

自相似通信量对 CSMA/CD 性能的影响

高晓娟¹, 容晓峰², 谷 林¹

(1 西安工程大学 计算机学院, 陕西 西安 710048;

2. 西安工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710032)

摘 要:大量网络通信量测量研究表明,通信量在长时间尺度上的突发性规律可以用分形或自相似模型来描述。为准确评估 CSMA/CD 协议性能,基于 RMD 算法产生近似的 FBM,并利用近似 FBM 构造了自相似通信量模型。基于自相似通信量,采用离散事件仿真技术对 CSMA/CD 协议建立了排队模型,对网络性能进行了分析,通过与通信量服从泊松到达的仿真结果进行对比,说明了自相似特性对网络性能分析的影响。

关键词:自相似通信量;排队分析;CSMA/CD;离散事件仿真

中图分类号:TN919

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)05-0069-03

Impact of Self-Similar Traffic on Performance of CSMA/CD LAN

GAO Xiao-juan¹, RONG Xiao-feng², GU Lin¹

(1. School of Computer, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. School of Computer, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: A number of traffic measurements studies have shown that the burstiness of packet traffic is associated with long-range correlations that can be efficiently described in terms of fractal or self-similar models, e.g. fractional Brownian motion (FBM). In order to estimate performance of CSMA/CD effectively, consider an approximate FBM generation method known as the random midpoint displacement (RMD) algorithm, and generate the cumulative arrival process by the approximate FBM trace which is come from the RMD algorithm. Based on the self-similar traffic modeling, a CSMA/CD protocol simulation system is designed and implemented by using the queueing analysis and discrete event simulation. The simulation result based on similar traffic modeling is analyzed and compared with that based on Poisson arrival process, and the impact of similar nature on network performance is described.

Key words: self-similar traffic; queueing analysis; CSMA/CD; discrete event simulation

0 引言

近年来,大量的网络(包括以太局域网、广域网、CCSN、ISDN 等等)通信量的测量及统计分析结果表明:网络通信量具有自相似特性,即它在任意时间尺度上都具有突发性^[1]。但是,传统的网络性能分析所基于的排队分析方法,是假定数据帧的到达过程服从泊松分布,由于泊松到达过程仅具有短时相关特性,使用这一理论描述通信量会在长时间尺度上明显地低估通信量的突发程度。大量实验表明,基于泊松到达过程的分析结果与实际观察结果差异较大,这一现象进一步说明了传统的排队模型在分析网络流量、评价网

络性能中的局限性,必须使用自相似理论描述网络通信量性能。

自相似的概念与分形理论有关,可以用分形布朗运动(FBM)来描述,文中利用随机中点置换(RMD)方法产生了近似 FBM 过程^[1],并描述了自相似的通信量模型。在此基础上,采用离散事件仿真技术对 CSMA/CD 协议进行排队分析及仿真试验,依据仿真结果分析了网络性能,并将该仿真结果与基于泊松分布通信量的仿真结果进行对比,分析了自相似特性对 CSMA/CD 排队性能的影响,为合理设计网络、改善网络性能提供了依据。

1 自相似定义

由于数据传输是一个随机过程,文中只考虑在离散时间点上的统计上的自相似。设离散时间随机过程 $X(t) = \{x_t | t = 0, 1, 2, \dots\}$ 为一广义平稳随机过程,将其分成大小为 m 的块,然后求出各块的平均值,得

收稿日期:2006-07-29

基金项目:陕西省教育厅科研专项基金(04JK240)

作者简介:高晓娟(1973-),女,陕西宝鸡人,讲师,硕士,研究方向为分布式系统仿真;容晓峰,副教授,博士,研究方向为网络、信息安全。

到 m 重聚集随机过程 $X^{(m)} = \{x_k^{(m)}, k = 1, 2, \dots\}$, 其中 $x_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km-(m-1)}^{km} x_i$, 如果对于所有的 $m = 1, 2, \dots$, 当

方差 $\text{Var}(x^{(m)}) = \text{Var}(x)/m^\beta$

自相关函数 $R_x^{(m)}(k) \rightarrow R_x(k)$, 当 $m \rightarrow \infty$ 时

则称 X 为渐近自相似。Hurst 参数 $H(0.5 < H < 1)$ 为自相似参数, 是自相似程度的一个主要度量, 自相似程度随 H 值的增大而增大。

2 自相似通信量模型的产生

目前用于研究自相似的方法主要有分形布朗运动、分形 ARIMA(p, d, q) 过程, 以及具有重尾分布的 ON/OFF 模型等。文中从两个方面考虑, 给出自相似通信量模型: 1) 选用的模型在给定的条件下可以生成近似的自相似过程, 该过程可以描述自相似通信量, 充分满足网络性能分析的要求; 2) 便于该仿真系统的程序设计。

