

基于 NS-2 的 Ad hoc 网络 QoS 仿真与研究

王建强^{1,2}, 吴辰文², 李晓军¹

(1. 兰州交通大学 交通运输学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 兰州交通大学 电子与信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: Ad hoc 网络在军事和民用领域具有广阔的应用前景。但由于 Ad Hoc 网络复杂的动态特性, 对 Ad Hoc 网络的 QoS 研究成为一个核心问题。在对 Ad hoc 网络性能、QoS 和 NS-2 仿真原理分析的基础上, 实现了基于 NS-2 的 Ad hoc 网络仿真平台, 借助此仿真平台对丢包率、吞吐量、端到端延迟、延迟抖动等进行了仿真分析。通过综合评价得知, 在 Ad hoc 网络节点同时移动的情况下, 各项参数受移动切换、节点移动速度及通信范围的影响较大。文中指出 Ad hoc 网络的 QoS 尚存在诸多不足, 有待于进一步的提高。

关键词: Ad hoc; 服务质量; 网络性能; NS-2

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)11-0183-04

QoS Simulation and Research of Ad hoc Network Based on NS-2

WANG Jian-qiang^{1,2}, WU Chen-wen², LI Xiao-jun¹

(1. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Ad hoc network has broad application prospect in military and civil field. However, due to the complex dynamic properties of the Ad hoc network, the QoS research of Ad hoc network is becoming a core issue. On the basis of the Ad hoc network performance, QoS and simulation principle of NS-2, realize the Ad hoc network simulation platform based on NS-2 and use the platform to analyze the packet loss rate, network throughput, end-to-end delay and delay jitter. By means of comprehensive evaluation, under the condition of simultaneous mobility of Ad hoc network nodes, the QoS parameters are greatly affected by mobile handoff, mobility speed of nodes and communication range. Finally point out that it has many deficiency in QoS of Ad hoc networks and need further improvement.

Key words: Ad hoc; QoS; network performance; NS-2

0 引言

Ad hoc 网络是由一系列可任意移动的无线节点组成的一个多跳的(Multi-Hop)、自创建(Self-Creating)、自组织(Self-Organizing)、自我管理(Self-Administering)的临时网络系统。该系统不依赖预设的基础设施(如基站)而临时组建, 可以通过无线连接构成任意的网络拓扑, 能够随时随地地快速构建起一个具有较强可抗毁性移动通信网络, 其应用场合主要有: 军事、公共安全和灾难救助(Public Safety and Disaster Recovery, PSDR)、智能交通系统(ITS)、个人通信与移动通信系统结合等方面。然而, 正是由于 Ad Hoc 网络不

可预测的链路特性、隐含终端问题、时变的无线传输带宽、难以维护的路由信息、有限的电池寿命以及网络安全等方面的问题, 常常引起网络性能不可预测的变化, 无法提供用户需要的 QoS。因此, Ad Hoc 网络服务质量(Quality of Service, QoS)的研究尤为关键^[1,2]。

1 Ad hoc 网络服务质量

1.1 Ad hoc 网络的 QoS 体系

在普适计算(Ubiquitous Computing)和普适通信(Ubiquitous Communication)环境中, Ad hoc 网络进行多媒体应用已经成为一个组成部分。将多媒体应用和移动 Ad hoc 网络综合在一起的一个重要的准则是提供端到端的服务质量(QoS)^[3]。

QoS 通常定义为把分组流从源节点传输到目的节点的时候网络必须满足的一个服务要求的集合。期望网络按照用户的要求提供一组可测量的、预定的服务属性, 一般包括时延、带宽、分组丢失率、延迟抖动等,

收稿日期: 2009-03-23; 修回日期: 2009-06-12

基金项目: 甘肃省自然科学基金资助项目(3ZS062-B25-006)

作者简介: 王建强(1980-), 男, 山东临沂人, 讲师, 研究方向为无线分布式网络路由协议及其应用; 吴辰文, 教授, 研究方向为计算机网络性能评价、无线分布式网络、网络安全。

对 Ad hoc 网络而言,还有功率消耗和服务覆盖范围两个属性。QoS 参数可以是凹面的(concave)或者可加性的(additive)。带宽就是凹面的,即指端到端带宽是一条通路上所有链路中最小的那一个;而时延和延迟抖动是可加性的,即端到端时延(延迟抖动)是一条通路上所有链路的时延(延迟抖动)的累加。从网络协议栈来看,QoS 各属性涉及到网络的多个层次,各部分之间密切协作^[4]。

