

通信网络聚合流量突发性的产生机理研究

唐孝通, 焦秉立

(北京大学 信息科学技术学院, 北京 100871)

摘 要: 针对当前网络聚合流量突发性产生机理研究中存在的一些模糊认识, 提出了一种扩展 ON/OFF 模型, 并基于该模型证明: 网络聚合流量的突发性由节点流速的分布特性决定, 与 ON 和 OFF 状态持续时间的分布无关; 突发性不能使用 H 系数来描述. 仿真实验证明了理论推导结论正确. 该研究揭示了网络聚合流量突发性的产生机理, 可为网络流量工程提供了理论支持.

关键词: 网络聚合流量; 突发性; 产生机理

中图分类号: TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2011)02-0029-06

Research on Inherent Physical Mechanism for the Impulsiveness of Aggregated Network Traffic

TANG Xiao-tong JIAO Bing-li

(School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract In view of the existing obscure views on the inherent physical mechanism for the impulsiveness of aggregated network traffic, based on the proposed extended ON/OFF model, this paper mathematically demonstrates that the impulsiveness of aggregated network traffic is caused by the behaviors of source traffic rates, but not by the behaviors of ON and OFF durations. In addition, the impulsiveness cannot be characterized by the H parameter. Simulations validate the accuracy of the presented theoretical results. This paper reveals the inherent physical mechanism for the impulsiveness of aggregated network traffic, and hence provides a theoretical foundation for traffic engineering.

Key words aggregated network traffic; impulsiveness; inherent physical mechanism

0 引 言

自 Leland 等^[1]对局域网流量特性的研究结果发布以来, 大量研究表明, 各类数据通信网络的聚合流量(也简称网络流量或流量)较为普遍地表现出长相关(long-range dependence, LRD)和突发性(impulsiveness)的特点^[1-10]. 其中, 长相关反映的是网络流量的自相关特性, 表明其自相关系数衰减缓慢^[1-3]. 突发性描述的是网络流量的分布特性, 表明

流量的幅度变化十分显著, 其取值远远超过均值的概率不能忽略^[5-8].

网络流量的长相关和突发性不能使用传统的马尔可夫模型刻画, 它们显著地改变了网络的排队分析、资源配置和负载均衡, 因此引起了广泛关注, 触发了大量研究. 这些研究主要涉及两个方面, 即长相关与突发性的建模研究、长相关与突发性的产生机理分析. 其中, 产生机理研究是在流量工程中实际应用长相关和突发性的基础, 也是建模研究的重要助推. 虽然现有文献对长相关和突发性的建模研究已

收稿日期: 2010-05-27

作者简介: 唐孝通(1983—), 男, 博士研究生, E-mail: tongxtang@126.com;

焦秉立(1959—), 男, 教授, 博士生导师.

取得了显著成果,但对网络流量突发性产生机理的研究却比较零散,还存在一些模糊认识.

对聚合流量突发性产生机理的研究,在 Leland 等人的研究中就已经开始. Leland 等人^[1]在对著名的 ON/OFF 模型进行研究后指出,聚合流量的突发性由 ON 和 OFF 周期的重尾分布引起,突发性的强弱由 H 系数表征, H 系数越大,聚合流量的突发性越强. 这些观点事实上在后续一些文献中得到默认. 还有研究指出,聚合流量的长相关和突发性是密切相关的^[1-5],甚至是不可分割的^[3]. 有些研究虽然没有明确阐述两者之间的联系,但提出仅使用均值、方差和 H 系数 3 个量来描述流量的长相关和突发性^[2-4]. 由于事实上仅凭均值和方差既不能刻画长相关,也不足以描述突发性,因此这些研究相当于默认使用 H 系数来同时表征长相关和突发性,事实上假设了两者是密不可分的,是对 Leland 等人观点的确认.

最近有研究对上述结论提出了质疑. Lazarou 等人^[9]指出: H 系数可以描述聚合流量的长相关程度,但不能描述流量的突发性. 然而该研究没有指出聚合流量突发性的产生机理.

有鉴于此,本文主要研究聚合流量突发性的产生机理. 由于研究聚合流量特性的产生机理必须基于流量的生成机制,而在目前所有的流量模型中仅有 ON/OFF 类模型能提供对流量生成机制的描述,因此本文首先提出了具有广泛适用性的扩展 ON/OFF 模型,在此基础上研究了聚合流量突发性的产生机理.

