

# HFC 上行信道多重码预约 Slotted ALOHA 随机多址接入的性能分析

The Performance Analysis of Multi-Code Reservation-Slotted ALOHA Random Multiple Access Based on Uplink for HFC

李莉

(云南师范大学计算机科学系 昆明650092)

**Abstract** Based on the presentation of the network model of HFC, a MAC protocol of reservation slotted ALOHA with multi-code is proposed. A discrete-time, discrete-state Markov chain is used to evaluate the uplink performance of HFC network, and the experimental result and analysis are given.

**Keywords** HFC network, Multi-code, Slotted ALOHA, Multiple access

## 1 引言

光纤同轴电缆混合(hybrid fiber/coax, HFC)网络具有光纤的高带宽和同轴电缆的共享性,是较为经济可行的宽带用户接入方案之一。HFC能提供语音、数据、视频等业务的综合接入,为宽带信号进入家庭铺平了“最后一公里”。典型 HFC 网络是星型和树型混合拓扑结构,用户共享同一树型同轴电缆网络的所有频带资源。上行信道的资源共享是 HFC 网络能否成为一个多媒体通信平台的关键技术之一,必须有一个多址接入协议来解决用户上行信道的有效接入。目前已有的 HFC 网的 MAC 协议大部分是基于 TDMA 的预约型 Slotted ALOHA 协议,但这种基于时分复用的接入方式对信道要求较高。

本文提出一种适用于 HFC 网络上行信道的多重码预约 Slotted ALOHA 多址接入协议。采用扩频技术的码分多址(CDMA)接入方式具有容量大、抗干扰性好、频带利用率高的优点,CDMA 适合于双向有线电视网的上行接入。而多重码预约 Slotted ALOHA 协议具有 Slotted ALOHA 和 CDMA 的综合特性,能得到较高的上行频带利用率,且能满足不同业务接入的需要。HFC 上行信道先用 CDM 方法划分为多个独立的多重码分信道,每个码分信道采用预约 Slotted ALOHA 方式。

然后本文对多重码(Multi-code CDMA)预约 Slotted ALOHA 的 MAC 协议性能进行了分析和比较。通过建立系统的离散时间马尔可夫链模型,先推导了单个码分信道预约接入模式下的系统吞吐量公式,然后推出  $M(M>1)$  个码分信道的系统吞吐量。同时分析了系统各参数对吞吐量的影响,并将结果与 Slotted ALOHA 进行比较。

## 2 多重码预约 Slotted ALOHA 上行信道随机多址接入协议模型

HFC 网络包括一个前端(HE)和用户(SS),一个下行广播信道和  $M$  个上行多重码分信道,所有用户共享这  $M$  个码分信道。HFC 网络的每个上行码分信道的 MAC 标准是基于 TDMA 帧和时隙分配技术的。上行信道被划分为若干时隙(一个预约申请帧长度等于一个时隙宽度)。作为树型网络中心的前端控制器在协调上行信道接入和资源分配中起着主导作用。前端通过下行广播信道通知用户当前信道状态,前端控

制器控制时隙和多重码扩频序列的分配。

假设在某时段内可以分配  $M$  个可随机上行接入的多重码分信道,则前端把所有用户分成  $M$  组,每组分配一个多重码。每一个码分信道均采用预约 Slotted ALOHA 多址接入方式,这样 CDMA 系统可视为  $M$  个相互独立的非 CDMA 系统。

对于任意一个码分信道分析如下。用户采用一种预约-Slotted ALOHA 多址接入方式,当用户有上行数据帧要发送时,产生一个资源预约请求信号,通过资源申请帧向前端预约上行信道,预约申请采用 Slotted ALOHA 的方式竞争发送。预约成功后,就可在预约时隙中发送数据,直到数据传送完毕。用户一次只能发一个请求。当两个或两个以上的用户同时在一个信道中发送就会发生冲突,冲突的用户随机等待一段时间后重新尝试预约。

假设系统中的用户数足够多,且用户随机发送数据,在每个用户的通信量都很小的条件下,整个系统的预约请求帧到达过程可看成是泊松过程;信道是可靠的,功率控制也是理想的,并且忽略捕获效应;用户发送的数据帧长度  $L$  为几何分布,即

