

NS-2 网络模拟 基础与应用

方路平 刘世华 陈盼 郭笋 陈小乐 编著



Real Time Trading



国防工业出版社
National Defense Industry Press

2008

方路平 刘世华 陈盼 郭笋 陈小乐 编著

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

NS-2 网络模拟基础与应用 / 方路平等编著. —北京: 国防工业出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-118-05638-9

I. N... II. 方... III. 计算机网络—计算机模拟 IV. TP393.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 039432 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 1/2 字数 375 千字

2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 31.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前言

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。网络模拟(也称网络仿真)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科研人员的青睐。

网络模拟是指采用计算机软件对网络协议、网络拓扑、网络性能进行模拟分析的一种研究手段。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在设计、学习新协议新算法时能够快速地进行设计、实现、分析进而改进协议或算法的设计。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系统。因此,网络模拟是网络通信研究中一种非常重要的方法。

NS-2(Network Simulator, version 2)是一款开放源代码的网络模拟软件,最初由加州大学伯克利分校(UC Berkeley)开发。NS-2是目前通信网络领域最流行的网络模拟软件之一,在国内外已被广泛应用。由于NS-2是免费开放源代码软件,在学习和研究中使用该软件时不需要支付昂贵的费用。同时,它又具备丰富的网络协议组件和强大的功能模块集合,可以模拟大部分网络场景。世界各地的研究组织和个人对NS-2的发展和使用提供了丰富的经验和技术支持。

但是,由于NS-2采用分裂对象模型OTcl和C++两种程序设计语言进行开发设计,且软件结构相对松散,各个分析工具软件“各自为政”,学习起来有相当的难度,特别是对于初学者来说,很容易对其产生恐惧。此外,由于NS-2是开放源代码项目,文档资料纷繁复杂,且中文资料非常匮乏。

从作者学习使用NS-2的经验来看,NS-2难学难用的另一个重要原因在于网络技术的原理理解不透彻且对网络原理和网络模拟的对照关系及其差异把握不好。

因此,作者编写本书时,除了根据自己的学习、研究体会,把NS-2网络模拟软件的基础和架构介绍清楚之外,特别对相关的网络基础知识进行了解说,并将网络原理和网络模拟中的对照关系进行了介绍。本书通过众多的实例,将网络技术的研究热点及其采用NS-2进行研究的整个过程呈现给读者,使读者能够快速入门并迅速将NS-2这一强大而实用的工具应用到自己的学习和研究过程中。

全书共分7章,大致分为两个层次:其中第1章到第4章为基础部分,主要讲述NS-2的原有网络组件及其使用方法;第5章到第7章为提高部分,主要剖析了NS-2的内部代码结构,对需要扩展和修改NS-2代码的读者提供参考。具体章节安排如下:

第1章首先介绍网络模拟的基本概念,对主流网络模拟软件进行一个简单的对比;然后介绍NS-2软件的基本情况,详细介绍了其在Windows和Linux平台下的安装过程。最后对NS-2的入门心得进行介绍。

第2章简略介绍了NS-2中用于编写网络模拟脚本的Tcl/OTcl语言,言简意赅地对Tcl的语法进行了叙述。

第3章对NS-2的基本网络组件进行了介绍,包括Simulator、Node、Link、Agent、Application等常用组件类的内部结构和使用方法,并对NS-2的模拟跟踪(Trace)和动画演示工具nam、结果分析工具gawk、xgraph、gnuplot等进行了详细介绍。此外还对无线网络的模拟进行了简单介绍。本章还特别安排了两个模拟实例来加深读者对这些基本网络组件的理解。

第4章着重从网络基础原理出发,将当前网络研究的几个主要方面的基础知识和NS-2网络模拟结合起来,使读者能够将原理和模拟对照起来,并通过实例分析,快速地掌握采用NS-2进行网络教学演示和简单网络研究的相关知识。

第5章和第6章是对NS-2源代码结构的剖析,第5章对NS-2中采用的分裂对象模型即TclCL机制进行了介绍;第6章详细讲解NS-2核心组件的内部结构,对其中主要的类及其继承关系、各核心组件类的定义和实现进行了全面的剖析。

第7章从科研应用角度出发,通过两个具体的科研实例,将网络研究及其采用NS-2进行模拟的全过程进行了详细介绍,并对NS-2新增协议代码进行了介绍和演示。

全书由浙江工业大学方路平教授统筹,第1章、第4章由刘世华执笔;第2章、第5章由陈小乐执笔;第3章由陈盼执笔;第6章、第7章由郭笋执笔。全书最后由方路平教授修改、统稿。此外,傅晓婕、葛一鸣、潘海江参与了全书的修改和校对工作。

