

背景流量仿真及其在卫星网络性能分析中的应用

潘艳辉 王韬 李华

(军械工程学院计算机工程系 石家庄 050003)

摘要 研究表明网络流量具有自相似特性,而自相似网络流量的生成是网络性能分析的一个关键环节,为此设计了一种生成网络背景流量的方法。在 VC++ 环境中对该方法进行了仿真,验证了其有效性。进一步将该方法应用于卫星网络仿真,对卫星网络端到端的延迟进行了初步分析,结果表明网络流量的突发特性影响着卫星网络的性能,这是在进行卫星网络路由优化与流量分配时需要考虑的因素。

关键词 网络流量,自相似性,低轨道卫星网络,网络仿真

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Background Traffic Simulation and its Application in Satellite Network Performance Analysis

PAN Yan-hui WANG Tao LI Hua

(Department of Computer Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract It is generally accepted that network traffic could be characterized by self-similarity. It is important to generate network traffic according to this principle for network performance analysis. A scheme for network background traffic generation was given, and it was validated by a program implemented in VC++. Furthermore, this procedure was used to simulate satellite network and help to analyze end to end delay. It suggests that bursty traffic has influence on satellite network performance. This factor should be carried to satellite network routing optimization and traffic allocation.

Keywords Network traffic, Self-similarity, LEO satellite network, Network simulation

1 引言

由于具有覆盖范围广、广播特性、组网灵活、不受地理限制、通信成本与距离无关等优点,卫星通信在民用和军用领域都取得了十分广泛的应用。近年来,卫星通信不断开辟和扩大新的应用领域,取得了较大发展^[1]。随着 Internet 的广泛应用与快速发展,卫星网络以其独特的优势将会成为未来互联网的一个理想的组成部分,互联网与卫星宽带网的融合正在扩展卫星通信应用的新领域。尤其是低轨道卫星通信系统(简称 LEO 星座系统或 LEO 卫星网络,主要指轨道高度小于 5000 千米的一组或一群卫星相互协同工作,共同提供卫星通信服务的卫星通信系统)^[2]相对于较高轨道的卫星通信系统具有较低的传输时延、终端实现简单、组网方便等特性,使得具有星间链路的卫星星座系统,即卫星网络,成为下一代卫星通信系统的重要组成部分。

目前,国际国内有很多公司提供卫星 Internet 接入业务。如美国休斯公司开发的 DirePC,我国也有许多卫星 Internet 接入系统,如“星网通”、“天地通”等都是基于美国休斯公司的 DirePC 技术,然而,设计和实现星地网络互联还有许多具有挑战性的技术难题,研究者围绕此类问题纷纷展开课题研究。目前较多集中在卫星网络与 Internet 联接的路由协议研究^[3-5];而大量的研究^[6-8,10]表明 Internet 网络流量具有自相似特性,这也是卫星网络仿真不可忽略的因素,因此本文从网

络流量的角度进行研究,设计具有自相似特性的网络流量生成算法,应用自相似网络流量的产生器,结合 cbr 流量产生器,选择 Iridium 星座模型,对卫星网络承载 IP 业务的性能进行初步的仿真分析。

2 网络流量自相似性

2.1 网络流量主要特性

由于精确、合理的网络流量模型对网络研究具有重要的意义,如能够提高网络仿真结果的准确性,辅助网络设计提供更好的接入控制、网络资源分配与调度策略,提高网络资源利用率的同时,保证用户的 QoS 需要等,网络流量建模一直是网络领域内一个非常活跃的分支,取得了丰硕的研究成果,已相继出现多种类型的网络流量模型。这些研究对网络特性的认识已取得基本共识,即网络流量具有自相似性(self-similarity)、长程依赖性(LRD, Long-range Dependency)和重尾特性(Heavy tailed)。文献[11]首次提出了网络流量的自相似特性,长程依赖性也叫长相关性,即在较长时间段内保持高度的相关性,也就是在此期间具有较高的自相关系数^[12]。因此,自相似性的数学定义是,如果随机序列 $X(x)$ 自相关函数:

$$\rho(x) \sim H(2H-1)x^{2H-2}, k \rightarrow \infty$$

当 $0.5 < H < 1$ 时说明该如果自相关函数重尾特性与长相关特性是密不可分的,严格遵守长相关特性的网络流量也具有重尾特性。

到稿日期:2010-06-22 返修日期:2010-10-01

潘艳辉(1982-),女,博士生,主要研究方向为网络安全、卫星网络路由, E-mail: yanhuipan@126.com.