本文所用主要数学符号含义如下: $\sim$ 表示渐近性, $\forall \lambda$ 表示对所有 λ , $\mathbb{Z}$ 表示整数集, Σ 表示求和, Π 表示求积, $E[X]$ 表示 X 的数学期望, $\min(a, b)$ 表示求最小值.

1 突发性及其描述

在本文中,网络聚合流量定义为单位时间内到达的数据包总数. 设 $X(n)$ 代表第 n 个单位时间内到达的数据包总数,则过程 $X = \{X(n), n = 1, 2, \dots\}$ 即为聚合流量过程. 在研究中一般认为过程 X 是广义平稳, $X(n)$ 是同分布的^[1-3].

直观地说,网络聚合流量具有突发性意味着流量的变化十分显著,流量远远超过其均值的概率不可忽略. 在研究中,网络流量的突发性使用其分布特性来描述;突发性流量服从非高斯分布,因此突发性

也被称为非高斯性^[3-5].

目前用于描述网络流量突发性的分布总体上可以分为重尾分布和次重尾分布两类.

1.1 重尾分布与次重尾分布

定义 1 随机变量 X 被称为服从重尾指数为 α 的重尾分布,如果^[7]:

$$\bar{F}(x) \sim x^{-\alpha} L(x), \quad x \rightarrow \infty \quad (1)$$

其中 $\bar{F} = P(X > x)$ 称为互补累积分布函数,用于描述变量 X 分布的尾部特性; $\alpha \in (0, 2)$ 称为重尾指数,是重尾分布最重要的参数, α 越小则分布的尾部衰减越慢,或者称为分布的拖尾越重. $L(x)$ 是一个慢变函数(例如常数),它满足:

$$\forall x > 0, \lim_{t \rightarrow \infty} L(tx) / L(t) = 1 \quad (2)$$

式(1)表明,重尾分布的尾部衰减慢于高斯分布,重尾变量 X 的取值变化会非常显著,它远远超过其均值的概率不可忽略. 在双对数坐标系下,重尾分布之互补累积分布函数的尾部逼近一条斜率为 $-\alpha$ 的直线. 这一特性常用于重尾分布的检验.

重尾分布具有另一个重要特性,即

$$\lim_{x \rightarrow \infty} [e^{\lambda x} f(x)] \rightarrow \infty, \quad \forall \lambda \in (0, \infty) \quad (3)$$

其中 $f(x)$ 是概率密度函数 (probability density function, PDF), 即重尾分布之概率密度函数的尾部衰减速度慢于任何负指数分布.

从式(3)可以导出次重尾分布的定义,即

定义 2 随机变量 X 被称为服从次重尾分布,如果:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} [e^{\lambda x} f(x)] \rightarrow 0, \quad \forall \lambda \in (\delta, \infty) \quad (4)$$

其中 $\delta > 0$, δ 越小则次重尾分布越靠近重尾分布,其拖尾也就越重. 明显地,重尾分布是次重尾分布当 $\delta = 0$ 时的特例.

典型的重尾分布主要包括 Pareto 分布和 α 稳态分布^[5-6], 典型的次重尾分布主要包括 Γ 分布^[3] 和截尾 α 稳态分布^[13], 它们都被用于描述网络流量的突发性. 重尾分布的尾部衰减慢于次重尾分布,两者的拖尾都重于高斯分布,因为对高斯分布 $g(x)$, 有:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} [e^{\lambda x} g(x)] \rightarrow 0, \quad \forall \lambda \in (0, \infty) \quad (5)$$

1.2 突发性

如上文所述,网络聚合流量使用随机过程 $X = \{X(n), n = 1, 2, \dots\}$ 来表示,在研究中一般认为过程 X 是广义平稳的,且 $X(n)$ 是同分布的. 在此基础上,本文对突发性定义如下:

定义 3 过程 $X = \{X(n), n = 1, 2, \dots\}$ 称为突发性过程,如果 $X(n)$ 服从重尾或次重尾分布.

即网络流量的突发性使用其一维分布特性来描述^[5-8].