2.1 自相似通信量模型

文中采用分形布朗运动作为局域网的自相似通信量的模型^[2], 即在时间 τ 内, 到达的数据帧为

$$A(\tau) = m\tau + \sqrt{\alpha m} B_H(\tau), \quad \tau > 0 \quad (1)$$

其中, $B_H(\tau)$ 为标准的分形布朗运动且满足 $H \in (0.5, 1)$, m 为平均到达速率, α 是方差和均值之比。从时间 τ 到 $\tau + 1$ 的增量(即单位时间的到达数目)可以描述为

$$\tilde{A}(\tau) = M + \sqrt{\alpha m} [B_H(\tau + 1) - B_H(\tau)] \quad (2)$$

分形布朗运动的参数 H 满足 $0.5 < H < 1$ 时, 则显示长相关性, H 越大相关性越强, 当 $H = 0.5$ 时, 则分形布朗运动简化为一般的布朗运动, 其增量相互独立且无关, 当 $H < 0.5$ 时, 则为不稳定的。

2.2 分形布朗运动的产生方法

文中使用 RMD(Random midpoint displacement) 算法^[3]快速生成 FBM 序列。假设欲生成区间 $[0, T]$ 上的 FBM 序列 $B_H(\tau)$, 则首先求得端点处的值, 再以两个端点值求出中间值。在区间 $[a, b]$ 上, 如果已经求得端点值 $B_H(a)$ 和 $B_H(b)$, 则在整个区间上对于 FBM 有 $B_H(\frac{a+b}{2}) - \frac{B_H(a) + B_H(b)}{2}$ 与 $B_H(b) - B_H(a)$ 独立。同时可知, 端点平均值与中间值之差符合均值为 0, 方差为 s_k^2 的高斯分布 $G^{(k)}(i)$, 即可由 $\frac{B_H(a) + B_H(b)}{2} + G^{(k)}(i)$ 得到 $B_H(\frac{a+b}{2})$ 的值。

第 k 步的高斯分布的方差可以用下面的方法求出: 令 s_k^2 为第 k 步时高斯随机变量的方差, σ_0^2 为初始方差。由 FBM 的特性可知:

$$\text{Var}[B_H(\frac{T}{2^k}) - B_H(0)] = (\frac{1}{2^k})^{2H} \text{Var}[B_H(T) - B_H(0)] = (\frac{1}{2^k})^{2H} \sigma_0^2 \quad (3)$$

同时, 由 RMD 算法可求得:

$$\text{Var}[B_H(\frac{T}{2^k}) - B_H(0)] = \frac{1}{4} \text{Var}[B_H(\frac{T}{2^{k-1}}) - B_H(0)] + s_k^2 \quad (4)$$

由式(3)和式(4)可以得出: $s_k^2 = (\frac{1}{2^k})^{2H} (1 - 2^{2H-2}) \sigma_0^2$, 即 $s_k^2 = \frac{1}{2^{2H}} s_{k-1}^2$, 定义 $s_0 = \sqrt{1 - 2^{2H-2}} \sigma_0$ 。这样, 在区间 $[0, T]$ 上, 选取 $B_H(0) = 0$, 在一个均值为零、方差为 T^{2H} 的高斯分布上选取 $B_H(T)$, 然后以 $\frac{B_H(0) + B_H(T)}{2}$ 加上一个偏移作为 $B_H(\frac{T}{2})$, 该偏移是一个高斯变量, 其均值为 0, 方差为 $s_1^2 = (\frac{1}{2})^{2H} (1 - 2^{2H-2}) T^{2H}$ 。再以 $0, \frac{T}{2}$ 和 $\frac{T}{2}, T$ 为端点, 以 $s_2^2 = 2^{-2H} s_1^2 = (\frac{1}{2^2})^{2H} (1 - 2^{2H-2}) T^{2H}$ 为方差, 求得 $\frac{T}{4}$ 和 $\frac{3T}{4}$ 的值。如此反复进行, 可求得 $[0, T]$ 区间上任意精度的 FBM 序列。

