

文章编号:1000-582X(2005)04-0070-04

HFC 网上行信道时隙同步的性能分析*

郭兵,田逢春,黄扬帆

(重庆大学通信工程学院,重庆 400030)

摘要:在分析 HFC 网络上行信道时隙同步过程的基础上,建立在系统故障恢复情况下上行信道时隙同步过程的数学建模,重点研究了 HFC 网完成上行信道时隙同步所需的平均时间。文中给出了不同网络规模、冲突解析算法参数值、上行信道带宽分配策略条件下的实验结果。最后提出了优化 HFC 网上行信道时隙同步性能的措施。

关键词:光纤同轴电缆混合网;时隙同步;冲突解析算法

中图分类号:TN913.24

文献标识码:A

现代通信正在向宽带化、数字化、智能化、个人化和综合业务化的方向发展,宽带用户接入技术已成为当前通信界的研究热点之一。有线电视网正逐步向光纤同轴电缆混合(hybrid fiber/coax, HFC)网发展,并以其高带宽和用户覆盖面广等优势成为家庭用户提供宽带接入的重要手段之一,为宽带信息进入家庭铺平了“最后一公里”^[1]。

HFC 宽带接入技术在频分复用的基础上再进行时分复用,即先把通信频段分为有一定间隔的频率段,对某个频率段再通过时分复用的方式实现多址技术。HFC 网络的线缆调制解调器头端系统(cable modem terminate system, CMTS)将上行信道划分成一个个的时隙分配给用户端线缆调制解调器(cable modem, CM),每个上行信道由初始接入时隙、资源申请时隙和业务时隙组成。由于每个线缆调制解调器与前端之间的距离各不相同,所以不同的线缆调制解调器与前端之间的双向传播时延是不相等的,为了使各个线缆调制解调器发送的数据到达前端时相邻且不发生重叠,需要对接入 HFC 网的线缆调制解调器进行测距以便完成上行信道时隙同步。初始接入时隙用于线缆调制解调器发送初始化测距请求,是随机接入的,存在着多个线缆调制解调器竞争冲突的可能,如何保证线缆调制解调器快速、有效地接入是 HFC 网 MAC 协议的重要内容。

文章就 HFC 网络在服务小区大面积停电后恢复

供电、前端的 CMTS 故障重启等系统故障恢复情况下的上行信道时隙同步技术性能等问题作了研究。

1 HFC 网上行信道时隙同步过程

线缆调制解调器在加电启动或重新初始化后,必须完成上行信道时隙同步,才能接入 HFC 网进行数据传输。HFC 网上行信道的时隙同步通过测距协议来实现,测距协议遵循线缆数据传输系统接口标准(data over cable system interface specification, DOCSIS)^[2],测距过程如图 1 所示。



图 1 HFC 上行信道时隙同步过程

前端周期性地在上行信道中分配初始接入时隙,为刚上电或重新初始化后的线缆调制解调器接入 HFC 网提供初始化测距的机会。初始接入 HFC 网的线缆调制解调器首先等待并接收前端通过下行信道发送来的上行信道带宽管理 MAP 帧,从中获取上行信道中的初始接入时隙的分配信息,并在初始接入时隙到来时向前端发出初始化测距请求。前端接收到初始化测距请求后向线缆调制解调器返回测距响应信息,并为其分配非竞争性时隙进行测距。当两个或两个以上线缆调制解调器在同一时隙中发出初始化测距请求时,将产生冲突,所有发生冲突的线缆调制解调器将不

* 收稿日期:2004-10-30

作者简介:郭兵(1974-),男,重庆市人,讲师,重庆大学硕士研究生,主要从事宽带接入和数字图像处理方面的研究。

会得到前端的测距响应。当等待前端的测距响应超时 (50 ~ 200 ms), 线缆调制解调器将执行截断二进制指数退避算法, 在 $0 \sim 2^B - 1$ (B 为截断二进制指数退避算法的退避窗口值, 由前端统一设置, 通过 MAP 帧传送给所有线缆调制解调器) 之间选择一个随机数来决定重新发送初始化测距请求之前必须放弃的初始接入时隙的个数, 并在放弃的初始接入时隙的数量满足条件后重新发送初始化测距请求。当初始化测距请求重发次数超过 16 次后, 线缆调制解调器测距失败并重新选择信道。通过测距可以精确测量出前端与线缆调制解调器之间的双向传输时延, 从而确定线缆调制解调器的数据发送时间与基准时间的偏移量, 为数据在上行信道中正确传输提供保障。