1.2 Ad hoc 网络服务质量 QoS 分析

网络 QoS 控制的本质在于资源的管理,即控制缓冲队列、链路带宽等网络资源的分配和使用。网络 QoS 控制性能研究中的主要目标有:(1)网络的整体效率性能;(2)服务质量要求;(3)公平性。导致 Ad hoc 网络 QoS 变化的最主要因素是节点的频繁移动(其它因素有环境、干扰、节点失效等),在表面上移动导致了网络拓扑的频繁变化,而在本质上则影响到网络的各项 QoS 参数,如吞吐量、传输时延、丢包率和带宽,造成了网络性能的动态性和不可预测性。

网络节点的移动性可以通过现有的移动模型来进行描述。在对 Ad Hoc 网络性能的研究过程中,经常采用的移动模型有 Random Walk Mobility Model、Random Waypoint Mobility Model(RWPMM)、Random Direction Mobility Model 等^[5]。其中 RWPMM 是最常采用的移动模型,它的主要特点是网络节点是随机、近似均匀的分布在相应的仿真区域当中。每个移动节点(MN)在某一位置逗留一段指定的暂停时间(Pause Time, PT)后,便随机地选择另一方向,并以一个从最小和最大速度之间均匀选择的速度向新的位置移动。在到达目的地后,节点在一段指定的暂停时间内停止运动,之后节点再次选择一个随机的目的地并重复进行整个过程。

采用此模型进行仿真,网络的动态性表现在:

(1)节点密度:节点密度的变化依赖于平均速度和 PT。密度的增加意味着网络中路径增多,节点之间存在多条备用路径,提高了通信的可靠性,但同时出现的频繁交叉通信又会对网络的吞吐量、网络时延和丢包率等产生影响。

(2)节点移动速度:节点移动速度变化是网络动态性的核心,会相应造成网络的节点密度变化、网络拓扑变化,其结果是节点之间的有效路径生存时间缩短,吞吐量下降、网络时延和丢包率急剧增加。

(3)节点 PT:节点速度和间隔时间的关系较为复杂,快速移动的节点和较长的 PT 场景下的网络拓扑较之节点移动慢速、PT 较短的场景更为稳定。

在实际应用过程中,诸多因素的动态变化常常相互交织在一起,使节点之间的链路频繁地产生和消亡,

从而导致 Ad Hoc 网络性能的强动态性,难以进行测量和评价,这也正是 Ad hoc 网络 QoS 需要进行仿真研究的重要原因^[6]。

目前的研究表明,可以从诸多方面来有效提高 Ad hoc 网络的 QoS。文献[7]提出了一种无线跨层框架,通过对无线网络进行跨层设计来有效提高 QoS;文献[8]分析了在 Ad hoc 网络中按需路由协议对 QoS 参数的影响,通过仿真试验指出了 AODV 和 DSR 路由协议各自的特点及对 QoS 的影响情况。

2 Ad hoc 网络仿真

2.1 仿真技术概述

网络仿真技术能迅速地建立起 Ad hoc 网络的模型,并能够方便地修改模型进行仿真,使系统具备较好的灵活性和扩充性,为方案的验证和比较提供了可靠的依据。使用网络仿真技术可以将通信网络仿真与试验网相结合来研究通信网络的特定性能,为通信网络的规划、网络通信技术等提供定量分析工具。

当前主流的网络仿真工具主要有 Opnet、NS-2 和 Matlab,均提供了丰富的网络仿真模型库和高级语言编程接口。NS-2 是目前使用最广泛的仿真软件,是一个面向对象的基于离散事件驱动的网络仿真工具。它的源代码全部公开,提供开放的用户接口,可扩展,易配置。NS-2 的仿真描述语言是扩展的 TCL (Tool Command Language)。