3 排队模型

CSMA/CD 是一种争用型随机访问控制协议, 使用该协议的网络中各个节点都能独立地决定数据帧的发送与接收。CSMA/CD 的工作过程如下: 当一个站点准备发送数据时, 它首先侦听信道, 以确定信道上有无其他站点正在发送数据。若信道空闲, 则将数据送出, 若信道正忙, 则继续侦听, 直至信道空闲后开始发送数据。站点在发送数据的同时, 继续侦听信道, 以检测本站点的数据是否与其他站点发送的数据发生冲突。若有两个或两个以上站点在侦听到信道空闲后同时开始发送数据, 它们几乎会同时检测到冲突, 一旦发现冲突, 便立即停止发送, 随机等待一段时间后重复上述过程。

CSMA/CD 的排队系统是一个单服务员系统, 服务员对应 LAN 总线; 顾客对应报文, 包括新生成的报文和重发的报文, 报文到达后在各自的缓冲区中排队; 服务时间(即信道传送每一条报文的时间)是随机的, 由报文的长度来决定; 服务规则不同于简单的先到先服务, 各缓冲区队首的顾客要竞争服务权, 未产生冲突的顾客受到服务后离开, 而产生冲突的顾客返回原缓冲区的队首, 也就是说, 所有缓冲区中有报文排队的站点首先侦听总线是否空闲, 若空闲, 则发送其队首的报文, 若两个或两个以上站点同时开始发送, 则产生冲

突,站点在检测到冲突后立即停止发送,该报文退避到原站点的缓冲器队列的首位,站点在随机等待一段时间后重新开始侦听信道。CSMA/CD 协议的排队模型^[4]如图 1 所示。

