

基于分形理论的无线链路性能分析

王楠¹⁾ 侯紫峰²⁾ 陈军²⁾ 宋建平²⁾

¹⁾(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)

²⁾(联想研究院 北京 100085)

摘要 根据无线网络的实际测试结果,使用 R/S 分析法首次发现了 802.11 无线局域网的业务量特性具有长相关性(自相似性),并发现两台无线设备进行点对点文件传输时的网络特性同样呈现出显著的长程相关性.作为建立基于分形理论的无线链路特性的数学模型的初步尝试,给出并验证了丢包率 PLR 与 Hurst 系数、缓存区容量大小和该无线链路服务率之间的一个近似的计算公式.

关键词 分形;无线链路;特性分析

中图法分类号 TP393

Analysis of Performance of Wireless Link Based on Fractal Theory

WANG Nan¹⁾ HOU Zi-Feng²⁾ CHEN Jun²⁾ SONG Jian-Ping²⁾

¹⁾(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

²⁾(Lenovo Corp. Research & Development, Beijing 100085)

Abstract Using R/S statistic analysis to a series of real test results, this paper finds that both of the IEEE 802.11 WLAN traffic and the traffic between 2 point to point wireless devices exhibit obviously Long Range Dependence(LRD). To set up a wireless link traffic mathematical model based on fractal theory, a packet loss rate expression over a wireless link is obtained and verified.

Keywords fractal; wireless link; performance analysis

1 引言

目前,无线网络已经快速走进我们的生活,正在创造人类新的时代——无线互联时代.因此,人们迫切需要深入了解无线网络,掌握其性能.而无线网络的网络特性是人们关注的焦点,对无线网络的资源分配和流量控制以及对无线网络的服务质量保证(QoS)的研究都具有至关重要的意义.

有线网络的流量控制和资源分配机制是基于以下的假设而设计的,即网络的物理层介质是高度可

靠的.但是这样的假设在无线链路上不成立,无线链路的误码率约为 10^{-3} ,比有线链路的误码率 10^{-9} 高出几个数量级^[1].因此,有线网络的流量控制和资源分配机制在无线环境下就变得效率低下了.例如,在无线链路上传输 TCP 业务时,TCP 协议总是认为丢包是由拥塞引起的,然而实际上,绝大多数情况下是由于无线信道出错而造成丢包.

目前,研究无线网络 TCP 性能的文章较多,而研究无线网络特性数学模型的文章很少. Mohammadi 等人把有效带宽的概念扩展到了无线 ATM 网络^[2].在文献^[3]中,Zukerman 等人讨论了无线 ATM 网

收稿日期:2002-04-08;修改稿收到日期:2003-03-17. 王楠,男,1972年生,博士研究生,主要研究方向为无线局域网、移动通信、计算机存储系统. E-mail: wangnan@computer.org 或 wangnan-@163.net. 侯紫峰,男,1955年生,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为无线局域网、移动通信、数字信号处理、并行计算. 陈军,男,1975年生,博士研究生,主要研究方向为无线通信、信号处理与小波理论. 宋建平,男,1974年生,博士,主要研究方向为无线局域网、移动通信.

络中的带宽分配和 FEC 编码的优化,但未能提出数学模型. Chaskar 等人研究了无线连接上的 TCP 性能^[4],他们的分析被用来研究“有效链路容量”,“有效链路容量”被定义为缓存区的溢出小于 $1/W_{bd}^2$ 时, TCP 包的最大到达率; W_{bd} 是带宽-延迟的乘积.

与本文研究方向密切相关的是文献[5~8],作者基于指数分布和无后效性的传统假设,运用传统的 Poisson, Markov 等短程相关过程和排队论建立了点对点无线链路的业务模型. 文献[5~8]所采用的无线链路的业务量模型(即著名的 Gilbert-Elliot 模型)基于以下假设:无线链路的发送源有 ON/OFF 两种状态(即发送包/不发送包两种状态),这两种状态的持续时间分别遵循均值为 $1/\alpha, 1/\beta$ 的指数分布. 同时,该无线链路在“链路状态良好”和“链路状态恶劣”两种状态间切换,这两种状态的持续时间分别遵循均值为 $1/\delta, 1/\gamma$ 的指数分布. 无线网络中的发送源发送数据包的过程是随时间进化的无后效系统,即已知现在的状态,过程的过去与将来无关(独立),符合 Markov 过程的定义.

然而最近许多研究机构的分析^[9~12]表明,突发业务到达过程更适于用渐近或严格的自相似模型(即分型模型)来表征. 分形过程与传统的 Poisson 或 Markov 业务模型相比具有许多极为不同的统计性质,其中最主要的一点是它能够反映业务流量在任意时间范围内的长程相关特征.

