

文章编号:1000-582X(2002)03-0030-05

HFC 网中的信道共享控制技术*

石进¹, 曾喜华²

(1. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400044; 2. 第三军医大学, 重庆 400038)

摘要: HFC 网中的信道共享控制技术和以太网及令牌环相比有其独到之处, 本文从 MAP 管理帧入手, 重点分析上行带宽控制方法和冲突解决技术以及三者之间的关系。MAP 帧是内容复杂的帧, 帧中包括了 CM 初始接入所需的测距机会信息, 竞争带宽分配的信息, 带宽分配信息, 冲突检测信息等。论文在说明 MAP 帧的格式、作用的基础上说明用户具体的接入方式。最后探讨带宽的分配方法、冲突的产生原因、解决冲突的算法和流程等。

关键词: 宽带网络; 信道; 冲突

中图分类号: TN915.04

文献标识码: A

光纤同轴电缆网(Hybrid Fiber/Coax, 简称 HFC)中, 数据信道从整体上看采用频分复用技术, 5 ~ 65 MHz 为数据的上行频带, 91 ~ 860 MHz 用于模拟电视和下行数据的传输^[1]。在同一个信道中, 各个用户之间采用统计时分复用, 上、下行信号的复用方式有差别, 下行用 TDM(时分复用), 采用广播方式; 上行采用 TDMA(时分多址), 难点在于上行信道的接入, 笔者在本文中探讨这一问题。

因上、下行的信道是分开的, 电缆调制解调器(Cable Modem, 简称 CM)处于 HFC 网的末端, 其接入控制技术不同于传统的多点接入技术, 它同时具有受控接入和随机接入的特性^[2]。其受控性表现在所有的 CM 上行传输都要根据 CMTS(Cable Modem Termination System)发出的 MAP 帧来获取自己的传输机会; 它的随机性表现在各个 CM 之间在某些时候要通过竞争才能获取上行传输机会。下面以笔者参与开发 CMTS 和 CM 的实践为基础, 讨论 HFC 网中的上行控制技术, 这个技术的核心涉及到 MAP 管理帧, 上行带宽分配, 和冲突解决。

1 HFC 网的网络拓扑结构

HFC 网是一种树型结构的网络, 它介于总线型和星型网络之间。其拓扑图如图 1。

图中 ● 代表网络的光节点, □ 代表分支分配器, ○ 代表网络接点。处于这棵倒挂树(并非一定是二叉

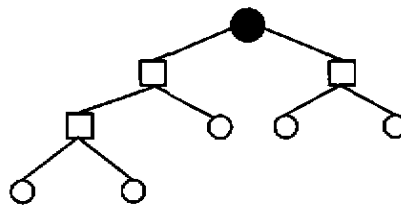


图 1 HFC 树形网络拓扑

树)的树根的结点不同于其它网络结点, 它控制着整个 HFC 的信道共享, 同时还起着信息交换的作用, 树根结点也就是 CMTS。处于树叶位置的网络结点是 CM, 用户 PC 机通过 CM 把以太网的 LLC 层的帧封装在 HFC 网的 MAC 帧中, 然后通过调制发送到 CATV 网中。从用户角度看, HFC 网的最终目的是实现 CM 之间, 或 CM 与 HFC 网外的信息源设备之间的通信, 而非 CMTS 与 CM 之间的通信。

2 MAP 管理帧

DOCSIS(Data-Over-Cable Service Interface Specifications)中定义的管理帧有 29 种, 它们有统一的帧头格式^[1]。MAP 管理帧是实现 HFC 网中信道共享的基础管理信息。在 HFC 网中, 可以有多个上行通道(笔者研究的课题中是 4 个), 上行通道间是采用频分复用的方式进行传输, 而同一个通道中采用统计时分复用的方式。DOCSIS 中采用了一种称为 MAP(意指上行带宽分配映射)的帧来管理一个上行通道的每一个时段