全书内容参考了很多现有书籍资料和网络资源,在此对这些资料的原著者表示感谢。本书也在各章节中列出了这些有用的资源,读者可以作为进一步阅读学习的参考。

为便于读者学习和查阅书中实例,本书各章结尾附有常见问题解答和实例索引等。本书力求通过对网络基本原理的讲解;通过对NS-2网络模拟实例的分析;通过对NS-2内核代码的剖析,为读者全面快速地进入NS-2网络模拟的殿堂铺平道路。

由于作者水平有限,书中难免存在错漏和不当之处,恳请读者批评指正。

作者

2008年1月

目 录

第1章 初识 NS-2	1
1.1 NS-2 概述	1
1.2 NS-2 溯源与展望	2
1.3 网络模拟与网络模拟软件	2
1.3.1 网络模拟概览	2
1.3.2 主流网络模拟软件简介	4
1.3.3 主流模拟软件的比较	7
1.4 NS-2 的下载与安装	8
1.4.1 NS-2 的下载	8
1.4.2 在 Linux 下的安装	9
1.4.3 在 Windows + Cygwin 下的安装	11
1.5 NS-2 学习之道	15
1.6 NS-2 模拟基础	16
1.6.1 NS-2 模拟的基本流程	16
1.6.2 NS-2 主要构件概览	17
1.6.3 NS-2 源码目录结构	18
附录1 NS-2 安装常见问题解答(Q&A)	19
附录2 参考资料	21
第2章 Tcl 和 OTcl	22
2.1 Tcl 命令格式	22
2.2 变量	22
2.3 组合和替代	24
2.3.1 命令替代	24
2.3.2 反斜杠替代	24
2.3.3 组合	25
2.3.4 组合和替代的执行顺序	25
2.3.5 组合和替代总结	26
2.4 数学运算	26
2.5 过程	27
2.6 流程控制命令	27
2.7 注释	31

2.8 数组	31
2.9 OTcl	32
附录1 常用公式、命令、方法	36
附录2 参考资料	41
第3章 NS-2 基础	42
3.1 NS-2 的离散事件调度机制	43
3.1.1 Simulator 类	43
3.1.2 NS-2 的事件和事件调度器	43
3.1.3 本节相关的 NS 命令	44
3.2 节点(node)	45
3.2.1 节点的创建和结构	45
3.2.2 节点的配置	47
3.2.3 与节点相关的命令	50
3.3 链路(Link)	51
3.3.1 链路的创建及结构	51
3.3.2 双向链路的创建及结构	53
3.3.3 与本节相关的 NS 命令	53
3.3.4 网络拓扑结构的构建	53
3.4 代理(Agent)	54
3.4.1 Agent 类	55
3.4.2 UDP 代理	56
3.4.3 TCP 代理	57
3.4.4 其他协议 Agent	58
3.4.5 与 Agent 相关的命令	59
3.5 应用层(Application)	60
3.5.1 应用层概述	60
3.5.2 流量产生器(Traffic generators)	61
3.5.3 应用模拟器(Simulated application)	64
3.5.4 在 example1 中添加代理和应用程序	65
3.6 数据的记录与动画演示	66
3.6.1 Trace 的使用	66
3.6.2 Trace 文件格式	68
3.6.3 Monitor 的使用	69
3.6.4 动画演示	71
3.6.5 与本节相关的命令	74
3.7 数据分析	74
3.7.1 使用 gawk 分析 Trace 文件	74
3.7.2 图形绘制工具	81

3.8 无线网络的模拟	89
3.8.1 无线网络概述	89
3.8.2 移动节点	91
3.8.3 无线网络的路由代理	97
3.8.4 无线网络的能量模型和无线传播模型	98
3.8.5 无线 Trace	101
3.8.6 与本节相关的 NS 命令	104
附录 1 简单有线网络实例 example1.tcl 完整代码	105
附录 2 简单无线网络实例 example2.tcl 完整代码	108
附录 3 常见问题解答(Q&A)	111
附录 4 参考资料	113
第 4 章 NS-2 网络教学应用案例	114
4.1 TCP/IP 基础与 NS-2 模拟	114
4.1.1 TCP 基础回顾	114
4.1.2 TCP 的 NS-2 建模与教学演示	118
4.2 LAN 基础与 NS-2 模拟	126
4.2.1 LAN 基础回顾	126
4.2.2 LAN 的 NS-2 模拟	128
4.3 路由基础与 NS-2 模拟	133
4.3.1 路由简介	133
4.3.2 路由的 NS-2 模拟	137
4.4 无线网络与 NS-2 模拟	144
4.4.1 无线网络概述	144
4.4.2 无线网络的 NS-2 模拟	150
4.5 队列管理与 NS-2 模拟	156
4.5.1 队列管理算法简介	156
4.5.2 队列管理与 NS-2 模拟	160
4.6 IP QoS 基础与 NS-2 模拟	166
4.6.1 IP QoS 技术与方案	166
4.6.2 IP QoS 的 NS-2 模拟	171
附录 1 本章实例索引表	182
附录 2 NS-2 网络教学参考大纲	182
附录 3 如何在 PowerPoint 中使用 Nam	183
附录 4 资源列表与参考资料	183
第 5 章 TclCL 机制	184
5.1 TclCL	184
5.2 OTcl 和 C++ 的对象通信	185

