

第5章 帧 格 式

本章讨论各种不同的以太网帧格式。从最初的 DIX 以太网到现在，以太网的帧格式改变非常小(但也是相当麻烦！)。最近 IEEE802.3X 最终将不同帧格式集中为一种混合格式，已得到工业范围的赞同。

我们讨论的帧格式都要经过物理层的进一步封装，包括数据流开始和结束的定界符、空闲信号等等，都与特定的物理实现有关，本章将不对此进行讨论。

5.1 位/字节顺序的表示方法

本书自始至终讨论的数据单元都长于 1 比特。虽然底层的物理通道可能以串行方式传输数据，但是大多数有意义的域和帧的内容要比单个比特长得多。因为把这些多字节数据值表示成单个比特是相当不方便的，所以有必要对一些长于 1 比特的域的表示符号进行统一。

5.1.1 位序

严格地讲，以太网对于字节中位的解释是完全不敏感的。也就是说，以太网并不需要将一个字节看成是一个具有 8 个比特的数字值。但是为了使位序更容易描述以及防止不兼容，以太网和多数数据通信系统一样，传输一个字节的顺序是从最低有效位 (least-significant-bit，对应于 2^0 的数字位) 到最高有效位 (most-significant-bit，对应于 2^7 的数字位)。另外习惯上在书写二进制数字时，最低值位写在最左面，而最高值位写在最右面。这种写法被称为“小端” (Little Endian) 形式或正规形式[⊖]。相反，令牌环和 FDDI LAN 使用“大端” (Big Endian) 格式，从最高值位到最低值位传送每个字节。

一个字节可以写成两个十六进制数字，第一个数字 (最左边) 是最高值位数字，第二个 (最右边) 是最低值位数字。下面是一些不同字节值的小端位传输的例子：

字节值 (十六进制)	发送的位 (从左到右)
	2^0 2^7
01	1 0 0 0 0 0 0 0
55	1 0 1 0 1 0 1 0
AA	0 1 0 1 0 1 0 1
4E	0 1 1 1 0 0 1 0

在本书中，除了特殊声明外，认为所有字节都是以小端位序传输的。

5.1.2 字节顺序

如果所有有定义的数据值都是 1 字节长，则在介绍完位序后就可以停止了。但是很不幸事

⊖ 用来表示位序的两个词“Little Endian”和“Big Endian”，是 Danny Cohen 在他的一篇重要论文“对于圣战以及祈求和平”中创造出来的。这篇论文最早是在 1980 年 4 月非公开发表，随后在“计算机协会通信”上发表。该文章可以在 3W 网上很容易找到。这两个词来源于 18 世纪 Jonathan Swift 的小说“伽利福旅行记”。

实并非如此，所以我们必须面对长于单个字节的域，这些域是以从左到右排列的、以连接符“-”分隔的字节串表示。每个字节包含两个十六进制数字。

多字节域的各个字节按第一个到最后一个(即从左到右)的顺序发送，而每个字节采用小端位序传送。例如，6字节域：

08-00-60-01-2C-4A

将按以下顺序(从左向右读)串行地发送：

0001 0000-0000 0000-0000 0110-1000 0000-0011 0100-0101 0010

(空格和连接符号只是为了显示美观)

在IEEE802.3整个标准中都采用这种约定，本书也将采用。

辩证思考

注意，我并未把任何字节称作为“最高有效字节”或“最低有效字节”。这是因为在几乎所有的以太网的使用中，字节并没有“有效性”。当我们需要将一个域中的数字相互比较大小时，才使用“最高有效字节”和“最低有效字节”这两个词。除了一个例外以外，以太网帧中的域没有数字类型的值。例如地址域被用来唯一标识一个站，但是它们不具有数字含义。因为讨论一个地址“小于”另一个地址是没有意义的。所以我们可以说在以太网中，首先发送“第一个字节”，接下来发送“第二个字节”，以及最后发送“最后一个字节”，但是该以太网先发送“最高有效字节”或“最低有效字节”是不严密的。