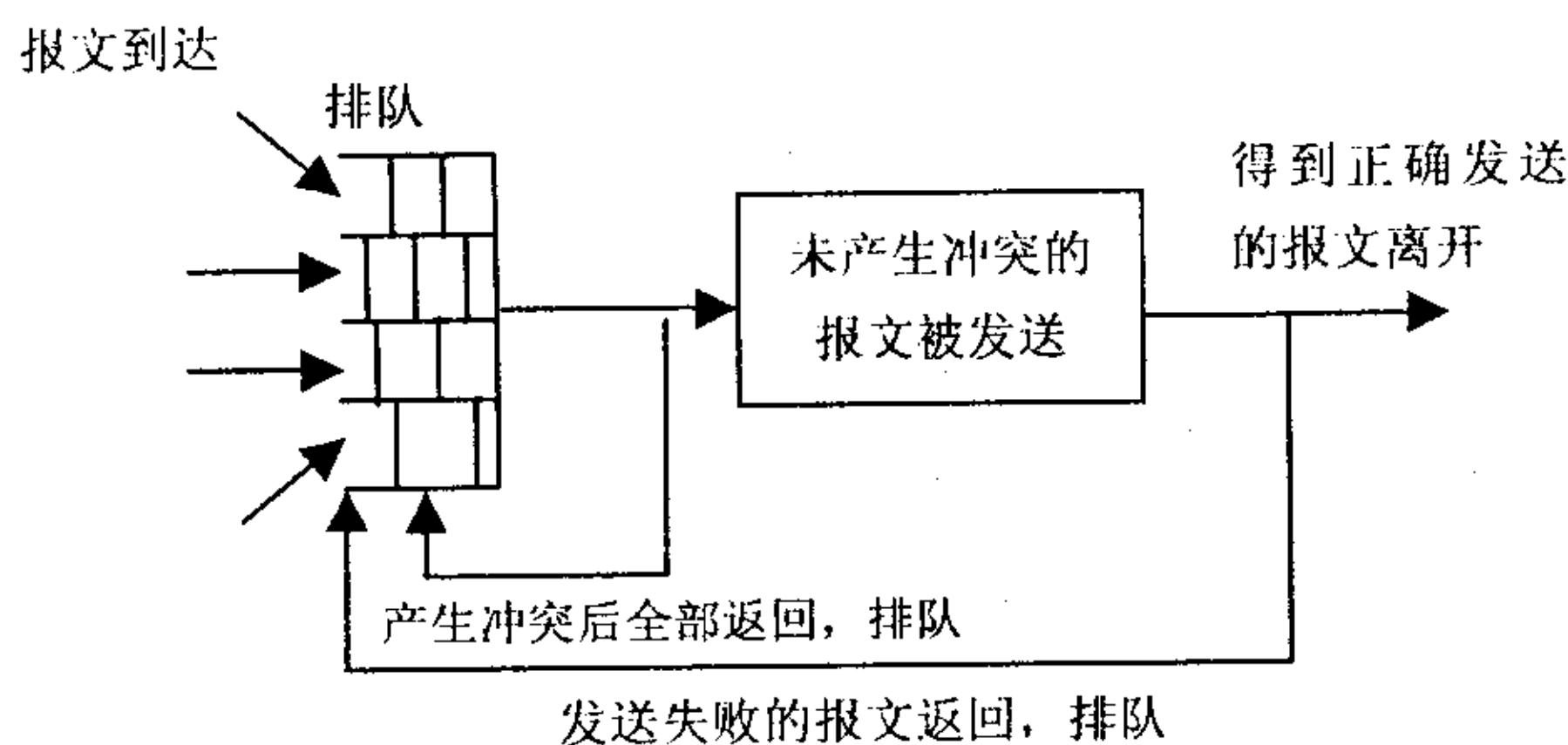


图 1 CSMA/CD 排队模型

4 仿真结果分析

文中对 CSMA/CD 协议建立了排队模型,采用面向对象技术和离散事件仿真技术,设计了仿真算法^[5,6],并用 VC++ 6.0 实现了仿真软件。仿真系统以 10Base-5 以太网作为仿真对象,依据 IEEE802.3 设置仿真参数,仿真时长为 10s。仿真程序在单机上以多线程方式模拟 20 个自主站点,并假定站点之间发送、接收机会均等。仿真过程中,以报文平均到达速率反映网络负载的变化情况,采集了不同仿真条件下信道利用率、平均等待时间、平均队长以及冲突次数等反应网络性能指标的数据,依据这些数据对 CSMA/CD 协议进行性能分析。

图 2 描述了不同 Hurst 参数下 CSMA/CD 协议的负载与冲突次数的关系曲线,并与假定通信量为泊松到达过程的仿真结果做了比较。由该图可以看出,冲突次数随着负载的增加而增加,尤其是在重负载时,冲突次数将急剧增加;对于自相似通信量而言,其冲突次数比基于泊松分布通信量模型的冲突次数增多,尤其在负载较重时更为明显,而且,自相似程度越大越大,冲突越严重。

