

网络实验仿真与网络技术实践

李向丽, 李磊, 陈静

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450052)

摘要:探讨了网络仿真软件 NS 的工作原理和仿真机制, 通过一个算法实例说明了网络实验的仿真过程, 提出了进行网络实验仿真的方法和途径。利用 IP 协议路由选项和 TTL 字段, 进行了探测网络拓扑结构的实践。通过截获并分析网络信息, 加深了对网络协议的理解。

关键词:仿真; NS; NAM; 网络探测

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文献标识码: 1005-3751(2006)03-0074-03

Network Experiments Simulation and Network Technology Practice

LI Xiang-li, LI Lei, CHEN Jing

(School of Information and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The principle and mechanism of the network simulator (NS) are discussed and analyzed in this paper. Through an example, the simulation process of network experimentation is described, and a solution of doing network experimentation emulation is presented. Using route option and TTL field of IP protocol, have implemented network topology structure detection. Network protocols are understood deeply through capturing and analyzing network information.

Key words: simulation; network simulator; network animator; network detection

0 引言

“计算机网络”是计算机专业或其它相关专业的必修课程。计算机网络是一个非常庞大、复杂的系统, 该课程系统地、分层次地介绍计算机网络的基本概念和工作原理, 涉及到大量的网络协议和算法。如果能够借助于实验, 用直观生动的方式展示协议和算法的工作过程和运算结果, 则有助于初学者理解这些抽象的理论知识。

以前, 进行网络实验的途径方法有两种^[1]:

(1) 使用实际网络。开发周期长、成本高, 而且影响网络的正常运行。计算机网络是一个自适应系统, 一般情况下, 差错或拥塞现象可以避免, 较难看到一些网络现象。

(2) 搭建一个网络实验室。这种方法价格昂贵, 而且网络的升级换代周期很短, 花费巨大资金建立的网络实验室, 可能没用多久就面临着被淘汰的危险。

网络仿真环境不同于这两种方式, 它的环境参数及模块可以随意配置, 提供的是可重复、易控制的实验环境。在此平台上, 可以再现真实网络中的现象, 从而帮助学生更全面地理解网络行为, 更有效地对网络协议作出评价。

网络实践能力的培养是教学工作的一个重要内容。在实际网络环境中灵活运用系统工具和命令, 探索解决网络问题、解释网络现象的方法, 是教学工作的有意义尝试。

1 网络仿真器(NS)简介

多协议网络仿真器提供了多个抽象层次, 能够在一个广泛的范围内进行仿真。NS 提供了丰富的实验环境, 既可以对现有协议行为进行检测, 又能够在 NS 的基础结构上开发新的协议, 在控制环境下研究大规模的协议交互, 更容易对研究结果进行比较, 具有将现实网络中的通信和拓扑结合起来的能力, 同时有助于在控制条件下进行重复实验。

NS 是一个组合式的仿真网络测试平台, 它采用面向对象的建模技术, 是一个开放式的系统, 具有可重用性和可扩充性^[2]。用户通过程序编制从各种模型库中提取相关网络元素模块组建实验模型, 它使用两种程序设计语言: C++ 和 TCL。C++ 是一种面向对象的编译性高级程序设计语言, 逻辑表达能力强, 能方便地操作位、字节和分组, 执行速度快; TCL 是一种解释性脚本描述语言, 事物描述能力强, 但执行速度慢。NS 的内核, 由于其变动少, 与操作系统的底层交互多, 因而用 C++ 实现。对于实验模型的配置、参数的传递, 由于其改动频繁, 则使用 TCL 进行描述。

对于复杂协议, 它的一系列行为仅仅用一些总结性的性能数字表格, 不足以充分描述网络性质。可视化描述方法是一种网络性质动态表示方法, 使用户能够更好地学习协议, 也有助于实验的调试。NS 采用 NAM(Network Animator)作为网络仿真的可视化工具, NAM 是基于 TCL 的

收稿日期: 2005-06-06

作者简介: 李向丽(1965—), 女, 河南尉氏人, 副教授, 硕士, 研究方向为计算机网络、计算机系统结构。

网络动画演示工具,可以进行分组级或指定协议级的网络运行的动画演示。NAM 可以向用户动态演示网络在仿真过程中发生的事件,用户通过 NAM 能够更容易、更直观地理解网络仿真中的复杂行为。