$$P[L=x]=P_{data}(1-P_{data})^{x-1}, x=1,2,3\cdots \quad (1)$$

其中,  $P_{data}$  为数据帧在一个时隙中发送结束的概率,  $x$  的单位为时隙。

## 3 多重码预约-Slotted ALOHA 系统吞吐量性能分析

### 3.1 $M=1$ 时系统性能分析

首先分析  $M=1$  情况下的系统吞吐量  $S$ 。这时系统只有一个上行多重码分信道。在此基础上经扩展可得出  $M>1$  时的系统吞吐量。

根据以上假设,在一个时隙中系统处于以下四个状态之一:(1)空闲(S),该时隙上行信道空闲;(2)冲突(C),该时隙有两个或两个以上用户发送预约请求帧,发生竞争冲突,预约请求失败;(3)发送预约申请(R),该时隙只有一个用户发送预约请求,预约成功;(4)发送数据帧(D),该时隙发送数据。由于第  $n+1$  个时隙的系统状态只与第  $n$  个时隙的系统状态有关,因此可以建立该系统的离散时间 Markov 链模型,如图 1 所示。并且该 Markov 链是有限个状态、不可约的,它是遍历的,存在平衡解。

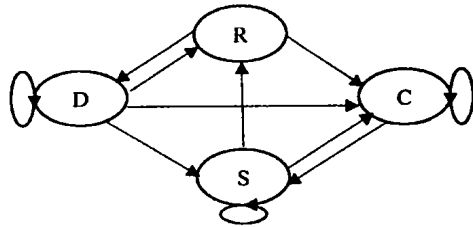


图1 四态马尔可夫模型

该马尔可夫链模型的状态矢量  $I=(S,C,D,R)$ , 稳态概率矢量  $\Pi=(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$ 。在一个时隙内, 设  $P_0$  是无帧到达的概率,  $P_1$  是有一个帧到达的概率, 由假设可知, 帧到达过程为泊松过程, 所以

$$P_0 = e^{-G} \quad (2)$$

$$P_1 = Ge^{-G} \quad (3)$$

其中  $G$  为网络负载, 等于一个时隙内总共发送的平均帧数。

这个四态马尔可夫模型的稳态方程为

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} q_0 & q_2 & q_1 & 0 \\ q_0 & q_2 & q_1 & 0 \\ q_0 P_{data} & q_2 P_{data} & q_1 P_{data} & 1 - P_{data} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,  $q_0 = P_0, q_1 = P_1, q_2 = 1 - P_0 - P_1$

$$\sum \pi_i = 1 \quad (5)$$

根据 (4), (5) 可求解四阶马尔可夫稳态方程, 求出稳态概率  $\Pi=(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$ 。把预约申请帧也计算在系统吞吐量中, 则系统归一化吞吐量为:

$$S = \pi_3 + \pi_4 = \frac{Ge^{-G}}{P_{data} + Ge^{-G}} (1 + P_{data}) \quad (6)$$

当  $G=1$  时,  $S$  取最大值

$$S_{max} = \frac{1}{P_{data} + \frac{1}{e}} (1 + P_{data}) \quad (7)$$

### 3.2 $M > 1$ 时系统性能分析

现在分析  $M > 1$  时情况。假设网络总负载为  $G$ , 有  $M$  个相互独立的多重码分信道, 由随机过程的分解定理得, 单个码分信道的平均负载为  $G/M$ , 由式 (7) 可推出单个码分信道的吞吐量为

$$S' = \frac{\frac{G}{M} e^{-\frac{G}{M}}}{P_{data} + \frac{G}{M} e^{-\frac{G}{M}}} (1 + P_{data}) \quad (8)$$

当  $G=M$  时,  $S'$  达到最大值。

由随机过程可知, 系统总的信道吞吐量为  $M$  个相互独立码分信道的吞吐量之和

$$S_M = \frac{Ge^{-\frac{G}{M}}}{P_{data} + \frac{G}{M} e^{-\frac{G}{M}}} (1 + P_{data}) \quad (9)$$

## 4 实验结果分析

对多重码预约-Slotted ALOHA 随机接入系统的吞吐量通过计算机仿真进行分析, 在仿真中加入了 S-ALOHA 的吞吐量曲线以便于比较。在多重码预约-Slotted ALOHA 随机接入系统中,  $M$  个独立的码分信道, 每个码分信道使用 Slotted ALOHA 的接入方式, 假设申请帧、数据帧的到达是泊松

过程。在平稳状态下即未发生拥塞时, 系统吞吐量和负载的关系为

$$S = Ge^{-\frac{G}{M}} \quad (10)$$

当发生冲突时, 冲突的用户随机延时  $\tau$ , 后再发送资源申请信号。每次平均退避时延  $\tau$ , 取决于所采用的退避算法。本文采用二进制指数退避算法, 在平衡状态下, 预约申请信号的平均重复次数为

