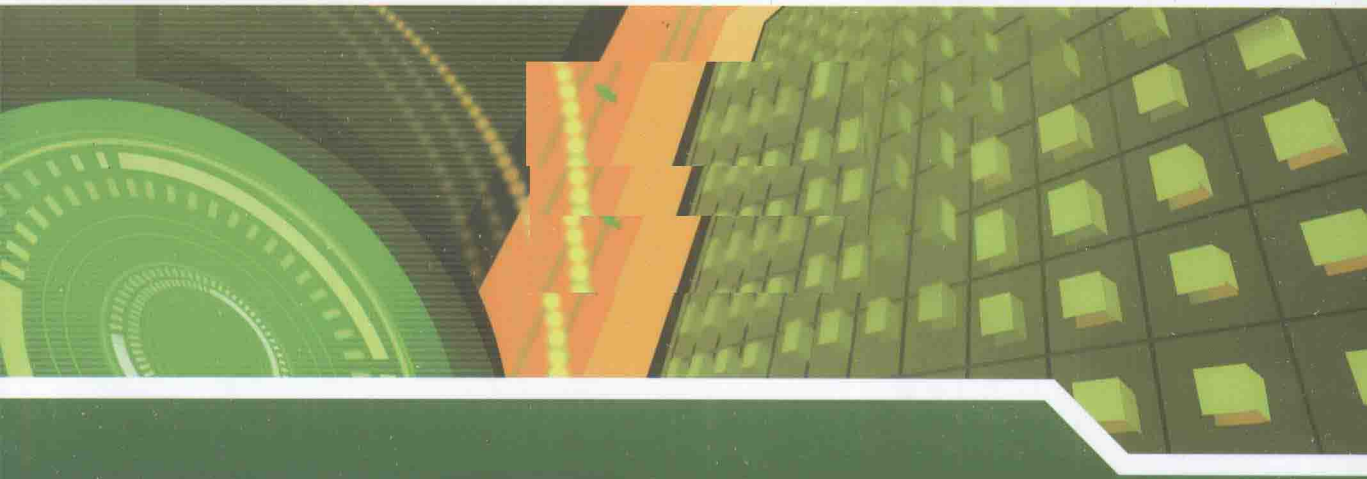
武警工程大学教材建设系列教材

现代网络仿真技术

吴启武 张之明 主编

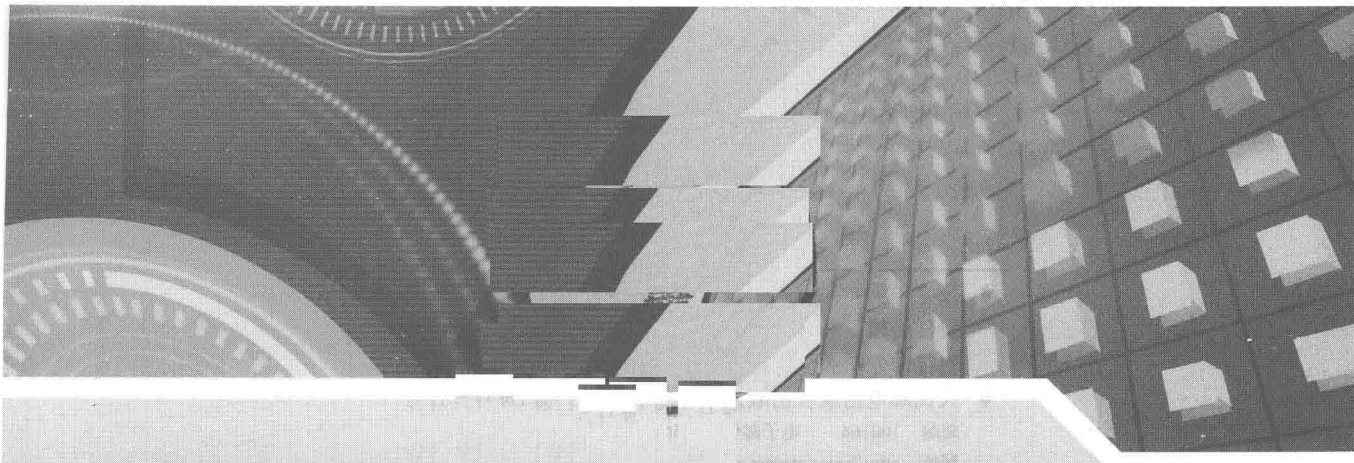


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

武警工程大学教材建设系列教材

现代网络仿真技术

吴启武 张之明 主编



人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

现代网络仿真技术 / 吴启武，张之明主编. -- 北京：人民邮电出版社，2014.9
ISBN 978-7-115-37048-8

Ⅰ. ①现… Ⅱ. ①吴… ②张… Ⅲ. ①计算机网络－计算机仿真 Ⅳ. ①TP393.01

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第214982号

内 容 提 要

网络仿真是一种通过建立网络设备和网络链路的统计模型，模拟网络流量的传输，分析网络结构、协议和算法，从而获取网络设计或优化所需要的网络性能数据的仿真技术。NS-2（Network Simulator Version 2）是面向对象的网络环境模拟器，具有开源和免费等特点，是目前进行网络仿真最流行的软件平台，已被科研院所和各大高校广泛地应用于网络分析、研究和教学。

本书以理论与实践结合为主线，依次介绍了网络仿真的一般知识、编辑器与 Tcl/OTcl 语言、网络仿真软件 NS-2、Windows+Cygwin 环境下 NS-2 的安装与卸载、NS-2 简单仿真实例、NS-2 仿真结果分析、路由策略与算法模拟、TCP 拥塞控制机制与算法模拟、网络拓扑脚本自动生成工具、安全套件 OpenSSL。另外，本书所有实例都在 Cygwin+NS 环境下通过了测试。

本书旨在使读者在理解 NS-2 基本原理的基础上，掌握 Tcl/OTcl 基本语法与应用，会利用 NS-2 进行仿真脚本设计，会使用工具对仿真结果进行分析。总之，本书可有效地促进学生对网络仿真技术的深入理解，可强化学生对网络设计与优化的理性认识，提高学生运用网络理论的思想和方法来分析问题和解决问题的能力，为将来进行网络的实际规划与设计、分析与优化打下坚实的基础。