进行仿真前,首先要分析涉及仿真的那一个层次。NS 仿真分两个层次:一个是基于 TCL 编程的配置、构造层次,利用 NS 已有的网络仿真元素实现仿真,只需要编写 TCL 仿真脚本;另一个层次是基于 C++ 和 TCL 编程的编译、配置层次,即若 NS 中没有所需的仿真元素,需要利用 TCL 和 NS 的接口类编程实现 NS 更新。

2 NS 仿真网络实验举例

最简单的仿真实验是“直接运行脚本”,使用 NAM 工具检测、跟踪协议行为^[3];进一步,是简单地修改仿真脚本,设计新的实验环境。例如:把路由器排队策略从丢尾 DT 算法变为随机早期检测 RED 算法,改变链路传播时延,并观察结果等等;最复杂的情形是进行第二层次的开发,用 C++ 修改已存在的协议算法模块。

下面是一个使用 NS 进行网络仿真的简单例子。

2.1 TCP 拥塞控制中的慢启动算法

```
initialize; Congwin = 1;
for (each segment ACKed)
    Congwin ++;
until ((loss event) OR (CongWin ≥ threshold))
```

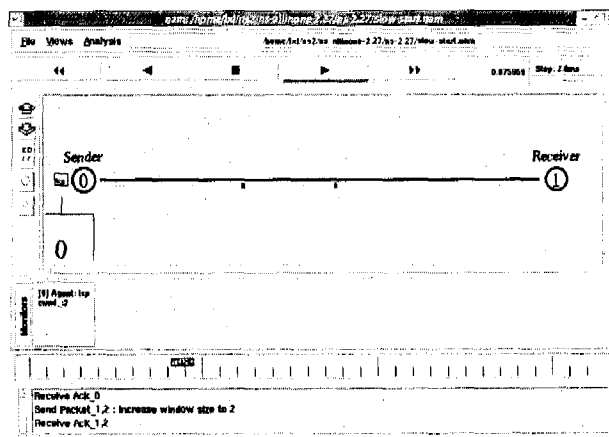
2.2 仿真慢启动算法的 TCL 脚本

首先在脚本中创建一个新的仿真器,定义网络拓扑结构,包括节点和链路的创建(例如节点 n0 和 n1),以及链路的带宽和队列类型^[4](例如丢尾或 RED)。打开一个 NAM 文件,记录 NAM 的跟踪数据。这里不再介绍其它细节,只是描述慢启动算法的主要过程。

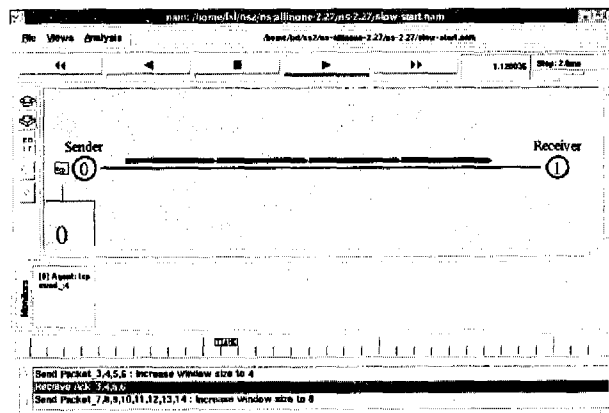
```
$NSat 0.0 "$NStrace - annotate \"Slow Start with maximum
window size 8 (normal operation)\" \"
$NSat 0.05 "$NStrace - annotate \"FTP starts at 0.1\" \"
$NSat 0.11 "$NStrace - annotate \"Send Packet_0 : Initial
window size = 1\" \"
$NSat 0.34 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_0\" \"
$NSat 0.56 "$NStrace - annotate \"Send Packet_1,2: Increase
window size to 2\" \"
$NSat 0.79 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_1,2\" \"
$NSat 0.99 "$NStrace - annotate \"Send Packet_3,4,5,6 : In-
crease window size to 4\" \"
$NSat 1.23 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_3,4,5,6\" \"
$NSat 1.43 "$NStrace - annotate \"Send Packet_7,8,9,10,
11,12,13,14: Increase window size to 8\" \"
$NSat 1.67 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_7,8,9,10,
11,12,13,14\" \"
$NSat 1.88 "$NStrace - annotate \"Send Packet_15,16,17,
18,19,20,21,22: Keep maximum window size, 8\" \"
$NSat 2.11 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_15,16,17,
18,19,20,21,22\" \"
```

```
$NSat 2.32 "$NStrace - annotate \"Send Packet_23,24,25,
26,27,28,29,30...Keep maximum window size, 8\" \"
$NSat 2.56 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_23,24,25,
26,27,28,29,30\" \"
$NSat 2.78 "$NStrace - annotate \"Send Packet_31,32,33,
34,35,36,37,38...Keep maximum window size, 8\" \"
$NSat 3.00 "$NStrace - annotate \"Receive Ack_31\" \"
```