目前,经检索,对于自相似理论在无线网络中的应用,在广域网领域, Jiang 和 Trajkovic 发现 CDPD 无线网络的实际业务量特性具有分形特征^[13]. Tsybakov 等人发现 CDMA 的多媒体业务量特性具有自相似性^[14]. 但是在无线局域网领域,尚未有人证实 802.11 无线局域网的实际业务量特性具有自相似性,也还没有文献提出过基于分形理论的无线网络的数学模型.

应用分形理论建立有线网络的网络特性数学模型的成果中最有影响的代表性文献是文献[15]. 当然,无线网络与有线网络有许多差异,不能照搬有线网络的数学模型. 本文作者就发现适用于有线网络的 Norros 公式并不完全适用于无线网络. 本文的目的就是研究无线网络的网络流量特性,判断其是否具有自相似特性,为进而建立相应的无线网络数学模型进行准备.

本文的第 2 节通过使用 R/S 分析法分析无线网络测试的结果,发现 802.11 无线局域网的业务

量特性以及两台无线设备进行点对点文件传输时的网络特性均呈现出显著的分形特性. 作为建立基于分形理论的无线链路特性的数学模型的初步尝试,本文的第 3 节给出并验证了丢包率 PLR 与 Hurst 系数、缓存区容量大小和该无线链路服务率之间的一个近似的计算公式;本文的第 4 节总结了全文的工作.

2 IEEE802.11 无线局域网业务量特性测试及其分形分析

2.1 分形(自相似)业务模型^[16]

设 $X = \{X_j; j=1, 2, \dots\}$ 为一个广义平稳的随机过程,即 X 具有均值 μ 和方差 $Var(x)$,其自相关函数为 $r(k), k \geq 0$. 定义序列 $X_k^{(m)} = \{X_{km-m+1} + \dots + X_{km}\}/m, (k=1, 2, 3, \dots)$ 为 $\{X_i\}$ 的 m 重聚集时间序列,方差为 $Var(x^{(m)})$,自相关函数为 $r^{(m)}(k) (m=1, 2, 3, \dots)$.

定义 1. 过程 X 被称为严格二阶自相似的,如果对所有 $m=1, 2, 3, \dots, k=1, 2, 3, \dots$,我们有

$$r^{(m)}(k) = r(k),$$

$$Var(x^{(m)}) = \frac{Var(x)}{m^\beta}.$$

定义 2. 过程 X 被称为渐进自相似的,如果对所有足够大的 k ,我们有

$$r^{(m)}(k) \rightarrow r(k), \quad \text{当 } m \rightarrow \infty \text{ 时,}$$

$$Var(x^{(m)}) = \frac{Var(x)}{m^\beta}.$$

在以上定义中,参数 β 有 $0 < \beta < 1$,而且与自相似的 Hurst 系数有关,具体为 $H=1-\beta/2$. 此时,有 $0.5 < H < 1$. Hurst 系数是表征自相似程度的一个非常重要的系数, Hurst 系数越大,越趋近于 1,表明系统的自相似性越明显.

2.2 无线网络的自相似特性

2.2.1 Stanford 大学所公布的 802.11 WLAN 业务量特性测试结果及其分析

美国 Stanford 大学计算机系的 Tang 和 Baker 在文献[17]中公布了他们课题组所做的 802.11 WLAN 业务量特性测试结果.

Stanford 大学计算机系的这项无线局域网测试是在 Stanford 大学计算机系的 Gates Computer Science Building 中进行,这是一栋 6 层大楼,共布放了 12 个访问点,供 74 位无线用户使用. 测试的网

络拓扑结构如图 1 所示, 其中, 802.11 无线局域网通过路由器与有线网络相连. 此项测试将每个进、出该 802.11 无线局域网的包的相关信息都记录下来, 从 1999 年 9 月 20 日到 1999 年 12 月 12 日共连续记录了 83 天的数据, 总共 78,739,933 个包.

本文对其公布的每天的总流量、输入流量、输出流量、总包数、输入包数、输出包数分别进行了统计, 并对这 83 天的流量、包数分别做了 R/S 分析, 结果记录在表 1 中.

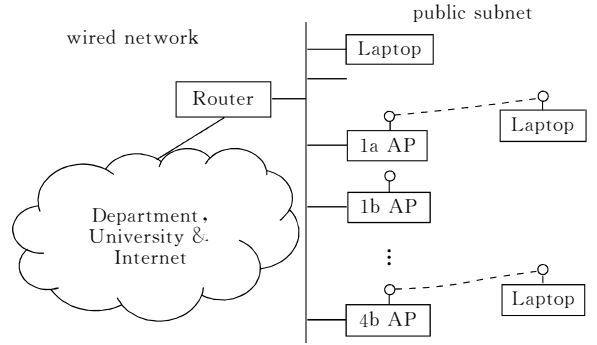


图 1 Stanford 大学无线局域网网络拓扑结构图

表 1 Stanford 大学试验结果 R/S 分析

时间刻度	总流量	输入流量	输出流量	总包数	输入包数	输出包数
24 h	$H = 0.862$	$H = 0.822$	$H = 0.632$	$H = 0.885$	$H = 0.887$	$H = 0.851$
1 h	$H = 0.760$	$H = 0.807$	$H = 0.533$	$H = 0.797$	$H = 0.826$	$H = 0.730$
10 min	$H = 0.671$	$H = 0.762$	$H = 0.552$	$H = 0.696$	$H = 0.715$	$H = 0.666$