* 收稿日期:2001-09-18

作者简介:石进(1969-),男,重庆人,硕士。研究方向:计算机网络与 ISDN。

(interval),它是CMTS发出的一种非常重要的管理帧,它包含上行带宽分配的信息,其帧结构如图2所示。

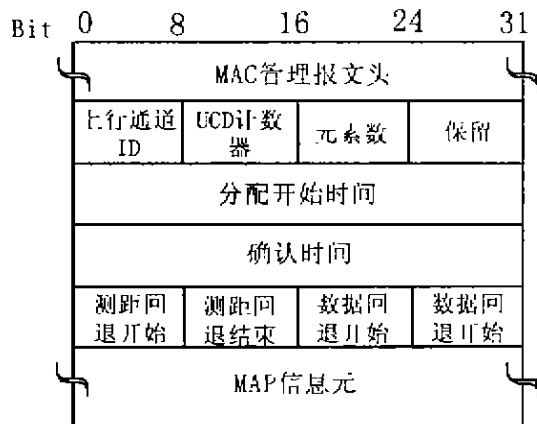


图2 MAP帧结构

除了统一的MAC管理帧头外,各个字段的意义如下:

Upstream Channel ID——这个帧所要控制的上行通道号。一个具体的MAP帧与一个上行通道相对应。

UCD Count——指出CMTS发送这个MAP时,上行通道特性是否发生了变化。如果这个字段的值与上一个MAP中的不一样,那么表明这个上行通道的特征已经有所改变了。

Number of Elements——这个MAP帧中信息单元(Information Element,简称IE)的个数。IE的概念将在后面介绍。

Reserved——保留,边界对齐。

Alloc Start Time——有效开始时间(相对于CMTS启动的时间),以微时隙(mini-slot)为单位,一个微时隙可能是 $6.25\mu s$ 的整数倍。它指出这个MAP帧的IE部分所描述的时段在CMTS中从什么时候开始。虽然MAP的IE部分描述了在上行中每一个时段的使用法,但它必须要定义一个起始点,CMTS才能知道每个IE描述的时段在CMTS中的实际时段。

Ack Time——最后时间(相对于CMTS启动的时间),以微时隙为单位。这个时间用于CM冲突检测(将在后面介绍)。

Ranging Backoff Start——用于初始测距竞争的初始回退(back-off)窗口。

Ranging Backoff End——用于初始测距竞争的最大回退窗口。

Data Backoff Start——用于数据和请求传输的初始回退窗口。

Data Backoff End——用于数据和请求传输的最大回退窗口。

MAP Information Elements(IE)——每32bits构成一个IE,一个MAP帧中可以有多个IE。IE是描述上行通道用法的字段。其结构如图3。

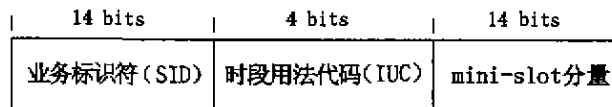


图3 一个IE的结构

其中SID(Service Identifier)是上行方向业务的标识,它对应一个CM(单播),或一组CM(组播),或所有CM(广播),即这个IE所描述的时段由谁来使用(例如,某个CM,或所有CM)。IUC(Interval Usage Code)指出这个IE所描述的时段用于传输什么数据(例如,送数据,或请求等等)。这个IE的mini-slot分量与后一个IE的mini-slot分量之差表示这个IE所描述的时段的大小。

MAP帧中的IE可以根据IUC分为以下几种:

1) 请求IE其SID值可以是单播或广播类型,IUC值为1。在这个IE定义的时段中CM可以传输带宽请求帧,以请求用于传输上行数据的带宽。

2) 请求/数据IE,其SID值是组播类型,IUC值为2。在这个IE定义的时段中CM可以传输带宽请求帧,但同请求IE有所不同,这个时段中还能传输短数据包。

3) 初始维持IE其SID值是组播或广播类型,IUC值为3。当一个新的CM要加入到HFC网时,可以使用这个IE定义的时段传输测距请求帧。

4) 站维持IE其SID值是单播类型,IUC值为4。在这个IE定义的时段中CM可以进行CM与CMTS在运行过程中的日常维护,例如,(周期性的)测距请求或发送电平调整。

5) 短数据准许(Data Grant)IE其SID值是单播类型,IUC值为5。CM在这个时段可以传输一个或多个上行PDU,这个IE描述的时段小于等于UCD帧中的最大脉冲串大小(见后面的叙述)。