2.2 NS-2 仿真平台搭建

仿真平台采用 NS-2,操作系统基于 Redhat Linux9.0,建立的仿真环境如图 1 所示。节点 0、1 和 2 用于测试 UDP-CBR 业务的 QoS 参数;节点 3、4 和 5 用于测试 TCP-FTP 业务的 QoS 参数。仿真过程中,信号传播模型为 TwoRayGround,移动模型为 RWPMM。通过节点 0 远离节点 1 移动、节点 2 靠近节点 1 移动,节点 3 远离节点 4 的移动和节点 5 靠近节点 4 的移动,对相关 QoS 参数进行分析。QoS 参数定义是进一

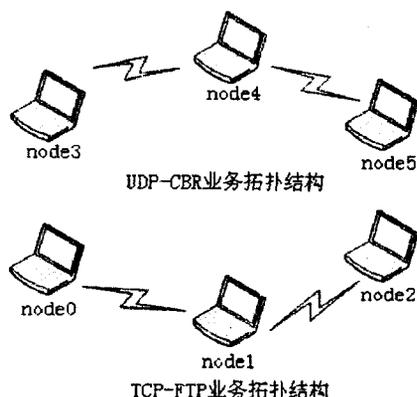


图 1 仿真场景网络拓扑图

步分析的基础,但目前尚没有一套定义完整、切实可行的 QoS 参数集,文中将采用目前较为通用的 QoS 参数定义进行相关分析^[9]。

3 仿真结果分析

3.1 丢包率

丢包率是指测试中所丢失数据包占所发送数据包的比率。图 2 反应了两项业务的丢包率情况。从 CBR1 业务和 TCP1 业务的丢包情况可以看出:节点自通信范围内逐渐移动至通信范围外的过程中,丢包率会逐渐的增大;而节点从通信范围外逐渐移动到通信范围内的过程中,丢包率会逐渐减小。

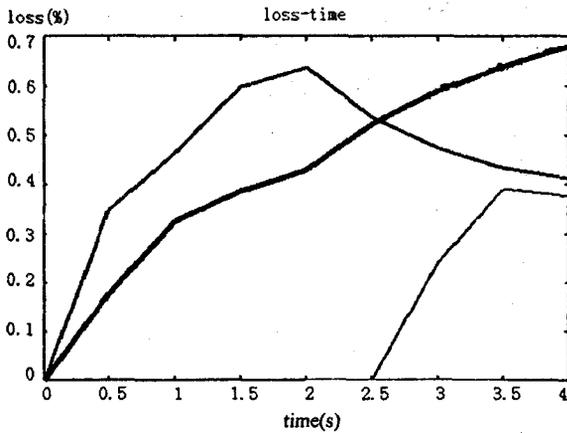


图 2 丢包情况

造成丢包的原因主要有:一是信号衰弱可能造成数据丢失,引起随机丢包;二是切换可能导致一段很短时间内许多数据的连续丢失,引起突发丢包;三是受链路误码率和传输的数据帧大小的影响,可能会造成误码丢包。另外,网络拥塞时,发送方和接收方采取流量控制,丢弃不能传送的数据,也会造成丢包现象的产生,从 CBR2 业务的前期丢包情况可以看出这一现象。

3.2 吞吐量

网络的吞吐量是指在不丢包的情况下单位时间内通过的数据包数量。计算吞吐量的计算较为复杂,模型是从第一个包发送后,每个包都叠加累算。图 3 表明了四项业务的吞吐量情况。从 CBR1 与 TCP1 业务的吞吐量变化情况可得出:在通信覆盖范围内,两个节点逐渐远离时,吞吐量会逐渐降低;从 CBR2 与 TCP2 业务的吞吐量变化情况可得出:在通信覆盖范围内,两个节点逐渐靠近时,吞吐量会逐渐变大;在通信覆盖范围边缘时,吞吐量比较低。影响吞吐量的主要因素有:一是链路的带宽和传输速率;二是网络拥塞;另外,吞吐量还与退避算法中的退避窗口初始值和退避时间阶数有关系。