2 系统模型

由 HFC 网上行信道时隙同步过程可知, 初始化测距请求的发送效率是 HFC 网快速完成上行信道时隙同步和线缆调制解调器有效接入 HFC 网的关键。初始化测距请求以时隙 Aloha 随机接入方式在上行信道初始接入时隙中传输, 文献 [3, 4] 对时隙 Aloha 随机接入技术的性能进行了分析, 文献 [5] 对 HFC 网测距协议的性能进行了分析, 但其分析结果都是在假设工作站数量无限、数据到达为泊松 (Poisson) 分布的前提下得出的。

在服务小区大面积停电后恢复供电或前端 CMTS 故障重启后, 需要对所有线缆调制解调器重新进行测距来完成上行信道时隙同步。由于一个 CTMS 通常覆盖 200 ~ 500 个用户, 此时所有线缆调制解调器将同时发出初始化测距请求, 形成测距请求“风暴”, 初始化测距请求的达到过程不再服从 Poisson 分布。当某个线缆调制解调器成功发送初始化测距请求, 以后的测距过程在前端指定的时隙中以非竞争方式进行, 不再参与对初始接入时隙的竞争。假设 HFC 网中线缆调制解调器总的数量为 N , 则系统故障恢复时等待测距的线缆调制解调器初始数量为 N_0 。当一个线缆调制解调器成功发送初始化测距请求, HFC 网中等待测距的线缆调制解调器就减少一个, 直至全部线缆调制解调器都成功发送初始化测距请求。因此, 系统故障恢复时 HFC 网中等待测距的线缆调制解调器的数量变化过程为纯灭过程, 其状态转移图如图 2 所示。

根据文献 [6], HFC 网初始化测距过程的状态方程为:

$$\frac{d}{dt}P_{j-1}(t) = \mu_j P_j(t) - \mu_{j-1} P_{j-1}(t)$$

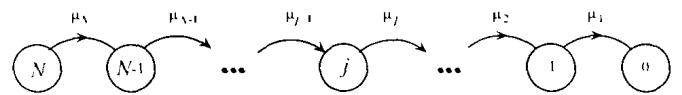


图 2 HFC 网初始化测距的状态转移图

$$j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

其中, j 表示 HFC 网中等待测距的线缆调制解调器数量, $P_j(t)$ 表示在经过了 t 个初始接入时隙的时间之后, HFC 网中还有 j 个线缆调制解调器等待测距的概率。

3 性能分析

以下将分析并得出 HFC 网故障恢复时完成上行信道时隙同步所需平均时间的定量表示。

当上行信道中的第 1 个初始接入时隙到来时, 每个线缆调制解调器都希望在第一时间接入 HFC 网, 所有线缆调制解调器同时发出初始化测距请求, 这必然导致所有的请求都冲突。因此, 经过 1 个初始接入时隙的时间之后, HFC 网内仍然还有 N 个线缆调制解调器在等待测距, 即:

$$P_N(1) \equiv 1 \quad (2)$$

此后, 线缆调制解调器执行截断二进制指数退避算法选择重发初始化测距请求的初始接入时隙。在每个初始接入时隙到来时, 单个线缆调制解调器重发测距请求的概率为 $1/2^B$, 且各个线缆调制解调器随机选择初始接入时隙重发测距请求的过程相互独立。如果在某个初始接入时隙到来时, HFC 网中还有 j 个线缆调制解调器等待测距, 那么在这个初始接入时隙中成功发送一个初始化测距请求的概率为:

$$P_s(j) = \binom{j}{1} \frac{1}{2^B} \left(1 - \frac{1}{2^B}\right)^{j-1} = \frac{j}{2^B} \left(1 - \frac{1}{2^B}\right)^{j-1} \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3)$$

