

中国电子教育学会高教分会推荐用书

Communication Network Simulation Based on OPNET

基于OPNET的通信网仿真

郜 林 著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高教分会推荐用书

基于 OPNET 的通信网仿真

部林 著

学生在学习通信网的教学方法呢?答案是肯定的,基于计算机建模的网络仿真技术能较好地解决这个问题。网络仿真是近年来兴起的一项专门技术,可以通过软件平台进行网络的模拟和仿真。不同于传统的数学模型分析,网络仿真采用编程方法构建模型,通过计算机进行网络行为的模拟并统计性能参数。图在版编目(CIP)数据

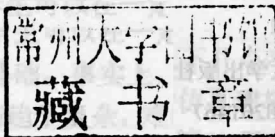
近年来,作者将 OPNET 应用于通信网的教学及科研工作中,发现网络仿真可以调动学生的学习积极性,学生从对例程的模仿、分析和实验逐步过渡到自主建模,通过图形、调试等工具对通信网的建模进行仿真的过程,使学生对通信网的学习从被动变为主动,快乐中学习、探索,通过科研活动,还为学生打下了基础。

基于 OPNET 的通信网教学,不仅可以提高学生的学习兴趣和效率,还为学生提供了一种进行网络评估、预测和设计的手段,学生可以在一定程度上进行研发的锻炼,提高动手能力和独立思考能力,为日后工作打下基础。事实上,对于通信网研发而言,网络仿真的作用更为突出,这是因为当今的网络结构趋于复杂,难以甚至不可能进行手工设计,只能通过计算机网络仿真。

为了使本书更加简洁、实用,为日后工作打下基础,本书在编写过程中,力求做到以下几点:

- (1) 总体上,注重“实用性”,是指建模实例。因为当今的网络结构趋于复杂,本书(六至十章)讲述应用实践,上篇是下篇的铺垫,为下篇提供方法,下篇是上篇的实际应用,为上篇提供佐证,二者具有内在的关联性,是贯通统一的。
- (2) 对理论的论述要有一定的逻辑性,重点放在通信网建模的核心思想和关键技术,力求做到对重点(如单节点、多节点、多进程机制、多进程机制等)的深入剖析,从而切中要害地解决建模中的关键问题。
- (3) 实践部分的实例是从多个角度来选取的,从通信网基础理论来说,从网络协议来说,涉及通信网中的物理层(如无线发射技术)、数据链路层(如 MAC 层竞争接入)、从通信网方式来说,涉及有线网(如计算机以太网)和无线网(如移动通信网)等,每个实例都有一定的代表性和典型性,力求用较少的实例体现通信网建模的一般思路和方法。

西安电子科技大学出版社



内 容 简 介

本书分为上篇(基础理论)和下篇(应用实践)两大部分,针对通信网建模,深入讨论了 OPNET 的仿真架构和驱动方式,剖析了中断、通信、多进程、多队列等仿真机制,阐述了基于 Proto C 的进程域建模方法。书中基于仿真原理和开发方法,以 M/M/1 队列、CSMA/ALOHA 介质访问、定向与全向天线、局域网互联为例,从多个角度分析了通信网建模的关键技术及实验方法,最后以下一代航空数据链 VDL2 为例,介绍了 OPNET 在实际研发项目中的建模和仿真。

本书具有较强的系统性和逻辑性,同时注意突出重点,对主要的原理、方法和案例都做了代码的剖析,具有较强的实践特色。

本书可作为通信、电子、信息等相关专业高年级本科生以及研究生的通信网课程教材或参考书,也可作为通信网络研发人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

基于 OPNET 的通信网仿真 / 郜林著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-5606-4845-3

I. ① 基… II. ① 郜… III. ① 通信网—计算机仿真 IV. ① TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 019049 号

策 划 李惠萍

责任编辑 于 洋 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8824288588201467 邮 编 71007