6) 长数据准许IE其SID值是单播类型,IUC值为6。CM在这个时段可以传输一个或多个上行PDU,这个IE描述的时段不能少于短数据准许IE描述时段的最大值。

7) NULL IE其SID值是0,IUC值为7。它终止具有实际分配能力的IE表,还用于计算MAP帧描述的所有时段中最后一个时段的长度。在这个IE之后的IE不是对上行带宽的分配指示。

8) 数据确认IE其SID值是单播类型,IUC值为8。这种IE在MAP帧中紧跟NULL IE,它的作用不是用于

分配上行带宽,而是表示 CMTS 已经收到 CM 的数据 PDU。

显然,要充分使用信道的带宽,带宽的分配算法非常重要,在遵从 DOCSIS 标准的基础上,还涉及用户的安排,信道的数量,信息的类型,信息量的大小,用户的等级,网络的状态等等问题,各个厂家的带宽分配算法是不同的。

3 上行带宽分配

上行带宽分配是 HFC 网中 CM 接入控制的主要内容。根据 MAP 帧中的 IE 类型,如果按是否需要竞争才能获取传输机会,可以把上行方向传输的数据类型分为:带宽独享型数据和带宽共享型数据。带宽独享型数据的例子如注册请求帧,周期性测距请求帧,CMTS 指定 CM 的带宽请求帧,以及含 PDU 的数据帧。带宽共享型数据的例子如初始测距请求,竞争性的带宽请求帧,限长带宽请求帧或短数据包。

CMTS 通过周期性地发出 MAP 帧来控制 CM 对某一个上行通道的使用^[3]。这里有两种情况需要考虑,1) 当某个 CM 要发送带宽独占型的数据时,它将如何获取发送这个数据的上行机会。2) 当某个 CM 要发送带宽共享型的数据时,它又该如何处理。下面通过一个例子来分析这两情况的处理,在这个例子中,CM 需要发送一个 PDU 数据给 CMTS。在这个过程中,CM 先发送一个(竞争性的)带宽请求帧,在获取到所需带宽后(即,CMTS 同意这个请求),通过 MAP 帧中的(长/短)数据准许 IE 提供的机会传输 CM 的 PDU 数据(独占型)。其过程如图 4。

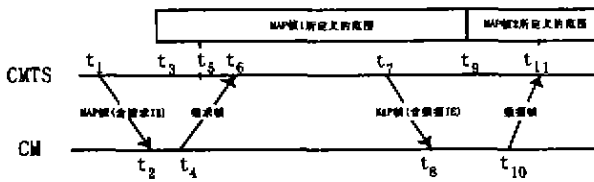


图 4 带宽分配时序举例

整个传输过程如下:

1) CMTS 在 t_1 时刻发出一个含有请求 IE 的 MAP 帧,这个请求 IE 所描述的时段要求 CM 通过竞争才能获取。假设这个 MAP 帧的有效开始时间是 t_3 (t_3 根据下行时延、CM 对这个 MAP 帧的处理时间、以及上行时延估算),请求 IE 的开始时间从 t_5 开始。

2) 在 t_2 时刻 CM 收到这个 MAP 帧。MAP 帧的分析过程是,CM 首先从 MAP 帧中 IE 部分查找针对自己的 IE(通过 IE 域的 SID 号确定),然后从 MAP 帧中找到请求 IE(通过 IUC 域),并分析这个 IE 所描述的时段(通

过前后两个分量之差计算出来)。为了减少在这个时段上的冲突,CMTS 要求 CM 根据 MAP 帧中的数据回退开始字段计算一个随机数作为 CM 在发送请求的时间调整,如图中的 t_6 。

3) 根据 t_6 和测距出来的上行时延计算出请求帧的发送时刻 t_4 ,这样可保证请求帧在 t_6 时刻到达 CMTS。CM 发送 PDU 数据所需的带宽(以微时隙计算),包含在请求帧中。

4) CMTS 在 t_6 时刻收到 CM 发来的请求帧,然后根据带宽资源情况决定对这个请求帧的处理,如果 CMTS 认为带宽资源能够满足 CM 的要求,那么它将在下一个 MAP 帧中答复 CM。