惟一的例外是IEEE802.3长度域，它包含了2个字节，指明数据域中的有效字节数目。只有在这种情况下，第一字节比第二字节具有更大的有效值。

5.2 以太网地址

地址是一个指明特定站或一组站的标识。以太网地址是6字节(48比特)长。图5-1说明了以太网地址格式。

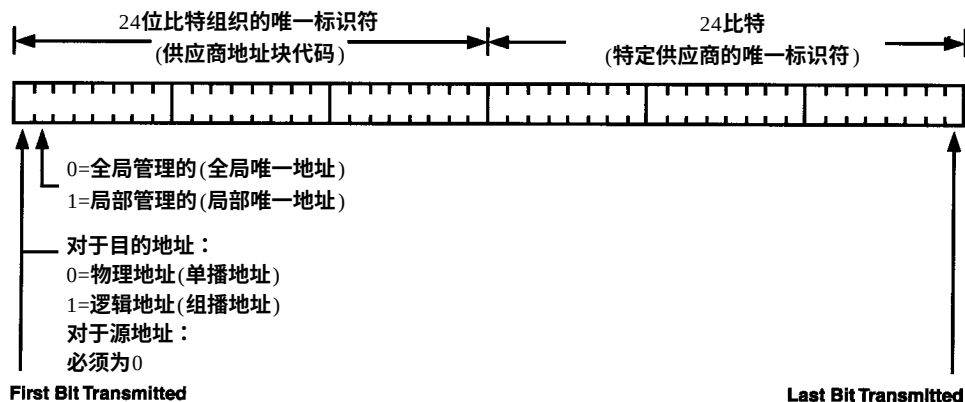


图5-1 以太网地址格式

在目的地址中，地址的第1位表明该帧将要发送给单个站点还是一组站点。在源地址中，第1位必须为0。(因为一个帧是不会从一组站点发出的！)

站地址要唯一确定是至关重要的，一个帧的目的地不能是模糊的。地址的唯一性可以是：

- 局限于本网络内。保证地址在某个特定 LAN 中是唯一的,但不能保证在相互连接的 LAN 中是唯一的。当使用局部唯一地址时,要求网络管理员对地址进行分配。
- 全局的。保证地址在所有的 LAN 中,在任何时间,以及对于所有的技术都是唯一的,这是一个强大的机制,因为:
 - 使网络管理员不必为地址分配而烦恼,
 - 使得站点可以在 LAN 之间移动,而不必重新分配地址,
 - 可以实现数据链路网桥/交换机。

全局唯一地址以块为单位进行分配,地址块由 IEEE 管理。一个组织(一般是制造商)从 IEEE 获得唯一的地址块(称为一个组织的唯一标识符, Organizationally Unique Identifier, OUI),并可用该地址块创建 2^{24} (16 777 216)个设备^①。那么保证该地址块中地址(最后3个字节)的唯一性就是制造商的责任。

地址中的第2位指示该地址是全局唯一还是局部唯一。除了个别情况,历史上以太网一直使用全局唯一地址^②。

5.3 以太网帧

图5-2给出了最早的DIX以太网帧格式。

该帧包含6个域:

1) 前导码(preamble)包含8个字节(octet)^③。前7个字节的值为0x55,而最后一个字节的值为0xD5。结果前导码将成为一个由62个1和0间隔(10101010 ---)的串行比特流,最后2位是连续的1,表示数据链路层帧的开始。在 DIX 以太网中,前导码被认为是物理层封装的一部分,而不是数据链路层的封装。

2) 目的地址(DA)包含6个字节。DA标识了帧的目的地站点。DA可以是单播地址(单个目的地)或组播地址(组目的地)。

3) 源地址(SA)包含6个字节。SA标识了发送帧的站。SA通常是单播地址(即,第1位是0)。

4) 类型域包含2个字节。类型域标识了在以太网上运行的客户端协议。使用类型域,单个以太网可以向上复用(upward multiplex)不同的高层协议(IP, IPX, AppleTalk, 等等)。以太网控制器一般不去解释这个域,但是使用它来确定所连接计算机上的目的进程。本来类型域的值由 Xerox 公司定义,但在 1997 年改由 IEEE 负责。

5) 数据域包含 46~1500 字节。数据域封装了通过以太网传输的高层协议信息。由于 CSMA/CD 算法的限制,以太网帧必须不能小于某个最小长度。高层协议要保证这个域至少包