98	5.2.1 创建 C++ 对象	185
98	5.2.2 访问 C++ 对象的属性	186
10	5.2.3 调用 C++ 对象的方法	187
70	5.3 向 NS-2 中添加 ping 协议	188
80	附录 1 Ping.h 头文件源码	191
101	附录 2 参考资料	195
第 6 章 NS-2 核心组件分析		196
101	6.1 离散时间模拟机制	196
108	6.2 分类器(classifier)	200
111	6.3 定时器(Timer)	203
113	6.4 分组格式	207
114	6.4.1 特定分组头地址获取	207
111	6.4.2 分组(Packet)及相关类	209
114	6.5 代理(Agent)	213
118	6.5.1 Connector 类定义	213
121	6.5.2 Agent 类定义	215
120	6.5.3 UDP 协议 Agent 分析	216
128	6.5.4 TCP 协议 Agent 分析	218
133	6.6 应用层(Application)	221
133	6.6.1 流量发生器(TrafficGenerator 类)	222
137	6.6.2 应用模拟器(Telnet)	222
144	附录 1 参考资料	223
第 7 章 NS-2 在科研中的运用		224
120	7.1 端到端拥塞控制研究	224
126	7.1.1 问题描述	224
126	7.1.2 公平性问题	225
160	7.1.3 拥塞崩溃	237
160	7.2 一种新的 MANET 单播协议在 NS-2 中的实现	240
171	7.2.1 概述	240
181	7.2.2 创建新的分组类型	241
181	7.2.3 创建路由代理	241
181	7.2.4 创建路由表	249
181	7.2.5 代码集成	250
181	附录 1 参考资料	253

第1章 初识 NS-2

1.1 NS-2 概述

NS 是 Network Simulator 的英文缩写,字面翻译即为网络模拟器,又称网络仿真器。NS-2 则是网络模拟器的第 2 版。

NS-2 (Network Simulator, version 2) 是一款开放源代码的网络模拟软件,最初由加州大学伯克利分校 (UC Berkeley) 开发。它最初的开发目的是为了研究大规模网络以及当前和未来网络协议的交互行为。它为模拟研究有线和无线网络上的 TCP、路由和多播等协议提供了强有力的支持。NS-2 是一个开放源代码软件,任何人可以获得、使用和修改其源代码。正因为如此,世界各地的研究人员每天都在扩展和更新它的功能,为其添加新的协议和功能。它也是目前网络研究领域应用最广泛的网络模拟软件之一。

NS-2 是一种面向对象的网络模拟器,它本质上是一个离散事件模拟器,其本身有一个虚拟时钟,所有的模拟都由离散事件驱动。目前 NS-2 可以用于模拟各种不同的通信网络。它功能强大,模块丰富,已经实现的主要模块有:网络传输协议,如 TCP 和 UDP;业务源流量产生器,如 FTP、Telnet、Web、CBR 和 VBR;路由队列管理机制,如 Droptail、RED 和 CBQ;路由算法,如 Dijkstra;以及无线网络 WLAN、移动 IP 和卫星通信网络等模块。NS-2 也为进行局域网的模拟而实现了多播协议以及一些 MAC 子层协议。

NS-2 使用了被称为分裂对象模型的开发机制,采用 C++ 和 OTel 两种开发语言进行开发。它们之间采用 TclCL 进行自动连接和映射。考虑效率和操作便利等因素,NS 将数据通道和控制通道的实现相分离。为了减少分组和事件的处理时间,事件调度器和数据通道上的基本网络组件对象都使用 C++ 编写,这些对象通过 TclCL 映射对 OTel 解释器可见。这样,用户只需要通过简单易用的 Tcl/OTel 脚本编写出模拟代码,对网络拓扑、节点、链路等各种部件和参数进行方便快速的配置。NS-2 可以说是 OTel 的脚本解释器,它包含模拟事件调度器、网络组件对象库等。事件调度器控制模拟的进程,在适当时间激活事件队列中的当前事件,并执行该事件。网络组件模拟网络设备或节点的通信,它们通过制定模拟场景和模拟进程,交换特定的分组来模拟真实网络情况,并将执行情况记录到日志文件(称为 Trace 文件)中,以提供给模拟用户进行分析解读,获取模拟结果。NS-2 采用这种分裂模型既提高了模拟效率,加快了模拟速度,又增强了模拟配置的灵活性和操作的简便性。

