

# 一种新型的 BoD 带宽请求分配算法

刘 磊 谢 钧 胡谷雨 唐 斌

(解放军理工大学指挥信息系统学院 南京 210007)

**摘 要** BoD 协议中可以通过充分利用按需分配后剩余的带宽来降低时延。首先针对如何高效地利用剩余带宽及其对反馈控制的影响,提出了一种新型的基于预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配算法。其次根据网络流量同时呈现长相关和短相关特性,提出采用 ARFIMA( $p, d, q$ ) 模型进行流量建模与预测,该模型根据参数  $d$  的取值不同既能表示长相关又能表示短相关。最后利用 OPNET 软件建立仿真系统。仿真结果表明,对于长相关和短相关业务流,基于 ARFIMA( $p, d, q$ ) 模型预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配方案能够最高效地利用剩余带宽来降低时延。

**关键词** BoD, ARFIMA( $p, d, q$ ) 模型, 流量预测, 自相似, 长相关, 星上控制

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## New BoD Bandwidth Request Allocation Algorithm

LIU Lei XIE Jun HU Gu-yu TANG Bin

(College of Command Information Systems, PLA Science and Technology University, Nanjing 210007, China)

**Abstract** In BoD(Bandwidth on Demand) protocol, full utilization of remaining bandwidth after allocation on demand can reduce service delay. First on account of how to make efficient use of remaining bandwidth and its effect on feedback control, this paper proposed a new BoD bandwidth request allocation algorithm based on prediction and on-board control. Secondly in view of both the long and short range dependence of network flow, we proposed ARFIMA( $p, d, q$ ) model for traffic modeling and prediction, which can represent both long and short range dependence according to the different values of parameter  $d$ . Finally we employed OPNET for simulation system. The simulation results indicate that, for both long and short range dependence service flow, BoD request allocation scheme based on ARFIMA( $p, d, q$ ) prediction and on-board feedback control can reduce service delay to the most degree, with the help of remaining bandwidth.

**Keywords** BoD, ARFIMA( $p, d, q$ ) model, Traffic prediction, Self-similar, Long-range, OBP

## 1 引言

卫星无线频谱资源的稀缺性使得如何在保证一定业务服务质量条件下尽可能提高无线资源的利用率成为一个特别重要的问题。与传统语音业务固定带宽不同,宽带多媒体卫星通信业务具有高突发性,因此带宽按需分配(Bandwidth on Demand, BoD)是下一代卫星通信网首选的媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)协议。现有的 BoD 协议很多是基于 DAMA(Demand Assignment Multiple Access)协议和自由分配的结合,其基本思想是通过充分利用 DAMA 协议分配后的剩余带宽来减少整个系统的业务排队时延。

与地面 WiMAX<sup>[1]</sup> 等无线系统的动态信道分配技术相比,卫星通信系统特别是 GEO 卫星通信系统中 BoD 的带宽请求与分配周期较长,通过流量预测提前为卫星终端申请带宽可以降低业务时延,因此准确的预测算法是高效利用剩余带宽的基础。文献[4, 9]采用 LLA(Local Linear Approximation)或者它的改进算法进行流量预测,该方法虽然计算简

单,但却不能够准确地刻画业务流量。本文采用 ARFIMA(Fractional Autoregressive Integrated Moving Average)时序模型进行流量预测,因为 ARFIMA( $p, d, q$ ) 模型根据参数  $d$  的取值不同,既能表示长相关特性又能表示短相关特性,进而能够在各种业务流量下得出准确的预测值。

此外,请求分配的长时延和多媒体业务的突发性可能会引起终端队列的剧烈波动,导致业务流的时延抖动很大。文献[2, 8]以经典控制理论为基础,将 BoD 机制建模为具有时延的反馈控制系统,进而维持队列的稳定性,但它们均未考虑自由分配的情况。本文针对剩余带宽的自由分配对反馈控制的影响,将反馈控制从终端转移到星上,并在星上生成真正的带宽请求。

本文第 2 节介绍了所提出的一种新型的基于预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配算法;第 3 节介绍了 ARFIMA 模型及其预测算法;第 4 节描述了系统的总体架构,利用 OPNET 软件建立了仿真系统,并给出了仿真模型及参数设置;第 5 节比较了各种方案在不同仿真条件下的性能,并对仿真

