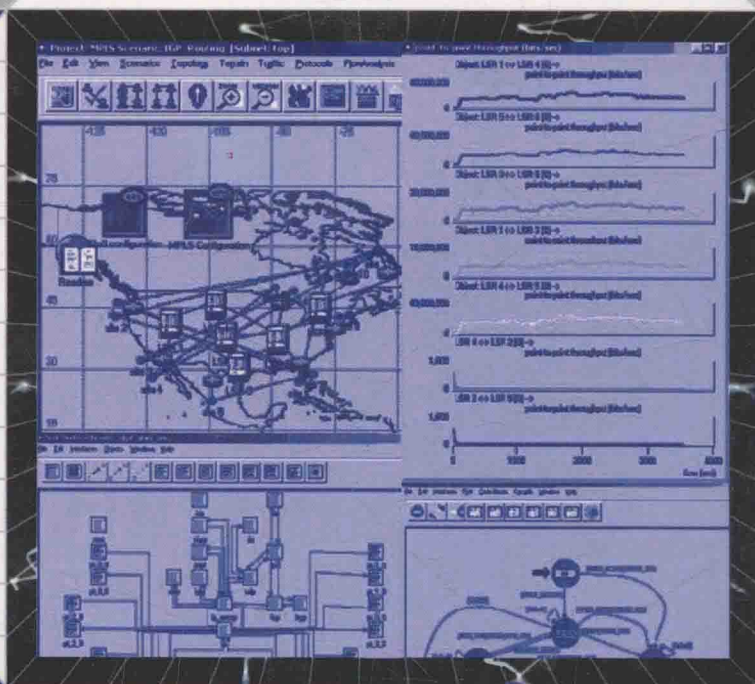


OPNET Modeler 与网络仿真

王文博 张金文 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



TP393.02

3

04/08

OPNET Modeler 与网络仿真

王文博 张金文 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

OPNET Modeler 与网络仿真 / 王文博, 张金文编著. —北京: 人民邮电出版社, 2003.10
ISBN 7-115-11678-4

I. O... II. ①王... ②张... III. 计算机网络—数据通信—计算机仿真—应用软件, OPNET Modeler IV. TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 081797 号

内 容 提 要

本书作为国内第一本关于 OPNET 在网络仿真方面应用的中文书籍, 目的是帮助 OPNET Modeler 的使用者能更好地学习和掌握该软件以进行网络的建模和仿真。本书共有 10 章, 内容包括: OPNET 产品介绍、OPNET 建模和编程、OPNET Modeler 的建模机理和通信机制、进程模型的创建和编程、常用的核心函数、仿真结果的分析、节点移动性问题、无线信道的刻画、OPNET 的调试以及和 VC 的联合调试、OPNET Modeler 的使用案例 (包括 ATM 模块、应用层模块以及 TCP 模块的使用。另外, 在随书附带的光盘中, 包含了书中所有实验的代码。

本书的适用对象主要是从事通信网络协议研究或开发、网络规划、网络性能优化与协议性能评估的工程技术人员, 还包括高校相关专业的研究生和教师。

OPNET Modeler 与网络仿真

- ◆ 编 著 王文博 张金文
责任编辑 徐享华
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20.5
字数: 499 千字 2003 年 10 月第 1 版
印数: 1—4 500 册 2003 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11678-4/TN · 2156

定价: 38.00 元 (附光盘)

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

目前网络仿真方兴未艾。网络仿真在网络管理、协议设计、性能预测以及故障诊断等方面都发挥着非常越来越重要的作用。OPNET 作为当前业界著名的网络仿真软件,在国内外的教学和工程中应用得越来越广泛。本书可作为 OPNET Modeler 的使用者学习和掌握 OPNET Modeler、进行通信系统的建模和仿真的参考书,适用对象主要是从事通信网络协议研究或开发、网络规划、网络性能优化与协议性能评估的工程技术人员,还包括高校相关专业的研究生和教师。

对于 OPNET Modeler,可以从 3 个层次进行概括和描述:(1)三层建模机制,OPNET Modeler 提供了网络层、节点层、进程层的三层建模机制,使得建模更加有条理,大大加快了研发速度;(2)事件驱动的仿真,对于离散事件仿真软件来说,事件驱动是一个很重要的概念,仿真时间的推进是靠事件来驱动的,有事件的时候则进行处理,没有事件的时候则推进仿真时间线;(3)基于包的通信,在 OPNET Modeler 中一个最重要的实体就是包,通过包的字段来体现通信协议,OPNET Modeler 一大部分的通信是靠包以及包中承载的信息来完成的。这 3 个层次是使用 OPNET Modeler 来进行通信系统建模的核心概念。