运行 slow-start.tcl 脚本后,产生了 slow-start.nam 文件,使用 NAM 用动画形式演示慢启动算法的执行过程。图 1 是所截取的慢启动算法仿真过程中的两个画面。图(a)说明了接收站(节点 1)向发送站(节点 0)返回的两个 ACK;图(b)说明了节点 0 收到两个 ACK 后,拥塞窗口增加到 4,接着发送了 4 个 TCP 报文。通过 NAM 动画演示,使学生对 TCP 的慢启动算法有了进一步的理解。



(a) 收到两个确认 ACK



(b) 发送 4 个 TCP 报文

图 1 慢启动算法仿真过程片段

3 网络实用技术实践

为了帮助学生理解网络拓扑结构、子网划分、数据报流动等网络知识,设置了网络拓扑结构探测实验;为了设计网络安全,以及为网络性能分析奠定基础,使用网络工具截获网络数据报,进而对其进行分析,进一步理解协议规则;利用路由器仿真器设置配置环境,不需要购置路由器就可以掌握配置路由器的主要技术。

下面简要介绍两个实践例子。

3.1 网络探测工具

路由跟踪的基本方法有两种:一是利用 IP 首部的记录路由选项记录路由,二是利用 IP 首部的 TTL 字段获取路由。将这两种跟踪路由的方法有效地结合起来就可以进行网络拓扑结构的探测。

(1)利用 IP 首部的记录路由选项记录路由。

IP 数据报首部由两部分构成,20 字节的固定部分和最长 40 字节的选项部分。记录路由选项是 IP 协议定义的 6 种选项之一。该选项格式如图 2 所示。

code:7	长度	指针
第一站 IP 地址		
.....		
最后一站 IP 地址		

图 2 记录路由选项格式

最初指针字段指向第一站 IP 地址,当 IP 数据包到达第一站时,路由器将自己的 IP 地址填入,并将指针后移,指示第二站应该填写的位置。以此方法,逐站记录 IP 路由。这种方法记录的路由是发送数据报的接口的 IP 地址。由于选项字段最长 40 字节,这种方法最多记录 9 站路由^[5]。

(2)利用 IP 首部的 TTL 字段获取路由。

IP 首部的 TTL 字段的作用是控制 IP 数据报通过的路由的最大跳数,每经过一站路由,路由器将 TTL 字段减 1。当 IP 数据报的 TTL 字段为 0 时,路由器不转发该数据报,而是回送源站一个 ICMP 超时差错报文^[5]。

利用这个特性进行路由跟踪的基本过程是:首先源站发送一个 TTL 值为 1 的 IP 数据报到目的端,路径上的第一个路由器收到此数据报后,将 TTL 值减 1,此时 TTL 值为 0,路由器回送源站一个 ICMP 超时差错报文。源站收到该差错报文后,即可解析出产生此差错报文的路由器 IP 地址,接着源站再发送 TTL 值为 2 的 IP 数据报,来获取第二站路由。以此类推,直至 IP 数据报到达目的端,目的端主机不回送 ICMP 超时差错报文。由于路由器回送 ICMP 超时差错报文时使用的是收到 IP 数据报的网络接口,使用这种方法获得的路由是接收数据报的接口的 IP 地址。

Windows 提供的命令行工具 ping 和 tracert 分别利用了以上两种方法进行路由跟踪。带有 -r 参数的 ping 命令,利用 IP 记录路由选项记录数据报的出口地址。tracert 命令利用 TTL 字段和 UDP 报文获取数据报的入口 IP 地址。结合 ping 和 tracert 的运行结果,可以进一步推测出网络拓扑结构。

3.2 探测网络拓扑结构举例

在 IP 地址为 192.168.2.10 的主机上,分别使用 ping 和 tracert 命令进行测试。

运行命令“ping -r 9 192.168.4.10”后,得到数据报经过的出口路由为:192.168.1.7,192.168.1.5,192.168.1.8,192.168.4.1,192.168.4.10...;运行命令“trac-

ert 192.168.4.10”后得到数据报的入口路由为:192.168.2.1,192.168.1.8,192.168.1.6,192.168.4.10。根据命令运行结果可画出网络的部分结构。利用子网划分的知识,判断子网大小,并测试一些典型的 IP 地址,就可逐步得到如图 3 所示的网络拓扑结构。