在此,我们不必深究其实现机理,在以后的模拟工作中,自然而然会用到这些技术。对 TclCL 机制的描述在第 5 章中会有详细的分析描述。关于 NS-2 的更多特性,我们会在后续的章节中一步步展开。

1.2 NS-2 溯源与展望

NS 一般被认为起源于 1989 年由 UC Berkeley 开发的 REAL 网络模拟器 (REAL network simulator)。其实 REAL 网络模拟器是在哥伦比亚大学 (Columbia University) 开发的 NEST 网络测试平台 (Network Simulation Testbed) 的基础上改进而来。REAL 网络模拟器主要用于模拟各种 IP 网络。该软件的开发最初是针对基于 UNIX 系统下的网络设计和模拟而进行的。其主要发行版本有 REAL 4.0、REAL 4.5 和 REAL 5.0 (现在还可以在以下页面浏览其相关信息并下载源码包: <http://www.cs.cornell.edu/home/skeshav/real/overview.html>)。1995 年, NS 的开发获得美国军方 DARPA VINT (Virtual InterNetwork Testbed) 项目的资助, 由 USC/ISI, Xerox PARC, LBNL 和 UC Berkeley 合作开发。1995 年 7 月 31 日, NS 推出 v1.0a1 版本, 此后一直不断有人改进和更新。1996 年 11 月 6 日即推出了 NS-2 的第一个版本: ns-2.0a1 版本。目前, NS-2 的开发还得到了 DARPA SAMAN (Simulation Augmented by Measurement and Analysis for Network) 项目和美国国家科学基金 NSF CONSER (Collaborative Simulation for Education and Research) 项目的资助。2003 年 2 月 26 日发布 ns-2.1b10 版本后, NS-2 改变了主要版本标注方法, ns-2.1b10 作为 NS-2.26。本书写作时最新正式发布版本为 2006 年 9 月 26 日发布的 NS-2.30。其具体版本更新历史和主要特性改进及其贡献者信息在官方网址详细列出: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/CHANGES.html>。

由于 NS-2 作为一个开源项目开发, 因此, 世界上的其他组织和个人也对 NS 的发展做出了贡献。NS-2 也从他们那里吸收了很多实用的功能和模块。从 1999 年到 2001 年, AT&T 公司资助的 AT&T 互联网研究中心 ACIRI (隶属 UC Berkeley 的国际计算机科学系 ICSI) 参与了 NS 的开发。此外, NS-2 还吸收了 UCB 的 Daedalus 工程和 CMU 的 Monarch 工程以及 Sun Microsystems 公司开发的无线代码。

2006 年 7 月 1 日, NS 开发组织正式宣布启动了下一代 NS 的开发计划, 该开发计划预计通过四年的时间开发出 NS 的下一代版本 NS-3, 此计划也得到了美国国家科学基金 NSF CISE CRI 项目的部分支持, 相信新一代的 NS-3 会给我们带来全新的体验, 让我们共同期待吧!

1.3 网络模拟与网络模拟软件

1.3.1 网络模拟概述

近年来, 网络通信技术日新月异, 对网络技术的研究也同样炙手可热, 这就促使人们不断提高研究水平, 更新研究技术, 增加研究手段。目前网络通信的研究一般可分为以下三种方式:

(1) 理论研究: 在理论和协议层面上对网络通信技术或系统进行分析研究, 如采用数学建模、协议分析、状态机、集合论以及概率统计等多种理论分析手段和方法对通信网络及其算法、协议、网络性能等各个方面进行研究。

(2) 网络模拟:即计算机模拟仿真方法,本书对模拟与仿真不做区分,二者都指通过计算机软件模拟真实网络进行试验研究的方法。也称为虚拟网络测试平台(Virtual Network Testbed)。

(3) 试验网方法:采用建立实验室测试网络、网络测试平台(Network Testbed)和小规模商用试验网络的方式对网络进行实战检验。如当前第三代移动通信网,各大网络设备提供商和运营商在不同城市建有不同规模的试验网络,并进行一定量的放号测试,使广大用户参与到网络的测试中,也使得网络设备和系统受到实际应用环境的检验。