OPNET Modeler 几乎可以完成现有各种通信系统的仿真,包括核心网、接入网、无线网络、卫星网络以及各种混和型网络等。从架构上本书共分 5 个部分(10 个章节),每个章节在本章内容的基础上提供相应的实验内容,便于大家更好地掌握各章的内容。

第 1 部分包括第 1~3 章,为 OPNET 介绍部分。其中,第 1 章为 OPNET 概述,简要地介绍了 OPNET 的产品历史、概况和发展系列。第 2 章介绍 OPNET Modeler 的安装以及 license 的维护。第 3 章讲述了各个编辑器的使用,包括项目编辑器、节点编辑器、进程编辑器等。

第 2 部分(第 4~7 章)为 OPNET 建模和编程部分,在这里开始涉及到 OPNET Modeler 较深入的问题。其中第 4 章介绍了 OPNET Modeler 建模的机理及通信机制。第 5 章介绍了使用 OPNET Modeler 进行编程以及进程模型的创建和编程。第 6 章针对常用的核心函数进行了重点的介绍。第 7 章介绍了仿真结果的分析及文档生成。

第 3 部分(第 8 章)利用 OPNET 进行无线建模部分,专门针对无线建模中碰到的节点移动性问题和无线信道的描述,都做了深入的讨论。

第 4 部分(第 9 章)重点阐述了 OPNET 的调试和 VC 的联合调试问题。

最后一个部分(也即第 10 章)针对利用 OPNET Modeler 进行协议开发和研究做了总结,介绍使用 OPNET Modeler 开发出的一些模块,包括 ATM 模块、应用层模块以及 TCP 模块。

另外,本书附带有光盘。光盘中包含了章节后面所有实验的源代码,读者可参照书中的实验说明进行练习。读者通过完成这些实验,可进一步加深对建模思想、软件使用、编程方法的认识。

本书在书写过程中得到了陆燕、张兴、钱雨、赵娟娟和黄振安等人的大量帮助，他们对相关资料进行了搜集、整理和翻译，并参与了部分内容的编写工作，在此对他们表示特别感谢。

由于作者的水平有限，本书可能有很多不甚完善之处，也难免有错误和值得争议的地方，欢迎读者批评指正。

作者

2003年8月1日于北京邮电大学

目 录

第 1 章 OPNET 概述	1
1.1 网络仿真技术介绍	1
1.2 OPNET 历史和现状	1
1.3 OPNET 在中国	4
1.4 OPNET 公司的全线产品介绍	4
1.4.1 Modeler	5
1.4.2 ITGuru	7
1.4.3 SPGuru	9
1.4.4 ODK 以及 NetBiz	10
1.4.5 WDMGuru	11
1.4.6 附加模块	11
1.5 OPNETWORK——全球 OPNET 产品使用者的盛会	12
【实验 1】建立第一个网络：简单的 OPNET 实例	12
第 2 章 OPNET Modeler 安装及 license 管理	24
2.1 系统需求	24
2.1.1 支持的平台	24
2.1.2 系统硬盘和内存需求	24
2.1.3 操作系统补丁需求	24
2.1.4 其他需求	25
2.2 OPNET Modeler 安装	25
2.2.1 Windows 平台下的安装	25
2.2.2 UNIX 平台下的安装	26
2.3 OPNET 的 license 的管理	27
2.3.1 OPNET license 的 3 种方式	28
2.3.2 license 的维护	28
2.3.3 一些注意事项	32
2.3.4 选择模块	33
2.3.5 限制 license 服务器的管理	33
第 3 章 OPNET Modeler 使用	35
3.1 使用 Modeler 进行仿真的流程	35