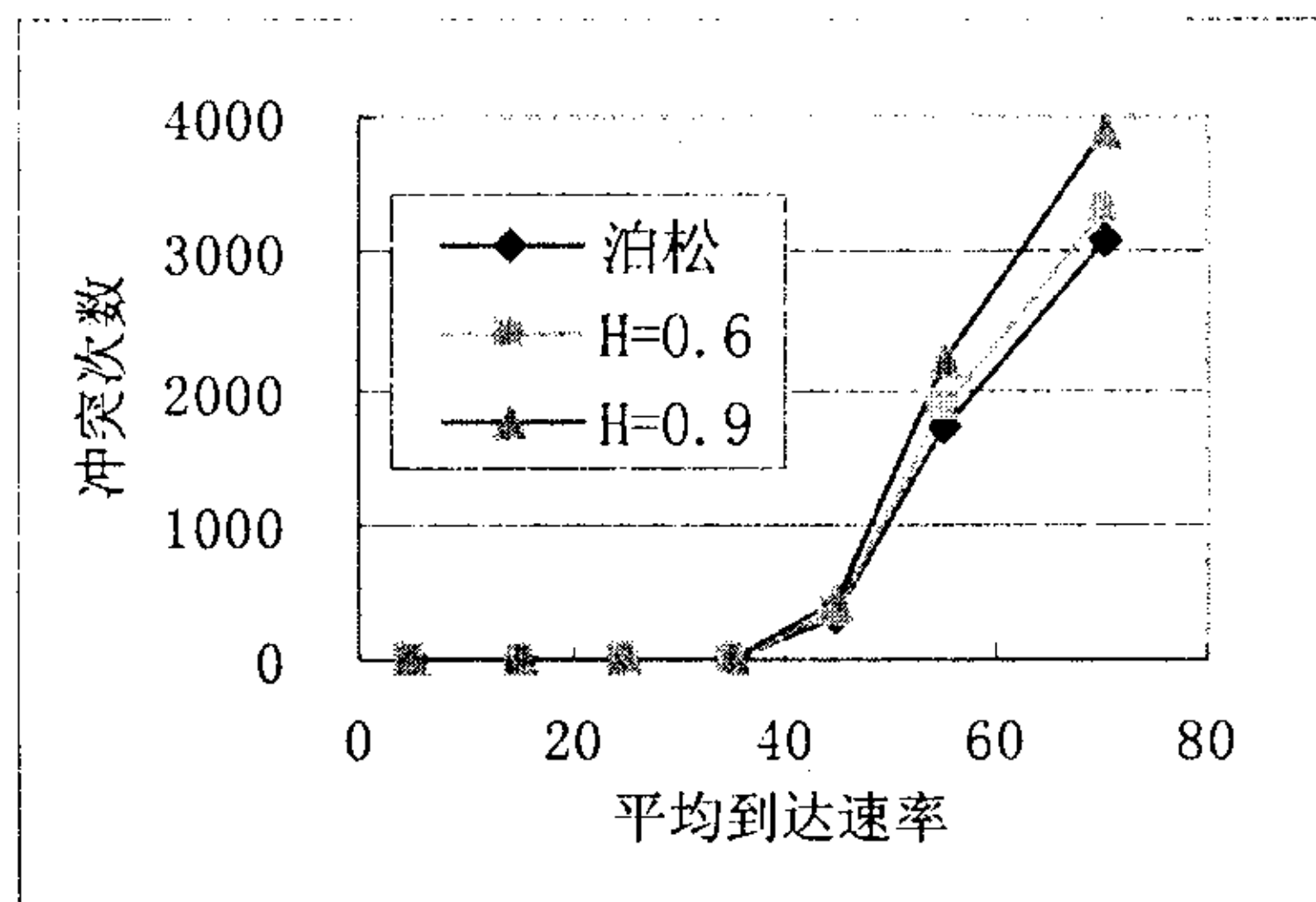


图 2 负载与冲突次数关系曲线

图 3 描述了 CSMA/CD 协议的信道利用率与报文的平均等待时间之间的关系曲线^[4],其中曲线 a 表示

基于泊松到达假定的关系曲线,曲线 b 表示基于自相似通信量($H=0.9$)的关系曲线;沿着纵坐标的正方向,负载越来越重。由图可以看出,平均等待时间随着负载的增加而增大;信道利用率随着负载的增大而增大,但当负载超出一定范围继续增大时,信道利用率反而变小,这是因为,当负载增大到一定程度后,冲突次数急剧增加,导致平均等待时间增长,吞吐率变小。通过对两条曲线进行比较,可以看出,负载较轻时,两条曲线几乎重合,说明二者的信道利用率以及平均等待时间差别不大,而在负载较重时,基于自相似通信量的信道利用率明显偏小,而报文平均等待时间偏长。