三种方法各有利弊,相辅相成并各有侧重点。理论研究适用于早期研究与设计阶段,对新算法和新技术进行理论准备和验证,除了人力和知识,几乎不需要什么额外成本;试验网方法是网络和系统在投入实际应用前的一次系统的演练,能够发现网络设计与用户需求之间的相合度以及检验网络实际使用的效用和性能。该阶段建设成本很高,要求技术和设备开发相对成熟,网络系统基本成型,主要是对业务和系统稳定性能和服务性能的检验;而网络模拟阶段可以说是理论方法和试验网方法的中间阶段,它可以对新协议进行初步实现和验证,并有利于新协议的及时调整和改进。网络模拟阶段,由于采用计算机软件进行模拟,使得很多研究人员能够研究大规模网络和学习新协议新算法的设计和实现,并且能够在网络实用前对其进行检验和改进。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系统。因此,网络模拟是网络通信研究中一种非常重要的方法。

网络模拟的优点主要体现在以下几个方面:

(1) 成本低:与试验网方法比较而言,网络设备、构件和系统均通过计算机软件模拟实现,实现成本低廉。

(2) 灵活可靠、可重构:由于采用软件实现,它的使用、配置和改变更加灵活可靠,对大规模网络也可以轻松进行重新构建。

(3) 避重就轻:可以通过软件的方法,选择在研究中感兴趣的方面,而把其他一些不相干的方面忽略,这样更加有利于对感兴趣点的深入研究,提高研究效率。

(4) 提供研究大规模网络的机会:大规模网络不一定每人都有机会参与建设和研究,而网络模拟平台给了无这样条件的科研人员一个研究大规模网络的机会。

(5) 易于比较:由于可以通过软件配置轻松建立、重构各种网络模型,实现各种不同的协议和算法,这使得研究人员能够轻松地比较这些不同模型、协议和算法之间的性能等各方面的优劣。

当然,由于是通过软件进行模拟,它毕竟是虚拟网络,与真实的网络环境还是有一定的差异性,因此,模拟方法也存在一些天生的不足之处:

(1) 无法完全重现真实网络环境,使得模拟网络可能会忽略一些重要的网络细节。

(2) 在对协议、算法和网络系统进行模拟之前,必须通过软件编程对其进行软件模块的实现,这增加了额外的工作量。

(3) 网络模拟所得的结果并不一定与真实网络环境下的结果一致,因此,在投入实际应用之前,还需要多方面的验证和通过测试网的检验。

总而言之,网络模拟是当前网络通信研究中的重要技术手段之一,在网络通信的建设开发过程中起着不可替代的重要作用。大部分网络通信的技术研究也都必须经过网络模拟研究这么一个重要环节,学术界对网络通信的研究更加离不开网络模拟。

1.3.2 主流网络模拟软件简介

俗话说,“工欲善其事必先利其器”。为了方便网络研究人员的研究工作,一款好的网络模拟软件是必不可少的。它必须具备以下特点:

- (1) 能够提供简单易用的使用界面,能方便快捷地建立和修改模拟环境和模拟配置;
- (2) 能够提供常用的绝大部分网络协议、算法和应用模块;
- (3) 能够方便地进行配置和扩展,有利于添加新的协议和算法。

当前有许多优秀的网络模拟软件,其中应用比较广泛的主流模拟软件有 OPNET、NS-2、MATLAB、SPW、QualNet、SSFNet 等,这为网络研究人员提供了很好的网络模拟平台。在此,我们对主流网络模拟软件进行简单介绍,并在下一节对它们进行一个简单地比较。

1. OPNET

OPNET 是 Optimized Performance Network Engineering Tool 的简称,最早是由麻省理工学院 LIDS 实验室受美国军方委托开发的,可模拟 LAN, WAN, ISDN 及卫星通信网等各种网络,可以模拟现有的绝大部分网络和协议,如: ATM、Frame Relay、FDDI、Ethernet、Token Ring、TCP/UDP/IP、HTTP 等。我们所指的 OPNET 网络模拟软件一般是指 OPNET Modeler, 目前作为商业软件由 OPNET Technology 公司进行开发和维护,它主要面向的用户为网络设计专业人士,能够帮助客户进行网络结构、设备及应用的设计、建设、分析和管理的。

OPNET Modeler 特性包括以下几个方面:

- (1) 它提供三层建模机制,最底层为 Process 模型,以状态机来描述协议;其次为 Node 模型,由相应的协议模型构成,反映设备特性;最上层为网络模型。三层模型和实际的网络、设备、协议层次完全对应,全面反映了网络的相关特性;
- (2) 它提供了一个比较齐全的模式库,包括路由器、交换机、服务器、客户机、ATM 设备、DSL 设备、ISDN 设备等常见网络设备模型;
- (3) 它采用混合建模机制,把基于包的分析方法和基于统计的数学建模方法结合起来,既可得到非常细节的模拟结果,也大大提高了模拟效率。
- (4) 它具有丰富的统计量收集和分析功能。它可以直接收集常用的各个网络层次的性能统计参数,能够方便地编制和输出模拟报告。
- (5) 它提供了和网管系统、流量监测系统的接口,能够方便地利用现有的拓扑和流量数据建立仿真模型,同时还可对仿真结果进行验证。