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 18

字 数 426 千字

印 数 1~3000 册

定 价 40.00 元

ISBN 978-7-5606-4845-3/TN

XDUP 5147001-1

如有印装问题可调换

西安电子科技大学出版社

前 言

传统的通信网教学是以数学推导为主要分析手段的,如排队论是通信网中的基础理论之一,其基本规律是通过马氏链来进行分析的,又如 CSMA 是通信网中的多址关键技术,其主要指标是通过随机概率理论来确立的。对通信网协议栈和网络实体(如计算机网、移动通信网)的深入讨论,也往往要通过数学分析和随机概率的方法来进行。这些方法对于本科生而言,常显得过于艰深,他们必须在数学推导中投入很大的精力,这导致许多学生或者陷入“只见树木,不见森林”的怪圈,或者失去学习兴趣甚至半途而废。

是否能找到一种“绕开”或者“淡化”数学模型,突出通信网自身的本质规律并适应学生学习特点的通信网教学方法呢?答案是肯定的,基于计算机建模的网络仿真技术能较好地解决这个问题。网络仿真是近年来兴起的一项专门技术,可以通过软件平台进行网络的模拟和仿真。不同于传统的数学模型分析,网络仿真采用编程方法构建模型,通过计算机进行网络行为的模拟并统计性能参数,从而解决了传统教学中教学建模、推理难度过大的问题。

近年来,作者将 OPNET 应用于通信网的教学及科研工作中,发现其可以调动起学生的学习积极性,学生从对例程的模仿、分析和实验逐步过渡到自主建模,通过图形、调试等工具对通信网的规律进行分析(包括与现有理论的对比分析),在享受有所收获的快乐中学习、探索。通过科研活动,在为社会服务的同时,也为教学的深入和拓展提供了基础。

基于 OPNET 的通信网教学,不仅可以提高学生的学习兴趣和效率,还为学生提供了一种进行网络评估、预测和设计的手段。学生可以在一定程度上进行研发的锻炼,提高动手能力和独立思考能力,为日后工作打下基础。事实上,对于通信网研发而言,网络仿真的作用更为突出。这是因为当今的网络结构趋于复杂,难以甚至不可能进行数学建模,只能通过计算机网络仿真进行性能评估和方案比较。

为了使本书更加简练、实用,在成书过程中作者主要有以下几点考虑:

(1) 总体上,注重“理论结合实际”。所谓“理论”,是指仿真建模的原理和方法;所谓“实际”,是指建模实例及仿真实验。本书分上、下两篇,上篇(一至五章)讲述理论基础,下篇(六至十章)讲述应用实践。上篇是下篇的铺垫,为下篇提供方法;下篇是上篇的实际应用,为上篇提供佐证。二者具有内在的逻辑性,是贯通统一的。

(2) 对理论的论述要有一定的逻辑性、系统性,但又不能面面俱到。要将重点放在通信网建模的核心思想和关键技术上,力求做到对重点内容(如仿真架构、离散驱动机制、仿真通信机制、多进程机制等)的深入剖析,从而切中要害地解决建模中的关键性问题。

(3) 实践部分的实例是从多个角度来选取的:从通信网基础理论来说,有 M/M/1 排队论;从网络协议来说,涉及通信网中的物理层(如无线发射技术)、数据链路层(如 MAC 子层竞争接入);从通信网方式来说,涉及有线网(如计算机以太网)和无线网(如移动节点的信噪比分析)等。每个实例都有一定的代表性和典型性,力求用较少的实例体现通信网建模中的一般思路和方法。

(4) 为了突出实践特色，作者将代码剖析贯穿于全书的始终，使读者通过代码说明理解建立模型的架构思想和关键机制，明白案例的建模思路和仿真方法，深刻理解建模的实质性内容，从而能够很自然地过渡到“自我编程、自我建模、自我研发”的阶段。

(5) 鉴于无线技术在当今通信网络中的重要地位和无线仿真建模的复杂性，作者将无线管道阶段作为本书的一个重要内容，从无线管道阶段的建模框架、管道程序，到无线网络的模型实例和调试跟踪，在多个章节中从不同角度对无线网络建模技术进行剖析。