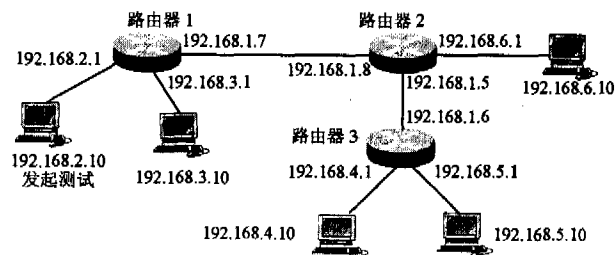


图 3 网络结构探测结果示例

3.3 网络数据报分析

Ethereal 是一个为 Unix 和 Window 操作系统而设的免费网络协议分析器。它允许用户查看从活动网络或从磁盘上截获的文件,可以浏览被截获的数据,查看每一数据报的摘要或详细信息。

Ethereal 的主界面窗口分成 3 个部分:最上面的窗口为数据报文列表窗口,用来显示截获的数据报文的总结性信息,主要包括数据报文源地址、目的地址、协议类型、数据等信息;中间窗口为协议树窗口,用来显示选定的数据报文的协议信息,如 MAC 地址、IP 地址、UDP 端口号,以及协议的具体内容;下边窗口是以十六进制形式表示的数据报文内容窗口,用来显示数据报文在物理层上传输时的形式。使用时,一般在数据报文列表窗口上单击一个数据报文,然后在协议树窗口上查看这个报文的内容,还可以对数据报文内容窗口的十六进制数据进行分析。

通过对 Ethereal 获取的数据报文的分析,可以更直观地了解网络数据报文的分层封装结构,更深入地分析报文的报头结构,了解各字段的值及意义,从而加深对协议的理解。例如:使用 Ethereal 截获 TCP 建立连接时的数据报文,可以更好地理解三次握手机制和 TCP 协议的各个标志字段。从截获的数据报中可以直接观察到 TCP 的各个标志字段的值。

4 结束语

NS 不仅是用于网络协议性能评价的工具,也是进行网络辅助教学的工具。利用 NS 作为网络实验仿真工具, NAM 作为可视化演示工具,能够利用 NS 的强大仿真能力进行网络实验仿真,加深了对网络协议和算法的理解。

网络实验仿真弥补了网络教学过程抽象、枯燥的缺点,形象化地演示网络工作过程,可以解决因实验设备不足,仅靠教师人为推导理论结果进行教学的窘态,带给学生“真实”的网络环境。探测网络拓扑结构、截获并分析网络信息的实践,有助于理解实际网络中的现象,培养学生的学习兴趣,达到了锻炼学生实践能力的目的。

(下转第 79 页)

88个,交易的平均长度(平均包含的商品种类数)为6个。实验用微机为联想台式机:P42.6G,512M内存;Windows 2000操作系统环境。实验结果如图1、图2所示。

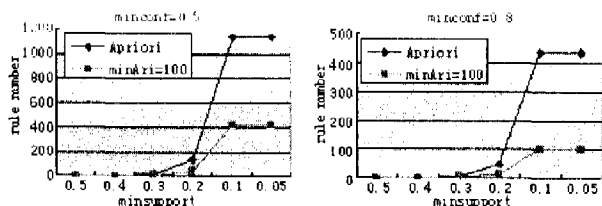


图1 应用不同支持度的规则数

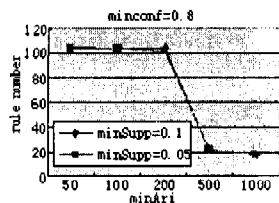


图2 应用不同ARI的规则数

上述实验结果显示:

- (1) 在不考虑可信度约束时,ARI度量标准的剪枝效果较好,剪枝率(使用ARI度量标准进行规则挖掘时,去除的规则数占总规则数的比例)保持在50%左右;
- (2) 在支持度阈值较高时(>0.2)剪枝效率不明显;
- (3) 当可信度阈值较高和支持度阈值保持较低水平时,剪枝效率较高,剪枝率保持在大于60%;
- (4) 当保持较高可信度(≥ 0.8)、较低支持度(≤ 0.1)时,设定较高的ARI阈值(≥ 300)比设定较低的阈值的剪枝效率更高;
- (5) 在任何可信度阈值情况和保持支持度较低时(≤ 0.1),在以某一值为分界点的较低兴趣度阈值或较高兴趣度阈值范围内,各种兴趣度阈值情况下的剪枝效果差别不明显(该分界点根据不同的领域而变化)。