2 扩展 ON/OFF 模型

在现有描述长相关和突发性的网络流量模型中, 唯有 ON/OFF 模型及其改进版本 (统称为 ON/OFF 类模型) 提供了对网络流量生成机制的描述, 从而使得对流量特性产生机理的研究成为可能. 但现有 ON/OFF 类模型都基于各自特定的场景, 其结论具有明显的局限性. 本文为涵盖各种可能的实际场景, 确保结论的普遍意义, 对 ON/OFF 模型进行了扩展, 提出了扩展 ON/OFF 模型.

ON/OFF 类模型的基本思想是: 网络中的所有数据源抽象建模为节点, 网络聚合流量是所有节点数据的叠加. 每个节点只可能处于 ON 和 OFF 两个状态之一, 且 ON 和 OFF 状态严格交替. 节点在 ON 状态时产生数据, 在 OFF 状态时不产生任何数据. 不同 ON/OFF 类模型的差别在于状态持续时间以及节点流速的分布不同.

研究实际网络行为可以发现, ON/OFF 类模型的基本思想是符合网络实际的, 实际网络的数据源节点事实上确实表现出 ON 和 OFF 状态交替的现象. 当然, 实际网络节点的状态持续时间和节点流速可能表现出各种不同的分布, 为确保结论的普遍意义, 本文对它们的分布不做任何限制. 根据上述分析, 采用如下的扩展模型, 称为扩展 ON/OFF 模型:

A1) 节点假设: 全网包含 M 个同构节点, 每个节点都是可能的数据源, 每个节点可能处于 ON 和 OFF 两个状态之一, 且 ON 和 OFF 状态严格交替. ON 状态节点流速为 $\{R(t), t \in \mathbb{Z}\}$, OFF 状态节点不产生数据.

A2) 时间假设: ON 和 OFF 状态的持续时间 $\{X(n), n \in \mathbb{Z}\}$ 和 $\{Y(n), n \in \mathbb{Z}\}$ 分别独立同分布, 并且彼此独立, 它们的概率密度函数分别为 $f_1(x)$ 和 $f_0(x)$, 并且当 $x < 0$ 时, $f_1(x) = f_0(x) = 0$.

A3) 速率假设: ON 状态节点的流速 $\{R(t)\}$ 独立同分布, 其概率密度函数为 $f_R(x)$, 并且当 $x < 0$ 时, $f_R(x) = 0$.

上述扩展 ON/OFF 模型采用了现有 ON/OFF 类模型的节点假设 (A1 假设), 但通过扩展提出了全新的时间和速率假设 (A2 和 A3 假设). 新模型的 A2 和 A3 假设允许状态持续时间和节点流速表现出任意分布, 从而可以通过调整相应的分布函数来

适应各种可能的实际场景, 克服了现有 ON/OFF 类模型的局限性. 新模型在 A1 中假设节点同构, 而实际网络的节点会有差别, 但可以取它们的平均行为作为理论节点模型, 即可以良好地逼近网络实际. 因此, 上述扩展 ON/OFF 模型已基本能涵盖各种可能的实际场景, 由此导出的结论具有良好的普遍意义.

3 聚合流量突发性的产生机理

考虑上面提出的扩展 ON/OFF 模型, 假设聚合流量为 $\{S(t), t = 1, 2, \dots\}$, $S(t)$ 的特征函数为 $\Phi_S(\omega)$. 因为聚合流量为所有活跃节点产生的流量之和, 为此, 设在 t 时刻活跃节点数为 $\xi(t)$, 节点 i 的流速为 $R_i(t)$, 则 $S(t)$ 满足:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{\xi(t)} R_i(t) \quad (6)$$

考虑到节点是同构的, 各个活跃节点的流率独立同分布, 可以去掉 $R_i(t)$ 的下标 i , 从而 $S(t)$ 就是:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{\xi(t)} R(t) \quad (7)$$