2.2 基于 ON/OFF 网络流量的模型

从数据源级别来解释,网络流量是由各种应用服务与用户的直接或间接交互操作生成的数据包流,这些应用包括常见的 HTTP,FTP,SMTP 等。虽然用户与应用服务间交互通信的程度和频率参差不齐,但从统计意义上看,抽取数据源的具体应用类别,网络流量是由一系列子数据流汇聚而成的。ON/OFF 模型^[9],又叫做数据包序列模型,是一种经典的网络流量数学模型,能够从物理意义上诠释网络流量的产生与汇聚原理,运用该模型可以生成具有自相似和长相关特性的网络流量。ON/OFF 模型基于有限状态机原理,系统有两个状态 ON 和 OFF。每个数据源只在 ON 周期内发送网络数据包,OFF 周期内停止发送数据包。ON 周期时间片段符合通用的分布,而 OFF 阶段符合指数分布。图 1 展示了 2 个方面的内容:ON/OFF 交替变换的状态序列、ON 期间数据包发出时刻的间隔序列和数据包的发送速率。本文依据 ON/OFF 模型和重尾 Pareto 分布生成自相似网络流量,接下来具体介绍其实现方法。

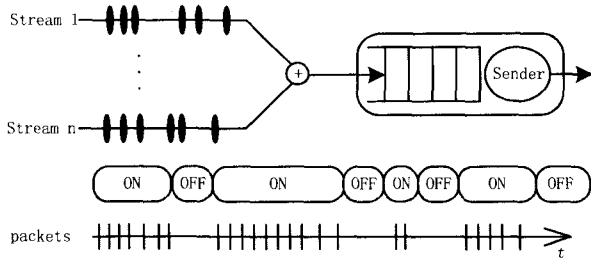


图 1 ON/OFF 模型网络数据流

3 自相似网络背景流量产生器设计与实现

3.1 流量序列的确定

根据 ON/OFF 模型,可以通过多个子数据流的汇聚生成自相似网络流量,其示意图如图 2 所示,而生成具有重尾特性 ON/OFF 序列的 Pareto 分布的概率密度函数是:

$$f(x) = \alpha b^\alpha / x^{\alpha+1} (\alpha, b > 0; x \geq b)$$

式中, α 是形状参数,表示 Pareto 分布的重尾程度, α 的取值越小,重尾的程度越强; b 是最小截止参数,表示随机变量能够取得的最小值。当 $1 < \alpha < 2$ 时,Pareto 分布的均值不收敛,但方差收敛。由此式,通常可以假设符合 Pareto 的随机变量 $X = b/[U^{1/\alpha}]$,其中 U 符合 $[0, 1]$ 区间的均匀分布,以此确定流量源生成数据包流的周期序列值。

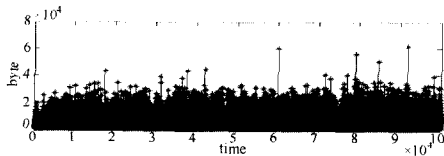


图 2 网络流量仿真序列

3.2 流量强度的控制

流量的平均强度定义为任意时刻在线路某一点上处于传送数据状态的概率,也即在单位时间内线路处于传送数据状态的时间。在流量的平均强度不变的条件下,网络流量的突发强度可由 ON 状态的时间长度的均值表示,均值越大则表示突发强度越大。平均强度可用于测试设备或算法处理 IP

包的速度,而突发强度主要用于测试设备或算法对网络流量突发性的鲁棒程度。每一个子数据流序列的流量强度 $\lambda = E[ON]/(E[ON]+E[OFF])$,其中 $E[ON]$ 和 $E[OFF]$ 分别是 ON 和 OFF 周期长度的数学期望。设定 $E[ON]$ 后, $E[OFF] = E[ON] * (1/\lambda - 1)$ 。