如果第 t 个初始接入时隙到来时, HFC 网中有 j 个线缆调制解调器等待测距, 一旦在这个时隙中成功发送一个初始化测距请求, 在时刻 $t + \Delta t$ HFC 网初始化测距的状态将从 j 转移到 $j - 1$ 。如果第 t 个初始接入时隙到来时, HFC 网中有 $j - 1$ 个线缆调制解调器等待测距, 且在这个时隙中有多个线缆调制解调器发出初始化测距请求, 这必然导致冲突, 在时刻 $t + \Delta t$ HFC 网初始化测距的状态将保持为 $j - 1$ 。因此, 经过 t 个初始接入时隙的时间之后, HFC 网中还有 $j - 1$ 个线缆调制解调器等待测距的概率可表示为:

$$P_{j-1}(t + \Delta t) = P_j(t)P_s(j) + P_{j-1}(t)(1 - P_s(j - 1)) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

由 (1)、(4) 式可得系统在状态 j 时, 等待初始化测距的

线缆调制解调器的离开率为:

$$\mu_j = P_s(j) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5)$$

那么 HFC 网初始化测距的状态从 j 转移到 $j-1$ 所经历得平均时间,即在 HFC 网中有 j 个线缆调制解调器等待测距的情况下,成功发送一个初始化测距请求所需要的平均时间为:

$$T_j = \frac{1}{\mu_j} = \frac{1}{P_s(j)} = \frac{2^B}{j} \left(1 - \frac{1}{2^B}\right)^{1-j} \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (6)$$

由(2)、(6)式可得 HFC 网完成上行信道时隙同步,即网络故障恢复后所有线缆调制解调器重新接入 HFC 网所需平均时间为:

$$T_c = 1 + \sum_{j=1}^N T_j = \sum_{j=1}^N \frac{2^B}{j} \left(1 - \frac{1}{2^B}\right)^{1-j} \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

4 实验结果及分析

为进一步研究 HFC 网上行信道时隙同步技术在网络故障恢复情况下的性能,针对不同的网络规模、冲突解析算法参数值、上行信道带宽分配策略进行了实验。图 3 给出了 HFC 网完成上行信道时隙同步所需平均时间与网络规模和冲突解析算法参数值之间的关系,由图 3 可以看出,对于规模较小的网络(如 100 户),选择较大的退避窗口值(如 $B=8$)将导致 HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间较长;而选择较小的退避窗口值(如 $B=5$),随着网络规模的扩大(如用户数超过 150 户),HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间将急剧上升。因此,针对不同的网络规模,需要选择不同的退避窗口值,图 4 给出了与各种网络规模相对应的退避窗口优化值。由图 4 可以看出,当网络用户数在 200 户左右,退避窗口值 $B=6$ 时, HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间最短;当网络用户数在 300~400 户,退避窗口值 $B=7$ 时, HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间最短;当网络用户数达到 500 户后,退避窗口值 $B=8$ 时, HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间最短。

上述 HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间均以所需经历的初始接入时隙个数为单位,实际时间值则与上行信道中的初始接入时隙分配周期 T 和每个周期中分配的时隙数量 M 有关,而初始接入时隙分配周期和每个周期中分配的时隙数由前端执行的上行信道带宽分配策略决定。以 500 户的网络规模为例,退避窗口值选择最优值 $B=8$, HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间 T_c 约为 2 638 个初始接入时隙。假设