为计算 $S(t)$, 首先来确定 $\xi(t)$. 在 t 时刻保持活跃的节点就是那些在 t 时刻或 t 时刻以前已经进入 ON 状态, 而在 t 时刻其 ON 状态还在继续的节点. 参照文 [10] 的方法对时间轴进行离散化处理, 将 $(-\infty, t]$ 时段划分为一个个长度为 Δ 的单位时隙, 时隙 Δ_n , $n = 0, 1, \dots$ 距离 t 时刻的时间间隔为 $n\Delta$. ON 周期分布的 PDF 函数为 $f_1(x)$. 下面来考察一般时隙 Δ_n . 根据文 [4-10] 的结论, 在该时隙内新发起 ON 状态的节点数 ζ_n 服从参数为 $\lambda\Delta$ 的泊松分布, 在 Δ_n 时隙内新发起的 ON 节点在 t 时刻其 ON 状态还得以维持的概率为 $P_n = P(x > n\Delta)$, 即 ζ_n 个新 ON 节点其 ON 状态在 t 时刻还得以维持的概率为 P_n . 设这些节点的数目为 ξ_n , 则 ξ_n 服从参数为 $\lambda\Delta P_n$ 的泊松分布^[11], 其特征函数为

$$\Phi_{\xi_n}(\omega) = \exp(\lambda\Delta P_n [\exp(j\omega) - 1]) \quad (8)$$

于是 $\Phi_{\xi}(\omega)$ 由下式决定:

$$\Phi_{\xi}(\omega) = \prod_{n=0}^{\infty} \Phi_{\xi_n}(\omega) \quad (9)$$

将式 (8) 代入式 (9), 有

$$\Phi_{\xi}(\omega) = \exp(\lambda [\exp(j\omega) - 1] \sum_{n=0}^{\infty} P_n \Delta) \quad (10)$$

事实上需要确定的是括号中的求和项, 即

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n \Delta = \sum_{n=0}^{\infty} P(x > n\Delta) \Delta \quad (11)$$

事实上,一般项 $P(x > n\Delta)$ 可以展开如下:

$$P(x > n\Delta) = P[x = (n+1)\Delta] + P[x = (n+2)\Delta] + \dots \quad (12)$$

将式 (12) 代入式 (11) 并整理, 得

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} P(x > n\Delta) \Delta &= \sum_{n=0}^{\infty} n P(x = n\Delta) \Delta = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} P(x = n\Delta) n \Delta = \\ &= E[\text{ON Period}] \end{aligned} \quad (13)$$

式中 $E[\text{ON Period}]$ 代表 ON 周期的平均持续时间.

将式 (13) 代入式 (10), 有

$$\Phi_{\xi}(\omega) = \exp(\lambda E[\text{ON Period}] / [\exp(-j\omega) - 1]) \quad (14)$$

式 (14) 表明, $\xi(t)$ 服从参数为 $\lambda E[\text{ON Period}]$ 的泊松分布^[11], 根据式 (7) 知聚合流量 $S(t)$ 服从复合泊松分布, 其特征函数为

$$\Phi_S(\omega) = \exp(\lambda E[\text{ON Period}] / [\Phi_R(\omega) - 1]) \quad (15)$$

在式 (15) 中, λ 为新 ON 节点的平均接入强度, 它由总节点数 M 、ON 状态平均持续时间、 $E[\text{ON Period}]$ 和 OFF 状态平均持续时间 $E[\text{OFF Period}]$ 共同决定:

$$\lambda = \frac{M}{E[\text{ON Period}] + E[\text{OFF Period}]} \quad (16)$$

由第 1 节可知, 聚合流量 $S(t)$ 的突发性由其分布的尾部渐近性决定; 而后者由其特征函数 $\Phi_S(\omega)$ 在 $\omega \rightarrow 0$ 时的渐近性决定; 因此聚合流量的突发性由其特征函数当 $\omega \rightarrow 0$ 时的渐近性决定^{[7][12]}. 式 (15) 表明, 聚合流量特征函数 $\Phi_R(\omega)$ 在 $\omega \rightarrow 0$ 时的渐近性由 $\Phi_R(\omega)$ 即节点流速的分布决定. ON 和 OFF 周期的分布可以改变聚合流量的均值和方差, 但不能改变流量分布的尾部渐近行为, 因此也就不能决定聚合流量的突发性, 我们不能通过调节 ON 和 OFF 周期的分布使得聚合流量表现出突发性.

至此, 在扩展 ON/OFF 模型条件下, 对聚合流量突发性产生的机理, 得出如下的结论: 聚合流量的突发性由节点流速的行为决定, 与 ON 和 OFF 周期的分布无关; ON 和 OFF 周期的重尾分布不能导致聚合流量的突发性.