3.2	OPNET Modeler 的开发环境介绍	37
3.2.1	项目编辑器	37
3.2.2	节点编辑器	46
3.2.3	进程编辑器	49
3.2.4	链路编辑器	52
3.2.5	包编辑器	53
3.2.6	天线模式编辑器	54
3.2.7	接口控制信息编辑器	56
3.3	OPNET 中的文件类型	56
【实验 2】	项目编辑器的使用	57
【实验 3】	其他编辑器的使用	63
第 4 章	OPNET Modeler 建模	68
4.1	建模概述	68
4.2	建模框架	69
4.2.1	三层建模机制	69
4.2.2	实际系统到 OPNET 模型的映射	70
4.2.3	系统结构建模	75
4.2.4	事件调度的仿真	97
4.3	OPNET 通信机制	123
4.3.1	基于数据包的通信	123
4.3.2	通信链路	127
4.3.3	应用接口控制信息 (ICI) 的通信	132
4.3.4	利用统计量进行通信	136
4.3.5	通信链路模型	138
第 5 章	OPNET Modeler 进程建模	151
5.1	进程建模概述	151
5.2	进程模型开发方法 (PMM)	157
5.2.1	第 1 阶段: 上下文定义	158
5.2.2	第 2 阶段: 分解进程	158
5.2.3	第 3 阶段: 事件枚举 (每个进程)	158
5.2.4	第 4 阶段: 建立事件响应表 (每个进程)	159
5.2.5	第 5 阶段: 进程模型的实现	161
5.3	动态进程	165
5.3.1	进程的层次	165
5.3.2	共享的内存架构	166
5.3.3	中断的导向	167
【实验 4】	动态进程的编写	168

第 6 章 OPNET Modeler 编程基础	171
6.1 使用 Modeler 编程概述	171
6.1.1 状态变量的定义	171
6.1.2 临时变量的定义	171
6.1.3 头区以及头文件的使用	171
6.1.4 函数区以及外部文件	173
6.1.5 进入、离开以及转移代码	175
6.2 OPNET 核心函数简介	175
6.2.1 核心函数命名规则	175
6.2.2 参数类型	175
6.2.3 函数栈跟踪	178
6.2.4 变量命名限制	180
6.3 常用核心函数	181
6.3.1 包函数集	181
6.3.2 子队列函数集	190
6.3.3 标识, 拓扑和内部模型访问函数集	193
6.3.4 中断函数集	197
6.3.5 统计量函数集	201
6.3.6 分布函数集	203
6.3.7 事件和仿真函数集	205
第 7 章 搜集、分析以及发布仿真结果	207
7.1 仿真的输出形式	207
7.2 搜集标量统计量	207
7.3 搜集矢量统计量	209
7.4 动画	209
7.4.1 生成 AH 文件	209
7.4.2 op_vuanim 环境的使用	210
7.5 网络报告	211
【实验 5】标量统计量的搜集	211
第 8 章 OPNET Modeler 无线建模	218
8.1 OPNET Modeler 中的无线建模概述	218
8.2 OPNET Modeler 对对象移动性的支持	218
8.2.1 运动轨迹	218
8.2.2 卫星轨道	222
8.2.3 通过进程模型来控制位置	224
8.3 无线收发信机管道建模	224

8.3.1	阶段 0: 接收机组	228
8.3.2	阶段 1: 发送时延	229
8.3.3	阶段 2: 闭合阶段	230
8.3.4	阶段 3: 信道匹配	231
8.3.5	阶段 4: 发射天线增益	231
8.3.6	阶段 5: 传播时延	233
8.3.7	阶段 6: 接收天线增益	234
8.3.8	阶段 7: 接收功率	234
8.3.9	阶段 8: 背景噪声	235
8.3.10	阶段 9: 干扰噪声	236
8.3.11	阶段 10: 信噪比	237
8.3.12	阶段 11: 误比特率	237
8.3.13	阶段 12: 错误分布	238
8.3.14	阶段 13: 错误纠正	239
8.4	调制曲线	239
8.5	天线建模	241
8.5.1	基本操作	241
8.5.2	编辑天线模式表	243
8.6	并行仿真	245
8.6.1	简介	245
8.6.2	并行仿真的执行	245
8.6.3	相关提示信息	246
8.6.4	并行建模和编程	246
【实验 6】	无线网络的建模	247
第 9 章	OPNET 程序调试	257
9.1	OPNET 仿真调试器 (ODB)	257
9.1.1	启动 ODB	257
9.1.2	退出 ODB	258
9.1.3	在 ODB 中使用帮助	258
9.1.4	使用 ODB 的一般流程	259
9.1.5	认识 Modeler 的仿真错误日志	259
9.1.6	仿真实体	261
9.1.7	中断 (breakpoint)	261
9.1.8	跟踪 (trace)	262
9.1.9	标签 (Label)	263
9.1.10	映射 (map)	265
9.1.11	进程编辑器中诊断区的使用	266
9.2	OPNET 和 VC 联合调试	267