$$N = \frac{G}{S} - 1 \quad (11)$$

由图4可见, 在相同的网络负载 ( $G \leq 1$ ) 下, 随着  $M$  的增加, 预约申请信号的平均重复次数减少。

### 4.1 $P_{data}$ 对系统吞吐量性能的影响

图2给出了不同数据帧长 ( $P_{data}$ ) 对单个码分信道 ( $M=1$ ) 的吞吐量  $S$  与网络负载  $G$  的关系。由图2可见, 随着数据帧平均长度增加, 系统的吞吐量性能越好, 但这是以增加系统平均接入时延为代价的。因此用户的数据帧长应考虑系统性能要求。另一方面, 随着网络负载  $G$  的增加,  $S$  逐渐增大, 当  $G=1$  时,  $S$  达到最大值。然后  $S$  随  $G$  的增大而减少, 这是因为随着负载  $G$  增大, 预约申请成功的帧数减少而发生冲突的帧数增加。  $G$  大于1时曲线呈现负斜率, 该区域是不稳定的。可见要使预约-Slotted ALOHA 系统稳定工作, 网络负载不能大于1。

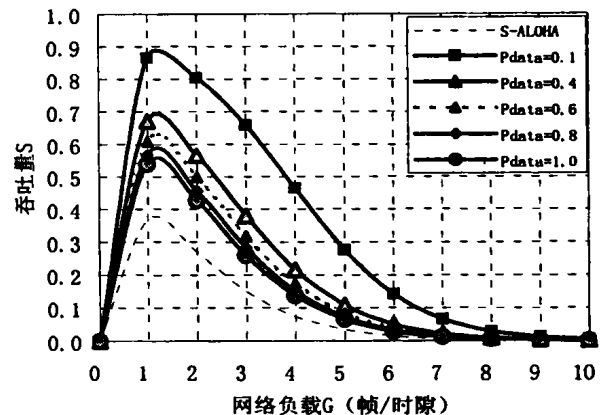


图2  $P_{data}$  与系统吞吐量的关系

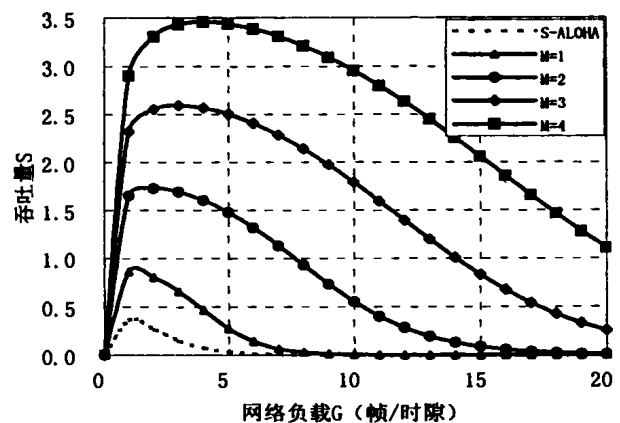


图3  $M$  与系统吞吐量的关系 ( $P_{data}=0.1$ )

### 4.2 $M$ 对系统吞吐量性能的影响

图3是多个多重码分信道 ( $M > 1$ ) 时的系统吞吐量。由图可见, 随着码分信道的增加, 系统吞吐量明显增加。当  $M=4$  时  $S$  的最大值已达到3.46, 远超过 Slotted ALOHA 的最大吞

吐量0.368。这是因为系统在同一时隙有  $M$  个可用的多重码分信道,用户能成功发送的帧数也多了。当  $G=M$  时  $S$  达到最大值,一旦  $G>M$ ,系统将会变得不稳定。因此,随着码分信道数量的增加,系统的稳定工作区域也增大。同时,由图4可见,随着码分信道数量的增加,单个码分信道的最大吞吐量均为0.865,大于 Slotted ALOHA 的最大吞吐量。当  $G=M$  时  $S$  达到最大值,因为随着码分信道数量  $M$  的增加,系统的总负载  $G$  分配到每个码分信道的网络负载  $G/M$  均减小,每个码分信道的系统稳定工作区域也增大。

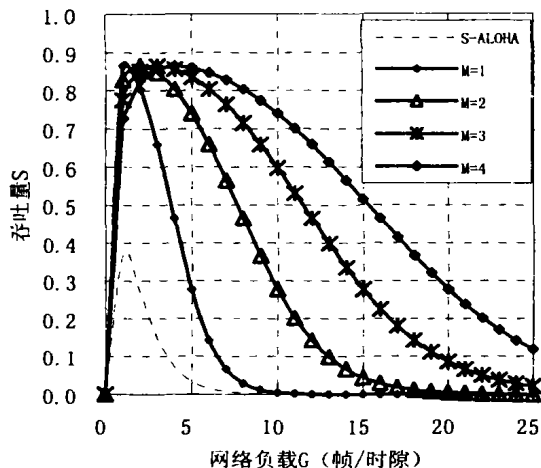


图4  $M$  对单个码分信道吞吐量的影响( $P_{data} = 0.1$ )