为进一步证明上述结论, 本文考察两个典型实例, 即 ON/OFF 模型和 EAFRP 模型^[7]. 它们是典型的 ON/OFF 类模型, 节点假设与本文提出的扩展 ON/OFF 模型相同; 但他们假设 ON 和 OFF 状态持续时间分别服从参数为 (α_1, k_1) 和 (α_0, k_0) 的 Pareto 分布; ON/OFF 模型假设节点流速是一个常数, EAFRP 模型假设节点流速 $R(t)$ 服从参数为 $(\alpha_R,$

$k_R)$ 的 Pareto 分布. Pareto 分布属于典型的重尾分布, 参数为 (α, k) 的 Pareto 分布其概率密度函数为

$$f(x; \alpha, k) = \alpha k^{\alpha} x^{-\alpha-1}, \quad x \geq k > 0 \quad (17)$$

其中 $\alpha \in (0, 2)$ 称为形状参数, 它就是重尾指数; $k > 0$ 称为位置参数.

明显地, ON/OFF 模型与 EAFRP 模型的差别仅在于节点流速的分布不同, 而状态持续时间的分布完全相同.

对于 ON/OFF 模型, 由于节点流速为常数, 可设 $R(t) = R$, 其特征函数为

$$\Phi_R(\omega) = \exp(-j\omega R) \quad (18)$$

因为流量的突发性由特征函数在 $\omega \rightarrow 0$ 时的渐近性决定, 在 $\omega \rightarrow 0$ 的条件下对式 (18) 进行泰勒展开, 有

$$\Phi_R(\omega) \approx 1 - j\omega R - \frac{R^2}{2} \omega^2 \quad (19)$$

将式 (19) 代入式 (15), 有

$$\Phi_S(\omega) \approx \exp\left[-j\lambda a R \omega - \frac{1}{2} \lambda a R^2 \omega^2\right] \quad (20)$$

其中: $a = E[\text{OE Period}]$, 式 (20) 右边表示均值为 $\lambda a R$, 方差为 $\lambda a R^2$ 的高斯分布, 因此 ON/OFF 模型聚合流量趋于高斯分布, 无论如何调整 ON 和 OFF 周期的分布, 只能改变聚合流量的均值和方差, 但不可能改变聚合流量分布尾部的高斯性, 也就不能使得聚合流量表现出突发性.

对于 EAFRP 模型, 当 $\omega \rightarrow 0$ 时, 有^[13]

$$\Phi_S(\omega) \approx \exp\left\{j\omega - |\sigma_S \omega|^{\alpha_S} \left[1 - j \operatorname{sgn}(\omega) \tan\left(\frac{\alpha_S \pi}{2}\right)\right]\right\} \quad (21)$$

式 (21) 右边表示全正偏的 α 稳态分布, 它属于典型的重尾分布, 因此聚合流量具有明显的突发性. 无论如何调整 ON 和 OFF 周期的分布, 只能改变聚合流量的均值和方差, 但不能改变聚合流量分布的重尾特性, 也就不能消除聚合流量的突发性.

上面的实例进一步证明, 聚合流量的突发性由节点流速的行为决定, ON 和 OFF 周期的分布可以改变聚合流量的均值和方差, 但不能改变聚合流量分布的尾部特性, 不能引发聚合流量的突发性. ON 和 OFF 周期的重尾特性不是导致聚合流量突发性原因.

4 H 系数与突发性

H 系数是描述网络流量特性的重要参数, 文 [1

- 2 4]指出可以使用 H 系数描述流量的突发性. Yang 等人指出^[7], 在 ON /OFF 和 EA FRP 模型下, 都有

$$H = \frac{3 - \min(\alpha_b, \alpha_0)}{2}$$

(22)

其中, α_1 和 α_0 分别为 ON 和 OFF 周期分布的重尾指数.