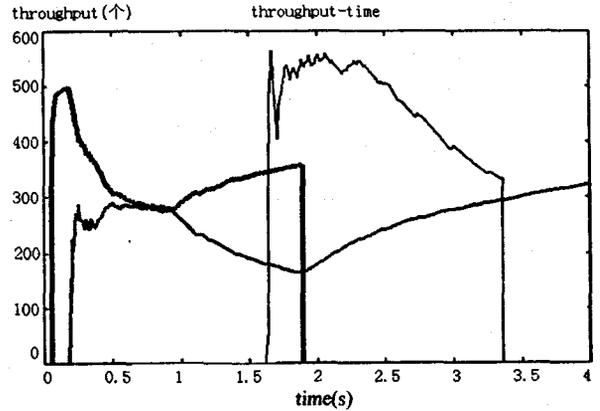


图 3 吞吐量情况

3.3 端到端延迟

端到端延迟主要是指数据从一个节点到对端节点传输所花费的时间差,这个时间不同于通常线路传输延迟,所表征的物理含义是信息从一端到对端实际花费的传输时间。图 4 给出了 UDP-CBR 业务的端到端延迟情况。造成端到端的延迟的原因主要有两个:一是传输延迟,另一个是切换延迟。传输延迟是指信息传输过程中,由于要经过的距离较远、一些故障或者网络繁忙导致传输如期到达目的端;切换延迟主要是由链路切换完前后的端到端的移动 IP 注册操作引起的。图 4 中转折点的出现,主要是由于切换延迟造成的;而对于通信覆盖范围内存在的延迟主要是由传输延迟造成的。

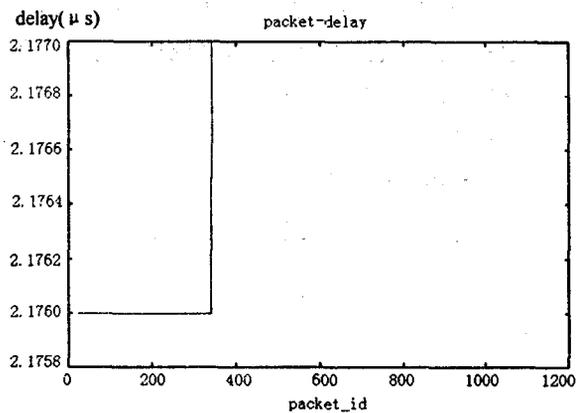


图 4 cbr 业务的端到端延迟

图 5 给出了 TCP-FTP 业务的情况。造成 TCP 业务延迟的主要原因有:TCP 传输机制要求各站点接收数据包后返回确认报文(ACK 包)。后向传输的 ACK 包(从发送方到接收方)与前向传输的 ACK 包(从接收方到发送方)竞争信道,造成通信信道拥塞。可以看到:在节点移动过程中,节点间的通信一直存在端到端延迟;在节点将要移入或移出另一个节点的通信范围时,端到端延迟会发生明显变化;从图 5 可以看出,节点 3 在移出节点 4 的通信覆盖范围之前,其延迟

会逐渐增大,直至离开通信覆盖范围;同样,节点 5 在能与节点 4 正常通信前,延迟也是增长的,这主要是因为节点 5 在发出探测通信区域的帧后,却迟迟没有得到回应而造成的,连接建立后延迟便趋于稳定了。

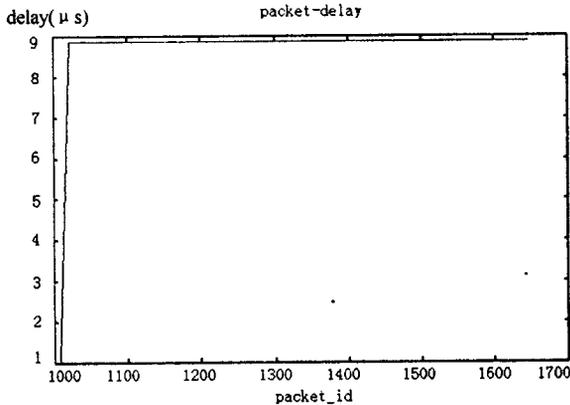


图 5 tcp1 业务的端到端延迟

3.4 延时抖动

延时抖动是指每发送两个有效包的时间间隔内每个包发生延迟的平均值^[9],所用的分析模型如式(1):

$$\text{抖动} = \frac{\text{封包 } n_2 \text{ 的延时} - \text{封包 } n_1 \text{ 的延时}}{n_2 \text{ 的包序号} - n_1 \text{ 的包序号}} \quad (1)$$