5) 于是,CMTS 在 t_7 时刻发出带有让这个 CM 使用上行带宽的 MAP 帧。这个 MAP 帧中含有一个数据 IE,它的 SID 域指明了这个 IE 所描述的时段用于这个 CM。假设第二个 MAP 帧的有效开始时间是 t_9 ,而数据 IE 所描述的时段从 t_{11} 开始。

6) 二个 MAP 帧在 t_8 时刻被送达 CM,CM 对它进行扫描分析,计算出在 t_{11} 时刻必须把数据送到 CMTS。

7) 类似第 3) 步,CM 根据 t_{11} 和测距结果计算出 t_{10} ,并在 t_{10} 发送数据 PDU 帧。

在上述过程中,如果 CM 在请求帧发送之前就保持着一个发送请求帧的时段机会表,那么第 1)、2) 步将不会是产生访问时延的因素,即 CM 随时都会有发送请求帧的机会。

由于此时是用的竞争性的时段发送请求帧,因此在第 3) 步的中要考虑到自己发送的请求帧可能与其它 CM 的请求帧冲突而被丢失。注意 CMTS 并不直接检查是否有冲突发生,这个检查的机制交给 CM 去完成。大致做法是,当 CM 发送的请求帧与其它 CM 的请求帧在 t_5 开始的这个请求 IE 时段中冲突后,而且这个 CM 没有竞争到发送机会,那么 CMTS 自然不会收到这个请求帧,所以 CMTS 不会对这个 CM 作出任何反应,第二个 MAP 帧不会包含这个 CM 的请求响应。此时,CM 会认为冲突发生了,它会执行回退算法并重传请求帧。冲突解决的办法将在后面分析。

第 4) 步中可能发生的情况是,CMTS 没有发现可用的带宽资源让这个 CM 使用,此时 CMTS 的第一种做法是,在第二个 MAP 帧中加入这样一种 IE:它的 SID 号对应于这个 CM(单播),IUC 是 5 或 6(数据准许 IE),分量域所描述的时段长度是 0。在以后的 MAP 帧中都必须包含这种 IE,直到这个 CM 的请求得到满足。而在 CM 端,收到这种 IE 后,CM 就知道请求被挂起了,只有

收到非 0 长度的数据准许 IE, CM 才能发送新的请求。另一种做法是根本就不给这个 CM 发送 IE, 造成一种假性冲突, 而抛弃这个 CM 的请求帧, 然后 CM 按冲突发生的情况处理。

4 冲突解决

CMTS 通过 MAP 帧控制 CM 对上行通道的使用, 但并非每个上行时段都留给固定的 CM 使用, 因此会有冲突发生, 冲突发生的原因是由于 HFC 接入控制机制中的随机接入特性造成的。请求帧和数据 PDU 帧都有可能发生冲突。冲突解决的方法关系到 HFC 网络的性能好坏^[4]。

4.1 IE 的进一步划分

要理解冲突解决机制, 必须先知道竞争性 IE(它所描述的时段需要 CM 通过竞争才能获取)的进一步划分。IE 的进一步划分如图 5 所示。

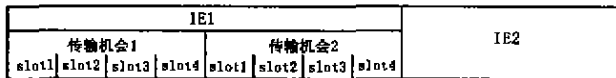


图 5 两个相连的 IE

对于描述竞争性的时段的 IE, 它由传输机会组成, 传输机会又由微时隙组成。当然, 微时隙还可以进一步划分为以 $6.25 \mu s$ 为最小单位的时间单位。图中, IE1 由两个传输机会组成, 传输机会 1 由 4 个微时隙组成, 传输机会 2 也由 4 个微时隙组成, IE2 是一个非竞争的 IE。对于一个竞争性的 IE, 它定义的时段中能够包含多少个传输机会呢? 实际上, 这种 IE 包含的传输机会个数是由两个量决定的, 其中一个量是一个传输机会中包含的微时隙个数, 记为 n_2 , 它是由 CMTS 周期性发出的称为 UCD(Upstream Channel Descriptor) 帧中的脉冲串描述符(Burst Descriptor) 字段中 TLV 形式的最大脉冲串描述符(Maximum Burst Descriptor) 值决定, 因此同一个 IE 中的各传输机会所含的微时隙个数是相同的(此例中为 4)。另一个量是这个 IE 所描述的时段包含的微时隙个数, 记为 n_1 , 它可以由相邻两个 IE 的分量域之差计算出来。因此 CM 可以通过 UCD 帧和 MAP 帧计算出一个竞争性 IE 包含的传输机会的个数 n :