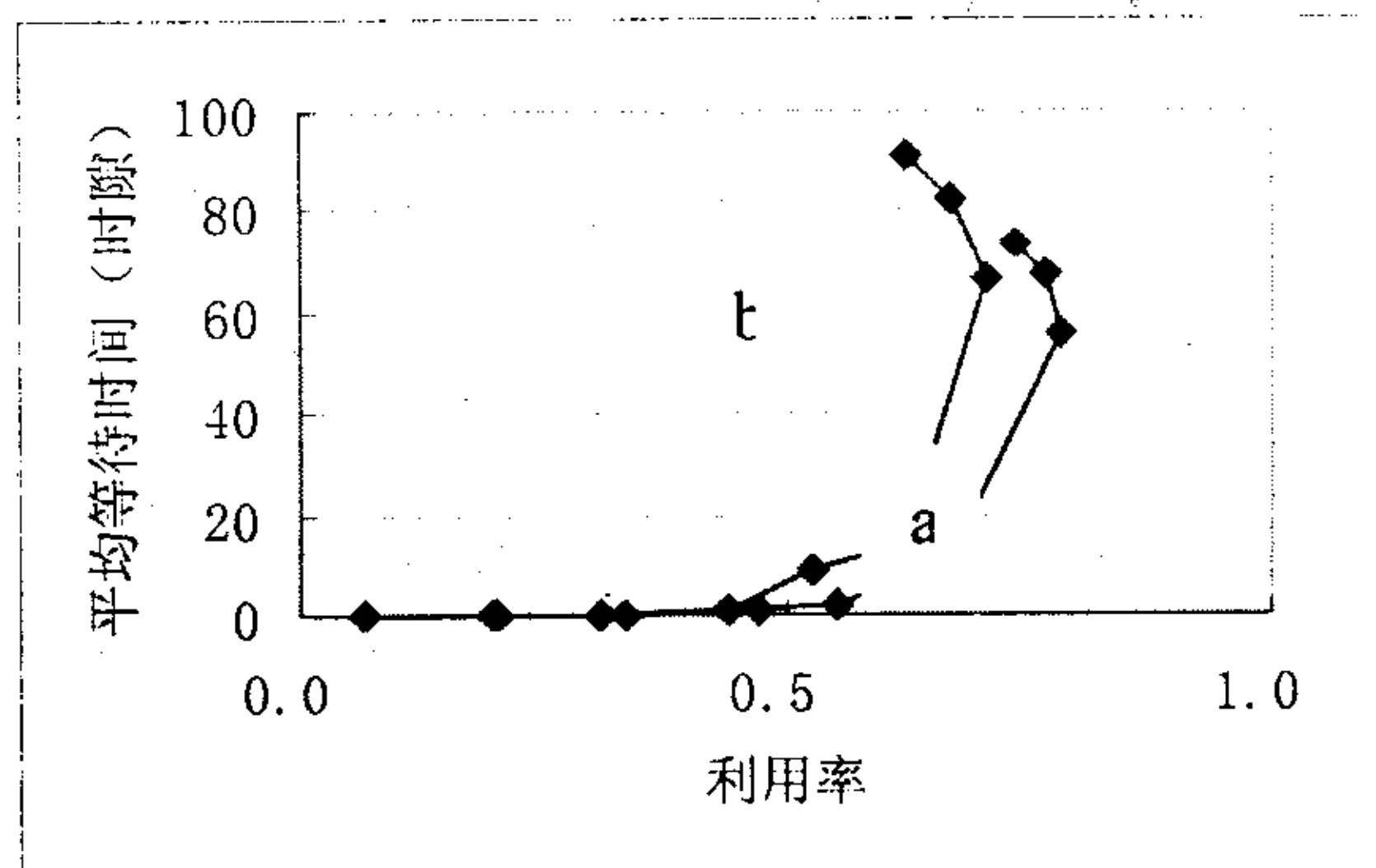


图 3 平均等待时间与利用率关系曲线

图 4 与图 3 类似,这里就不再详细描述。

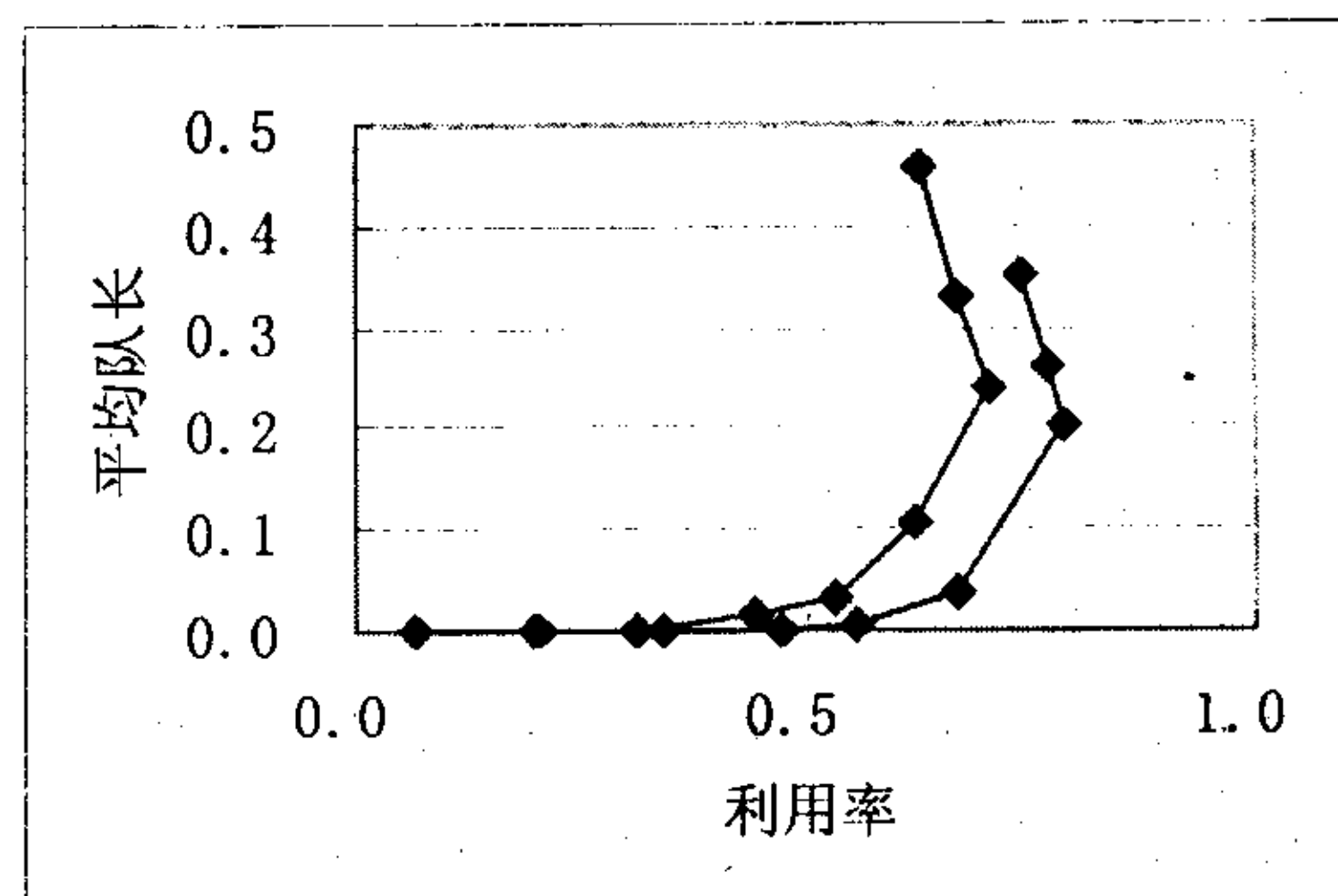


图 4 平均队长与利用率关系曲线

由以上图形可以看出:通信量的自相似特性影响了网络的性能,尤其是在重负载情况下,自相似程度越大,系统性能越差。

5 结 论

经过对 CSMA/CD 协议建模仿真,可以认为,网络通信量的自相似特性影响了网络的性能,基于泊松到达假定的网络性能分析结果明显优于基于自相似通信量的分析结果,其差异随着通信量的自相似程度的增大而增大,在重负载时尤为明显。这就表明在较重的负载下,对于实际的自相似通信量而言,其数据帧的冲突程度比基于泊松分布的通信量假设的排队理论估计的要严重得多,数据帧的传输时延也要长得多。

(下转第 75 页)

任务阶段 $P_{p,i}$ 必须在 t_i 内完成,图 1 所示过程的第一任务阶段的一级模型如图 6 所示。Store $t1$ 存放下一阶段的应急限制期 t_2 (最后一个任务阶段为过程限制时间 T_p), store T 存放本次仿真的开始时间,则对 processor phaseend 做如下定义:

```

if t1 > time - T
then phase1end < -0
else phase1end < -1
fi