9.2.1	配置 Modeler 环境参数	267
9.2.2	强制编译	268
9.2.3	执行仿真	269
【实验 7】使用 ODB 的 evstop 和 fulltrace		270
第 10 章 OPNET Modeler 模型介绍及高级应用		275
10.1	ATM 模块的内部结构	275
10.1.1	ATM 简介	275
10.1.2	OPNET 中的 ATM 模块	275
10.1.3	ATM 模型属性	277
10.1.4	可获得的统计量	282
10.1.5	ATM 菜单操作	283
10.1.6	仿真日志的使用	283
10.1.7	ATM 模型结构	285
10.1.8	ATM 模型接口	287
10.1.9	OPNET 中的 ATM 连接	288
10.2	TCP 模块的内部结构	293
10.2.1	TCP 简介	293
10.2.2	OPNET 中的 TCP 模块	293
10.2.3	TCP 模型属性	294
10.2.4	可获得的统计量	298
10.2.5	TCP 模型结构	299
10.2.6	TCP 模型接口	302
10.2.7	TCP 命令及指示	302
10.3	应用层模块的内部结构	308
10.3.1	OPNET 中应用层的内部结构	308
10.3.2	应用的类型及简介	310
10.3.3	对相关模块的设定	315

第1章 OPNET 概述

通信技术的发展日新月异。目前,通信网络的仿真、智能化规划、优化以及管理成为通信领域的热点问题。而 OPNET 这一网络仿真工具为解决通信网络(包括固定网、移动网络和卫星网络)仿真和优化以及网络高效的管理提供了整套解决方案,成为当前网络仿真以及分析领域出类拔萃的软件。本章将对 OPNET 产品作一个全面概述。

1.1 网络仿真技术介绍

随着网络结构和规模越来越复杂化以及网络的应用越来越多种多样化,单纯地依靠经验进行网络的规划和设计、网络设备的研发以及网络协议的开发,已经不能适应网络的发展。因而急需一种科学的手段来反映和预测网络的性能,网络仿真技术应运而生。通常,网络仿真都是在计算机中构造虚拟的环境来反映现实的网络环境,通过数学方法或者动态蒙特卡罗方法来模拟现实中的网络行为,从而它可以有效地提高网络规划和设计的可靠性和准确性,明显地降低网络投资风险,减少不必要的投资浪费。

网络仿真技术的应用范围十分广泛,目前应用于各种通信系统的设计、规划以及运营维护,其应用包括有线网络仿真、卫星通信系统仿真、地面无线通信系统(如 CDMA、GPRS 等)仿真等。它可以对现有网络的性能进行评估、配置错误验证、优化以及升级前的规划,也可以对下一代网络进行仿真设计;可以用在商用通信网络中,也可以用在军用通信网络中;可以对单一网络(如 IP 网)进行仿真,也可以对混合网络(如 IP 和 ATM 网)进行技术分析。

但是由于网络仿真的对象的复杂性,使得网络仿真本身建模过程比较复杂。

1.2 OPNET 历史和现状

OPNET 公司起源于 MIT(麻省理工学院),成立于 1986 年。1987 年 OPNET 公司发布了其第一个商业化的网络性能仿真软件,提供了具有重要意义的网络性能优化工具,使得具有预测性的网络性能管理和仿真成为可能。OPNET 公司目前为 Nasdaq 上市公司,代号为 OPNT,2002 年被福布斯评为全美最佳 200 中小型企业。

OPNET 公司最初只有一种产品 OPNET Modeler,到目前已经拥有 Modeler、ITGuru、SPGuru、WDMGuru、ODK 等一系列产品,客户群也从最初的美国军方扩展到通信的方方面面。对于网络的设计和管理,一般分为 3 个阶段:第 1 阶段为设计阶段,包括网络拓扑结构的设计,协议的设计和配置以及网络中设备的设计和选择;第 2 阶段为发布阶段,设计出的网络能够具有一定性能,如吞吐率、响应时间等等;第 3 阶段为实际运营中的故障诊断、排错和升级优化。而 OPNET 公司的整个产品线正好能面向网络研发的不同阶段,

既可以作网络的设计，也可以作为发布网络性能的依据，还可以作为已投入运营的网络的优化和故障诊断工具。OPNET 公司也是当前业界智能化网络管理分析解决方案的主要提供商。