◆ 主　编　吴启武　张之明
责任编辑　马小霞
责任印制　张佳莹　杨林杰
◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
三河市海波印务有限公司印刷
◆ 开本：787×1092　1/16
印张：11.75　　2014 年 9 月第 1 版
字数：226 千字　　2014 年 9 月河北第 1 次印刷

定价：28.00 元

读者服务热线：(010)81055256　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315

本书编委会

主　编　吴启武　张之明

副主编　李小曼　赵　敏

编　者　赵　睿　张龙军

前言 FOREWORD

随着网络技术和通信技术的蓬勃发展，从事网络通信研究的队伍也日益壮大。网络仿真（也称网络模拟）作为网络通信技术研究的重要手段之一，受到网络研究行业特别是高校和科研院所的科研人员的青睐。它使得很多研究人员能够在硬件条件不具备的情况下研究大规模网络，以及快速地设计、实现、分析进而改进协议或算法。此外，它还可以在各种新老系统和算法之间进行比较而不必花费巨资去建立多个实际的系统。因此，网络仿真是网络通信研究中一种非常重要的方法。

NS-2（Network Simulator Version 2）是面向对象的网络环境模拟器，由 UC Berkeley 开发，具有开源和免费等特点，是目前进行网络仿真最流行的软件平台，已被科研院所和各大高校广泛用于进行网络分析、研究和教学。它支持众多的协议，并提供了丰富的测试脚本。

《现代网络仿真技术》一书秉承理论与实践相结合的理念，设计了 10 章内容，具体如下。

第 1 章，在介绍计算机网络仿真基本概念的基础上，依次阐述了计算机网络仿真的主要过程、历史及现状，分析比较了主流网络仿真工具，最后介绍了国外军用计算机仿真技术的研究现状。

第 2 章，在介绍编辑器 EditPlus 的安装基础上，重点阐述了 Tcl 语言和 OTcl 语言的语法与应用。

第 3 章，在介绍 NS-2 仿真原理的基础上，阐述了 NS-2 类结构、NS-2 网络组件，然后给出了一个基本应用实例并对其进行了简单分析，最后介绍了 NS-2 的相关工具。