```

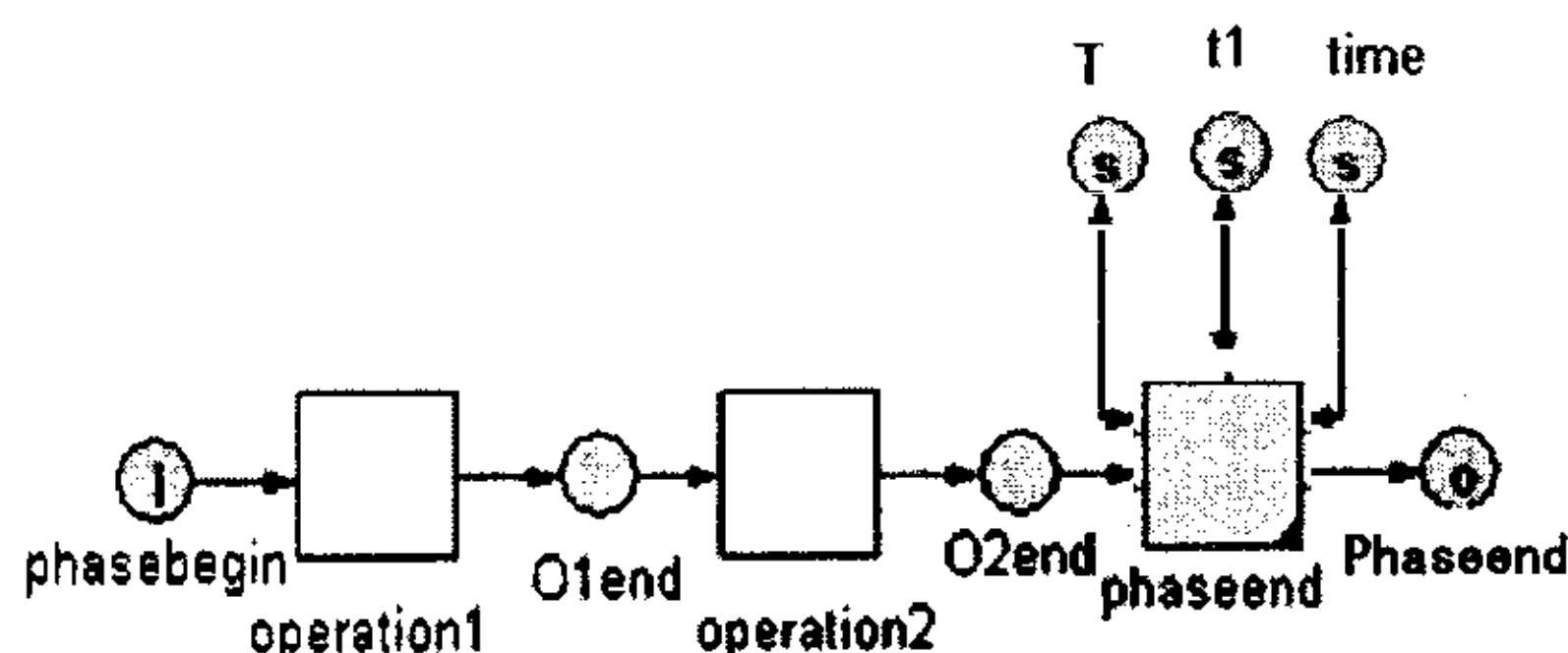


图 6 应急限制期 PN

3.3 应急过程 PN

将基本任务阶段按照 L 属性联结在一起,建立应急过程 PN 模型。例如:阶段 1 的 Phase1end 通过 Processor1 和阶段 2 的 Phase2end 连接在一起。

Processor f1 定义如下:

```

if phase1end = 0
then endrespond < -1, fail < -fail + 1, p1fail < -p1fail + 1 //store fail 记录应急过程失败次数, store p1fail 记录 phase1 失败次数
else phase2begin < -2 // phase2 有两个活动一起开始,因此移入 2 个托肯
fi

```

对其它阶段间的 Processor 做类似定义。

3.4 仿真输出

Store Pifail 分别记录了各阶段失败而导致应急任务失败的次数 m_i , Store fail 记录了应急任务失败次数 m , Store success 记录了应急任务成功次数 u 。

在大量的仿真运算基础上,根据上述三个库所的仿真结果,可以根据给出的应急过程可靠性模型评估应急过程的可靠性。

4 仿真实例

以某应急预案为例,应急过程由不同任务阶段组成,其中每个任务阶段必须在相应应急限制期内启动。任务阶段包含一系列有机组合的应急活动,应急活动的故障和修复特征数据,通过处理演习和历史数据得到。利用上述方法建立应急过程模型,首先,利用 Visio 建立应急活动类图和活动对象图,并建立任务阶段类图 and 对象图、活动网络图,然后建立应急过程活动网络图。接下来,将基于 UML 的应急过程模型转化为 PN 模型,并在 Exspect 环境下建立仿真模型,进行多次的仿真运算。

对仿真结果进行分析,根据应急响应过程可靠性参数可以得到应急过程的薄弱环节在第 2 阶段。需要对第 2 阶段的应急活动进行优化设计,以提高应急过程的可靠性。

5 结论

对限制期条件下的应急过程建模方法进行了研究,并建立过程可靠性模型,利用计算机模拟仿真技术评估应急过程可靠性,为改进应急过程提供决策依据。经过实例验证,本建模方法适合于描述应急过程的复杂特性,利用层次化建模方法降低了建模成本,利用仿真评估具有复杂特征的应急过程可靠性的方法,为研究应急过程可靠性提供了一条可行途径。

参考文献:

- [1] Ball M O, Lin Feng L. A reliability model applied to emergency service vehicle location[J]. Operations Research, 1993, 41 (1): 18-23.
- [2] 江金龙,周献中,孙勇成,等. 基于 UML 和 Petri 网的层次建模分析方法[J]. 系统仿真学报, 2006(2): 290-293.
- [3] 蔡 溯,李世其. 基于活动网络的生产系统仿真集成模型研究[J]. 计算机应用研究, 2005(12): 63-65.
- [4] 蒋文科,郝志华,李红梅,等. 设备系统故障的基本 Petri 网模型与仿真[J]. 农业机械学报, 2000(9): 104-105.
- [5] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京: 电力工业出版社, 2005: 84-103.

(上接第 71 页)

参考文献:

- [1] Leland W, Taqqu M, Willinger W, et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1): 1-15.
- [2] 沈 伟,冯 瑞,邵启润. 自相似通信量下的 CSMA/CD 性能分析[J]. 计算机工程, 2003, 29(14): 30-32.
- [3] LAU W C, ASHOK E. Self-similar traffic generation: the random midpoint displacement algorithm and its properties [C]//ICC'95. New York, NY, USA: [s. n.], 1995: 466-472.
- [4] 逯昭义,王思明. 计算机通信网信息量理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
- [5] 肖田元,张燕云,陈加栋. 系统仿真导论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [6] 高晓娟,钟联炯. C4ISR 中 p-坚持 CSMA/CD 局域网仿真系统设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(20): 173-175.