同时，由于 OPNET 软件和帮助文档都是英文的，因此作者在书中对术语都加了英文标注，以便于读者对照阅读。

最后，希望每一位读者学有所得、学有所思、学有所用！也希望得到来自专家、学者和广大读者的意见、批评和指正。

部 林

于天津财经大学

2017年9月15日

目 录

上篇 基础理论

第一章 绪论	2
1.1 通信网概述	2
1.1.1 通信网的基本概念	2
1.1.2 通信网的体系结构	3
1.2 通信网的仿真技术	5
1.2.1 OPNET 的发展过程	5
1.2.2 OPNET Modeler 的特点	6
1.3 本书的组织结构	7
第二章 OPNET 建模架构	8
2.1 OPNET 的对象化	8
2.1.1 模型与对象	8
2.1.2 对象的属性	12
2.2 OPNET 的三层建模	14
2.2.1 网络域建模	15
2.2.2 节点域建模	18
2.2.3 进程域建模	19
第三章 基于中断的离散事件仿真	21
3.1 离散事件仿真	21
3.1.1 仿真事件表	21
3.1.2 离散事件驱动	23
3.1.3 驱动实例分析	27
3.2 驱动问题的深入讨论	30
3.2.1 深刻理解仿真中的时间	30
3.2.2 同一时刻的事件排序	31

3.3 事件的类型	36
第四章 实体对象的通信方法	39
4.1 节点间通信	39
4.1.1 点对点通信	40
4.1.2 总线通信	43
4.1.3 无线通信	46
4.2 模块间通信	88
4.2.1 包流通信	88
4.2.2 统计量通信	92
4.3 ICI 通信	98
第五章 进程域编程	101
5.1 Proto C 编程方法	101
5.1.1 有限状态机	101
5.1.2 文件结构	104
5.1.3 进程中的变量	106
5.1.4 核心函数	107
5.1.5 程序调试方法	124
5.2 多进程与多队列	135
5.2.1 动态进程机制	135
5.2.2 子队列机制	143

下篇 应用实践

第六章 M/M/1 队列建模	148
6.1 关键模块建模	148
6.1.1 数据流的生成方法	148
6.1.2 队列的处理方法	156
6.2 M/M/1 队列模型整体分析	159
6.3 M/M/1 队列实验	160
6.3.1 目的和原理	160

6.3.2	实验的过程	161
6.3.3	关于实验的思考	166
第七章 CSMA 和 ALOHA 的性能对比仿真 167		
7.1	以太网建模	167
7.1.1	总线收发模型	167
7.1.2	总线管道阶段的跟踪	168
7.2	收发节点的建模	178
7.2.1	发送节点的建模	178
7.2.2	接收节点的建模	181
7.3	ALOHA/CSMA 对比仿真实验	182
7.3.1	目的和原理	182
7.3.2	实验过程	183
7.3.3	实验的再思考	192
第八章 无线网络仿真 193		
8.1	无线网络建模	193
8.1.1	无线链路通信	193
8.1.2	移动节点建模技术	213
8.2	全向与定向天线的对比实验	217
8.2.1	实验目的	217
8.2.2	实验过程	217
8.2.3	实验思考	223
第九章 计算机局域网互联仿真 224		
9.1	计算机网络建模	224
9.1.1	协议栈建模	224
9.1.2	基于进程注册的隐式信息传递	228
9.2	业务建模	233
9.2.1	离散建模方法	233
9.2.2	背景建模方法	242