第 4 章，主要介绍了 Cygwin、NS-2（版本 ns-allinone-2.29）的安装与卸载。

第 5 章，通过讲解两个实例，使读者对 NS-2 的仿真流程及仿真脚本编写有一个整体性的了解和把握。

第 6 章，将以一个简单的网络环境为实例，介绍了如何在仿真结束后，使用一些工具如 awk、gnuplot 等来分析和呈现模拟结果。

第 7 章，主要介绍了常用的路由策略和路由算法，并利用 NS-2 进行了仿真分析。

第 8 章，重点介绍了不同 TCP 版本的拥塞控制机理，选择以 cwnd 作为观察测量的参数，在 NS–2 中比较了四种版本的拥塞控制性能。

第 9 章，介绍了有线网络脚本生成器 nsBench，以及无线/有线网络脚本生成器 NSG，并分别给出了实例。

第 10 章，主要介绍了常用的加密算法和摘要函数，并对 OpenSSL 密码库中的相关命令在 Cygwin 环境下进行了实际操作。

本书可为高年级本科生和研究生的论文仿真工作提供指导，也可为《计算机网络》等有关知识点的深入学习和理解提供良好的支撑。

编者

2014 年 8 月

目录 CONTENTS

第1章 概 论

随着网络技术的飞速发展，研究人员不断开发出新的网络协议、算法和应用，以适应日渐增长的网络通信需要。然而，由于网络的不可控、易变和不可预测等特性的存在，给新的网络方案的验证、分析和比较带来了极大困难。虽然构建试验床（Testbed）可以部分解决此类问题，但是试验床的造价高昂，且对大规模网络试验的支持性较差。在这种情况下，网络模拟和仿真作为一种新的网络设计和规划技术，无疑给网络设计的验证和分析研究提供了便捷。下面，将在介绍计算机网络仿真基本概念的基础上，依次阐述计算机网络仿真的主要过程、历史及现状，分析比较主流的网络仿真工具，最后介绍国外军用计算机仿真技术的研究现状。

1.1 计算机网络仿真的基本概念

1.1.1 网络模拟

1．模拟

模拟就是利用物理的、数学的模型来类比，模仿现实系统及其演变过程，以寻求过程规律的一种方法。模拟的基本思想是建立一个试验模型，这个模型包含所研究系统的主要特点。通过对这个实验模型的运行，获得所要研究系统的必要信息。通常，模拟必须遵循相似原理，包括几何相似、性能相似、环境相似。

（1）几何相似。几何相似是指根据相似原理把原来的实际系统放大或缩小，比如12 000吨水压机可用1 200吨或120吨水压机作为其模型，万吨轮船也要用缩小的模型来研究。

（2）性能相似。性能相似是指构成模型的元素和原系统的不同，但其性能相似。比如，可用一个电气系统来模拟热传导系统。在这个电气系统中，电容代表热容量，电阻代表热阻，电压代表温差，电流代表热流。

（3）环境相似。环境相似是指构建的模拟系统要与实际系统的内部与外部工作环境要求基本相似。比如，三峡水库总库容 393 亿立方米，总装机容量 1 820 万千瓦，将是世界上最大的水电站，但是三峡的安全问题是一个很重要的问题，我们不可能等到建好后再看它的安全性，用计算机模拟就必须考虑其实际运行环境问题，即模拟工作环境应该与实际工作环境相似。

2．网络模拟

网络模拟（Network Simulation）是指通过构造可控、可重现网络状况的虚拟网络环境，在数学建模和统计分析的基础上对网络行为进行模拟，从而获取特定的网络特性参数，观察特定的网络行为。

网络模拟主要分为连续系统模拟（Continuous System Simulation）和离散事件模拟（Discrete Event Simulation），前者用于模拟随时间连续变化的系统，而后者则假设系统的变化由事件触发，系统状态的变化是基于离散的事件点而发生的。比如，网络上各种事件（如丢包、延迟）都是在各可能的离散时间点发生的，因此网络模拟是对随机离散事件的模拟，这里的“事件”即网络状态的变化。

1.1.2 网络仿真

1．网络仿真的定义

根据知名咨询机构 Gartner 的研究，全球超过 70%的网络应用部署都是失败的。因为几乎所有应用的开发和测试都是在网络性能较好的网络实验室完成的，技术人员重点关注的是上层应用实现，而忽略了下层数据连接。同样，一些部署了网络损伤仪的实验室，由于仪表操作复杂，技术人员没有让其发挥应有的作用，导致由底层数据连接而引起的应用程序漏洞及故障经常发生。因此，网络仿真技术应运而生。

作为网络模拟技术发展的高级阶段，网络仿真技术是一门利用计算机软件模拟网络实际环境进行科学实验的技术。它是以数学理论为基础，以计算机和各种物理设施为工具，通过建立网络设备和网络链路的统计模型，模拟或引入实际网络流量，从而获取网络设计及优化所需要的网络性能数据的一种高新技术。它已经成为对许多复杂网络或系统进行分析、设计、实验、评估的必不可少的手段。