从表 1 的 R/S 分析结果中可以看出, Stanford 大学 Gates Computer Science Building 中的 802.11 无线局域网的业务量特性(总流量、输入流量、输出流量、总包数、输入包数、输出包数)在不同时间刻度下所反映出的 Hurst 系数均大于 0.5, 最大为 0.887, 最小为 0.533, 均值为 0.747.

鉴于此, 本文认为 802.11 无线局域网的业务量特性具有典型的分形特征. 同时, CDPD 网络也有自相似性^[13], 究根溯源, 我们认为可能是因为底层的无线链路本身具有自相似性.

2.2.2 点对点无线链路的分形特征

为了搞清楚无线链路本身是否具有自相似性, 我们又进行了无线网络点对点实际文件传输测试. 我们在相距 4m 两台笔记本电脑间分别传输了一个压缩文件(test.zip, 共 1,383,698,594 字节)和一个文件夹下的所有文件(共 1,000,029,095 字节). 将每秒钟所测得的瞬时吞吐率记录到文本文件加以分析. 测试在屏蔽室内进行, 使用的是美国 Intersil 公司的 PRISM PCMCIA 802.11b 无线网卡. 所求得的 Hurst 系数如表 2 所示.

表 2 对点对点实际文件传输试验结果进行 R/S 分析所得的 Hurst 系数表

测试项目	测试环境	Hurst 系数
传输一个压缩文件	AdHoc BSS(点对点)	$H = 0.725$
传输一个文件夹下的所有文件	AdHoc BSS(点对点)	$H = 0.795$

在 2.2.1 节和 2.2.2 节中, 我们使用的判断自相似性的方法都是 R/S 分析法(具体公式参见文献[16]). 将所求得的 R/S 值与采样序列号 N 的关系

画在一张对数-对数图上, 如果所得曲线近似为直线, 并且其斜率(此即 Hurst 系数 H)大于等于 0.5, 即可认定该过程具有自相似性. 本文使用的是最小二乘法对对数-对数图上的 $\lg R/S - \lg N$ 的曲线进行拟合. 所得曲线均可拟合为斜率 > 0.5 的直线. 所以, 我们认为无线局域网以及点对点无线链路都具有自相似性.

2.2.3 无线网络呈现出分形特征的原因

从上述结果显然可以看出, 无线局域网、连接两台无线设备的无线链路的网络特性都呈现出典型的自相似性. 这是为什么呢? 我们知道, 无线链路的发送源有开/关两种状态(即 ON/OFF 两种状态), 同时该无线链路也在“链路状态良好”和“链路状态恶劣”这两种状态间切换. 以前人们一直假设这两对状态分别遵循无后效性的指数分布. 而最近许多研究成果^[9~12]表明, 突发业务到达过程更适于用自相似模型来表征. 换句话说, 无线链路的业务量特性并非无后效性, 而是有一定的长程相关性. 而且在 Willinger 和 Taqqu 的模型中^[9,11], ON/OFF 两种状态的持续时间都呈现出“Noah 效应”: 即这两种状态的持续时间都有可能很长, 而且这种情况无法忽略. 类似地, 我们有理由相信该无线链路的“链路状态良好”和“链路状态恶劣”这两种状态的持续时间也呈现出“Noah 效应”.

因此, 无线链路在这两对具有“Noah 效应”的状态的综合作用下表现出自相似性就不奇怪了. 更何况, 无线链路的信息传递是一个复杂的过程, 是协议作用的非线性、用户行为的突发性、节点之间的关联

性等等多个方面众多因素的相互非线性持续作用的结果。正是这所有因素的综合作用才使得无线链路具有了自相似性。

3 对建立基于分形理论的无线网络特性数学模型的初步尝试

3.1 无线网络特性的数学模型

在文献[5~8]中,基于指数分布和无后效性的传统假设,运用传统的 Poisson, Markov 等短时相关过程和排队论进行描述,建立过点对点无线链路的业务模型。但所得出的无线链路业务量特性的数学模型与所测得的实际的业务量特性仍然有差距,而且这些数学模型都相当复杂,应用起来相当不便。

在应用自相似理论建立有线网络数学模型的过程中,最有影响的代表性文献是文献[17,18],该文献基于分数布朗运动(FBM)提出了一个有线网络数学模型,即 Norros 公式:

$$PLR = P(X > x) \sim \exp\left(-\frac{t_u^{2H}(C-m)^{2H}}{2\kappa(H)^2 am}x^{2-2H}\right) \quad (1)$$

