

网络仿真平台的设计与实现

文宏, 念其锋, 向德生

(湖南科技大学 计算机科学与工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:在分析国内外经典网络仿真平台的基础上,从实际需求出发,以C语言及Java语言为开发工具,介绍了一个通用网络仿真平台的设计与实现。通过指导学生进行网络仿真平台的开发,能够加强学生对计算机网络基础理论的理解,锻炼他们独立从事较大软件设计与开发的能力。

关键词:网络仿真实验;网络仿真平台设计;软件开发;教学研究与改革

中图分类号:G64

文献标志码:A

文章编号:1674-5884(2018)01-0061-05

当前互联网技术、尤其是移动互联技术及其相关应用的飞速发展,给人们的生活和工作带来了巨大的变化,也为计算机、网络工程以及相关专业的学生提供了更多的机遇,但同时对他们的理论基础和工程实践能力提出了更高的要求。对于高年级本科生以及研究生而言,在进行计算机网络课程学习时,都缺乏一个相关的平台来深入了解网络的运行机制及基本原理,所学理论知识难以与实际应用结合起来,其后果就是学生的理论基础与工程能力都难以满足社会的需求。本文介绍了一个通用网络仿真平台的设计与实现过程,并应用该平台进行网络实验。通过指导学生从实际需求着手,在平台的总体设计、关键数据结构设计、不同功能模块的构造等方面进行分析,可以锻炼学生的实践动手能力,全面加深学生对计算机网络理论的理解,加强学生的软件项目组织实施能力。

1 国内外网络仿真平台现状分析

由于网络仿真平台有着资金投入小、应用广泛而灵活、人机交互能力强等特点,从50年代网络产生到今天,人们一直在努力构造各种基于不

同应用的虚拟网络实验平台。国外著名大学和研究机构如UC Berkeley、UCS、Cornell、AT&T等,都将网络仿真技术广泛应用于教学与科研领域,取得了不少成果。其中有较大影响的网络仿真软件有^[1-4]:NS2、OPNET、REAL、MARS等。它们使用不同的建模方法,围绕各自的目标建立了众多网络元素模型。这其中最具代表性的就是NS(Network Simulator),它是VINT(Virtual InterNetwork Testbed)项目的核心。VINT项目是在美国国防部高级研究计划局(DARPA)资助下,由USC/ISI, XeroxPARC, LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory), UC Berkeley等著名大学及科技公司协同开发的项目。该平台主要被用来研究传输层和应用层的协议、网络层的组播协议以及其他网络问题,为用户提供了一个很好的虚拟网络实验平台。

NS是一种可扩展、易配置、可编程的事件驱动的网络仿真软件。NS的特色在于使用两种程序语言的架构,如图1所示,底层采用C/C++来处理诸如报文转发等需要较高的处理速度的工作;上层使用Tel这类解释语言来设定不同的网络环境、动态改变协议的参数;NS透过tclcl来联

收稿日期:20171114

基金项目:湖南省学位与研究生教育教学改革研究项目(JG2015B090);湖南科技大学博士科研启动基金(E51789);2016年湖南省普通高等学校教学改革研究项目(1076);2017年湖南省普通高等学校教学改革研究项目(237)

作者简介:文宏(1974-),男,湖南常德人,副教授,博士,主要从事计算机网络理论及应用研究。

系两种语言之间的变量及对象。这样的结构使得 NS 成为兼具高效能与高弹性的网络仿真软件。

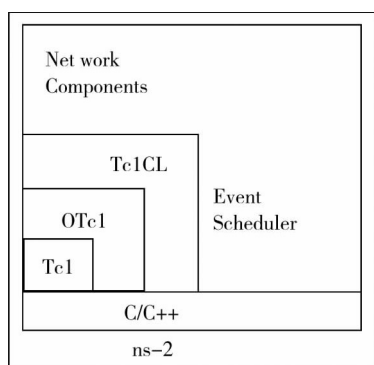


图 1 NS 的软件体系结构

从 90 年代中后期开始,国内的高校也开始了网络仿真技术的研究。其中如国防科技大学、浙江大学、湖南大学等都围绕 VINT 技术展开了深入的研究与广泛的应用。在独立开发设计网络仿真平台方面,如南京邮电大学、华中科技大学、西安电子科技大学等高校都进行了有自主知识产权的网络仿真平台开发^[5-8]。此外,中国科技大学、国防科技大学等高校在网络仿真平台的教学研究与改革方面也取得了一定的成果^[9-10]。对网络仿真平台进行学习与开发,不但能培养基础扎实、动手能力强的学生,同时也能提升教师的科研教学水平。