**总结** 本文提出一种适用于 HFC 网络上行信道的多重码预约 Slotted ALOHA MAC 协议,通过建立一个四状态马尔可夫链模型,对这种随机接入协议进行了吞吐量和接入时延的性能分析,最后给出实验结果。结果表明,它具有 CDMA 和 Slotted ALOHA 的综合特性,能得到较高的频带利用率,使原有的 Slotted ALOHA 的吞吐性能得到改善;并且给出了

(上接第115页)

要在客户端安装 MapGuide 的控件。同样,系统 B 的用户也需要安装 GeoMedia 的客户端控件。但是安装了 MapGuide 客户端控件的用户并不能利用该控件与 GeoMedia 服务器进行沟通,如果该客户希望与 GeoMedia 服务器建立联系,他还需要再安装 GeoMedia 的客户端控件;反之亦然。而且,MapGuide 服务器和 GeoMedia 服务器也无法建立沟通,并在功能上取得互补,这使得 WebGIS 系统之间处于一种孤立的状态。

而包装 Agent 的使用将可以打破这种孤立状态,不但用户可以通过界面 Agent 与封装了 MapGuide 服务器或 GeoMedia 服务器的包装 Agent 进行沟通,MapGuide 服务器与 GeoMedia 服务器之间也能够通过包装 Agent 实现相互间的沟通与协作,如图5所示。

**结束语** 本文阐述了如何利用智能体 Agent 的各种固有属性和可扩展属性来克服传统的面向对象方法中对象的不足之处,重点分析了可移动 Agent 技术、按需装配 Agent 技术和包装 Agent 技术在分布式地理信息领域的优势和主要作用,并为分布式网络环境下各种地理信息应用系统的设计和实现提供更为合理的思维模式和有效的方法。

此外,值得一提的是,在利用 Agent 技术解决分布式地

数据帧长度,多重扩频码数等参数对系统性能的影响。

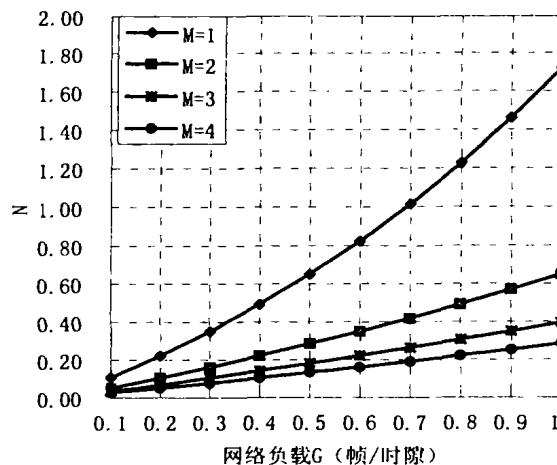


图5 预约申请信号的平均重发次数  $N$

### 参考文献

- 1 Limb J O, Sala D. A protocol for efficient transfer of data over fiber/coax systems. IEEE Trans. on Networking, 1997, 5(6)
- 2 Wai S L, et al. Hybrid fiber-coax systems. SPIE Proceedings, 1995. 23~25
- 3 LAM S S. Packet switching in a multi-access broadband channel. Dept of Computer Science, UCLA, April 1974
- 4 Lam S S. Packet broadcast networks-a performance analysis of the R-ALOHA protocol. IEEE Trans Comput July 1980, C-29: 596~603
- 5 Wolters R P C. An initialization protocol for a CDMA based communications scheme for HFC/CATV networks. IEEE Trans. 1997, 43(3): 329~339

### 参考文献

理信息领域中的实际问题时,通常都不会利用单个 Agent 来完成所有的任务,而是通过多个 Agent 之间的交互和协作,即采用多 Agent 系统的模式来实现的。

- 1 Maes P. Artificial life meets entertainment; life like autonomous agents. Communications of the ACM, Vol38, No11, 1995, 38 (11): 108~114
- 2 王怀民. Agent 技术与分布计算技术. 计算机世界, 1998. 1. 26
- 3 周立柱, 赵洪彪. Internet 环境中的软件 Agent. 计算机科学, 1999 (3): 24~28
- 4 刘弘, 曾广周, 林宗楷. 软件 Agent 的构筑. 计算机科学, 1998(2) 24~28
- 5 OMG Agent SIG. Agent Technology Green Paper, Version 1.0, Object Management Group, http://www.objs.com/agent/index.html, 2000
- 6 Carbonell J G, Siekmann J. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer, 1996
- 7 马俊涛, 刘积仁. Mobile Agent 体系结构及关键技术探讨. 小型微型计算机系统, 1998(2): 7~14
- 8 黄晓斌. 空间智能体研究. [北京大学博士生论文选题报告]. 2001