其中, $\kappa(H) = H^H(1-H)^{1-H}$; PLR 是丢包率; H 是 Hurst 系数; x 是缓存区容量; m 是平均输入率; C 是链路容量; a 是方差与均值的比值; t_u 是物理单位时间。

这里,由于都是点对点链路、单业务流,我们将文献[7]中所公布的无线点对点链路仿真结果与有线点对点链路 Norros 公式的计算结果进行比对、分析。所采用的具体的 Norros 公式为下面式(2),仿真环境参数设置如表 3 所示。

表 3 仿真环境参数设置表

参数	符号	取值
发送源峰值数传率	R	1Mbps (或 2604.1667packets/s)
平均输入率	m	263.74packets/s
Buffer 大小	B	100~1000packets
发送源处于“On”状态的平均时段	$1/\alpha$	0.02304s
发送源处于“Off”状态的平均时段	$1/\beta$	0.2304s

$$PLR = \exp\left(-\frac{Cox \cdot (C-m)^{2H}}{2\kappa(H)^2 m}x^{2-2H}\right) \quad (2)$$

注意,虽然文献[7]中没有直接给出 a ,即输入流量的方差与均值的比值,但文献[7]中输入模式为“On-Off”模型,发送源处于“On”状态、“Off”状态的平均时段始终保持为均值分别为 $1/\alpha$ 和 $1/\beta$ 的指数

分布,而且在文献[7]中 α 和 β 的值保持不变,也就是说,我们进行比对的点对点无线链路的输入都始终保持一致,因此可以将 a 和 t_u 这两个参数归并到式(2)的系数 Cox 中,对我们的结论没有任何影响。另外,为便于我们关注无线链路本身的特性,这里所讨论的无线链路只采用 ARQ,未进行 FEC。

经过计算,我们发现当式(2)中的 $Cox=0.285858673$ 且 $H=0.6$ 时,对于 PLR 与缓存区容量间的函数关系,基于长程相关性的 Norros 公式是适用的,甚至比文献[7]中基于传统的短程相关性模型所得出的理论曲线更能够与仿真结果相吻合,对比结果如图 2 所示,实线为利用式(2)计算的自相似分析结果。

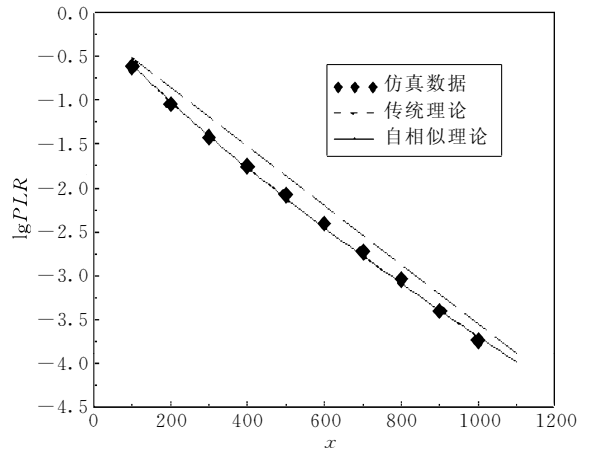


图 2 针对 Buffer 大小的 Norros 分析结果 ($P_{eb}=10^{-2}, c=500\text{Packets/s}$)

但是,对于 PLR 与无线链路服务率之间的函数关系,针对有线网络的 Norros 公式就不适用了,实际上,所计算出来的结果与仿真结果相差很大,对比结果如图 3 所示。

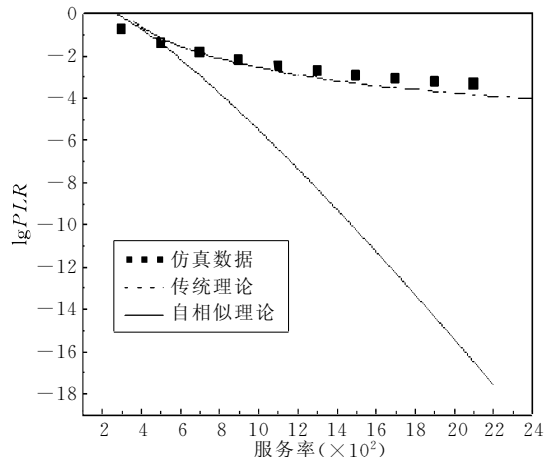


图 3 针对服务率的 Norros 分析结果 ($P_{eb}=10^{-2}, x=300\text{Packets}$)

大家知道,有线网络的流量控制和资源分配机制是基于以下的假设而设计的,即网络的物理层介质是高度可靠的.由于这样的假设在无线链路上不成立,于是这样的流量控制和资源分配机制在无线环境下就变得效率低下了.例如,在无线链路上传输 TCP 业务时, TCP 协议总是认为丢包是由拥塞引起,然而实际上,绝大多数情况下是由于无线信道出错而丢弃坏包的.但最终 TCP 超时引发了 TCP 协议的拥塞控制机制,反而错误地不必要地减少了无线信道的吞吐率.所以,针对有线网络的 Norros 公式在某些方面能够适用于无线网络,而在某些方面不能够适用于无线网络是可以理解的.