到稿日期:2013-01-09 返修日期:2013-04-15 本文受国家 863 计划(2012AA01A510)资助。

刘 磊(1987—),男,硕士生,主要研究方向为军事通信网, E-mail: troistones@163.com; 谢 钧(1973—),男,博士,教授,主要研究方向为军事通信网、网络管理; 胡谷雨(1963—),男,博士,教授,主要研究方向为军事通信网、网络管理。

结果进行了比较分析,最后是结束语。

## 2 基于预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配算法

卫星带宽请求分配机制是一个星地交互系统,其运行过程的时序关系如图 1 所示。卫星终端在每个 MF-TDMA 帧的开始发送一个 BoD 带宽请求,帧周期为  $T_{sf}$ ,星地传播时延为  $T_p$ ,星上处理时延为  $T_{ds}$ ,用户对 BTP(Burst Time Plan)处理时延为  $T_{du}$ ,但由于 MF-TDMA 系统中时隙分配是以帧为分配周期的,用户站必须在帧开始时执行新的时隙分配,因此带宽请求分配周期为帧周期的整数倍,即式(1),其中  $n$  为正整数。

$$T_{FB} = 2T_p + T_{ds} + T_{du} = nT_{sf} \quad (1)$$

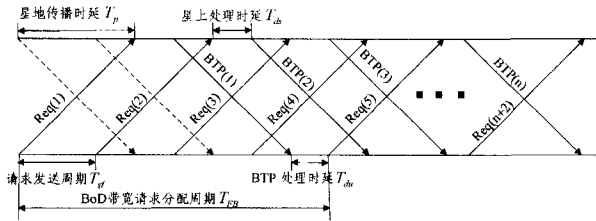


图 1 BoD 带宽请求分配时序关系图

从图 1 中可以看出卫星带宽请求分配机制是一个具有时延特性的反馈控制系统,BoD 带宽请求的信道容量依赖于终端队列长度的信息,而队列长度又受反馈的信道分配结果影响。BoD 带宽请求分配周期  $T_{FB}$  较长,在此期间卫星终端已发送多个请求,这种反馈上的长时延将影响控制系统的收敛性。Francesco<sup>[8]</sup>等人根据队列长度和下一帧将要到达的数据包数量的预测值并结合反馈控制,生成带宽请求,其计算公式如下所示:

$$r_{req}^n(t) = K[q_r(t) - \int_{t-T_{FB}}^t r_{req}^n(\tau) d\tau]^+ + \int_t^{t+T_{sf}} r_{in}^n(\tau) d\tau \quad (2)$$

式中,  $q_r(t)$  表示  $t$  时刻终端  $n$  的队列长度,  $\int_{t-T_{FB}}^t r_{req}^n(\tau) d\tau$  表示上一个请求分配周期内终端  $n$  已经请求的信道容量,  $\int_t^{t+T_{sf}} r_{in}^n(\tau) d\tau$  表示终端  $n$  下一帧将要到达数据包的预测值。  $[X]^+$  表示  $X > 0$  时,  $[X]^+ = X$ , 否则  $[X]^+ = 0$ 。比例因子  $K$  越小队列越稳定,但队列长度越长。卫星根据各终端的申请分配带宽,若带宽申请超过总带宽,则根据各终端申请的带宽数量按比例进行分配。

上述 BoD 带宽请求分配算法能够在维持队列长度稳定的同时降低业务排队时延,但是该算法只是提前为下一帧将要到达的数据包申请信道,在理想情况下(预测准确和剩余带宽充足)只能使业务排队时延减少  $T_{sf}$ ,未能充分利用剩余带宽最大程度地减少业务时延。经过对带宽按需分配 MAC 协议的研究发现,终端  $n$  在  $t$  时刻的请求应使得其在  $t + T_{FB} + T_{sf}$  时刻队列长度最小,并针对剩余带宽的自由分配对反馈控制的影响,将反馈控制放到星上提出了一种新型的基于预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配算法:

$$r_{req}^n(t + T_{FB}/2) = [q_r(t) - \alpha \times \int_{t-T_{FB}}^t a_{assign}(\tau) d\tau + \int_t^{t+T_{FB}+T_{sf}} r_{in}^n(\tau) d\tau]^+ \quad (3)$$

$$a_{assign}^n(t + T_{FB}/2) = \frac{r_{req}^n(t + T_{FB}/2)}{\sum_{n=1}^N r_{req}^n(t + T_{FB}/2)} \times C \quad (4)$$