9.2.3	混合业务建模	245
9.3	局域网互联实验	248
9.3.1	实验目的	248
9.3.2	实验过程	249
9.3.3	实验的再思考	252
第十章 下一代民航数据链 VDL2 仿真		
10.1	VDL2 整体模型	253
10.1.1	协议栈分层结构	253
10.1.2	整体建模思路	254
10.2	VDL2 物理层	255
10.2.1	物理层协议分析	255
10.2.2	物理层建模	257
10.3	VDL2 数据链路层	261
10.3.1	数据链路层协议分析	261
10.3.2	基于 P-CSMA 的 MAC 子层建模	263
10.3.3	基于 AVLC 的 DLS 子层建模	266
10.3.4	基于切换控制的 VME 子层建模	268
10.4	网络层业务建模	272
10.4.1	业务建模的理论分析	272
10.4.2	泊松离散业务模型	273
10.5	VDL2 基于信号与干扰噪声比的切换算法	274
10.5.1	切换指标的选择	274
10.5.2	改进的切换算法	275
10.6	VDL2 切换实验	276
10.6.1	评价指标	276
10.6.2	实验的参数设置	277
10.6.3	算法对比仿真	277
10.6.4	SQP 阈值选择对系统性能的影响	278
参考文献		
280		

(2) 星型网,星型网是一种以中央节点为中心,把若干个外围节点(或终端)连接到中央节点的辐射式互连结构,中央节点作为控制全网工作的中心,通过单线线路分别与各个外围节点相连接,如图 1.1(b)所示。

(3) 复合型网,复合型网是由网状网和星型网复合而成的网络,它以星型网为基础,并在信息量较大的区域施以网状结构,如图 1.1(c)所示。

(4) 总线型网,总线型网把所有的节点连接在同一总线上,是一种通路共享的结构,如图 1.1(d)所示。

按网络的传输介质和传输技术来划分,网络可分为有线网和无线网。有线网是指通过有线传输介质(如双绞线、同轴电缆、光纤等)来传输信息的网络,无线网是指通过无线电波或红外线来传输信息的网络。按网络的覆盖范围来划分,网络可分为局域网、城域网和广域网。局域网(LAN)是指在一个较小的地理范围内,将各种计算机、外部设备和数据库系统等互连起来组成的网络。城域网(MAN)是指在一个城市或地区范围内,将各种计算机、外部设备和数据库系统等互连起来组成的网络。广域网(WAN)是指在一个较大的地理范围内,将各种计算机、外部设备和数据库系统等互连起来组成的网络。按网络的用途来划分,网络可分为公用网和专用网。公用网是指为社会公众提供服务的网络,专用网是指为某个单位或组织内部提供服务的网络。按网络的传输速率来划分,网络可分为低速网和高速网。低速网是指传输速率在 10Mbps 以下的网络,高速网是指传输速率在 10Mbps 以上的网络。按网络的拓扑结构来划分,网络可分为总线型网、星型网、环型网、树型网和网状网等。

1.1 网络概述

1.1.2 通信网的体系结构

上篇

基础理论

网络体系结构不是指网络的物理结构,而是指实现互连网的基本原理、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。

网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。网络体系结构是指网络中各层的功能、接口、协议、标准、功能、接口、层次、以及必须遵守的有关通信协议所组成的一个集合。



第一章 绪 论

随着移动通信和物联网的发展，通信网呈现出越来越复杂化的发展趋势。在通信网研究和开发的过程中，网络仿真作用愈加突出。OPNET 采用了时间离散的三层建模方式，特别适合对现代通信网进行仿真。

1.1 通信网概述

1.1.1 通信网的基本概念

一般而言，通信网是由一定数量的节点(包括终端节点、交换节点)和连接这些节点的传输系统有机地组织在一起，并按约定的协议完成任意用户间信息交换的通信体系。

在 OSI 七层参考模型中，一至三层(物理层、数据链路层和网络层)为网络低层，定义为通信子网，它只负责在网上的任意两个节点之间传送信息，而不负责解释信息的具体语义。因此，通信网重在研究网络物理层、数据链路层和网络层。

实际的通信网由软件和硬件构成，每一次通信都需要软硬件设施的协调配合来完成。从硬件构成来看，通信网由终端节点、交换节点、业务节点和传输系统构成，完成接入、交换和传输等基本功能。软件设施包括信令、协议、管理、计费等，主要完成通信网的控制和运营，实现通信网的智能化。