3.3 自相似网络流量产生器实现

在 VC++ 环境中用队列来表示数据源,每一个队列代表一个子数据流,Sender 负责计算 ON 和 OFF 周期的长度,并根据流量负载强度的设置,在 ON 周期内随机“取出”第 n 个队列中符合负载要求数量的数据包“发出”。“取出”代表随机构造 M 个数据包,单个数据源的负载总量 $load/N$ 是 M 个数据包长度的和。“发出”代表向 Trace 记录文件中输出数据包产生的时间戳、数据源标记以及数据包长度等信息,循环往复,直到所有数据包发送完毕。假设 ON,OFF 周期的形状参数为 ON_shape , OFF_shape ,代表流量强度的负载值用 $load$ 表示, Sum_pkt 表示生成数据包的总数,相应的算法流程如下所示:

Step 1 计算 ON 周期的长度, $ON_size = _pareto_ (ON_shape) * ON_min$, ON_min 设为 1;

Step 2 产生 $[1, N]$ 上的随机数 n ,用来标识该周期内发送数据包的数据源;

Step 3 计算该周期内的负载量,再根据每个数据包的长度计算应发出的数据包个数 m ;

Step 4 若 M 小于零则转到 Step 7;

Step 4 执行 $M - m$;

Step 5 Trace 中记录每个数据包的发出时间 $time$ 、长度 pkt_size 、数据源标识 n 、总流量大小 sum_size ;

Step 6 计算 OFF 周期的长度 OFF_size ;

$$ON_coef = (1.0 - \alpha_min^{1.0/ON_shape}) / (1.0 - 1.0/ON_shape) \quad (1)$$

$$OFF_coef = (1.0 - \alpha_min^{1.0/OFF_shape}) / (1.0 - 1.0/OFF_shape) \quad (2)$$

由式(1)得:

$$ON_min = ON_min * ON_coef \quad (3)$$

由式(3)得:

$$OFF_min = ON_min * [pkt_size * (1 - load) / load - sum_pkt] \quad (4)$$

而:

$$OFF_size = _pareto_ (OFF_shape) * OFF_min \quad (5)$$

所以,由式(4)、式(5)可计算出 OFF 周期的长度。

Step 7 sleep(OFF_size);

Step 8 转到 Step 1;

Step 9 结束。

取 $N = 128$, $load = 0.3$, $M = 100000$, $pkt_size \in [64, 1500]$ 进行仿真,运用小波方法分析数据包记录文件,计算得到的 H 值是 0.728,仿真序列如图 2 所示。

4 基于 NS2 的卫星网络应用仿真分析

NS2 是美国 DARPA 支持的项目 VINT (Virtual Internet Testbed) 小组开发的通用多协议网络模拟软件,支持卫星网

络仿真。NS2 是面向对象的,离散事件驱动的网络环境模拟器^[13],NS2 只支持单线程,故在某一时刻只能有一个事件在执行,如果多于一个事件被安排在同一时刻,那么会按照事件代码插入的先后次序执行。NS2 使用 C++ 和 Tcl 两种设计语言^[14],用 C++ 来实现具体的协议,Tcl 不需要编译,用于模拟的配置,两种语言通过 Tcl 实现互操作。NS2 的机制使得仿真有相当的灵活性。NS2 仿真器封装了许多功能模块,包括事件调度器、节点、链路、队列、代理、数据包头模块、差错控制模块、事件跟踪模块 trace 等^[15]。同时 NS2 还有其他的软件构成,包括作为 Tcl 的图形界面开发工具,可帮助用户在图形环境下开发图形界面的 TK,可视化工具 gnuplot, xgraph 和 nam 等,这些功能模块和软件构成使得用户可以很方便地搭建网络仿真平台,进行网络协议的仿真。

1) 卫星网络拓扑:选用 Iridium 星座检验自相似网络流量数据源对卫星网络性能的影响;

2) 终端设置:选择地面终端北京(116°,39°)作为自相似网络流量数据源,地面终端 Cape Town(18°, -34°)作为数据接收端;

3) 数据源配置: Pareto 分布的形状参数是 1.4, ON 周期与 OFF 周期的平均值为 500ms, ON 周期的数据发送速率为 1000k,数据包长度为 120 个字节;