终端  $n$  在  $t$  时刻发送的带宽请求  $r_{req}^n(t)$  包含队列长度  $q_r(t)$  和接下来  $T_{FB} + T_{sf}$  时间段内数据包到达数量的预测值  $\int_t^{t+T_{FB}+T_{sf}} r_{in}^n(\tau) d\tau$ 。卫星在  $t + T_{FB}/2$  时刻根据收到的各终端的带宽请求,结合信道负载  $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$  和上一个请求分配周期内分配给该终端的信道容量之和生成实际的带宽请求  $r_{req}^n(t + T_{FB}/2)$ ,并按照式(4)进行带宽分配。其中  $C$  表示总带宽,  $N$  表示终端总量。

文献[9]在 Francesco 的 BoD 带宽请求分配算法中使用 LLA 预测方法进行流量预测,现将该方案记为 F\_BoD\_LLA,作为本文对比方案 1。LLA 预测方法是一种经典的线性预测方法,它通过对相邻采样点的变化趋势进行平均来计算未来采样点的估计值,文献[4]对它进行了改进,式中  $\Delta N_k$  和  $\Delta N_{k-1}$  分别表示分组到达的一阶和二阶变化趋势,  $\gamma(0 \leq \gamma \leq 1)$  为权重因子。

$$P_k(N+1) = N_k + \Delta N_k + (1-\gamma)(\Delta N_k - \Delta N_{k-1}) \quad (5)$$

$$\Delta N_k = N_k - N_{k-1} \quad (6)$$

$$\gamma = \text{Free\_Capacity} / \text{Capacity} \quad (7)$$

本文在 Francesco 工作的基础上提出了上述新型的基于预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配算法。现将 LLA 预测方法应用于本文提出的新型 BoD 带宽请求分配算法作为对比方案 2,记为 N\_BOD\_LLA;本文根据网络流量同时呈现长相关和短相关的特征,提出采用 ARFIMA( $p, d, q$ )模型进行流量预测,现将基于 ARFIMA( $p, d, q$ )模型预测的新型 BoD 带宽请求分配作为本文方案,记为 N\_BoD\_ARFIMA。下面介绍本文使用的 ARFIMA( $p, d, q$ )模型及其预测算法。

## 3 基于 ARFIMA 模型的业务流量预测方法

网络业务模型对网络性能管理、QoS、性能优化等都有很重要的意义和作用<sup>[10]</sup>,其中时间序列模型作为研究网络业务的工具,有着很好的前景。最近的网络测量显示,网络业务同时呈现长相关和短相关,但传统的平稳时间序列模型只能处理短相关,如 Markov 模型、AR、MA、ARMA 和 ARIMA 模型等,而长相关模型 FGN(Fractional Gaussian Noise)和 ARFIMA( $0, d, 0$ )又不能用于描述短相关。ARFIMA( $p, d, q$ )模型根据  $d$  的取值不同,既能表示长相关又能表示短相关。当  $d = 0$  时,它是普通的 ARMA( $p, q$ )过程,是短相关的;当  $d \in (0, 0.5)$  时,ARFIMA 为长相关过程。因此本文采用 ARFIMA 模型进行网络流量预测。

### 3.1 自相似、长相关和短相关

自相似(self-similar)是指局部的结构与总体的结构相比具有某种程度的一致性。从流量分析的角度看,自相似性的直观解释是在不同时间尺度上,网络流量对时间的分布看起来是相似的。网络流量具有长相关性,是相对于泊松等短相关(short range dependence, SRD)模型而言的。

Hurst 参数(简称  $H$  参数)是描述自相似程度的一个重要参数。当  $0.5 < H < 1$  时,就意味着自相似过程具有长相关结构,反之亦然,且  $H$  参数的取值越接近 1,说明自相似程度越高。对 Hurst 参数的估计有多种方法,本文采用绝对值法对网络流量 Hurst 参数进行实时估计。

### 3.2 ARFIMA( $p, d, q$ )模型和预测过程

ARFIMA( $p, d, q$ )过程可以看作 ARIMA( $p, d, q$ )过程的特殊形式,其中  $d$  是差分的阶数,  $p$  是自回归阶数,  $q$  是滑动平均的阶数。  $p, q$  是非负整数,  $d$  是整数。在 ARFIMA 中  $d$  可以取分数,  $d \in (-0.5, 0.5)$ 。一个 ARFIMA 过程  $\{X_t\}$  可由以下公式表示:

$$\Phi(B)\nabla^d X_t = \Theta(B) \quad (8)$$

式中,  $\{\alpha_t\}$  为白噪声序列,  $\Phi(B)$  和  $\Theta(B)$  分别为  $p$  阶与  $q$  阶平稳的滞后多项式算子:

$$\Phi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p \quad (9)$$

$$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (10)$$

$B$  为滞后算子, 即  $B^k X_t = X_{t-k}$ , 定义  $\nabla = (1 - B)$  为差分算子,  $\nabla^d$  表示分数差分算子。