OPNET 公司目前在全球超过 2 500 客户，其中大约 75% 的客户在美国本土，大约 25% 的客户在其他国家。

OPNET 公司的全球以及北美部分客户列表见表 1.1。

表 1.1 OPNET 公司的全球部分客户名单

运营 商	企 业	设备制造商	政府和军方
Allegiance Telecom	Abbott Labs	3Com Corporation	Bureau of Alcohol Tobacco & Firearms
AT&T	ABN AMRO	Advanced Micro Devices	Department of Agriculture
AT&T Wireless	Accenture	Alcatel	Department of Commerce
Belgacom	Ashland Inc.	Avaya	Department of Defense
BellSouth	ATOFINA Petrochemicals	Boeing	Department of State
British Telecom	Becton, Dickinson and Company	CableLabs	Department of Veterans Affairs
Cable & Wireless	Booz Allen Hamilton	Cingular Wireless	Diplomatic Telecom Service Prog. Office
Chunghwa Telecom	CACI Federal	Cisco Systems	DISA
Compuserve	Cal Fed	Ericsson	Environmental Protection Agency
Deutsche Telekom	Capital One	Fujitsu	Federal Aviation Administration
Dolphin Telecom	Charles Schwab	Harris	Federal Bureau of Investigation
France Telecom	ChevronTexaco	Hewlett Packard	Federal Railroad Administration
Hungarian Telecom	Chrysler	Honeywell	Idaho National Eng. & Environmental Lab
H3G	Citicorp	Hughes	Internal Revenue Service
ITALTEL	Compaq Global Services	IBM	Jet Propulsion Laboratory
Indonesia Telecom	Cummins Engine	Intel	Joint Staff (J6)
Korea Telecom	CVS	ITT	Lawrence Livermore National Laboratory
Nextel	Daimler Chrysler	Lockheed Martin	NASA
NTT DoCoMo	Dell Computers	Lucent Technologies	National Communication System
Omnitel	DHL	Marconi	National Guard
Orange PCS	DirectTV	Matsushita	National Imagery Mapping Agency
Polish Telecom	Entergy	Microsoft	National Simulation Center
PT Comunicacoes	Enterprise Rent-a-Car	Motorola	NATO
SBC	Ernst & Young	NEC	Oak Ridge National Labs
SK Telecom	Federal Reserve Bank	Nokia	Sandia National Labs
Sprint	Financial First Citizen	Northrop Grumman	SPAWAR
Swisscom	First American	Nortel	Tennessee Valley Authority
Telekom Austria	First Union National Bank	Onex	Tri-Service Info. Mgmt Prog. Office
Telecom Italia	FleetBoston Financial	Philips	US Agency for International Development
Telecom Italia Mobile	General Motors	Qualcomm	US Air Force
Telefonica	IBM Global Services	Raytheon	US Army
Telenor	Ingram Micro	Samsung	US Coast Guard
TELUS	Kemper Insurance	Sharp	US Marine Corps
Telstra	Marathon Oil	Siemens	US Navy
T-Mobile	Mary Kay	Sony	US Senate
UUNET	National Semiconductor	Sun Microsystems	
Verizon	NCR	Telcordia	
Vodafone	Newport News Shipbuilding	Tellabs	
	Oracle	Tellium	
	Petro-Canada	Terawave	
	Pierl Imports	Texas Instruments	
	Prudential	Thomson Multimedia	
	Radio Shack	Toshiba	
	R.R. Donnelley	TRW	

续表

运 营 商	企 业	设备制造商	政府和军方
	SAP Schlumberger Seagate Technology Sears Southern California Edison Spiegel State Street Bank Tokyo Gas TXU Visa International VSP Waste Management		

从表 1.1 可以看出，OPNET 公司的客户群包括：

（1）大型通信设备制造商（如 3COM、Cisco、Nortel Networks、Lucent 等），这些客户需要 OPNET 公司的作为其网络设备、协议以及应用开发的工具。

（2）大中型企业（如 BOEING、Daimler Benz 等），这些客户一般具有比较庞大的内部网络，企业业务通过网络进行传输，一些应用对网络的可靠性以及有效性具有较强的依赖性。OPNET 公司的产品可以帮助企业网管人员以及开发人员进行很好的设计和管理企业内部网，同时帮助他们进行故障诊断。

（3）电信运营商（如 AT&T、NTT DoCoMo、France Telecom 等），这些客户相当于大中型企业，具有更复杂的网络结构和协议配置，因此管理起来更加复杂。OPNET 利用其极高的网络智能来辅助运营商的网管人员来管理其网络，并且 OPNET 具有很好的开放型和互联性，可以和当前很多流行的网络管理和监控软件协同工作，如 HP 的 OpenView、Tivoli 的 NetView、Cisco Netflow 以及 Angilent 的 NetMetrix。

（4）军方和政府方的研发机构，这部分客户的需求一般比较特殊，用于开发一些特别的应用，如战术互联网等等。OPNET 由于其仿真的精确性、友好的界面以及具备高级体系结构（HLA，High Level Architecture）接口，从而成为这类客户进行和网络有关开发时的首选产品。