OPNET 作为商业软件,其价格昂贵,开放性比较差,学习的障碍很大,需要通过一段时间的专门培训才能掌握。此外,OPNET 软件提供的标准参数,往往不能满足实际用户的全部需要,而且厂家提供的网络协议模型一般都滞后于标准颁布之后数月甚至一年,而涉及底层编程的网元建模具有较高的技术难度,一般需要经过专门培训的专业技术人员才能完成。这些都阻碍了 OPNET 的推广。

2. NS-2

NS-2 前面已经做了简单介绍,它也是我们这本书的主角。

3. MATLAB

MATLAB 是英文 MATrix LABoratory (矩阵实验室) 的缩写。MATLAB 软件是由美国

Mathworks 公司推出的用于数值计算和图形处理的科学计算系统环境。MATLAB 环境下,用户集成了程序设计、数值计算、图形绘制、输入输出、文件管理、网络仿真、人工智能/神经网络、工业控制等各个领域的研究功能。MATLAB 提供了一个人机交互的系统环境,该系统的基本数据结构是矩阵,在生成矩阵对象时,不要求作明确的维数说明。与利用 C 语言或 FORTRAN 语言作数值计算的程序设计相比,利用 MATLAB 可以节省大量的编程时间。

MTALAB 系统由五个主要部分组成:

(1) MATALB 语言体系: MATLAB 是高层次的矩阵/数组语言。具有条件控制、函数调用、数据结构、输入输出、面向对象等程序语言特性。利用它既可以进行小规模编程,完成算法设计和算法实验的基本任务,也可以进行大规模编程,开发复杂的应用程序。

(2) MATLAB 工作环境: 包括管理工作空间中的变量数据输入输出的方式和方法,以及开发、调试、管理 M 文件的各种工具。

(3) 图形图像系统: 这是 MATLAB 图形系统的基础,包括完成 2D 和 3D 数据图示、图像处理、动画生成、图形显示等功能的高层 MATLAB 命令,也包括用户对图形图像等对象进行特征控制的低层 MATLAB 命令,以及开发 GUI 应用程序的各种工具。

(4) MATLAB 数学函数库: 这是对 MATLAB 使用的各种数学算法的集合。包括各种初等函数的算法,也包括矩阵运算、矩阵分析等高层次数学算法等。

(5) MATLAB 应用程序接口: 这是 MATLAB 为用户提供的函数库,使得用户能够在 MATLAB 环境中使用 C 程序或 FORTRAN 程序,包括从 MATLAB 中调用程序(如动态链接库),读写 MAT 文件的功能。

MATLAB 是一个功能十分强大的系统,具有很强的功能扩展能力,它可以配备各种各样的工具箱,以完成不同研究领域的各种特定的任务。在学术研究和模拟界应用非常广泛,可支持的研究领域也非常多,涵盖大部分与信息技术相关的学术领域。

由于 MATLAB 语言是解释执行的,而且它的基础是矩阵运算,运算量大,因此效率比较低。同时, MATLAB 不能实现端口操作和实时控制。另外,它的体积庞大,以 MATLAB 7.0 为例,安装一般至少需要 1GB ~ 2GB 的硬盘空间。同时, MATLAB 作为商业软件,虽然没有 OPNET 那么昂贵,但它的价格对个人用户来说也是比较高的,特别是对于高校学生来说。

4. SPW/SPD

SPW(Signal Processing Worksystem)模拟软件是 CoWare Inc. 公司的产品,现已改名为 SPD(Signal Processing Designer),它提供了面向电子系统的模块化设计、模拟及实施环境,是进行算法开发、滤波器设计、C 代码生成、硬/软件结构联合设计和硬件综合的理想环境。SPW 的一个显著特点是它提供了 HDS 接口和 MATLAB 接口。MATLAB 里面的很多模型可以直接调入 SPW,然后利用 HDS 生成 C 语言模拟代码或者是 HDL 语言模拟代码。SPW 通常可以应用于无线和有线载波通信、多媒体和网络设计与分析等领域。

它还具有以下技术特点:

(1) 高效便捷的模拟手段: 它用 C 语言开发,模拟效率高,同时,它提供图形化的配置模拟界面,友好的消息显示机制;

(2) 多种建模方式支持: 只要是 C/C++ 兼容的建模,系统都可以提供支持,其建模参数可以是 C 兼容的变量表达式语言定义的复杂函数;

(3) 大规模的标准数据模型,可支持 XML、关系数据库,并提供 TCL、C++ 等编程接口;