图 6 给出了两个 UDP-CBR 业务和两个 TCP-FTP 业务的延时抖动情况,可以从包延迟情况看出两个有效封包的延迟越大,该时间段内包的延时抖动也越大。图 6 中抖动变化明显的地方与延迟变化明显处一致,即节点在通信覆盖范围边界进行移动的时候, TCP 业务比 CBR 业务的延迟抖动要明显,这是由业务性质所决定的。因为 TCP 业务是有连接、有确认的端到端数据传输,而 CBR 业务是无连接、无确认的数据传输,所以延迟情况 CBR 业务优于 TCP 业务。

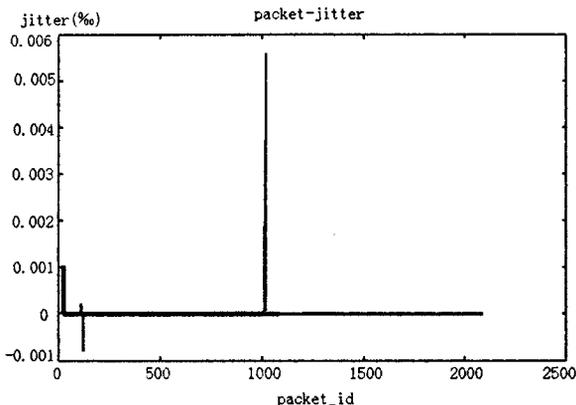


图 6 延时抖动情况

3.5 综合 QoS 评价

由于多目标性能研究的复杂性,目前对网络 QoS 控制的综合评价体系尚不完善,没有形成完整的理论体系。采用较多的是描述吞吐量和延迟间关系的网络

性能模型(Power 公式)及其改进式^[10],如式(2)。

$$\text{power} = \frac{\text{Throughput}^\alpha}{\bar{d}(\lambda)} = \frac{(\sum T_i)^\alpha}{\frac{1}{\lambda} \sum \lambda_i \bar{d}_i}, 0 < \alpha < 1 \quad (2)$$

此模型较好地评价了资源分配的有效性,可以看出,要提高网络资源分配的有效性就要尽量取较大的 Power 值,而这是一个随网络负载变化的函数。基于仿真结果依据(2)式进行推算可知,Ad hoc 网络的 Power 值与在同等传输条件的具备基站的 WLAN 相比要低的多,与近年来兴起的无线网状网(Wireless Mesh Network)相比就更低了。

4 结束语

Ad hoc 网络是一种极具应用前景的无线分布式网络,但是它的诸多动态特性却使其推广困难重重,能否满足用户的 QoS 需求成为待解决的核心问题。文中通过对 Ad hoc 网络的 QoS 参数进行分析,定量得出了节点的移动性对 Ad hoc 网络 QoS 参数的影响程度。当 MN 之间靠近时,延迟、丢包率和吞吐量等参数均有提升,反之会明显下降;并且当一个节点在另一个节点的通信覆盖范围边界移入或移出时,参数变化非常明显。依据 Power 公式的改进式得出,Ad hoc 网络的 QoS 参数尚不能满足大多数用户的业务需求,有待进一步的改进与提高。

参考文献:

- [1] 李 鸣,刘月阳. 三种无线分布式网络的比较[J]. 电信科学,2007(2):95-98.
- [2] Habib A, Fahmy S, Bhargava B. Monitoring and controlling QoS network domains[J]. International Journal of Network Management, 2005(15):11-29.
- [3] Wu H K, Chuang P H. Dynamic QoS allocation for multimedia ad hoc wireless network[J]. ACM Baltzer Mobile Networks and Applications, 2001, 6(4):377-384.
- [4] Chakrabarti S, Mishra A. QoS issues in ad hoc wireless networks[J]. IEEE Commun. Mag. 2001, 39(2):142-148.
- [5] 赵金晶,朱培栋. Ad Hoc 网络移动模型及其应用[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(5):15-17.
- [6] 王 伟,蔡皖东,田广利,等. Ad Hoc 网络性能测量分析[J]. 计算机科学, 2007, 34(1):71-73.
- [7] 张雪芹,周莲英. 无线网络的跨层设计[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(2):88-90.
- [8] 何昆鹏,李腊元. Ad Hoc 网络中按需路由协议的仿真与性能分析[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3):81-84.
- [9] 吴 迪. 基于网络仿真技术的网络性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [10] 吴辰文. 计算机网络测试技术及其性能评价[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2005.