下面,本文参考 Norros 公式并结合文献[7,18],进行自己的推导.

由于无线网络的业务量特性呈现出典型的自相似性即长程相关性,而分形理论中的重尾分布也呈现出典型的长程相关性,可以用来描述具有自相似性的过程,于是,本文就用分形理论中的重尾分布来替代传统无线链路业务模型中的指数分布和无后效性的假设.

一个典型的重尾分布是具有参数 λ 和 β 的 Weibull 分布. Weibull 分布的分布函数如下($x \geq 0, \lambda, \beta > 0$):

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x^\beta},$$

其中,参数 λ 和 β 分别称为尺度与形状参数. $\beta=1$ 时,即化为指数分布;当 $0 < \beta < 1$ 时,则这一分布满足 2.1 节中的定义 2 与性质 1,能够反映自相似性,并且有 $H=1-\beta/2$,也即 $\beta=2-2H$.

我们知道,缓存区溢出时,分组即丢失,所以分组丢失概率 PLR 由缓存区溢出概率决定,具体地,如果缓存区内容分布为 $\prod(x)$,分组丢失概率 PLR 可以由下式给出:

$$PLR = P[X > x] \sim 1 - \prod(x) \quad (3)$$

既然已经发现并验证了无线链路具有典型的长程相关,在探讨无线链路特性的数学模型的过程中,不妨认为缓存区内容分布符合 Weibull 分布.

$$\prod(x) = F(x) = 1 - e^{-\lambda x^\beta} \quad (4)$$

其中 x 表示缓存区的大小, β 称为形状参数,计算表明,当 $\beta < 1$ 时,随着 β 越来越小,分布的“重尾”特征越来越明显,即分组到达的突发性越来越强.将式(4)代入式(3)中,可得

$$PLR \sim 1 - \prod(x) = 1 - (1 - e^{-\lambda x^\beta})$$

$$= e^{-\lambda x^\beta} = e^{-\lambda x^{2-2H}} \quad (5)$$

至此,可见公式(5)与 Norros 公式(2)有很大的相似之处,实际上可以说是式(2)的精简.

在文献[7,18]中,都支持并验证了缓存区容量大小为 x 的无线链路的丢包率 PLR 可以表示为

$$PLR \approx L \cdot e^{zx} \quad (6)$$

其中, e^{zx} 是基于缓存区容量为短程相关性的指数分布的假设而得出的缓存区容量分布函数, L 和 z 是与无线链路特性有关的可变系数,在文献[7,18]中各有复杂的公式计算 L 和 z ,文献[7]中更明确证明了 L 是分配给该无线链路的带宽 c (即服务率)的函数.本文基于分形理论认为缓存区内容分布符合具有长程相关性的 Weibull 分布,即公式(5).所以,本文将缓存区容量分布函数由式(6)中的短程相关性的指数分布替换为符合具有长程相关性的 Weibull 分布,得到下面的公式:

$$PLR = L \cdot e^{-(k_b x)^{2-2H}} \quad (7)$$

其中, x 为缓存区容量大小.

至于系数 L ,首先,文献[7]中明确证明了 L 是分配给该无线链路的带宽 c (即服务率)的函数.其次,经过对多次仿真数据的详细分析,我们发现:当缓存区容量固定时,即 $e^{-(k_b x)^{2-2H}}$ 固定时,无线链路的丢包率 PLR 与分配给该无线链路的带宽 c (即服务率,该定义与文献[7]中的定义保持一致)之间符合一个重尾分布:

$$y = \left(\frac{k}{t}\right)^\alpha.$$

我们还发现,当缓存区容量变化时,该重尾分布的形状就会相应地发生变化,具体来说,该重尾分布的形状变量 α 与缓存区容量大小 x 成正比,即当缓存区容量 x 增大时,重尾趋势越不明显,缓存区容量 x 趋近于 ∞ 时, PLR 越趋近于 0,函数图形越趋近于指数分布的图形.具体来说, L 可以表示为

$$L = \left(\frac{k_c}{c}\right)^{k_a \times x} \quad (8)$$

其中, c 表示分配给该无线链路的带宽(服务率).参数 k_a 和参数 k_c 与发送源处于“开/关”状态的平均时段等无线链路的网络特性有关,目前是通过仿真试验测得.将式(8)代入式(7)中,即可得到下面的公式:

$$PLR = L \cdot e^{-(k_b x)^{2-2H}} = \left(\frac{k_c}{c}\right)^{k_a \times x} \cdot e^{-(k_b x)^{2-2H}} \quad (9)$$