(4) 丰富的构件库,并支持在原有构件库上的编程微调,直接提供 C 源码的编辑和编译环境;

(5) 强大的分析和管理工作,可自动生成信噪比曲线,误码率曲线等;

(6) 提供从系统建模到芯片级硬件设计的自动化功能。

SPW 作为专业的 DSP 模拟设计开发工具,主要应用在电子设计、通信设计和芯片设计领域,对移动通信系统也提供了强大的支持,适合做底层开发和模拟。但同 OPNET 一样,它是一款专业性极强的软件,入门难度较高。同时,作为成熟和专业的商业软件,其价格不菲。

5. QualNet/GloMoSim

QualNet 是 Scalable Network Technologies, Inc. (SNT) 的旗舰产品,QualNet 原是美国加州大学洛杉矶分校 (UCLA) 开发的开放源代码的模拟软件 GloMoSim 的商业版。GloMoSim (Global Mobile Information System Simulator) 是一款面向无线网络系统的大规模网络模拟平台,它是用并行运算语言 Parsec 编写的。

QualNet Developer 是一套先进的用于定制网络模型和进行网络模拟的软件。QualNet 拥有较快的速度、较好的可扩展性和保真度,通过快速建模和深入分析工具,使得工程师们易于优化现有的网络性能。从有线 LAN 和 WAN 到蜂窝、卫星、WLAN 和移动 Ad Hoc 网络,QualNet 支持广泛的联网应用模拟功能。QualNet 拥有高效的内核,能够以合理的模拟速度模拟具有大话务量和高移动性的大型网络。

QualNet 的特色:

(1) 支持大规模网络模拟: QualNet 基于已经通过验证的 Parsec 并行模拟内核。每个结点都独立进行运算,其模拟能力能达到支持上万节点的大规模网络的模拟;

(2) 采用标准架构: QualNet 按照网络的七层架构,采用模块化设计,有利于用户直接选择想模拟的协议模块,各个层之间采用标准的 API 接口;

(3) 批量模拟,用户在需要验证自己开发的协议性能是否在某些性能上超越了已有的协议时,需要在同样条件下进行协议的对比模拟,用户一次选择某些参数的不同取值 (比如同一场景中的不同路由协议算法),只发一次命令,就可以立刻得到这些路由算法的性能优劣的比较图形,便于开发者找到问题。

在学术研究方面,用户可以考虑采用 GloMoSim 代替 QualNet 进行模拟研究。它主要应用于无线通信领域。

6. SSFNet

SSFNet 是一个 Internet 网络协议的模拟和建模软件,由基于 Java 和 C++ 的 SSF (Scalable Simulation Framework) 的软件框架所组成。作为教育和科学研究用途的 SSFNet 是开放软件,允许用户按需要进行补充和修改。它提供面向对象的可扩展模拟建模的并行运算环境,主要支持 IP 包级别以上的细粒度模拟,其链路层和物理层的协议模型均以独立的组件方式提供。SSFNet 模型是一种自配置的模拟软件,每一个 SSFNet 类能通过询问本地的配置数据库或者通过网络进行自主配置。网络配置文件是用 DML (Domain Model Language) 来编写配置的,它被用来描述一个完整的网络模型。在 SSFNet 软件中,被用作模拟主机和操作系统,特别是协议的软件框架叫做 SSF. OS;被用作模拟网络的连通性,建

立主机节点和链路配置的软件框架叫做 SSF. Net。SSFNet 提供的协议支持包括:IP、TCP、UDP、SOCKET、OSPF、BGP4、HTTP 等。

目前,SSFNet 网络模拟软件可以支持的操作系统是 Windows2000 及以上系列、Unix 操作系统、Linux 操作系统等,对于追求实验的性能来讲推荐使用 Linux 或 Unix 操作系统。另外,DML 语言配置方便,灵活;可以很好的定义所需的网络拓扑结构。目前 SSFNet 也支持大多数网络协议,可以实现运行网络模型的功能。

SSFNet 具有灵活的可扩展性,其配置语言 DML 具有自己的语法结构,用户可以按照需要自己编写 DML 配置文件,设计网络拓扑结构模型。另外,用户可以按照 SSFNet 的 API 自行定义编写所需要的新的网络模型或者协议。如:SSF. OS. IP 就是被定义好的 IP 协议类库。所定义的协议类库能够被 DML 调用,使得用户可以自己扩展 SSFNet 模拟运行的结构环境,DML 就是被定义在这些类库之上的。