2 通用网络仿真平台的设计

考察 TCP/IP 协议栈以及 NS 等仿真软件的结构,我们发现,在设计一个网络仿真软件时,首先,应确定整个软件的组成结构,在综合考虑软件需求以及效率、易操作性的基础上,确定开发所需语言;其次,网络的功能简单讲就是将报文从源节点转发至目的节点,所以网络仿真中的过程主要是围绕着 2 大元素进行:一个是报文,一个是网络节点(路由器),故而这 2 个主要元素的数据结构如何设计是仿真平台开发的关键所在;再次,应考虑各功能模块的设计,如网络生成模块、路由模块、数据统计模块等等;最后,需要将所有功能模块整合,完成仿真平台的设计开发以及测试。

2.1 平台功能界面

借鉴 NS 的设计方法,综合考虑仿真效率及平台易操作性,从效率的角度出发,选用 C 及

C++ 语言作为底层网络仿真语言,用以构造不同的网络模型、流量模型以及模拟网络流量转发的过程,同时进行不同选路算法下的网络仿真,并将数据写入相关文件。对于上层人机交互界面,我们充分考虑平台的易操作性和直观性,选择 Java 语言设计仿真平台人机界面,主要包括系统设置(网络及流量模型更改及选择、网络参数设置)、仿真模拟、网络分析(网络拓扑特性分析)以及数据分析(数据收集及分析、图形绘制)等功能。整个仿真平台的主界面如图 2 所示。



图 2 网络仿真平台主界面

2.2 关键数据结构设计

本文并不试图构造一个与 NS 功能类似的计算机网络仿真平台。NS 平台发展至今已经是一个非常成熟的计算机网络仿真平台,其功能基本涵盖了端主机 TCP/IP 协议栈的大部分协议,路由器中的各种路由协议及队列管理算法等主要内容,但是其软件组成结构复杂,代码量庞大。由于当前许多实际网络都具备各种不同的复杂网络特性^[11],本平台主要考虑设计成一个通用的复杂网络仿真平台,试图对当前具备各种复杂网络特性的现实网络进行网络动态特性分析、网络性能、路由策略优化等方面的工作。该平台将以网络节点(相当于互联网中的路由器)和报文为基本要素并构建其数据结构,目的在于能够记录报文所经过的路径、时间以及下一跳节点等主要统计数据,同时使节点能保持其报文队列,以便随时统计节点处报文数量等数据。有了这些统计数据,我们就能够分析网络拓扑结构、路由策略、网络物理特性对网络性能的影响,制定相应的优化方法来提升网络性能,防止网络拥塞。节点及报文的数据结构设计如图 3 所示。