这里,由于要与文献[5~8]中基于传统无线链路模

型所得出的理论曲线相比较,我们直接引用了文献[7,8]中的仿真结果和传统理论计算结果,所采用的典型单业务流无线链路的仿真环境也完全一致(如表 2)。而且,为便于我们关注无线链路本身的特性,这里所讨论的无线链路只采用 ARQ,未进行 FEC。

利用公式(9)以服务率 c 为自变量计算出来的结果与文献[7]中采用传统无线链路模型所得的理论曲线以及仿真数据相比较的结果如图 7,8 所示。(所有数据都是只采用 ARQ,未进行 FEC。)

显然,不论是图 4 所示缓存区容量 x 为 300Bytes 的情况,还是图 5 所示缓存区容量 x 为 500Bytes 的情况,由公式(9)所得到的函数曲线与仿真结果符合得非常好(此时,所取参数为 $k_a=0.01, k_b=0.011, k_c=400, H=0.6$),而由传统理论所得到的理论曲线与仿真结果还有一定的差距。

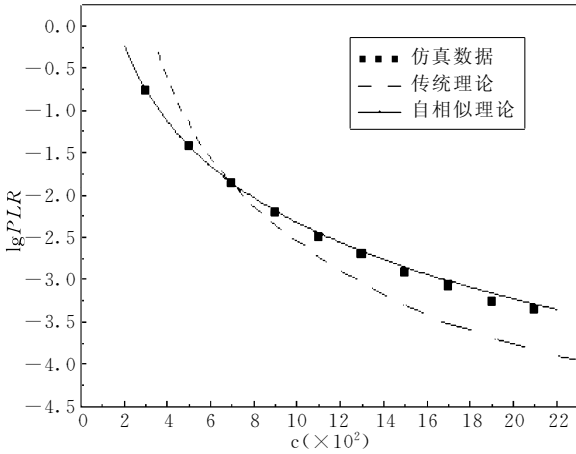


图 4 自相似分析曲线($x=300$ Packets)

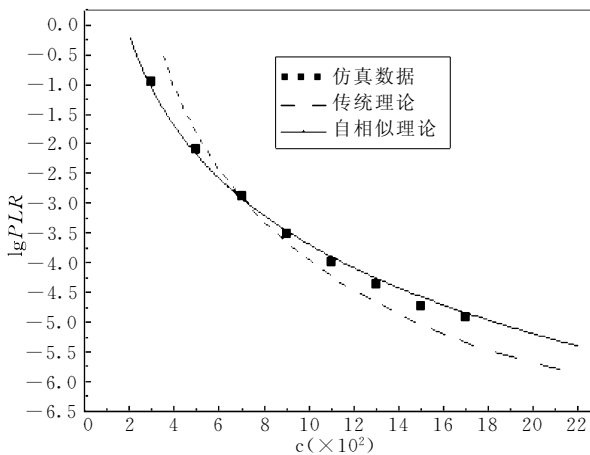


图 5 自相似分析曲线 $x=500$ Packets

如果利用公式(9)以缓存区容量大小 x 为自变量,则由公式(9)所得到的函数曲线就是图 2 中的自相似分析结果(所取参数保持不变,仍然为 $k_a=0.01, k_b=$

$0.011, k_c=400, H=0.6$)。

下面的图 6~11 是我们利用公式(9)计算信元丢失率(CLR)得到的计算结果(实线)与文献[8]中的传统理论计算结果(虚线)和仿真结果的比对结果(所取参数保持不变,仍然为 $k_a=0.01, k_b=0.011, k_c=400, H=0.6$)。

这里,之所以 Hurst 系数的值不高,只有 0.6,是因为在文献[7,8]中的仿真设置中,无线链路的输入都用 On-Off 流量模型来进行刻画,其 On 和 Off 时段符合均值分别为 $1/\alpha$ 和 $1/\beta$ 的指数分布,无线链路由两态马尔可夫 Gilbert-Ellioit 模型来表示。根据 Gilbert-Ellioit 模型,无线链路在“信道状态好”和“信道状态坏”两种状态间进行切换,信道状态处于“好”和“坏”的时段符合均值分别为 $1/\delta$ 和 $1/\gamma$ 的指数分布。而我们在 2.2 节所分析的实测结果和文献[9~12]中所研究的实测数据都表明实测网络的输入有长程相关性,不能简单地以指数分布描述。所以,实测结果的 Hurst 系数比指数输入的无线链路的 Hurst 系数要高。