1.3.3 主流模拟软件的比较

这一节我们对前面介绍的几种主流模拟软件进行一个简单的总结比较,这里的总结没有经过严格的考证,只是作为一个便于查阅的资料汇总表格在此列出,详见表 1.1。

表 1.1 主流模拟软件对照表

软 件	OPNET	NS-2	MATLAB	SPW	QualNet/GloMoSim	SSFNet
界面友好性	GUI、代码	Tel script 代码	主要是代码	GUI、代码	GUI、代码	DML 代码
拓扑结构配置	GUI,配置方便	Tel script 代码编程	主要代码	GUI、代码	GUI、代码	DML 代码
支持的构件库	丰富的构件库	丰富的组件模块	丰富的工具箱	丰富的构件库	丰富的构件库	丰富的构件库
配置灵活性	一般	非常灵活	比较灵活	比较灵活	比较灵活	灵活
执行效率	较高	较高	低	一般	一般	较高
支持语言	Proto-C	C++/OTcl	C/FORTRAN	C/HDL	C/C++/PARSEC	Java/C++
可扩展性	差	好	比较好	比较好	一般	较好
兼容性	差	一般	一般	兼容 MATLAB	一般	一般
主要应用场合	网络路由模拟	IP 网络协议、算法模拟	科学计算、矩阵运算	DSP、无线通信、链路层	无线通信、无线通信系统	网络协议模拟、IP 细粒度模拟
主要特色	网络设备模型库;混合建模;与网管的接口	开放源码;免费;良好的扩展性;广泛的网络用户支持	功能强大、内容丰富的工具箱;简单的脚本编程	与 MATLAB 的兼容;从建模到硬件设计的自动实现	大规模网络支持;标准分层模型;批量模拟	开放源码软件;提供 API;配置扩展灵活
使用成本	高	免费	较高	高	高/免费	免费
入门难度	难度大	较难	一般	难	较难	较难
通用性	差	一般	较好	差	差	一般
注:以上评价只代表作者主观感觉,仅供参考,不可作为引用和选型的标准						

1.4 NS-2 的下载与安装

“磨刀不误砍柴工”，安装和配置好 NS-2 模拟平台是进行网络模拟的第一步。

NS-2 支持 Windows、Linux、Unix、Mac 以及其他支持 POSIX 标准的操作系统，它主要支持的操作系统是 Linux 系统，目前支持几乎所有的主流 Linux 发行版本。在本章附录中我们将提供网友贡献的不同版本 NS 在不同操作系统下的成功安装范例列表。此外，由于有 Cygwin 的支持，NS-2 在 Windows + Cygwin 的平台上的安装和使用也变得简单方便起来。本节对 NS-2 在 Linux 和 Windows + Cygwin 上的安装分别进行详细介绍。

1.4.1 NS-2 的下载

目前，NS-2 是由南加州大学的信息技术学院 (USC - ISI: The University of Southern California's Information Sciences Institute) 来负责开发和维护的，其官方主页在 <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>。现在，它还有一个新的维客 (Wiki) 主页 (也称知识库)，其首页地址是 http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/Main_Page。这两个地方都有关于 NS-2 的最新消息，本书采用的 NS-2 版本是 2006 年 9 月 26 日发布的 NS-2.30。其安装说明和下载的官方英文页面在 <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-build.html>。

由于 NS-2 是一个集成的模拟环境，除了 NS-2 本身之外，它还需要许多其他软件包的支持，如 Tcl、Tk、OTcl、Xgraph、Nam 等软件包，而这些包之间又有相互的版本依赖关系，因此，我们一般不会手工单独安装各个软件包，而直接下载它提供的一次性包 (allinone 即 all in one)。下载 allinone 包可以一次性获取所有需要的各个软件包，并且也不会出现版本冲突问题。如果懒得去主页找下载地址，这里提供一个下载镜像地址，将该地址拷贝到浏览器的地址栏并按回车，软件包 ns-allinone-2.30.tar.gz 即会自动下载，大小为 65.9MB，其下载地址为：http://sourceforge.net/project/downloading.php?group_id=149743&use_mirror=jaist&filename=ns-allinone-2.30.tar.gz&75583731。

ns-allinone-2.30.tar.gz 是 Linux 下的 tar 工具的压缩包，它包含以下软件包的源码：

- (1) Tcl release 8.4.13 (必备组件)
- (2) Tk release 8.4.13 (必备组件)
- (3) Otcl release 1.12 (必备组件)
- (4) TclCL release 1.18 (必备组件)
- (5) Ns release 2.30 (必备组件)
- (6) Nam release 1.12 (可选组件)
- (7) Xgraph version 12 (可选组件)
- (8) CWeb version 3.4g (可选组件)
- (9) SGB version 1.0 (可选组件，为所有类 Unix 平台安装 sgblib 库)
- (10) Gt - itm gt - itm and sgb2ns 1.1 (可选组件)
- (11) Zlib version 1.2.3 (可选，安装 Nam 软件包需要用到)