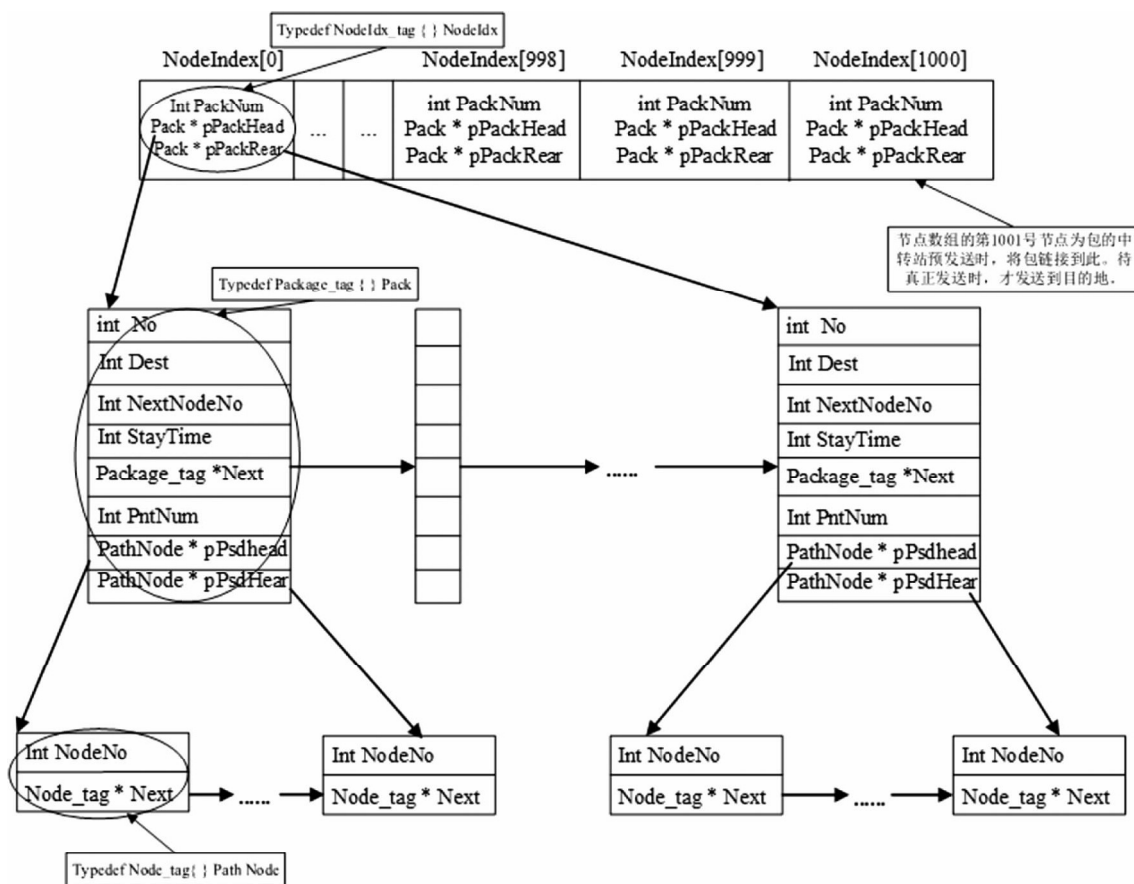


图3 仿真平台关键数据结构

其中,网络节点信息以数组的形式存储,设置长度为 $PNTNUM + 1$ 的一维数组 $NodeIndex[]$,前 $PNTNUM$ 个元素保存了网络中 $PNTNUM$ 个节点的信息,最后 1 个节点作为发送节点。数组中的每个元素包含着该节点处的 1 个报文链表,报文链表中的每一个元素即为一个报文结构,该结构主要包含源目的节点号、下一跳节点号、报文经历的时间步和节点个数以及报文所经过的节点路径等信息。根据这些数据,我们可以在网络拓扑、网络物理特性、路由策略已经确定的基础上,初步计算出平均报文路径长度以及路由时间、网络的容量等能够体现网络性能的指标性数据。

3 网络仿真实验

3.1 仿真实验过程

实验过程如图 4 所示,可分为如下几个步骤进行:1) 建立网络模型,这一过程需要使用者根据需求设计完成各种不同的复杂网络模型;2) 构造流量模型,即设置网络节点产生报文的速率、报

文的源节点及目的节点等;3) 选择路由策略,生成节点处所需的报文转发路由表;4) 进入仿真实验,即报文从源节点经过中间节点到达目的节点的过程,同时生成各种所需统计数据;5) 当仿真完成后,将生成的各种统计参数写入文件中,以供研究者进行数据分析。

当一次实验完成后,我们可以根据实验结果来分析网络性能的优劣,然后对网络模型、流量模型以及路由策略进行修改及优化,该平台可用于研究不同网络拓扑、流量产生方式及路由策略对网络动态特性以及网络性能的影响。