在本文提出的扩展 ON /OFF 模型下, 同样有式 (22) 成立, 限于篇幅, 在此不详述. 需要说明的是, 在扩展 ON /OFF 模型下, 若 ON 和 OFF 周期持续时间不表现出重尾分布, 在式 (22) 中需要令相应的重尾指数为 2

式 (22) 说明, 聚合流量的 H 系数仅由 ON 和 OFF 周期的分布决定, 与节点流速无关. 而 ON 和 OFF 周期的分布与聚合流量的突发性无关, 因此 H 系数与聚合流量的突发性无关, 不能使用该系数来表征突发性的强弱. 事实上, H 系数表征的是聚合流量长相关的程度, H 系数的值越大, 流量的长相关程度越高^[9]. 使用 H 系数来表征聚合流量的突发性, 事实上混淆了流量的长相关和突发性.

5 仿真实验与结果分析

为确认网络聚合流量突发性的产生机理, 需要考察状态持续时间和节点流速各自对突发性的影响. 根据状态持续时间和节点流速是否表现出重尾 (或次重尾) 分布, 可以将扩展 ON /OFF 模型分为 4 种情形. 为确保结论的完备性, 本文逐一考察了这 4 种情形. 第 1 和第 2 种情形下, ON 和 OFF 状态持续时间表现出重尾分布, 参数为 $\alpha_1 = \alpha_0 = 1.4$ $k_1 = k_0 = 1$ 第 1 种情形下, 节点流速服从重尾的 Pareto 分布, 参数为 $\alpha_r = 1.2$ $k_r = 1$; 第 2 种情形下, 节点流速不表现出重尾分布, 而是取常数 $R(t) = 6$ 第 3 和第 4 种情形下, 状态持续时间不服从重尾分布, 而是服从均值为 2 的负指数分布; 在第 3 第 4 种情形下, 节点流速的分布分别同第 1 第 2 种情形. 上述 4 种情形下的仿真流量分别称为流量 1、流量 2、流量 3、流量 4

需要说明的是, 上述仿真参数的选择, 遵循便于区分和比较的原则, 改变分布参数的具体数值, 对最终结论没有影响.

图 1 和图 2 分别在双对数坐标系下示出了流量 1 和流量 2、流量 3 和流量 4 的互补累积分布函数. 从图中可以发现: 流量 1 和流量 3 表现出重尾分布,

具有明显的突发性; 而流量 2 和流量 4 分布的尾部迅速衰减, 其突发性可以忽略.

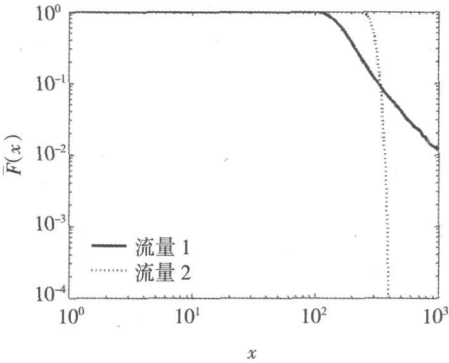


图 1 流量 1 和 2 的双对数互补累积分布函数

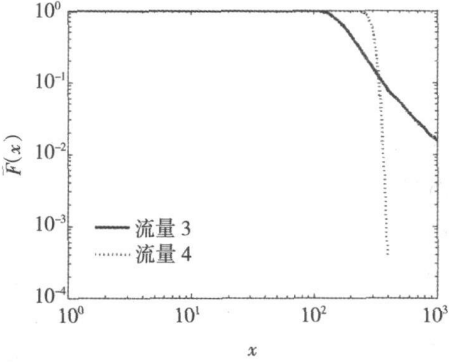


图 2 流量 3 和 4 的双对数互补累积分布函数

为进一步定量地检验流量的突发性, 下面来考察仿真流量的偏度和峰度. 采用 ν 代表偏度, κ 代表峰度, 使用下标区分不同流量. 经计算, 流量 1 至流量 4 的偏度和峰度分别为: $\nu_1 = 33.0002$ $\kappa_1 = 1.5469079$ $\nu_2 = 0.0135$ $\kappa_2 = 2.9519$ $\nu_3 = 10.0318$ $\kappa_3 = 160.5878$ $\nu_4 = -0.0293$ $\kappa_4 = 2.9288$ 明显地, 有

$$\nu_3, \nu_4 \approx 0 \quad \kappa_3, \kappa_4 \approx 3$$

(23)

$$\nu_b, \nu_3 \gg 0 \quad \kappa_b, \kappa_3 \gg 3$$

(24)

式 (23) 和式 (24) 说明, 流量 2 和流量 4 良好地逼近高斯分布, 它们的突发性可以忽略; 流量 1 和流量 3 表现出右偏分布, 明显偏离高斯分布, 结合图 1 和 2 知它们具有显著的突发性.