即便如此,Hurst 系数的值等于 0.6 时就能够很好地描述公式(9)中各个变量之间的关系,这表明:即使是指数输入的无线链路也具有自相似性。

图 6~8 所对应的系数为 $d\omega K_a=0.009, d\omega K_b=0.011, d\omega K_c=400$ 。

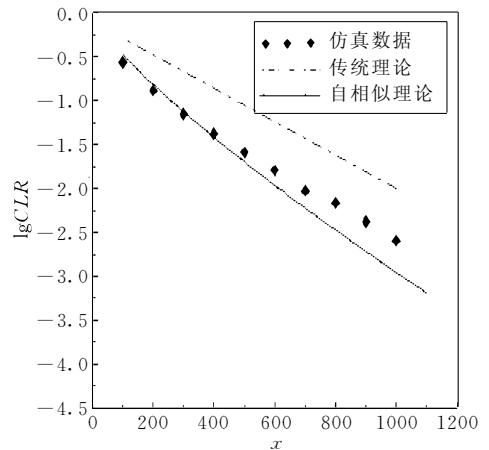


图 6 $c=400$ Cells/s 时的计算结果

图 9~11 所对应的系数为 $d\omega K_a=0.009, d\omega K_b=0.011, d\omega K_c=308$ 。

可见,利用自相似理论得到的公式(9)能够描述丢包率 PLR(或信元丢失率 CLR)与 Hurst 系数、缓存区容量大小和该无线链路服务率之间的函数关系,该近似公式的准确性甚至比文献[7,8]中基于传统无线链路模型所得出的理论曲线更能够符合仿真

结果.

另外,非常重要的一点是,所有文献中,利用传统理论推导所得到的函数关系(如文献[7,8])都非常复杂,应用起来十分不便.而式(9)就十分简洁,便于计算和实际应用.