3.2 应用实例

实验环境设置:首先构造一个 1 000 个节点的具有 BA 无标度特性的网络模型,然后设置流量模型:网络在每时间步 (timestep) 中产生 R 个源目的节点随机生成的报文(依次递增),节点的转发能力可设置。每时间步节点将检查缓存中的数据包,如果数据包的目的节点是本身则删除该数据包,记录相关内容,如果是等待转发的数据包,节点将按相应的路由策略(如公式 1 所示)转

发给其邻居节点之一。

$$p_i = \frac{\frac{c_i^\alpha}{(n_i + 1)^{1-\alpha}}}{\sum_j \frac{c_j^\alpha}{(n_j + 1)^{1-\alpha}}} \quad (1)$$

其中, c_i 为节点 i 的处理能力, 这里可以设 $t = 1$,

则 $c_i = k_i \cdot n_i$ 为接受转发报文的节点 i 的报文队列长度(报文数量)。公式下半部求和符号表示对转发报文节点的所有邻居节点的函数值求和。由于节点数量较大, 无法绘制真实拓扑图, 只能给出其统计特性如图 5 所示。

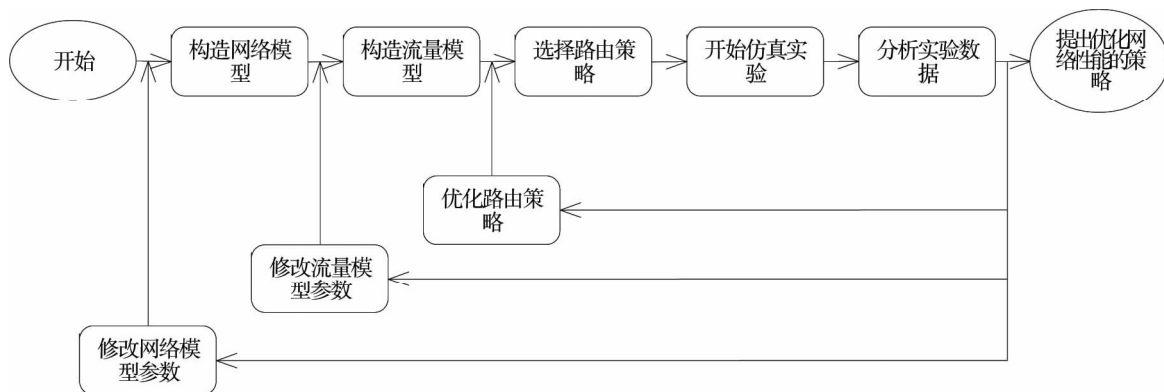


图 4 仿真实验过程

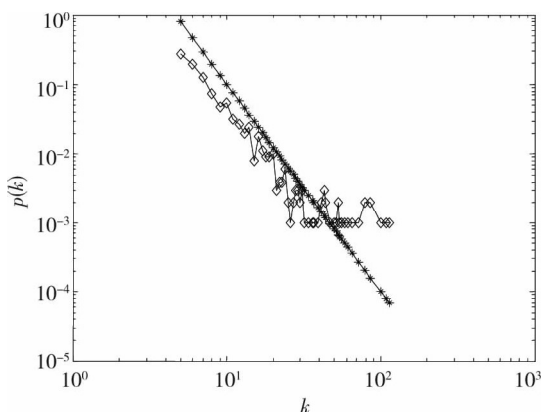


图 5 BA 网络度分布

图 5 展示了一个具有重尾分布的幂率函数曲线, 详细的数据统计显示, 大部分节点只具有较小的节点度, 而极少部分节点具有较大的节点度。节点度在 5 ~ 10 之间的节点数为 769 个, 节点度在 11 ~ 20 之间的节点数为 168 个, 节点度在 21 ~ 30 之间的节点数为 30 个, 节点度在 31 ~ 100 之间的节点数为 31 个, 节点度在 100 以上的节点数为 2 个。从节点度分布可以看出, 绝大部分节点度数较小, 意味着其所能连接的节点数目少, 那么在报文结果路由转发时, 通过这些节点直接到达目的节点的可能性较低; 但是网络中还存在着极少度数很大的节点, 这些节点连接了大量小度

