

以太网帧

范兴刚 孙优贤 浙江大学工业控制国家重点实验室(310027)

Abstract

Frame is one of key components in Ethernet. The structure of frame is introduced in this paper. Ethernet transmits frame through the rule of CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection). The frame of PAUSE is MAC control frame, which finished flow control in full-duplex link.

Keywords: Ethernet, Frame, CSMA/CD, IPG, MAC

摘要

帧是一系列标准化的数据位,是网络通信的基本单元。本文对帧的基本结构、传输和控制功能进行了简要介绍。帧结构的提供一种封装来承载数据。以太网使用载波侦听多路访问/冲突检测 CSMA/CD 规则控制帧的传输。PAUSE 帧是一种 MAC 控制帧,用来实现 PAUSE 功能,在全双工以太网链路上实现流量控制。

关键词: 以太网, 帧, 载波侦听多路访问/冲突检测, 帧间隙时间, MAC 控制

帧是一系列标准化的数据位,是以太网系统的核心部件。以太网站点采用发送信息帧的方式进行通信。帧是网络通信的基本单元。节点间发送任何信息,都要将内容放在帧的有效部分当中,通过一个或多个帧进行传送。节点之间可靠的帧传输不仅是相互通信的保障,通过帧的传输还可以实现对网络的控制等各种功能。要了解以太网,必须对帧有一个清楚的认识。

1 帧结构

帧结构的目的是提供一种封装来承载数据。帧的基本结构是由原始的 DEC–Intel–Xerox(DIX)以太网标准定义的,最后由 IEEE802.3X 提出官方标准。

1.1 字节的位序

帧是由字节组成的,要了解帧,要先了解字节。以太网同大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(对应于 20 的数位)到最高有效位(对应于 27 的数位)。一般二进制数字最低位写在最左边,而最高位写在最右边,这被称为小端形式或正规形式。一个字节可以写成两个十六进制数字,第一个数字(最左边)是最高位数字,第二个(最右边)是最低位数字。例如,6 字节域:

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

将按以下顺序从左向右串行发送:

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

1.2 帧的基本结构

帧的结构最先由的 DEC–Intel–Xerox 以太网标准定义的。IEEE802.3 标准是后来官方的统一标准,本

文介绍 IEEE802.3 标准的帧格式,如表 1 所示。

表 1 帧结构

前同步信号 64bites	目的地址 48bites	源地址 48bites	类型/长度 16bites	数据 46 to 1500bites	帧校验序列 32bites
------------------	-----------------	----------------	------------------	-----------------------	------------------

前同步信号:一般分为两部分:7 个字节的前同步信号和 1 个字节的“起始帧定界符 SFD”组成。起始帧定界符的最后两位是“1,1”。

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,有源地址和目的地址之分。如表 2 所示。

表 2 帧地址

I/G (1 比特)	U/L (2 比特)	OUI (22 比特)	OUA (24 比特)
---------------	---------------	----------------	----------------

地址的第一位是独立和组地址标志(I/G, individual or group address flag),用来标示地址是一个独立地址还是组地址,独立地址是分配给一个,并且只能是一个网络上的接口。I/G 位等于 0 的地址是节点地址:等于 1 时是组播地址,又叫功能地址。组播地址能够使帧发到局域网上的一个节点子集。帧源地址的 I/G 位必须为 0。帧的第二位是通用或局部管理标志(U/L, universal or local administration flag),用来标示网络接口的分配方式,U/L 位是 0 表示地址是全局管理的唯一地址;1 表示是局部唯一地址,是一个局部管理地址,是由非网络接口制造商设置的地址。IEEE 用来管理地址的基本工具是组织唯一标识 OUI (organizationally unique identifier),22 位的 OUI 字

段允许 4 百多万个 OUI.IEEE 为每个网络适配器和网络接口厂家分配一个或多个 OUI。每个厂家负责分配自己的组织化唯一地址 OUA (organizationally unique address)。24 位的 OUA 允许 1 千 6 百多万个以上的网络接口地址。一个 OUI 和一个 OUA 的组合叫做通用管理地址 UAA, 也叫 IEEE 地址。UA 的 I/G 位和 U/L 位总是 0。每个厂家只能分配给一个而且只能是一个它生产的网络接口。

通用或局部管理的 MAC 地址也叫单播地址 (unicast address), 广播地址和组播地址的 G 位都等于 1, 通称为组地址。帧经常以它们的目的地址进行分类, 一个目标地址为广播地址的帧通常叫做广播帧; 还有组播帧和单播帧。