显然  $\{X_t\}$  为 ARFIMA( $p, d, q$ ) 过程的充分必要条件是  $\nabla^d X_t$  是 ARMA( $p, q$ ) 过程, 从而  $\{X_t\}$  可视为由分数差分噪声 ARFIMA(0,  $d, 0$ ) 所驱动的 ARMA( $p, q$ ) 过程。差分系数  $d$  表示长相关的强度, 如同自相似过程中的 Hurst 数一样, 事实上, Hurst 指数的  $H$  值与差分阶数  $d$  满足关系式:  $H = d + 1/2$ 。

使用 ARFIMA 模型对网络流量序列进行一步预测的步骤如下:

第 1 步 求序列  $\{X_t\}$  的自相似 Hurst 参数, 根据  $H = d + 1/2$  确定  $d$  值;

第 2 步 对序列  $\{X_t\}$  去平均值;

第 3 步 对去均值后的  $\{X_t\}$  进行  $d$  阶差分, 得到差分后的序列  $\{W_t\}$ , 即移除时间序列的长相关特性, 使原时间序列成为短相关序列;

第 4 步 对分数差分后的短相关序列  $\{W_t\}$  进行 ARMA 建模, 确定模型参数。

第 5 步 根据 ARMA 模型和分数差分过程进行一步预测。

### 3.3 基于 ARFIMA 模型预测算法

#### 3.3.1 分数差分推导过程

对流量序列  $\{X_t\}$ , 用式(11)进行  $d$  阶分数差分得到序列  $\{W_t\}$ , 其中  $B$  为滞后算子。

$$W_t = (1 - B)^d X_t = \sum_k C_d^k (-B)^k = \sum_k \frac{\Gamma(-d+k)}{\Gamma(-d)\Gamma(k+1)} B^k X_t \quad (11)$$

式中,  $\Gamma$  为 Gamma 函数, 当  $d$  值确定后, 函数  $\frac{\Gamma(-d+k)}{\Gamma(-d)\Gamma(k+1)}$  是关于  $k$  的函数, 将其记为  $g(k)$ 。因此式(11)也可表示为

$$W_t = (\sum_k g(k) B^k) X_t = \sum_k g(k) X_{t-k} \quad (12)$$

#### 3.3.2 ARFIMA 一步预测

ARMA( $p, q$ ) 模型可表示为  $\Phi(B)W_t = \Theta(B)\alpha_t$ , 由模型可得 ARMA( $p, q$ ) 一步预测结果为:

$$\overline{W}_{t+1} = \varphi_1 W_t + \varphi_2 W_{t-1} + \dots + \varphi_p W_{t-p+1} - \theta_1 \alpha_t - \theta_2 \alpha_{t-1} - \dots - \theta_q \alpha_{t-q+1} \quad (13)$$

由式(12)可得

$$\overline{W}_{t+1} = g(0)X_{t+1} + g(1)X_t + \dots + g(t+1)X_1 \quad (14)$$

由式(13)和式(14)可得原流量观测序列一步预测值:

$$\overline{X}_{t+1} = \overline{W}_{t+1} - g(1)X_t - \dots - g(t+1)X_1 \quad (15)$$

## 4 系统仿真建模

本文利用 OPNET 网络仿真软件建立了仿真系统。宽带卫星通信系统的网络结构如图 2 所示, 包括一个具有星上处理(On-Board Processor, OBP)能力的 GEO 卫星, 一个与地面因特网相连接的信关站和 16 个用户站。带宽请求分配周期为 290ms, 上行链路采用 MF-TDMA 多址方式接入卫星系统, 下行链路采用广播模式。

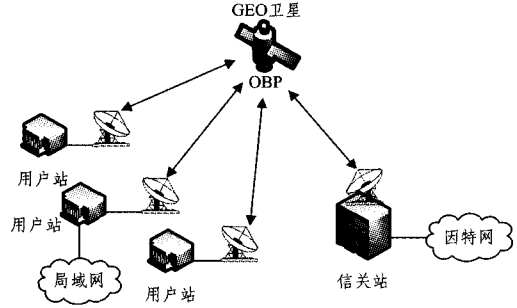


图 2 系统架构

### 4.1 MF-TDMA 帧结构

仿真系统中 MF-TDMA 帧结构设置参考 DVB-RCS 标准, 数据帧中每个时隙内包含一个数据分组, 且每个数据帧包含的时隙数代表信道容量。由于同一用户站不能同时占用多个载波, 每个用户站可以获得的最大传输速率为每帧包含的所有时隙数量。