① 关于从 IEEE 获得一个 OUI 的申请,请参见 <http://standards.ieee.org/db/oui/forms/index.html>。

② 最早的 DIX 以太网规范不提供局部唯一地址。把地址中的第 2 位定义成表明是全局/局部的唯一是由 IEEE 802 规范指定的,并在所有 IEEE 802 技术规范中使用。令牌环系统一直使用局部管理地址,特别是允许同一个主机上的多个 NIC 具有相同的地址。这有助于源路由的容错,这种技术只在令牌环系统使用。“全局/局部”位有时称为“IBM 位”,是为了表示对 IBM 公司的尊重。因为是该公司的努力才使标准中包含了这个位,并且该公司是这一选项的主要用户。

③ 网络协议规范通常使用“8 位元”(octet)这个词表示一个 8 位的数据单元,而不是采用更常见的词“字节”。严格的说,字节是某一种计算机中组成“自然数量”数据的一组位。虽然实际上现在所有的计算机都使用 8 位字节,但是以前确实有计算机使用其他的内存组织。在 20 世纪 70 年代,6 位字节不能说不常见的。网络协议使用 8 位元而不是字节,就是为了避免混淆,并且使规范独立于实现规范的计算机。本书中替换地使用这两个词。

含46字节。如果实际数据不足46个字节，则高层协议必须执行某些(未指定)填充算法。数据域长度的上限是任意的，但已经被设置为1500字节^①。

6) 帧校验序列(FCS)包含4个字节。FCS是从DA开始到数据域结束这部分的校验和。校验和的算法是32位的循环冗余校验法(CRC)。生成多项式是^②：

$$G(x)=x^{31}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x^1+1$$

FCS域的传送方法是：第1位是 x^{31} 项的系数，而最后1位是 x^0 项的系数。因此CRC的各个位传输了： x^{31} ， x^{30} ，...， x^1 ， x^0 。

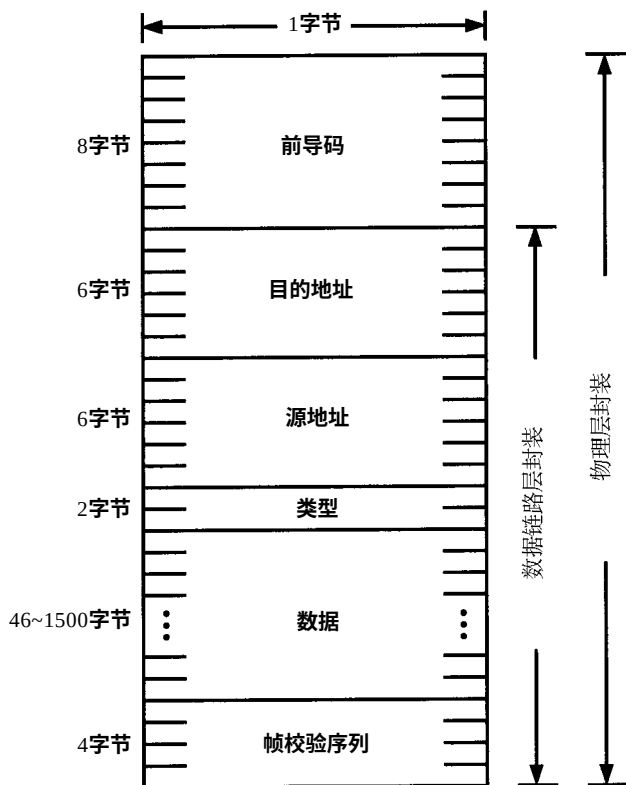


图5-2 DIX以太网帧

5.4 IEEE802.3帧格式(1983~1996)

在1980年最早的以太网规范与1983年第一个IEEE802.3标准发布之前，帧格式的改变很小。IEEE802.3帧格式(作为标准从1983~1996年间存在)如图5-3所示。帧格式几乎与DIX以太网帧相同。但是还是存有一些差异：