MAC 硬件不需要解释 U/L 和 OUI 字段, 它只将地址分为组(组播)地址和独立(单播)地址。

类型/长度域: IEEE802.3 规定, 如果字段的值小于或等于 1518(十进制)则字段为长度字段, 表示帧的数据字段中逻辑链路控制数据的个数。在这种情况下, 如果 LLC 数据的个数小于帧数据字段要求的最小值, 就用填充数据使字段达到足够的大小。如果这个字段中的值大于或等于 1536(十进制), 则字段作为类型字段。类型域标示了在以太网上运行的客户端协议。类型域可以使单个以太网向上复用不同的高层协议, 如 IP、IPX、AppleTalk 等等。

数据域: 数据域长度 46~1500 字节。数据域封装了以太网传输的高层协议信息。高层协议要保证这个域至少 46 字节, 如果实际数据不足 46 个字节, 高层协议必须执行某些填充算法, 补足 46 字节。

帧校验序列 (FCS): 帧校验序列包含 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 位的循环冗余检验法 (CRC)。CRC 是使用目的地址、源地址、类型字段和数据字段的内容进行计算的一个多项式。

2 帧的传输

2.1 载波侦听多路访问/冲突检测

以太网使用载波侦听多路访问/冲突检测 CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection) 规则控制帧的传输。当一个站点需要发送数据时, 它首先监听信道, 若信道在忙它就持续等待, 直到它监听到信道空闲时便将数据送出。此种通信方式称为 CSMA。按照在不同信道状态下的处理方式, CSMA 分为 1-坚持、非坚持和 p-坚持三类。

信道中有信号称为载波。如两个节点都有帧要发送, 在等待一个 IPG 时间后, 两个站点都开始发送, 造成两个发送都失败以至于不能接收, 这叫冲突。

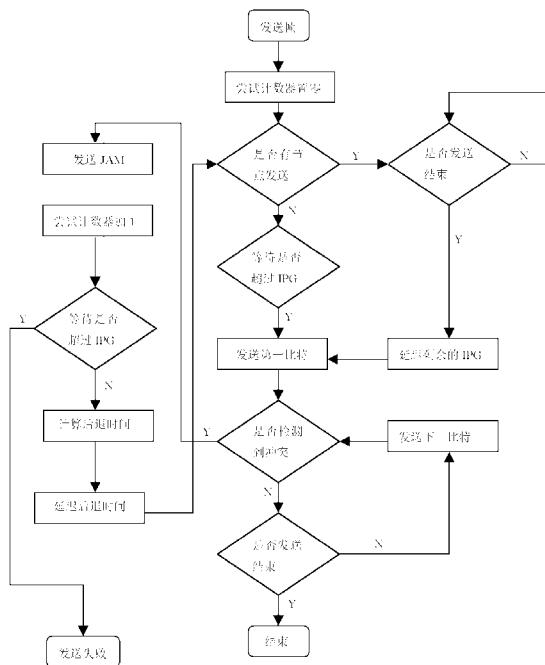


图 1 CSMA/CD 流程

图 1 表示了 CSMA/CD 的完整流程图。每个需要发送帧的节点都要运行这个算法, 如果它在帧间隙时间内检测到冲突, 就会发送一个 32 位的阻塞信号 JAM, 并停止帧的发送。这样保证了冲突信号停留足够长的时间, 使其他的传送节点都能收到。发生冲突时, 正在传送帧的站点必须重新调整传送帧的时间。

2.2 截断的二进制指数回退算法

以太网采用截断的二进制指数回退算法进行调整。产生冲突后, 回退算法先产生一个整数 r , 站点在重新传送前等待的基本延迟时间为 512 乘以 r 位。整数 r 用下面的方法产生:

$$0 \leq r \geq 2^k \quad k = \min(n, 10)$$

k 为传送的次数或 10 中的较小数。

如果站点多次出现冲突, 前 10 次尝试重发的过程中, 指数 k 值不断增加, 10 次后, k 值停止增加, 这就是算法的截断。这时, r 可在 0~210 之间选择。如果继续遇到冲突, 则在 16 次重试后放弃尝试, 并丢弃该帧, 向上层软件报告此帧传送失败。

2.3 帧间隙时间

帧间隙时间 (IFG, InterPacket Gap), 传送 512 位所需要的时间被称为以太网信道的帧间隙时间, 又称冲突窗口。这一时间是信号从一个站点传播到共享信道的所有位置, 并返回所用的时间。以太网上的站点如有帧要传送, 就会利用 MAC 协议检测冲突, 竞争信道; 获得信道后, 并不是一次传动完所有的帧, 每传送一帧, 都要等待一个帧间隙时间, 用于重新检测冲突, 竞争信道。即使网络上的某个节点有多个帧需要发送而且还是唯一有帧要发送的节点, 它也必须保证每个