表 1 仿真系统中数据帧结构及参数

|              |           |
|--------------|-----------|
| 星地传播时延       | 125ms     |
| 带宽请求星上处理时延   | 25ms      |
| 用户站 BTP 处理时延 | 15ms      |
| BoD 周期       | 290ms     |
| 帧周期          | 145ms     |
| MF-TDMA 载波数  | 4         |
| 时隙长度         | 0.15625ms |

### 4.2 自相似业务源

通过持续时间具有重尾分布特性的 ON/OFF 模型可以构造自相似业务源。Pareto 分布是采用得比较普遍的一种重尾分布, 其概率密度函数见式(16), 式中 ( $\alpha > 0$ ) 为形状参数,  $k$  ( $k > 0$ ) 是最小截止参数, 且  $\alpha$  与业务源输出流的  $H$  参数有关, 近似计算公式为  $H \approx \frac{(3-\alpha)}{2}$ , 和  $k$  共同决定了 ON 和 OFF 期间的平均持续时间。

$$f(x) = \begin{cases} \alpha k^\alpha x^{-\alpha-1}, & x > k \\ 0, & x \leq k \end{cases} \quad (16)$$

## 5 仿真结果及分析

本文利用所构造的 OPNET 仿真系统, 研究了上述 3 种方案在不同业务流以及不同负载下的性能。

### 5.1 长相关业务流和短相关业务流

下面比较 3 种方案分别在对应该长相关和短相关业务流时的性能, 信道的平均负载均为 80%。

当业务源的 ON 和 OFF 持续时间采用 Pareto(0.231, 1.3) 分布时, 由  $H \approx (3-\alpha)/2$ , Hurst 的理论值近似为 0.85。在使用 ARFIMA 模型进行流量预测时, 实时估计的 Hurst 值如图 3 所示, 从图中可以看出实时估计的 Hurst 值与 0.85 十分

接近,说明该业务流量具有长相关。

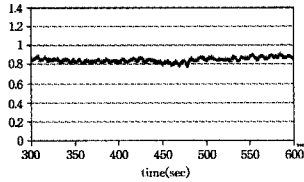


图3 Hurst 参数实时估计

当业务源的 ON 和 OFF 持续时间均采用平均时间为 1s 的指数分布时,可产生具有短相关特性的业务流。

对以上两种不同业务流分别采用上述 3 种方案时,业务排队时延时间变化趋势如图 4 和图 5 所示,其中纵坐标表示仿真时间,横坐标表示在每个帧周期内所有卫星终端的平均时延。两幅图中曲线从上至下依次是 F\_BoD\_LLA, N\_BOD\_LLA 和 N\_BoD\_ARFIMA 方案的时延曲线。

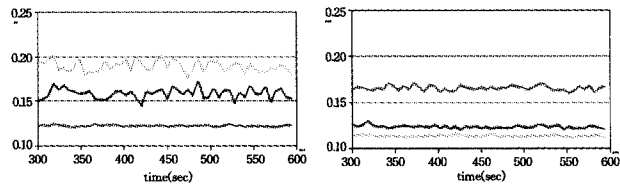


图4 Pareto(0.231,1.3)源的业 图5 Exponential(1.0)源的业  
务排队时延 务排队时延

从表 2 中可以看出,无论业务流具有短相关特性还是长相关特性,本文方案 N\_BoD\_ARFIMA 都是最优的。这是因为与 N\_BOD\_LLA 方案相比,N\_BoD\_ARFIMA 方案采用 ARFIMA( $p, d, q$ )模型进行流量预测,该模型根据参数  $d$  的取值不同既能表示长相关又能表示短相关,做出准确的预测,从而高效利用剩余带宽;与 F\_BoD\_LLA 方案相比,N\_BoD\_ARFIMA 方案采用本文提出的新型带宽请求分配算法,能够更加充分地利用剩余带宽。从图 4 中还可以看出,在长相关业务流下,N\_BoD\_ARFIMA 方案的时延不但比两种对比方案要小,而且时延变化比较平稳,时延抖动较小,这是因为 ARFIMA( $p, d, q$ )模型在流量预测时消除了长相关业务流的突发性。图 5 中,虽然 F\_BoD\_LLA 方案的时延较大,但 3 种方案的时延抖动都较小,这是因为两种预测方案都能对短相关业务流进行较准确的预测。