$$n = \frac{n_1}{n_2}$$

4.2 窗口回退机制

HFC 网中冲突的解决方法基于窗口回退机制, CMTS 控制着初始回退窗口和最大回退窗口^[5]。这两个窗口大小的值是通过 MAP 帧中的某些字段传送给 CM

的, 在 MAP 帧中这些字段的值表示一个以 2 为底的幂的指数。例如, 表示窗口大小的字段的值是 4, 那么这表示一个 0 - 15 的窗口, 如果表示窗口大小的字段的值是 10, 那么这表示一个 0 - 1 023 的窗口。

当 CM 要发送一个参与竞争的帧时, 它先把内部回退窗口设为 MAP 帧中数据回退窗口的开始值。注意, MAP 帧必须是当前正在起作用的 MAP 帧。然后 CM 根据回退窗口的大小随机地选取一个数(不大于窗口的最大值), 它表示 CM 在传输这个竞争帧之前必须等待的竞争传输机会数, 这里的传输机会是指同种性质的传输机会, 即, CM 在识别传输机会时, 它只考虑用于本次竞争性帧的传输机会。例如, CM 要传输测距请求帧, 假如本次 MAP 帧的数据回退窗口的开始值是 8, 那么 CM 把自己的内部回退窗口应为 8, 它从 0 - 8 的范围内选取了一个随机数 5, 那么, CM 只有等待第 6 次测距机会来临时, 它才能发测距请求帧。CM 收到的第一个 IE 中含有 2 个测距请求机会(根据前面的方法可以算出来)。显然这个 CM 这次不能发送请求, 它还需等待 $5 - 2 = 3$ 个机会之后才能发送, 如果下一个 IE 含有 2 个测距机会, 这个 CM 仍不能发送测距请求帧, 它还需等待 $3 - 2 = 1$ 个机会之后才能发送。若再下一个 IE 含有 3 个测距机会, 这时这个 CM 这次就可以再等待一个测距机会后在第 3 个 IE 所描述的时段中发送测距请求帧。需要注意的是, 从选取了随机数后, CM 等待发送而放弃的传输机会是累计计算的, 即使这些请求机会可能不在同一个 IE 中, 甚至不在同一个 MAP 帧中。正因为竞争的用户随机选择一个延迟数, 大大减少了冲突的机会, 但也可能会浪费一些发送机会。

当 CM 传输了竞争性的帧后, 它将等待 CMTS 的响应, CMTS 和 CM 的处理流程如图 6 所示。第一种情况是竞争成功, CMTS 收到了这个 CM 帧, 如果 CM 发送的是请求帧, 它等到的响应是数据准许 IE, 在这里, 根据 HFC 中带宽资源的情况, CM 收到的数据准许 IE 的长度可能是 0, 这表示暂时没有带宽分配给这个用户, 该用户还需要再等待, 直至得到数据确认 IE。如果 CM 发送的是数据 PDU 帧, 那么 MAP 帧中没有数据响应 IE, 但会得到数据确认。第二种情况是竞争失败, CMTS 没有收到这个 CM 的帧, 那么 CM 也不会收到 CMTS 的响应, 具体表现是, 如果 CM 发送的是请求帧, 那么 CM 紧接着收到的 MAP 帧中没有针对自己的数据准许 IE, 如果 CM 发送的是数据 PDU 帧, 那么 MAP 帧中没有数据响应 IE。在这里, “紧接着收到的”MAP 帧是指, MAP 中的确认时间字段表示的时间比 CM 发送时间更新。