- DIX帧的8个字节的前导码被替换成7个字节的前导码和1个字节的帧起始定界符(SFD)。

① 对于是否增大以太网帧的最大长度，以及对信道访问和帧出错率的影响有许多赞同或反对的意见。但是，1500字节最大长度的真正原因是1979年(10Mb/s以太网正在设计之中)的内存成本以及低成本的LAN控制器的缓冲区要求。对于进一步的详细信息，参阅[SEIF91]。

② 关于CRC的完整论述已经超出了本书的范围。对于这个问题的一般性论述，读者可以参考[PETER72]；而对于这种算法在以太网中的详细使用情况，可参阅[HAMM75]。

这只是一个用语上的改变，因为 IEEE802.3 前导码域被定义成 55-55-55-55-55-55-55，再加上 SFD 是 55-D5[⊖]。即 IEEE802.3 前导码域和 SFD 连接起来与 DIX 以太网前导码域的值是相同的。

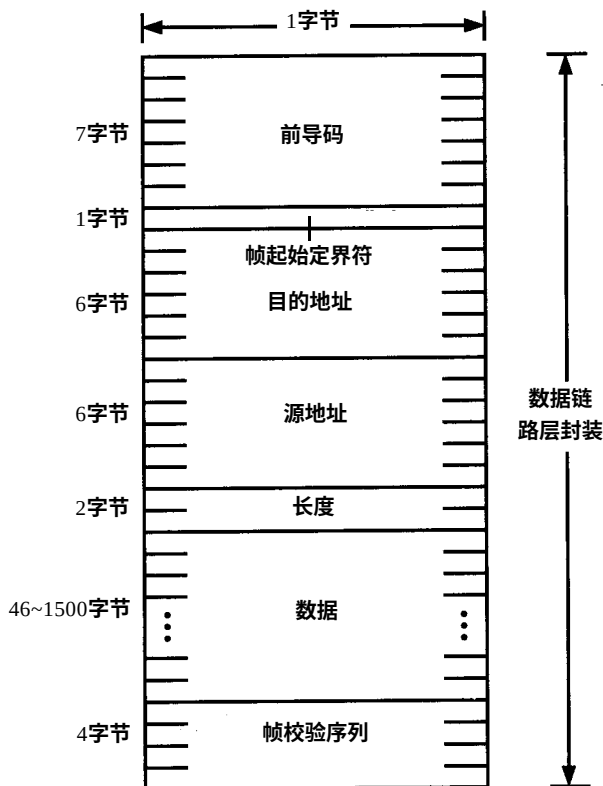


图5-3 IEEE802.3帧格式，1983-1996

- 前导码/SFD被认为是数据链路层封装的一部分，而不是 DIX 以太网中认为的是物理层封装的一部分。这也被认为是用语上的改变，因为这并没有影响帧的实际格式。然而由于 IEEE802.3 认为前导码/SFD 部分属于数据链路层，因此即使物理层如 100BASE-X 和 1000BASE-X 并不需要使用它们，这些域也被一直保留。要不是因为这种体系结构定位上的改变，就可以取消这些域以改进信道效率。
- 类型域被长度域取代。这 2 个字节在 IEEE802.3 中被用来指示数据域中有效数据的字节数。这将使高层协议不必提供填充机制。因为数据链路层会进行填充并在长度域中指明非填充数据的长度。

但是，没有类型域就无法指示发送或接收站的高层协议的类型（向上复用）。使用 IEEE802.3 格式的帧可用来封装逻辑链路控制 (LLC) 数据。LLC 由 IEEE802.3 规定，它提供了一些服务规范以及向上复用高层协议的方法。

除了上面这三点之外，IEEE802.3 帧中的所有域与 DIX 以太网帧格式完全相同的。历史上，网络设计者和用户一般都正确地把类型域和长度域使用上的不同作为这两种帧格式的主要差

⊖ [IEEE96] 标准实际上把这个域的值指定为一个 2 进制数字串。这里所示的 16 进制数字串如果也采用正规的位序(参见 5.1 节)发送，则与所定义的 2 进制数是等价的。