4) 仿真时长:5000s。

仿真结果 Trace 记录文件片段如下文所示:

```
r7.9410 25 24 pareto 120.....0 66.0 67.0 696 696 80.63
-139.25 65.67 71.17
+7.9410 24 23 pareto 120.....0 66.0 67.0 696 696 65.67 71.17
33.13 65.52
-7.9410 24 23 pareto 120.....0 66.0 67.0 696 696 65.67 71.17
33.13 65.52
r7.9428 66 26 pareto 120.....0 66.0 67.0 699 699 39.00
-116.00 48.49 -120.91
+7.9428 26 25 pareto 120.....0 66.0 67.0 699 699 48.49
-120.91 80.63 -139.25
-7.9428 26 25 paeto 120.....0 66.0 67.0 699 699 48.49 -120.91
80.63 -139.25
```

使用 awk 工具对上述 Trace 文件进行分析,然后用 Gnuplot 绘图工具图形化显示端到端的延时,如图 3 所示。将仿真场景中数据源换成 CBR(constant bit rate), CBR 数据源发送数据包的长度和速率与 Pareto 数据源相同,仿真场景中的其他设置不变,得到的结果如图 4 所示。对比两次仿真结果说明:自相似网络流量数据包传输时延相对较小,但时延抖动较大,而且突变性也较强。

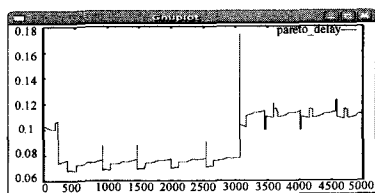


图 3 Pareto 数据源端到端时延

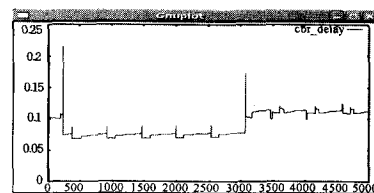


图 4 CBR 数据源端到端时延

结束语 本文设计了自相似网络流量生成算法,并进行了仿真,通过对仿真结果 Hurst 参数的度量,验证了该方法的有效性,并借助于 NS2 仿真软件从数据包延时角度对卫星网络传输具有自相似特性网络流量的性能进行了初步分析。下一步应深入研究自相似网络流量特性下的卫星网络优化策略,以提高卫星网络的整体性能,如端到端时延、平均吞吐率等。

参考文献

- [1] 张更新,谢智东,谭哲. 卫星通信的发展现状及产业发展综述[J]. 卫星应用,2009(6):24-30
- [2] 冯少栋,徐志平,张昭. 低轨道星座卫星通信系统发展现状及展望[J]. 中国航天,2009,8:30-33
- [3] 孙利民,卢泽新,吴志美. LEO 卫星网络的路由技术[J]. 计算机学报,2004,27(5):659-667
- [4] 高丽娟,赵洪利,蒋杰. LEO 卫星网络路由问题研究[J]. 微机计算机信息,2007,23:168-170
- [5] 张雪东,饶云. LEO 卫星网 QoS 遗传算法路由协议[J]. 计算机工程与应用,2009,45(36):105-107
- [6] Beran J, Sherman R, Taqqu M S, et al. variable-bit-rate video traffic[J]. IEEE Trans. on Comm., 1995,4(3):1566-1579
- [7] Crovella M E, et al. Self-similarity in world wide Web traffic evidence and possible causes[C]//Proceeding of the 1996 ACM SIGMETRICS, 1996:160-169
- [8] Basu S, Mukherjee A, Klivansky S. Time Series Models for Internet Traffic[C]//Proceedings of INFORCOM, 1996:611-620
- [9] Jain R, Routhier S A. Packet Trains-Measurement and a New Model for Computer Network Traffic[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1986,4(6):986-995
- [10] Siritwong K, Lipsky L, Ammar R. Study of Bursty Internet Traffic[C]//Proceedings of the IEEE Symposium of Network Computing and Applications, Cambridge, MA, USA, 2007:53-60
- [11] Leland W E, Taqqu M S, Willinger W, et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version) [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994,2(1):1-15
- [12] Babic G, Vandalore B, Jain R. Analysis and Modeling of Traffic in Modern Data Communication Networks[R]. Ohio State University, February 1998
- [13] 黄筱俊,郑善贤. 基于 NS 的移动网络仿真研究[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展),2004,14(5):27-29
- [14] 徐雷鸣,庞博,赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社,2003
- [15] 杨玉华,刘培宁,刘际炜,等. NS-2 的仿真模拟技术分析[J]. 计算机工程,2005,31(15):110-111