发送帧之间的间隔最少为一个IPG。如果一个站点传送完512位,而没有检测到冲突,就认为这个站点获得了信道,直到传送完这一帧,这段时间不应再检测到冲突。如果在传送完帧的512位后,检测到冲突,这称为迟冲突,这是一种严重的错误,表明网络产生了故障。

帧间隙时间规定了帧的最小长度为512位。一方面,为了区别有效帧和残余帧,规定从目的地址到校验和的最短长度为64字节,而且数据部必须不少于46字节。任何小于512比特的帧都是残帧。要求满足最短帧长的另一个原因是防止一个站点发送短帧时,在第一比特尚未到达信道的最近节点就已完成发送,可能造成有冲突发生却检测不到的现象。

3 帧的控制功能

以太网本质上是无连接的,不能提供可靠的端到端通信,不能提供流量控制,即不能保证数据发送在接受方没有足够资源处理数据时及时停止。IEEE802.3x定义MAC控制,用于对全双工以太网进行显式流量控制。MAC控制帧就是由MAC控制产生的,并把它发送到底层使用标准MAC的以太网上,同样以太网MAC接收MAC控制帧,并把它提交到MAC控制子层的相应模块。在MAC控制出现以前,在以太网上传送的帧都是应高层协议或应用的要求而产生的,并且每个数据帧都携带了与该协议或应用相关的数据。MAC控制引出了一个概念:帧是在数据链路层自身内部产生和接收的。

MAC控制帧是正规的、合法的以太网帧,它包括了上面讨论的帧的所有域,并使用标准以太网MAC算法传送。所有MAC控制帧的长度都恰好是以太网帧的最小长度—64字节,不包括前导码和帧起始定界符。MAC控制帧是通过唯一的类型标识符(0x8808)标识出的,这个类型域专门保留用于以太网MAC控制。MAC控制帧格式组成如表3。

表3 MAC控制帧组成

7各字节前导码
1个字节的帧起始定界符
6个字节的目的地址
6字节的源地址
类型=0x8808(2个字节)
2字节MAC控制操作代码
MAC控制参数共44字节,不够时用0补足
帧校验序列

PAUSE帧用来实现PAUSE功能,在以太网链路上实现流量控制。PAUSE帧中的前导码、帧起始定界符以及FCS与普通的以太网帧相同。其不同在于:

①目的地址,它总是包含一个为PAUSE保留的唯一组播地址:01-80-C2-00-00-01。这样可以保证接收并解释这些帧的是那些真正懂得PAUSE协议的站;使发送者不必知道链路另一端的唯一地址。所有标准的网桥和交换机都回阻塞这组地址使得PAUSE帧只在与其相关的单双工链路上使用。②源地址,这个域包含了发送PAUSE帧的站单播地址,这样可于其它类型的以太网帧保持一致,正确监控设备上的管理计数器,便于纠正错误。③类型域,类型域包含了所有MAC控制帧的保留值:0x8808。④MAC控制操作码和参数。

PAUSE帧的控制操作码为0x0001。PAUSE帧只带一个称为暂停时间的参数,这是两个字节的无符号整型值,用于发送方请求接受方停止发送数据帧的时间长度。时间度量以512位时间为度量,也就是说,接收者应暂停的时间等于pause_time乘以用当前数据率传输512比特的时间。用这种方式设定PAUSE操作时,发送者暂停发送与速率无关的若干比特。例如,当交换机网络接口剩下一定比特量的缓冲时,它发送一个PAUSE帧,并以剩下的比特量作为pause_time参数,而不必考虑使用什么样的速率。

PAUSE功能为:在缓冲区将要溢出时,站点发出信号对链路进行控制。因此PAUSE帧必须具有传送优先权。另一方面,在任意时刻,链路上只能有一个流量控制操作,所以PAUSE帧不用像普通的帧那样由传送队列。PAUSE帧的内容是相对固定的,唯一随时间改变的参数是pause_time,实现中可以在静态缓冲区保存构造好的PAUSE帧,在需要时进行传输。

传送PAUSE帧不能打断正在传输的帧,接口在收到PAUSE帧后,完成正在进行的帧传送,等待一个帧间隙以后,传送PAUSE帧。

4 结束语

帧是以太网的基本单元,帧的结构是由IEEE802.3定义。以太网中,节点之间采用MAC协议实现帧的传输。国内外提出多种MAC算法,目的就是提高帧传输的快速和可靠。实现可靠的、快速的帧传输是以太网的发展方向。

参考文献

- 1 Spurgeon,C.E.Practical Network with Ethernet,1997
- 2 Liam B.Quinn Richard g.Russell. Fast Ethnernet,1998
- 3 沈志伟. 基于以太网的工业网络系统研究,2002
- 4 Rich Seifert.Gigabit Ethernet:technology and applications for high-speed LANs,1998

[收稿日期:2002.4.10]