别。DIX以太网不使用LLC，使用类型域支持向上复用协议。IEEE802.3需要LLC实现向上复用，因为它用长度域取代了类型域。

实际上，这两种格式可以并存。这个 2字节的域表示的数字值范围是 0到 $2^{16}-1$ (65 535)。长度域的最大值是 1500，因为这是数据域最大的有效长度。因此，从 1501~65 535的值可用来标识类型域，而不会干扰该域对数据长度的表示。我们只要简单地保证类型域的所有值都包含在这个不会相互干扰的区间之内就可以了。实际上，这个域的 1536~65 535(从0x0600~0xFFFF)的全部值都已经保留为类型域的值，而从 0到1500的所有值则保留为长度域的赋值[⊖]。

在这种方式下，使用 IEEE802.3格式(带LLC)的以太网客户之间可以通信，而使用 DIX以太网格式(带类型域)的客户之间也可以在同一个 LAN相互通信。当然，这两类用户之间不能通信，除非有设备驱动软件或高层协议能够理解这两种格式。许多高层协议现在还在使用 DIX以太网帧格式。这种格式是 TCP/IP，IPX(NetWare)，DECnetPhase 4和LAT(DEC的Local Area Transport，局部传输)使用得最普遍的格式。IEEE802.3/LLC大都在 AppleTalk Phase 2，NetBIOS和一些IPX(NetWare)的实现中普遍被使用。

5.5 IEEE802.3帧格式(1997)

在1995~1996年间，IEEE802.3x任务组，为了支持全双工操作对已有的标准作了补充。其

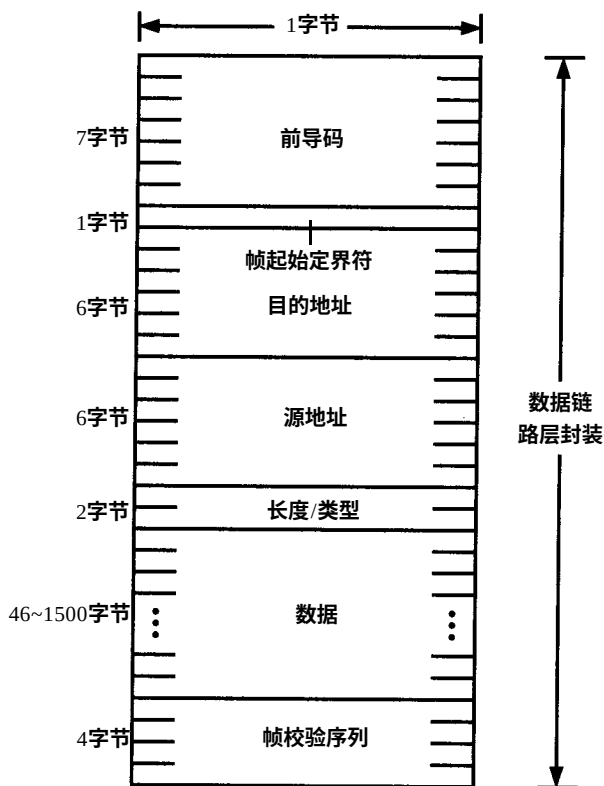


图5-4 IEEE802.3帧格式(1997)

⊖ 1501-1535 区间中的值是有意未进行定义。

中一部分工作就是开发了流量控制算法。这个流量控制算法将在 (形成MAC控制协议)在第6章中完整介绍。从帧格式角度的最大变化是, MAC控制协议使用DIX以太网风格的类型域来唯一区分MAC控制帧与其他协议的帧。这是IEEE802委员会第一次使用这种帧格式。只要该任务组把MAC控制协议对类型域的使用合法化,他们就将把任何IEEE802.3帧对类型域的使用合法化。IEEE802.3x在1997(IEEE97)年成为IEEE通过的协议。这使原来“以太网使用类型域而IEEE802.3使用长度域”的差别消失。IEEE802.3经过IEEE802.3x标准的补充,支持这个域作为类型域和长度域两种解释。两个都是“IEEE802.3格式”,如图5-4所示。

长度域和类型域的不同解释正如本章前部分所述。作为类型域用法标准化的一部分,IEEE承担了为类型域设定唯一值的责任(Xerox从1980年开始已对类型域赋值)。千兆以太网使用这种混合的帧格式。