值节点, 从而使得经过它们的报文有很大概率到达目的地。

图 6 绘制了路由策略中参数 α 的值与网络容量 R_c 的对应关系。从图 6 可以看出, 当 α 减至 0.5 时, 即使再减小 α 值也不能显著增加网络容量, 说明该网络的容量的理论极限即为 $R = 120$ 左右。

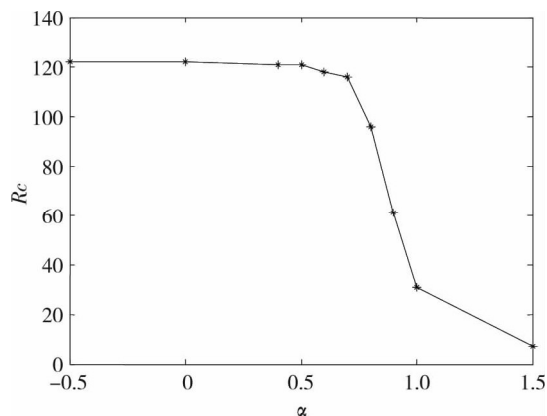


图 6 α 与网络容量关系

以上以一个实验为例对平台的仿真过程及数据分析进行了说明, 学生可以尝试以上述开发过程为模板, 设计构造一个较为简单的网络仿真平台, 加深对网络理论的理解以及锻炼自己的工程能力。由于平台是在相关研究性自由软件的基础

上进行改进设计的,所以从实用的角度看,目前平台在人机界面、数据自动分析方面还有所欠缺,并且网络模型、流量模型、路由算法、队列算法、拥塞控制机制等方面的设计还比较单一,有大量的工作有等待进一步完善。

4 结语

本文分析了国内外高校设计开发及使用网络仿真平台的现状,以一个通用网络仿真平台的开发及使用为任务目标,从平台组成结构及开发语言选择、关键数据结构设计、功能模块划分、应用实例等几个方面进行了详细介绍,以探索计算机网络课程理论与实践相结合的教学新途径,提高学生学习的积极性,全方位培养计算机类毕业生的综合能力。指导学生进行网络仿真平台的设计与开发,能够合理利用资源,缩小教学改革成本,不仅可以促进学生对网络理论的理解,锻炼学生的工程能力,也有利于提高教师自身的科研教学水平。

参考文献:

- [1] Kevin Fall, Kannan Varadhan. NS Notes and Documentation[EB/OL]. [2017-08-12]. <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>.
- [2] 王文博,张金文. OPNET Modeler 与网络仿真[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [3] Keshav S. REAL 5.0 User Manual[EB/OL]. [2017-08-20]. <http://www.cs.cornell.edu/skeshav/real/user.html>.
- [4] Alaettinoglu C, Shankar A U, Dussa-Zeiger K, Matta I. Design and implementation of mars: a routing testbed[J]. Internetworking: Research and Experience, 1994(5):17-41.
- [5] 刘宁. 大规模无线 Mesh 网络安全协议仿真平台的设计和实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2011.
- [6] 朱佳. 网络路由仿真平台的设计与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2009.
- [7] 李丰. 下一代无线网络仿真技术与模块设计[D]. 南京:南京邮电大学, 2012.
- [8] 刘玉,薛开平. 一种基于多接口多信道的移动 Ad Hoc 网络仿真平台实现方法[J]. 计算机应用与软件, 2015(7):111-114.
- [9] 翟宏宇,赵建平,底晓强,等. 基于虚拟仿真平台的计算机网络课程实践教学[J]. 计算机教育,2015(17):6-9.
- [10] 杜静,王琼,秦富童,等. 面向大规模网络的高性能仿真平台建设思维探讨[J]. 计算机科学,2016(s1):276-280.
- [11] 汪小帆,李翔,陈光荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.

Design and Implementation of Network Simulation Platform

WEN Hong, NIAN Qifeng, XIANG Desheng

(School of Computer Science and Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Based on the analysis of the classic network simulation platform at home and abroad, C language and Java language are used to design and implement a universal network simulation platform to meet the actual needs. Under the guidance of the development of network simulation platform, students can enhance their understanding of the basic theory of computer network and improve their ability to develop software independently.

Key words: network simulation experiment; network simulation platform design; software development; teaching research and reform

(责任校对 蒋云霞)