关接口 (Medium-Independent Interface)，它是100Mb/s快速以太网开发工作的一个组成部分。此接口提供了新的物理连接机制（电缆和连接器），以及控制器和收发器的功能划分 [IEEE95，条款22]。

7.3.1 MII体系结构

AUI带来介质无关性几乎是偶然的，而 MII的这种功能则是专门设计的。由于快速以太网在桌面应用（使用双绞线）和主干应用（使用光纤）中已经很常见了，仅仅为此目的，接口制造商就有必要提供一种新的介质无关性。

一个简单的想法是将 AUI 从 10Mb/s 更新为 100Mb/s。这种方法存在着巨大的问题，因为快

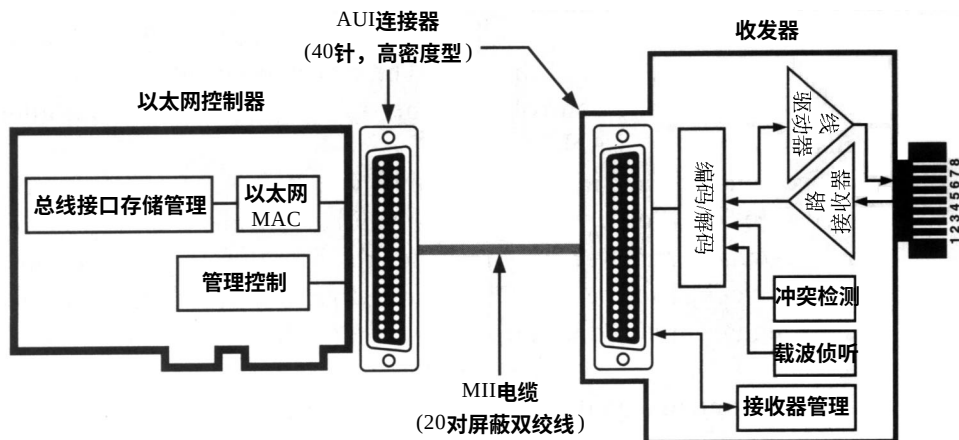


图7-3 MII体系结构

速以太网 MII 体系结构从根本上与最初的 10Mb/s 有所不同。

- MII 需要支持 10Mb/s 和 100Mb/s 的收发器，因此必须具有一定的速度无关性。
- 不同快速以太网 (例如 100BASE-TX, 100BASE-T4 和 100BASE-T2) 的物理层实现各自使用了不同的编码方案，因此将编码器移到接口收发器端更为合理。
- 在控制器-收发器接口上驱动串行 100Mb/s 信号，特别是当编码器位于收发器端时，会产生不必要的复杂性，因此 MII 使用并行数据通道。
- 由于收发器可具有多种功能 (例如 10/100Mb/s 自适应操作)，因此需要一种收发器管理通信机制，来对这些功能进行配置和控制。

图 7-3 显示了整个 MII 的体系结构和系统划分。

7.3.2 MII 设计

MI I 信号可分为以下 5 组：

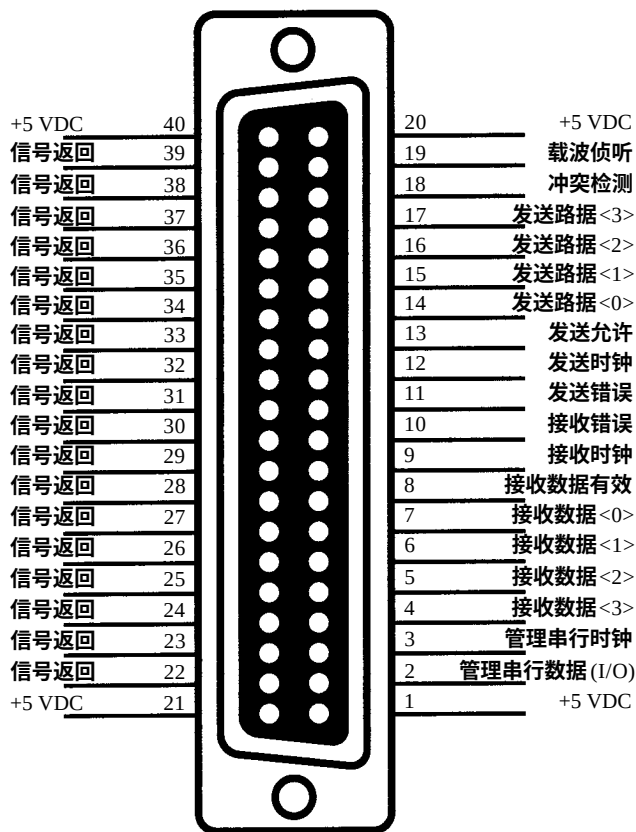


图 7-4 MII 信号

1) 发送信号。包括半字节宽 (nibble-wide) 的发送数据信号，加上相关的发送时钟、发送允许信号和发送差错信号。数据用时钟同步，时钟率是数据率的 1/4 (即 100Mb/s 以太网用 25MHz 时钟，10Mb/s 用 2.5MHz 时钟)，发送信号用于将数据从控制器移动到收发器，然后编码并发送到 LAN 上。