（5）大专院校，目前 OPNET 公司在欧美一些西方国家，每年向大专院校提供数百万美金的免费软件，以支持和资助大专院校的科研和教学。目前，OPNET 在大学的科研和教学中是一个十分普遍的工具软件，在《IEEE Communications Magazine》等其他杂志期刊，以及 IEEE 的一些会议文献中可以检索到数量相当多的有关 OPNET 的学术论文。

OPNET 公司由于其出众的技术而成为当前业界领先的智能化网络仿真、分析、管理解决方案的提供商。OPNET 公司在业界赢得了许多第三方评测机构的奖项，在多次展览中也脱颖而出。目前 OPNET 公司在网络级仿真以及分析软件中可以说鹤立鸡群。图 1-1 为 OPNET 公司获得的一些评测奖项。



图 1-1 OPNET 公司获得一些奖项

1.3 OPNET 在中国

OPNET 由于 1998 年才进入中国，虽然其功能强大，但是目前在国内的应用还处于起步阶段。从 2002 年的使用情况来看，OPNET 在中国的增长势头十分喜人，目前客户群正在迅速增加。

目前 OPNET 在中国的客户包括：北京邮电大学、武汉大学、上海大学、中国电信广东电信科学研究院、信息产业部邮电规划研究院、信息产业部电子规划研究院、信息产业部第七研究所、信息产业部电信传输研究所、华为科技、中兴通讯、大唐通信、连宇（LinkAir）、上海贝尔、Motorola 北京研发中心、上海飞利浦等。

1.4 OPNET 公司的全线产品介绍

OPNET 公司的第一个商用化产品为 Modeler，在此基础上，OPNET 公司又开发出了其他产品，使得其产品的种类更加丰富。目前 OPNET 公司的产品线除了 Modeler 外，还包括 ITGuru、SPGuru、OPNET Development Kit 以及 WDMGuru。不同的产品面向的客户群也不一样。Modeler 主要面向研发，其宗旨是为了“Accelerating Network R&D（加速网络研发）”；ITGuru 可以用于大中型企业，作智能化的网络设计、规划和管理；SPGuru 相对 ITGuru 在功能上更加强大，内嵌了更多的 OPNET 附加功能模块，包括流分析模块（FlowAnalysis）、网络医生模块（NetDoctor）、多提供商导入模块（Multi-Vendor Import）、MPLS 模块，使得 SPGuru 成为电信运营商量身定做的智能化网络管理、规划以及优化的平台；WDMGuru 是面向光纤网络的运营商和设备制造商，为其提供了管理 WDM 光纤网络，并为测试产品提供了一个虚拟的光网络环境。OPNET 开发包（ODK，OPNET Development Kit）和 NetBizODK 是一个更底层的开发平台，其中 ODK 为开发时环境，NetBiz 为运行时环境，可以用于设计

用户自定制的解决方案，定制用户的界面，并且 ODK 提供了大量的函数，用于网络优化和规划。

从核心技术来说，OPNET 公司的全线产品都基于 Modeler 的核心技术演化和发展而来的，每个产品针对不同的用户群作出了一些特殊的调整和修改。从功能上来说，ODK 的功能最强大，它不仅包含了 Modeler 的建模功能，还包含了界面开发和网络设计的库函数。ITGuru 从功能上看是 Modeler 的一个子集，简单地说，是不具备编程功能的 Modeler。而 SPGuru 也是 ITGuru 的一个超集，它具备了 ITGuru 的所有功能，并且在协议的支持上比 ITGuru 更加全面。



图 1-2 OPNET 公司的全线产品

1.4.1 Modeler

OPNET Modeler 是当前业界领先的网络技术开发环境，以其无与伦比的灵活性应用于设计和研究通信网络、设备、协议和应用。Modeler 为开发人员提供了建模、仿真以及分析的集成环境，大大减轻了编程以及数据分析的工作量。Modeler 被世界各大公司和组织用来加速研发过程，开发大型的网络。

使用 Modeler，可以给用户带来如下利益：

- (1) 提升网络研发的成果。Modeler 提供了各种专门的编辑器、分析工具和一些最新的模型，使得研发人员可以专注于项目中特定部分的开发而不用在不必要的地方浪费精力。
- (2) 改善产品质量。Modeler 提供测试实际产品的虚拟网络环境，可以有效地避免一些设计中的错误。
- (3) 缩短从研发到市场的时间，在完成实际产品之前作充分的验证。