表 2 采用不同业务源的排队时延比较

| 方案           | ON/OFF 概率分布 |       | Pareto(0.231,1.3) |       | Exponential(1.0) |      |
|--------------|-------------|-------|-------------------|-------|------------------|------|
|              | 平均时延        | 最大时延  | 平均时延              | 最大时延  | 平均时延             | 最大时延 |
| N_BoD_ARFIMA | 0.123       | 0.125 | 0.116             | 0.120 |                  |      |
| F_BoD_LLA    | 0.190       | 0.203 | 0.165             | 0.171 |                  |      |
| N_BOD_LLA    | 0.157       | 0.172 | 0.124             | 0.134 |                  |      |

## 5.2 信道负载的影响

下面比较 3 种方案在不同信道负载下的性能,采用的是 Pareto(0.231,1.3)分布 ON/OFF 源,图 6 描述了卫星终端平均排队时延随信道负载变化的趋势。

随着多址接入信道负载的增加,3 种方案的平均队列时延都逐渐增大,但本文方案的时延增加相对缓慢,且负载越大越显著。这是因为负载越大,预测的准确度对整体性能的影响就越大,相比于两种对比方案采用 LLA 方法,本文方案采用的 ARFIMA( $p, d, q$ )模型能够有效地根据业务流的变化趋

势进行准确的预测;且两种对比方案之间的差距随着负载的增加逐渐减小,这是因为它们采用的都是 LLA 预测方法,但随着负载的增大,可用来进行自由分配的剩余带宽逐渐变少。

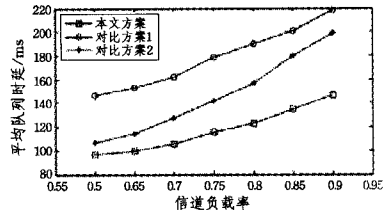


图6 不同信道负载下的平均排队时延

**结束语** 本文在 Francesco 等人的工作基础上,提出了一种基于预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配算法,并根据网络流量同时呈现长相关和短相关的特性提出采用 ARFIMA( $p, d, q$ )模型预测算法代替文献[9]中使用的 LLA 预测算法进行流量预测。仿真结果表明,对于长相关和短相关业务流,基于 ARFIMA( $p, d, q$ )模型预测和星上反馈控制的 BoD 带宽请求分配方案都能够最大程度地利用剩余带宽降低时延。

## 参考文献

- [1] Wimax-Part M. I; A technical overview and performance evaluation[M]. 2006
- [2] Pietrabissa A. A multi-model reference control approach for bandwidth-on-demand protocols in satellite networks[J]. Control Engineering Practice, 2008, 16(7): 847-860
- [3] Leland W, Taqqu M, Willinger W, et al. On the selfsimilar nature of Ethernet traffic[C]//Proc. ACM SIGCOMM' 93. 1993: 183-193
- [4] Jiang Zhi-feng, Li Yu-heng, Leung V C M. A predictive demand assignment multiple access protocol for broadband satellite networks supporting Internet applications[C]// Communications, 2002. Icc 2002. IEEE International Conference. vol. 5, 2002: 2973-2977
- [5] Crovella M, Bestavros A. Self-similarity in World Wide Web traffic; evidence and possible causes[C]// Proceedings of the 1996 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems. May 1996
- [6] Sivakumar P B, Mohandas V P. Modeling and predicting stock returns using the ARFIMA-FIGARCH[C]//Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on, 2009: 896-901
- [7] 李于衡,孙恩昌,易克初. 基于随机/自由和按需算法的卫星 BoD 多级 MAC 协议[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(1): 17-20
- [8] Francesco D P. Resource management for ATM-based geostationary satellite networks with on-board processing[J]. Computer Networks, 2002, 39(1): 43-60
- [9] 秦勇,张军,张涛. 基于带宽按需分配的 DVB-RCS 宽带卫星 MAC 协议[J]. 宇航学报, 2010, 31(3): 838-844
- [10] 张宾,杨家海,吴建平. Internet 流量模型分析与评述[J]. 软件学报, 2011, 22(1): 115-131
- [11] 孔维萍,韩潇. 多媒体卫星通信系统中的时隙分配方法[J]. 信息通信, 2011(1): 8-11