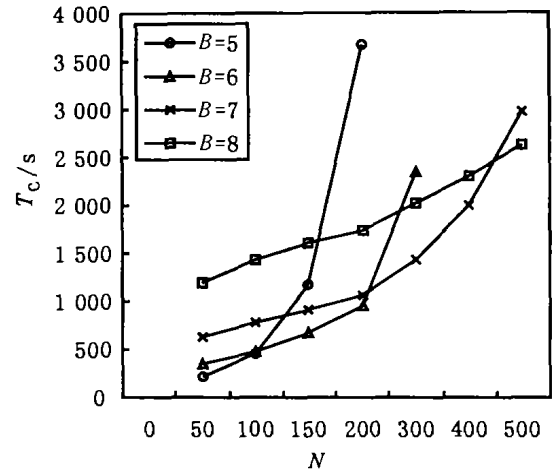


图3 网络规模和冲突解析算法参数值对系统测距时间的影响

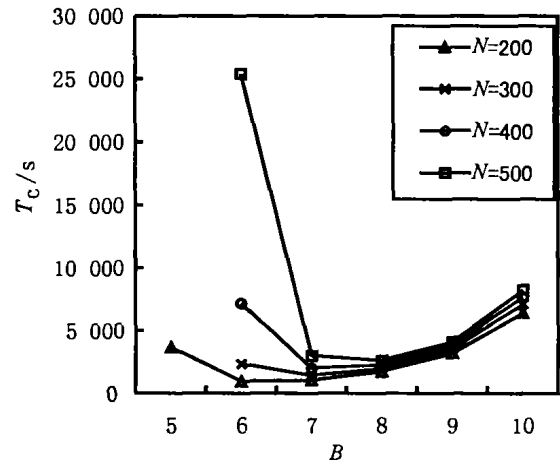


图4 不同网络规模所对应的冲突解析算法优化参数值

初始接入时隙分配周期为 DOCSIS 标准规定的最大值 2 s, 每个周期中分配的时隙数为 1 个, 则 HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间为 $T_c / M * T = 2638 * 2 = 5276$ s, 约 1.5 h, 这显然是令人难以接受的。如果改变上行信道带宽分配策略, 在上行信道中分配更多的初始接入时隙, 即提高初始接入时隙的分配频率、增加每个周期中分配的时隙数, 可以缩短 HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间。例如初始接入时隙的分配周期减小到 200 ms, 每个周期中分配 3 个初始化测距时隙, 则 HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间约为 2.4 min, 基本上可以满足用户的要求。

5 结论

目前 HFC 网络是比较合理的用户宽带接入网选择方案之一, 解决了信息高速公路与用户接入瓶颈的矛盾。作为商用网络, 网络的故障恢复能力是有线电视宽带网络运营商重点关心的一个问题, 理想情况下,

网络故障恢复后,用户应在较短时间内(一般在几分钟之内)重新接入 HFC 网获得服务。文中运用纯灭过程排队模型分析了系统故障恢复情况下(如大面积小区停电后线缆调制解调器重新接入 HFC 网、前端设备掉电重启等),HFC 网完成上行信道时隙同步,用户重新接入 HFC 网所需的平均时间,并给出了实验结果。实验结果表明,HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间与网络的规模、截断二进制指数退避算法的退避窗口值、上行信道带宽分配策略等密切相关。因此,采取以下措施缩短系统故障恢复时 HFC 网完成上行信道时隙同步的平均时间是十分必要的:

- 1) 动态调整截断二进制指数退避算法的退避窗口值。
- 2) 动态调整上行信道的带宽分配策略。
- 3) 线缆调制解调器首次发送初始化测距请求时,即执行退避算法。

尽管上述措施在实际网络设备中的具体实施中还有些实际问题需要进一步研究解决,但它是可行和有

效的。

参考文献:

- [1] LA PORTA, WAI SUM. Hybrid fiber-coax system [J]. SPIE Proceedings, 1995, 33 (11): 90 - 96.
- [2] MCNS, Data-Over-Cable Service Interface Specifications 1.0 [S]. MCNS Consortium, 1999.
- [3] FOUAD TOBAGI, Leonard Kleinrock. Packet switching in radio channels-Part I: carrier sense access mode and their throughput-delay characteristics [J]. IEEE Tans. Comm., 1975, 24 (8): 832 - 845.
- [4] 谢希仁,陈鸣,张兴元. 计算机网络 [M]. 北京:电子工业出版社,1994.
- [5] DOLORS SALA, JOHN LIMB. Scheduling Disciplines for HFC Systems [A]. Proceedings of 3rd International Workshop on Community Networking [C], Antwerpen, Belgium: IEEE Service Center, 1996, 13 - 18.
- [6] 盛友招. 排队论及其在计算机通信中的应用 [M]. 北京:北京邮电大学出版社,1998.

Performance Analysis of the Timeslot Synchronous in the Upstream Channel for the HFC Networks

GUO Bing, TIAN Feng-chun, HUANG Yang-fan

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Based on the analysis of timeslot synchronous process in the upstream channel for HFC network, the mathematical model is built for the process of timeslot synchronous in the upstream channel, while the system is undergoing fault recovery. The paper emphasizes on the analysis of the average time in which the HFC network can complete the timeslot synchronous in the upstream channel. The experimental results under different conditions, such as network scale, parameter value of competition resolution algorithm and bandwidth allocating scheme for the upstream channel are given, and the optimizing methods are proposed.

Key words: HFC network; timeslot synchronous; competition resolution algorithm

(编辑 吕赛英)