Modeler 面向对象的建模方法和图形化的编辑器反映了实际网络和网络组件的结构，因此，实际的系统可以直观地映射到模型中，Modeler 支持所有的网络类型。图 1-3 显示了 Modeler 的层次化的建模方法以及结果分析。

Modeler 的一些主要特性如下所述：

- (1) 层次化的网络模型。使用无限嵌套的子网来建立复杂的网络拓扑结构。
- (2) 简单明了的建模方法。Modeler 建模过程分为 3 个层次：过程（Process）层次、节点（Node）层次以及网络（Network）层次。在过程层次中模拟单个对象的行为，在节点层次中将其互连成设备，在网络层次中将这此设备互连组成网络。几个不同的网络场景组成“项目”，用以比较不同的设计方案。这也是 Modeler 建模的重要机制，这种机制有利于项目的管理和分工。

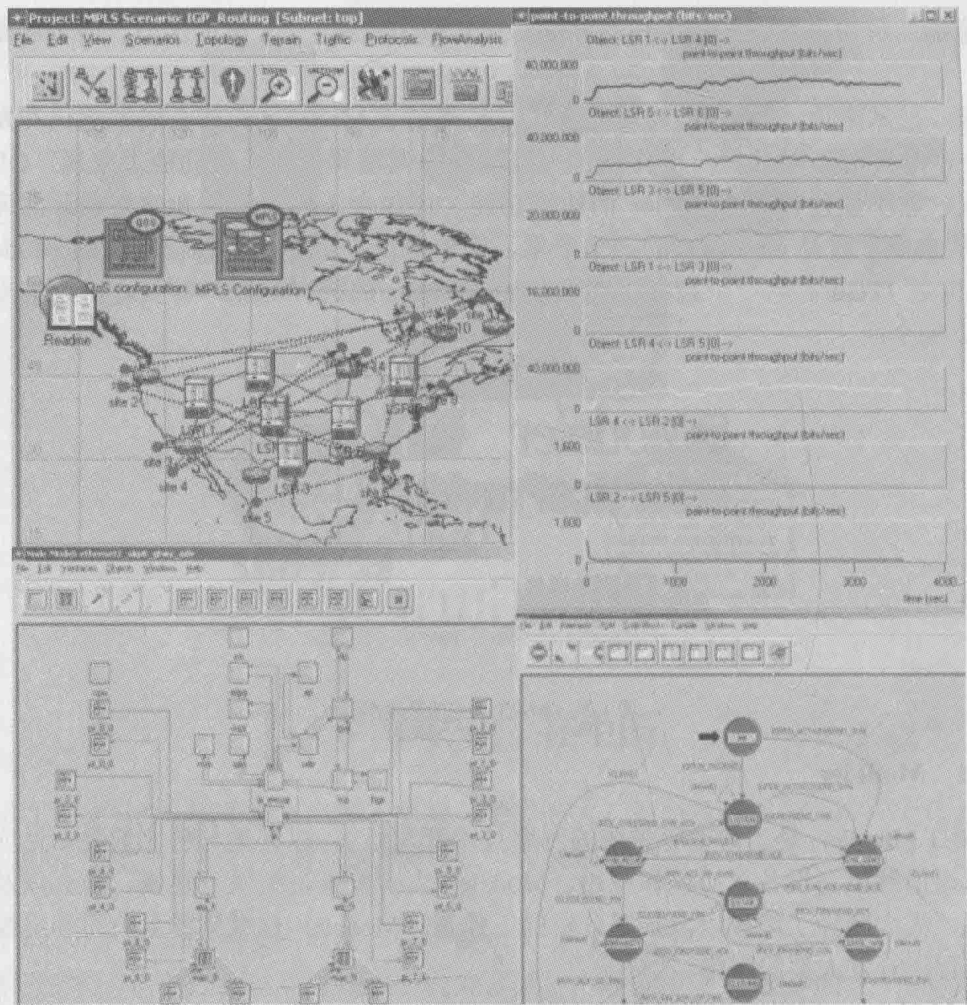


图 1-3 Modeler 层次化的建模机制和集成的建模、仿真和分析环境

- (3) 有限状态机。在过程层次使用有限状态机来对协议和其他过程进行建模。在有限状态机的状态和转移条件中使用 C/C++ 语言对任何过程进行模拟。用户可以随心所欲地控制仿真的详细程度。有限状态机加上标准的 C/C++ 以及 OPNET 本身提供的 400 多个库函数构成了 Modeler 编程的核心。OPNET 称这个集合为 Proto C 语言。
- (4) 对协议编程的全面支持。支持 400 多个库函数以及书写风格简洁的协议模型。OPNET 的核心已经嵌入了众多协议，因此对于很多协议，无需进行额外的编程。
- (5) 系统的完全开放性。Modeler 中的源码全部开放，用户可以根据自己的需要添加、修改已有的源码。因此，很多用户都是在标准的协议上进行一些修改来作自己的研究。
- (6) 高效的仿真引擎。使用 Modeler 进行开发的仿真平台，使仿真的效率相当高。作者也曾用 C/C++ 进行仿真平台的编写，而使用 Modeler 开发出来的仿真平台已经接近用 C/C++ 开发的仿真平台的效率。
- (7) 集成的分析工具。Modeler 仿真结果的显示界面十分友好，可以轻松刻画和分析各种类型的曲线，也可将曲线导出到电子表格中。
- (8) 动画。Modeler 可以在仿真中或仿真后显示模型行为的动画，使得仿真平台具有很

好的演示效果。

(9) 集成的调试器。快速地验证仿真或发现仿真中存在的问题, OPNET 本身有自己的调试工具——OPNET Debugger (ODB)。另外, OPNET 在 Windows 平台下还支持和编程语言 VC 的联合调试, 这在后续章节中会专门介绍到。