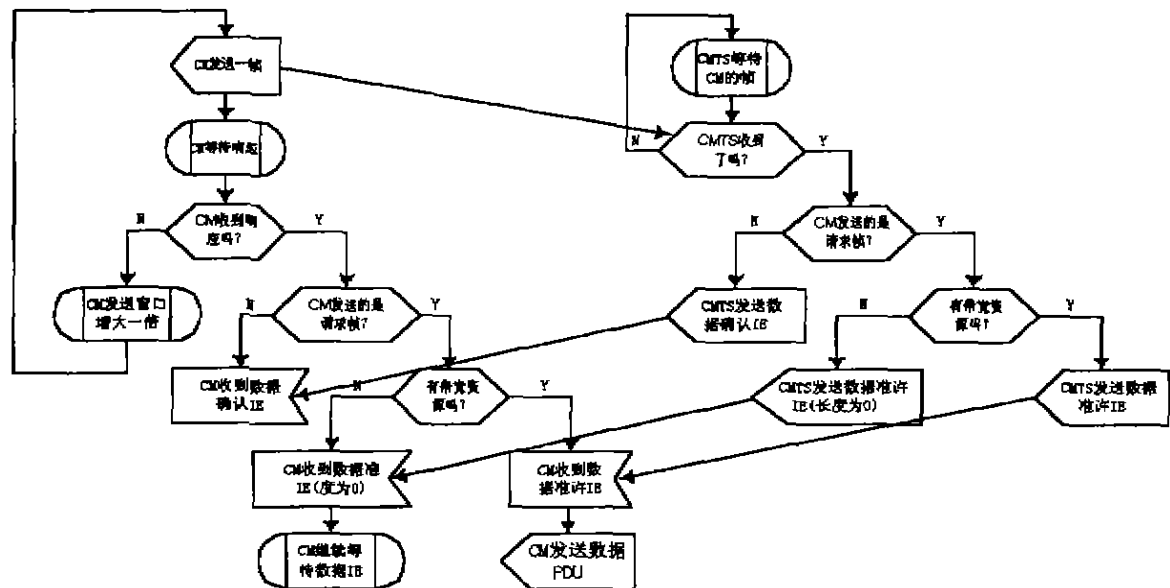


图6 HFC网冲突解决流程

当CM竞争失败后,它必须增大回退窗口一倍,但不能超过最大回退窗口。然后CM在新窗口中选择一个随机数,又重新开始上面的过程。当重试次数大于16后,CM将不再传送这个帧,重传最大次数的值与窗口大小无关。

HFC网中的冲突解决方式非常具有灵活性,它可以采用固定风格和完全动态的方式。一方面,CMTS可以把MAP帧中的数据回退开始字段的值设为0,数据回退结束字段的值设为10,那么此时HFC具有以太网风格的回退机制,它具有公平和效率高的特点^[6]。另一方面,CMTS可以使这两个字段的值经常改变,以至CM能够用到同样优化的回退窗口。

5 总结

HFC网中的信道共享技术有其先进性,它是HFC

独特的网络拓扑结构所形成的。树型拓扑结构介于总线型的以太网和星型结构的网络拓扑之间。有了HFC的信道控制技术为基础,对于开发相同网络拓扑的通信协议也是很有帮助的。

参考文献:

- [1] CableLabs /SP - RFlv1.1 - I05 - 000714. Data - Over - Cable Service Interface Specifications[S].
- [2] 谢希仁. 计算机网络(第二版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [3] IEEE802.14, 1998 Edition[S].
- [4] ALBERT AZZAM[美]. 高速电缆调制解调器[M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [5] 周明天. TCP/IP网络原理与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [6] IEEE802.3, 1996 Edition[S].

Controlling Techniques of Channel Sharing in HFC Network

SHI Jin¹, ZENG Xi-hua²

(1. College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: The techniques of sharing a channel in HFC are original with regard to those of Ethernet and Ring. In this paper, the analysis is stressed on the method of the upstream bandwidth allocation, the collision resolving, and the relationship among them, beginning with MAP management message. The MAP is a complex frame, in which the messages of ranging opportunity needed by the CM at the access beginning, bandwidth allocation contention, bandwidth allocation and collision detection are included. The access way for a user is explained after the frame format and functions of a MAP are illustrated. Finally, upstream bandwidth allocation, the cause of collision, algorithm and the process to solve the collision and so on are studied.

Key words: wide band; channel; collision

(责任编辑 吕赛英)