2) 接收信号。包括半字节宽的接收数据，加上相关的接收时钟、接收数据有效信号 (等价

于接收使能信号)和接收差错信号。数据用时钟同步,时钟率为数据率的 $1/4$ 。接收信号用于将解码的数据从收发器移动到控制器。

3) 以太网控制信号。这些信号是由收发器生成的载波侦听和冲突检测信号,用于控制器做介质访问控制。注意它们只用于半双工模式,在全双工模式中被忽略^[1]。

4) 管理信号。包括一个串行管理 I/O 信号和相关的时钟信号。用于在控制器和收发器之间双向交换配置和控制的管理信息。

5) 电源。电源(+5VDC)由控制器提供给收发器操作使用。当然,电源和逻辑信号都有返回的通路。

图7-4显示了MII的连接、信号和引脚分配。

MII使用了一个40针、高密度的D形连接器和一条20对线的屏蔽电缆。AUI可驱动长达50m的电缆,但MII在设计时是用于短距离连接的(最大50m)。其目标是互连短距收发器电缆或母板-子板^[2]。

7.4 介质无关性和千兆以太网

千兆以太网从物理到链路都采用了介质无关的接口方式。千兆 MII(GMII)主要是作为一个逻辑接口,而不是一个物理接口。即,当以 GMII作为收发器和控制器间的通信模型来定义系统时,GMII自身可能只存在于IC中而不外置。它只用做IC到IC的接口,而不支持任何连接器或电缆。

GMII在逻辑上与MII是相同的。功能划分与图7-3显示的一样。仅有的差别是:

1) GMII的数据通路是字节宽而不是半字节宽的。这样 GMII的时钟频率将从250MHz(若使用半字节宽)减少到125MHz,因而用CMOS技术来实现GMII兼容IC时更为实际一些。另外,时钟信号来源于控制器,而不是像MII那样来自收发器,可避免IC和接口实现电路的传播延时造成的时序差错。

2) GMII信号电平(若外置为IC到IC的接口)与3.3V IC芯片兼容,而不使用较老的5V技术^[3]。

3) GMII没有连接器或电缆。

GMII将在第12章中详细讨论。应当认识到,当AUI和MII已有大量实用的产品时,GMII更像是一种体系结构框架,而不是一种物理接口。在许多产品中,对系统进行物理划分,使得GMII根本不外露往往更有意义。特别是编码器/解码器技术和时钟速度与控制器技术更为匹配时,把编码器/解码器和MAC控制器逻辑集成一起,可以实现更高层次的集成以及更低的成本^[4]。

7.5 介质无关接口总结

表7-1总结性地对AUI、MII和GMII的特性做了比较。

[1] 在AUI中,收发器检测冲突,但控制器从冲突和接收数据信号的组合中来完成载波监听。回顾一下,这显然是AUI设计中的一个缺陷,在控制器和中继器中它会产生一些微妙的时序问题。

[2] AUI在设计上可使用更长的电缆,这是因为最初的粗同轴电缆以太网设计时设想干线电缆和收发器安装在天花板上,通过相对长的引线连接到站。当使用双绞线布线时,在控制器和收发器间就不需要这么长的隔离了。

[3] 随着时钟频率的增加,减少信号幅度是很重要的。它可减少耗电、信号串扰和EMI(电磁干扰)。快速以太网/MII使用25MHz时钟的5V信号是可以接受的,但使用千兆以太网的125MHz时钟必须减小信号幅度。

[4] 这完全是相同的逻辑,因此AUI设计者(包括作者自己)将曼彻斯特编码/解码器放在了接口的控制器一端。

表7-1 介质无关接口总结

特 点	AUI	MII	GMII
使用的电缆	4对线, 分别屏蔽	20对线, 整体屏蔽	N/A ^①
最大长度	50m	0.5m	N/A ^①
连接器	15针, D型(IEC 807-2)	40针, 高密度D型 (IEC 1076—3-101)	N/A ^①
数据信号	串行, 曼彻斯特编码	4比特宽, NRZ	8比特宽, NRZ
支持的数据率	10Mb/s	10/100Mb/s	1000Mb/s
时钟信号	N/A ^②	2.5/25 MHz	125MHz
管理接口	N/A	串行	串行
信号等级	差分ECL	CMOS/TTL, 5/3.3-V 兼容	CMOS/TTL, 3.3-V兼容
供电	12-15V, 差分	+5V	N/A
规范	IEEE 802.3, 条款7(以太网 基本文档)	IEEE 802.3u, 条款22 (快速以太网)	IEEE 802.3z, 条款35 (千兆以太网)

① GMII不支持使用电缆和连接器。

② 不需要时钟, 它被编码到曼彻斯特数据流中。