Modeler 提供的十几个编辑器大大加快了建模的进程。这些编辑器将在后续章节中重点介绍, 掌握其中几个比较重要的编辑器的使用也是 OPNET 初学者的任务。Modeler 提供的编辑器有: 项目编辑器、节点编辑器、过程编辑器、链路编辑器、路径编辑器、包编辑器、天线模式编辑器、接口控制信息编辑器、调制曲线编辑器、概率分布函数编辑器、探针编辑器、图标编辑器、源程序编辑器等。每个编辑器均可完成一定的功能, 使得原先需要书写很长代码的程序, 只需通过图形化的界面进行一些设置就可以完成了。

1.4.2 ITGuru

现在的网管人员面对众多的业务, 需要管理更多的技术和达到更高的管理水平。ITGuru 正是针对这些挑战应运而生的。Guru 的原意为领袖、首领的意思。OPNET 公司采用这个词作为其产品的名字, 更显示了 OPNET 公司的产品要在业界成为领先的网络规划、管理以及优化方面的最好工具的决心。

ITGuru 是一个专注于提高企业网管人员发现和解决问题的能力软件产品。ITGuru 的独特之处在于它能够辨识整个网络, 包括路由器、交换机、协议、服务器以及它们所支持的业务。内嵌于 ITGuru 的智能来自于 Modeler, 也就是我们前面介绍的起源于 1986 年的成熟技术。

使用 ITGuru 可获得的好处如下所述:

(1) 节约资金成本。对 IT 预算有效的利用, 以及投资所能达到的性能的理解。ITGuru 为用户提供了现成的答案。结果是 IT 预算以较少的投入换得了较大的回报。

(2) 改善运营效率。IT 组织依靠技术熟练的工程师来发现和解决技术问题。ITGuru 提供了结构化的、可重用的诊断和验证功能, 加速问题解决的同时也减轻了培养 IT 人员的压力。

(3) 提高企业生产率。企业生产率可以很简单地联系到应用的响应时间。ITGuru 通过指出应用的瓶颈以及支持平滑过渡来优化应用的响应时间。

(4) 减小风险。企业面临着网络出故障的风险。通过仿真故障和过载的情况, IT 经理们使用 ITGuru 可以明显地减小风险。

ITGuru 通过构建虚拟网络环境来进行问题诊断、网络规划和优化。虚拟网络的构建是通过拓扑结构的构建、流量的构建以及协议的配置来进行的。而 ITGuru 技术本身已经保证了构建出来的虚拟网络环境可以以足够的精确性来反映现实的网络环境。ITGuru 的虚拟网络环境重现了实际的网络行为, 包括路由器、协议、服务器和单个应用。通过对虚拟网络环境的操作, 网管人员、网络规划人员和操作人员可以更有效地诊断故障, 进行变更之前的验证, 为未来网络的升级作规划。图 1-4 显示了 ITGuru 的工作流程。

当前企业的 IT 部门主要关注网络端到端的性能和可用性。从图 1-5 可以看出企业的 IT 部门主要负责管理网络、服务器以及网络运行的应用业务, 以使网络获得较好的端到端性能和较高的可用性。OPNET 的 ITGuru 很好地将这三者整合起来, 迅速发现了决定网络性能的根本因素, 并且可以预测应用软件、设备以及网络配置在作出修改之后, 会对应用的性能产生什么样的影响。