经过比较还发现, 流量 1 与 2、流量 3 与 4 各自的差别仅在于节点流速的分布不同; 而正是节点流速分布的差别决定了聚合流量突发性的有无. 因此, 上述仿真结果表明: 聚合流量的突发性由节点流速的分布特性决定, 与状态持续时间的分布无关. 在第 2 种流量下, ON 和 OFF 持续时间都服从重尾分布, 但聚合流量 2 并不表现出突发性, 这表明状态持续时间的重尾特性不是导致聚合流量突发性的原因. 事实上, 流量 1 和流量 2、流量 3 和流量 4 的 H 系数

分别相同,但是它们的突发性却完全不同,这表明不能使用 H 系数来表征聚合流量的突发性.

6 结 语

本文主要研究了通信网络聚合流量突发性的产生机理,导出了扩展 ON/OFF模型下聚合流量分布的特征函数表达式.经过理论推导和仿真实验发现:在扩展 ON/OFF模型条件下,聚合流量的突发性由节点流速的分布特性决定,与 ON和 OFF周期的分布无关.本文提出的扩展 ON/OFF模型基本涵盖了实际网络的可能情况,因此本文的结论具有良好的普遍性.这一研究结果为在网络工程中实际应用流量的突发性提供了理论支持.

参 考 文 献:

[1] LELAND W E, TAQQU M S WILLINGER W, et al On the SelfSimilar Nature of Ethernet Traffic(Extended Version) [J]. IEEE /ACM Transactions on Networking 1994, 2(1): 1- 15

[2] WILLINGER Walter, TAQQU M S, SHERMAN Robert, et al SelfSimilarity through High variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level[J]. IEEE /ACM Transactions on Networking 1997, 5(1): 71- 86.

[3] KM Sunggon, LEE Ju Yong, SUNG Dan Keun. A Shifted Gamma Distribution Model for Long-Dependent Internet Traffic[J]. IEEE Communications Letters 2003, 7(3): 124- 126.

[4] NAVA E Keivan, VALAEE Shahrokh, SHARAFAT A R, et al On the Downlink Interference in Heterogeneous Wireless DS-CDMA Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications 2006, 5(2): 384- 393

[5] KARASARIDISA, HATZNAKOS D. Network Heavy Traffic Model

ing Using α -Stable Self Similar Processes[J]. IEEE Transactions on Communications 2001, 49(7): 1203- 1214

[6] GE Xiaohu, YANG Yang, WANG Cheng-xiang, et al Characteristics Analysis and Modeling of Frame Traffic in 802. 11 Wireless Networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing 2010, 10(4): 584- 592

[7] YANG X, PETROPULU A P. The Extended Alternating Fractal Renewal Process for Modeling Traffic in High-Speed Communication Networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing 2001, 49(7): 1349- 1363.

[8] TERD K G, GYRES T. Lévy Flights and Fractal Modeling of Internet Traffic[J]. IEEE /ACM Transactions on Networking 2009, 17(1): 120- 129

[9] LAZAROU G Y, BACA Julie, FROST V S, et al Describing Network Traffic Using the Index of Variability[J]. IEEE /ACM Transactions on Networking 2009, 17(5): 1672- 1683.

[10] TSYBAKOV Boris, GEORGANAS N D. On Self-Similar Traffic in ATM Queues: Definitions, Overflow Probability Bound, and Cell Delay Distribution[J]. IEEE /ACM Transactions on Networking 1997, 5(3): 397- 409

[11] 陆大金. 随机过程及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1986: 640- 650.

[12] GALLARDO J R, MAKRAKIS Dimitrios, Luis Orozco- Barbosa Use of α -Stable Self-Similar Stochastic Processes for Modeling Traffic in Broadband Networks [J]. Performance Evaluation 2000, 40: 71- 98

[13] TANG Xiaotong, MA Meng, OSTRY Dietelm J, et al Characterizing Impulsive Network Traffic Using Truncated α -Stable Processes[J]. IEEE Communications Letters 2009, 13(12): 980- 982

(编辑: 温泽宇)