3 结论与下一步的工作

通过对实验结果的分析,发现对购物篮数据进行关联规则挖掘分析时,通过设计合理的数据结构与算法,在支持度-可信度框架的基础上,引入关联规则兴趣度量方法ARI,可以在保持时间性能不降低的前提下明显减少规则的数量,达到提高挖掘效率的目的。

下一步的工作准备在ARI度量基础上引入卡方检验,在频繁项集产生的过程中寻找更加简洁的闭合频繁相关项集,以减小产生规则的项集空间,提高挖掘过程的效率;结合领域知识寻找对可信度阈值、支持度阈值、ARI阈

值进行规范计算的策略与途径。

参考文献:

- [1] Han jiawei, Kamber M. Data Mining - concepts and techniques[M]. San Francisco, CA: High Education Press, Morgan Kaufman Publishers, 2001.
- [2] Agrawal R, Imielinski T, Swami A. Mining Association rules between sets of items in large databases[A]. In Proc 1993 ACM - SIGMOD Int Conf Management of Data (SIGMOD '93)[C]. Washington D. C.: [s. n.], 1993. 207 - 216.
- [3] Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules in large database[R]. Technical Report FJ9839, San Jose, CA: IBM Almaden Research Center, 1994.
- [4] Tan P, Kumar V. Interestingness Measures for Association Patterns: A Perspective[R]. Technical Report # TR00 - 036, Department of Computer Science, University of Minnesota, 2000.
- [5] 周欣,沙朝锋,朱扬勇,等. 兴趣度-关联规则的又一个阈值[J]. 计算机研究与发展, 2000, 37(5): 627 - 633.
- [6] Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules[A]. In Proc. of 20th Int Conf Very Large Databases (VLDB'94)[C]. CA: [s. n.], 1994. 487 - 499.
- [7] Piatetsky - Shapiro G. Discovery, Analysis, and Presentation of Strong Rules[A]. In Piatetsky - Shapiro G. Knowledge Discovery in Databases[C]. California: AAAI/MIT Press, 1991. 229 - 248.
- [8] Brin S, Motwani R, Silverstein C. Beyond market baskets: Generalizing association rules to correlations[A]. In: Proc of 1997 ACM SIGMOD Int'l Conf on management of Data[C]. Tucson, Arizona, UAS: ACM Press, 1997. 265 - 276.
- [9] Aggarwal C C, Yu P S. A new framework for itemset generation[A]. In Proc 1998 ACM Symp Principles of Database Systems (PODS'98)[C]. NY: [s. n.], 1999. 18 - 24.
- [10] Ahmed K M, El - Makky N M, Taha Y. A note on Beyond market basket: Generalizing association rules to correlations [Z]. In: Fayyad U. ACM SIGMOD Explorations Newsletter, 2000, 1(2): 46 - 48.
- [11] Chen M S, Han J, Yu P S. Data mining: An overview from a database perspective[J]. IEEE Trans Knowledge and Data Engineering, 1996, 8: 866 - 883.
- [12] Freitas A A. On rule interestingness measures[J]. Knowledge - Based Systems, 1999, 12(5 - 6): 309 - 315.
- [13] 杨建林,邓三鸿,苏新宁. 关联规则兴趣度的度量[J]. 情报学报, 2003, 22(4): 419 - 424.

(上接第76页)

参考文献:

- [1] 李敏,李仁发,杨大山,等. 基于虚拟原型技术的虚拟网络实验室[J]. 计算机工程与应用, 2002(7): 151 - 153.
- [2] 徐雷鸣,庞博,赵耀. NS与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003. 56 - 125.
- [3] 黄筱俊,郑善贤. 基于NS的移动网络仿真研究[J]. 微机发展, 2004, 14(5): 25 - 27.
- [4] 吴仕浩,林庆华,胥布工. 网络仿真器NS-2及其一个应用实例[J]. 计算机仿真, 2004(7): 96 - 98.
- [5] Stevens W R. TCP/IP详解卷1: 协议[M]. 北京:机械工业出版社, 2000. 61 - 81.