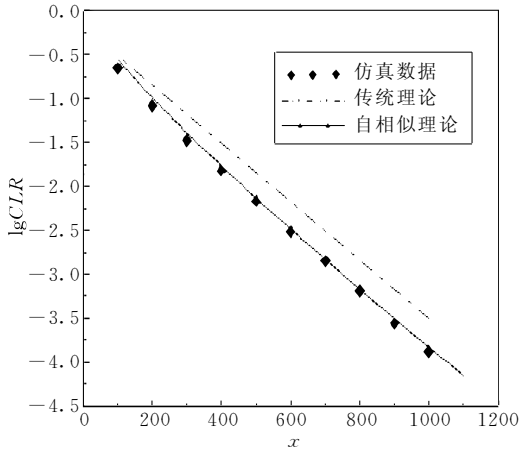


图 7 $c=500\text{Cells/s}$ 时的计算结果

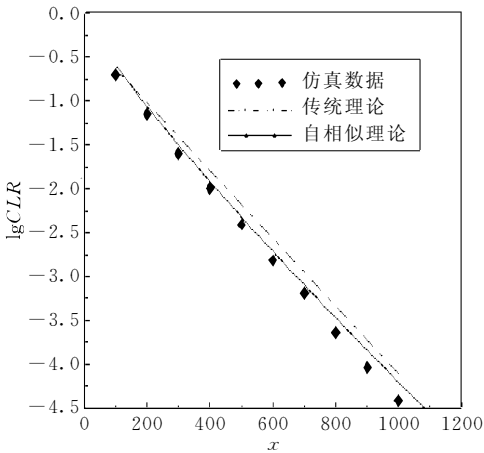


图 8 $c=550\text{Cells/s}$ 时的计算结果

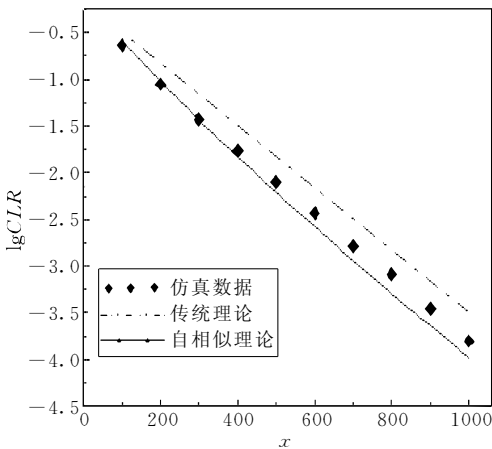


图 9 $c=400\text{Cells/s}$ 时的计算结果

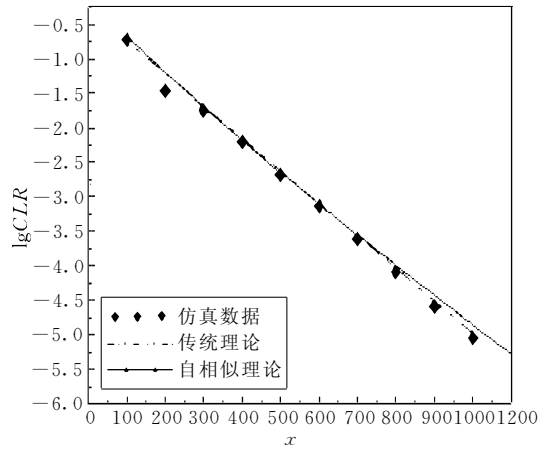


图 10 $c=500\text{Cells/s}$ 时的计算结果

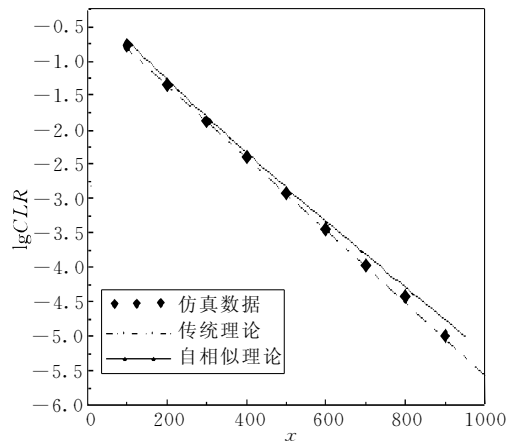


图 11 $c=550\text{Cells/s}$ 时的计算结果

4 结 论

通过一系列不同的网络特性测试和分析,本文发现 802.11 无线局域网以及连接两台无线设备的无线链路都呈现出显著的分形特性.进而对利用分形理论建立无线链路特性的数学模型进行了初步的尝试,给出并验证了丢包率 PLR 与 Hurst 系数、缓存区容量大小和该无线链路服务率之间的一个近似的计算公式.

今后,我们将在更复杂的情况下(如多个无线设备、多种网络业务,两个 802.11 BSS 通过有线骨干网互联等等)更深入地分析无线网络的网络特性,进而建立相应的无线网络特性数学模型.

参 考 文 献

- mittee. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. New York, USA, IEEE Std 802.11-1997. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997
- 2 Mohammadi A, Kumar S, Klymyshyn D. Characterization of effective bandwidth as a metric of quality of service for wired and wireless ATM networks. In: Proceedings of ICC. IEEE, 1997, 2:1019~1024
 - 3 Zukerman M, Hiew P L, Gitlits M. FEC code rate and bandwidth optimization in WATM networks. In: Everitt D, Rumsewicz M eds. Multiaccess, Mobility, and Teletraffic: Advances in Wireless Networks, Boston, USA: Kluwer, 1998. 207~220
 - 4 Chaskar H M, Lakshman T V, Madhow U. TCP over wireless with link level error control: Analysis and design methodology. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(5):605~615
 - 5 Krunz M M, Kim J G. Fluid analysis of delay and packet discard performance for QoS support in wireless networks. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1999, (6):329~343
 - 6 Kim J G, Krunz M. Delay analysis of selective repeat ARQ for transporting Markovian sources over a wireless channel. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000, 49(5):1968~1981
 - 7 Kim J G, Krunz M. Bandwidth allocation in wireless networks with guaranteed packet loss performance. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(3):337~349
 - 8 Kim J G, Krunz M. Effective bandwidth in wireless ATM networks. In: Proceeding of the IEEE/ACM MobiCom'98 Conference, 1998. 233~241
 - 9 Leland W, Taqqu M, Willinger W, Wilson D. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version). IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1):1~15
 - 10 Paxson V, Floyd S. Wide-area traffic: The failure of Poisson modeling. In: Proceedings of ACM SIGCOMM'94, London, UK, 1994. 257~268
 - 11 Willinger W, Taqqu M S, Sherman R, Wilson D V. Self-similarity through high-variability: Statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 5(1):71~86
 - 12 Willinger W, Taqqu M S, Leland W E, Wilson D V. Self-similarity in high-speed packet traffic: Analysis and modeling of Ethernet traffic measurements. Statistical Science, 1995, 10(1):67~85
 - 13 Jiang M, Trajkovic L. Impact of self-similarity on wireless data network performance. In: Proceedings of ICC2001 Helsinki, Finland, 2001. 477~481
 - 14 Tsybakov B S. Probability of heavy traffic period in third generation CDMA mobile communication. ACM Mobile Networks and Applications, Special Issue on Mobile Multimedia Communications, 2001, 6(5):27~34
 - 15 Norros I. On the use of fractional brownian motion in the theory of connectionless networks. IEEE/ACM Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13(6):953~942
 - 16 Stallings W. High-Speed Networks: TCP/IP and ATM Design Principles. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1998
 - 17 Tang D, Baker M. Analyzing wireless LAN [Ph D dissertation]. Stanford, California: Department of Computer Science, University of Stanford, 2000
 - 18 Elwalid A, Heyman D, Lakshman T V, Mitra D, Weiss A. Fundamental bounds and approximations for ATM multiplexers with applications to video teleconferencing. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1995, 13(6):1004~1016



WANG Nan, born in 1972, Ph. D. candidate. His current research interests include wireless communication and computer network.

HOU Zi-Feng, born in 1955, professor and the Chief Re-

searcher of the Lenovo Corporate Research & Development, Beijing. His current research interests include high-performance system architecture and wireless communication.

CHEN Jun, born in 1975, Ph. D. candidate. His research interests include wireless communication and wavelet.

SONG Jian-Ping, born in 1974, Ph. D. His current research interests include interconnection networks and wireless communication.