目前，网络仿真与网络模拟在一些教材中没有进行明显的区分。若要区分的话，网络仿真和网络模拟的侧重点不相同：网络模拟用于网络协议和算法的设计，其工作过程

是纯计算过程，是模拟器内部的工作流程；而网络仿真可用于测试实际的网络应用程序，可以与外界真实网络流量有交互，所构造的虚拟网络和外界真实网络是需要进行同步的。由于本书使用的 NS-2 网络仿真软件，既能进行网络模拟，也可进行网络仿真，因此本书也不做严格的区分。

2．网络仿真的目的

（1）学习。学习协议和算法的实现，包括它们的行为和性能。

（2）测试。对未实现和未投入实际应用的协议和算法进行测试。

（3）比较。对各种研究结果、协议和算法的优缺点进行客观地比较。

（4）观察。对各种网络行为进行仿真模拟，观察网络现象的产生发展。

3．网络仿真的优缺点

网络仿真作为一种新技术，它的优点如下。

（1）成本低。仿真方法相对于实验方法而言，网络设备、构件和系统均通过计算机软件模拟实现，无须配备网络的硬件设备，仿真成本低，这也是仿真技术最显著的优点。

（2）方法灵活，手段多样。由于采用软件实现，仿真的使用、配置的改变更加灵活可靠，对大规模网络也可以轻松地进行重新构建。

（3）侧重点显著。因为仿真的基础是软件研究，有针对性地选择在研究中感兴趣的方面，而忽略相对次要的问题，这样更加有利于对侧重点问题重点研究，提高研究效率。

（4）对大规模网络仿真。大规模网络不一定每人都有机会参与建设和研究，网络仿真平台给不具备这样条件的科研人员提供了一个研究大规模网络的机会。仿真方法也是大规模网络性能研究的首选研究方法。

当然，网络仿真方法也存在如下的不足。

（1）网络仿真不是最优化技术，它只是针对各个不同的具体决策，通过反复实验比较得出一个较好的结论，但不能保证是最优的。

（2）在仿真实验运行中，通常要使用大量的随机数，这些随机抽样也会造成仿真的误差，这种误差在其他定量分析技术中一般是不存在的。

1.1.3 仿真技术应用领域

计算机仿真技术的应用领域十分广泛，可以应用到我们日常工作、生产及生活的各个方面，其主要应用领域如下。

（1）计算机网络系统，如算法协议测试与分析、网络体系架构优化、网络流量分析及网络设备性能测试、容量规划和预测服务、故障分析、端到端的性能分析、新增业务和用户对网络的影响分析、业务量的增长预测、新网络建设指导等。

（2）工业企业管理系统，如顾客行为预测、工业企业模型、生产作业计划、设备的平面布置、财务预测、人员安排、企业内部的物资流动、工厂生产过程设计等。

（3）物资分配与流通系统，如仓库布局、集装箱管理、存储订货规则设计等。

（4）交通运输管理系统，如航空运输控制排队服务、飞机维修作业计划、机场设计、公共汽车线路管理、公共汽车线路设计、货物装卸设计、停车场设计、城市交通系统设计、铁路运输调度、城市交叉口信号控制、出租汽车调度等。

（5）卫生及教育系统，如医院模型、医药物资管理、医疗救护车的布局和调度、医院人员安排、学校区域模型、图书馆作业设计、大学财务和作业预测等。

（6）资源管理系统，如国家人力调节系统、自然资源安排、水利资源开发等。

（7）服务系统，如银行出纳作业安排、文书档案处理系统设计、通信系统设计、信息系统设计、保险人员雇用决策等。

（8）军事及保安系统，如军事作战模拟、军事后勤系统设计、警察系统设计等。

1.2 计算机网络仿真的主要过程

1.2.1 网络仿真技术的特点

1．网络仿真的建模方法

网络仿真的基础就是对仿真目标的建模。通常，在网络仿真系统中需要建立的模型主要包括拓扑模型、协议模型、流量模型等。

（1）拓扑模型建模方法

网络拓扑类型是影响网络性能的最重要的因素，所以拓扑类型的建模也是网络仿真建模的关键。根据拓扑类型确定仿真方案，建立符合仿真对象拓扑结构的虚拟网络模型。拓扑模型包括稳定拓扑模型和临时拓扑模型两种。

① 稳定拓扑模型。网络参数存储于数据库中，独立于应用程序之外。每次仿真工作都可以调用，无需再次编写。这种方法实现起来比较复杂，但参数可以重用，网络针对性强。

② 临时拓扑模型。在仿真应用程序中设定网络参数和拓扑结构，这种网络拓扑模型实现简单，适用于小规模的仿真，技术针对性强。

（2）协议模型建模方法

一般来说，协议模型的建模方法包括完全协议模型、简化协议模型、抽象协议模型的建立。