通信网可采用多种拓扑结构，如图 1.1 所示，主要有：

(1) 网状网。多个节点或用户之间直接互连而成的通信网称为网状网，如图 1.1(a)所示。

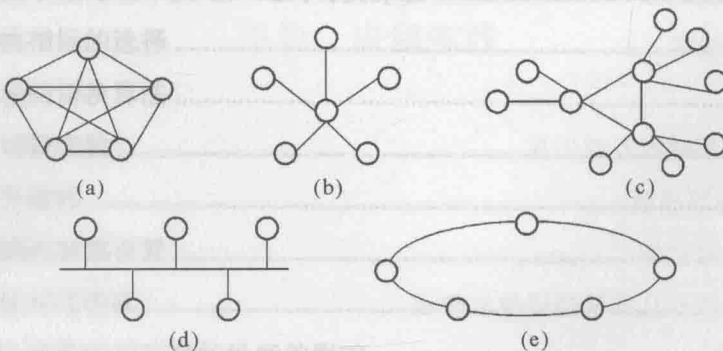


图 1.1 通信网的拓扑结构

(2) 星型网。星型网是一种以中央节点为中心,把若干外围节点(或终端)连接起来的辐射式互连结构。中央节点作为控制全网工作的中心,通过单独线路分别与各个外围节点相连接,如图 1.1(b)所示。

(3) 复合型网。复合型网是由网状网和星型网复合而成的网络。其以星型网为基础,并在信息量较大的区域构成网状网结构,如图 1.1(c)所示。

(4) 总线型网。总线型网把所有的节点连接在同一总线上,是一种通路共享的结构,如图 1.1(d)所示。

(5) 环型网。环型网是指通信网各节点被连接成闭合的环路,如图 1.1(e)所示。环型结构目前主要用于计算机局域网、光纤接入网、城域网、光传输网等网络中。

从不同角度出发,可对通信网进行分类:按通信的业务类型划分,可分为数字电话网、数字电视网、计算机通信网等类型;按通信的传输手段划分,可分为光纤通信网、无线通信网、卫星通信网等类型;按通信的活动方式划分,可分为固定通信网和移动通信网等。

1.1.2 通信网的体系结构

网络体系结构不是指网络的物理结构,而是指为实现互连,网络设备必须实现的通信功能的逻辑分布结构,以及必须遵守的相关通信协议所组成的一个集合。

从广义上说,人们之间的交往就是一种信息交互的过程,我们每做一件事都必须遵循一种事先规定好的规则与约定。所以,为了保证通信网络中的大量通信设备之间能够有条不紊地交换数据,就必须制定一系列的通信协议。因此,通信协议是通信网中一个重要且基本的概念。

鉴于现代通信网络的复杂性,通信协议通常采用分层的方法。在分层通信体系中,通信的功能被划分为若干层次,每一个层次完成一部分功能。其中最高层负责装配和处理应用业务消息,直接和上面的应用系统接口,常称作应用层。最低层定义物理传输媒体,常称作物理层。每一层经处理和过滤后,将有效信息传递给上一层,称为“提供服务”,同时向下一层“请求服务”,每一层都只和与其直接相邻的两层打交道,其中上一层称为它的服务用户,下一层称为它的服务提供者。通信网的分层结构如图 1.2 所示。

接口是同一节点内相邻层之间交换信息的连接点。同一个节点的相邻层之间存在着明确规定的接口,低层向高层通过接口提供服务。只要接口条件、低层功能不变,低层的具体实现方法与技术的变化就不会影响整个系统的工作。

相邻层间的接口也称为服务接入点(Service Access Point, SAP)。SAP 用一组确定的服务原语实现。OSI 协议定义了请求、指示、响应、证实四种类型的原语。

对等层通信时,必须遵循一定的规则,描述第 N 层之间水平通信的规则称为 N 层协议。协议是为网络数据交换而制定的规则、约定与标准。协议主要由三个要素组成:

- (1) 语法:定义用户数据与控制信息的结构与格式;
- (2) 语义:需要发出何种控制信息,以及完成的动作和作出的响应;
- (3) 时序:对事件实现顺序的详细说明。

网络结构采用层次结构的优点有:

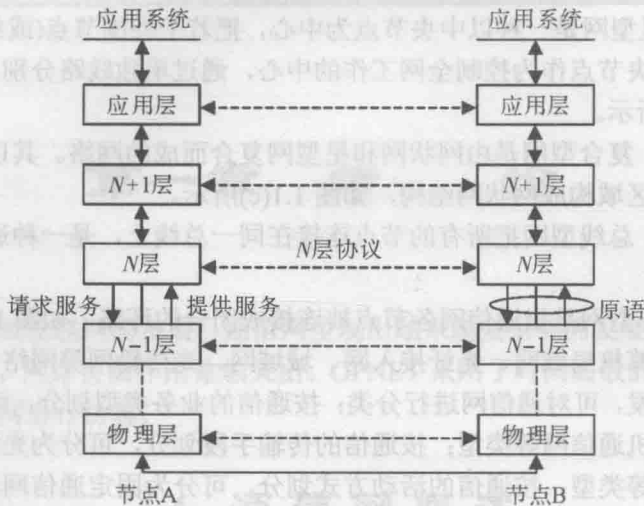


图 1.2 通信网的分层结构

(1) 各层之间相互独立，高层不需要知道低层是如何实现的，仅需知道该层通过层间接口所提供的服务即可。

(2) 当任何一层发生变化时，只要接口保持不变，则在这层以上或以下各层就都不受影响。

(3) 各层都可以采用最合适的技术来实现，各层实现技术的改变不影响其他层。

(4) 整个系统被分解为若干个易于处理的部分，使得对一个庞大而复杂系统的实现和控制变得容易。

(5) 每层的功能与所提供的服务都已有精确的说明，因此有利于促进过程标准化。

网络体系结构对通信网络应该实现的功能进行了精确的定义，而这些功能是用什么样的硬件与软件去完成的，则是具体的实现问题。体系结构是抽象的，而实现是具体的，它是指能够运行的一些硬件和软件。

目前，通用的体系机构有 ISO 组织提出的 OSI 模型和 OSI 的简化集 TCP/IP 模型。OSI 模型定义了七层协议栈结构，分别如下：

(1) 物理层：主要功能是利用传输介质为数据链路层提供物理连接，负责处理数据传输率并监控数据出错率，以便能够实现数据流的透明传输。

(2) 数据链路层(简称链路层)：在物理层提供的服务基础上，在通信的实体间建立数据链路连接，传输以“帧”为单位的数据包，并采用差错控制与流量控制方法，使有差错的物理线路变成无差错的数据链路。

(3) 网络层(又叫通信子网层)：规定了一个分组怎样通过通信子网传输，提供路由选择和网络拥塞及流量控制。

(4) 传输层：向用户提供可靠的端到端(End-to-End)服务，处理数据包错误、数据包次序，以及其他一些关键传输问题。传输层利用了网络层所提供的传输服务，向会话层提供可靠的源主机到目标主机的数据传输，并使之与当前使用的网络无关，真正实现了端到端的通信。

(5) 会话层：也称会晤层，其作用是协调两端用户(通信进程)之间的对话过程。

(6) 表示层：确保一个系统应用层发送的信息能够被另外一个系统的应用层所识别。如果有必要，表示层还可以使用一个通用的数据表示格式在多种数据格式之间进行转换。

(7) 应用层：为用户的应用程序提供网络服务。应用层识别并证实目的通信方的可用性，在协同工作的应用程序之间进行同步，建立传输错误纠正和数据完整性控制方面的协定。

在 OSI 参考模型中，一至三层一般称为通信子网，负责在网上任意两个节点之间传送信息，而不负责解释信息的具体语义。五至七层称为资源子网，它负责进行信息的处理、信息的语义解释等。传输层是下三层与上三层之间的隔离层，负责解决高层应用需求与下三层通信子网提供的服务之间的不匹配问题。

TCP/IP 将 OSI 模型的五至七层简化为应用层，定义了五层协议栈结构。

1.2 通信网的仿真技术

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样化，单纯地依靠经验进行通信网的规划和设计、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，由此，网络仿真技术应运而生。通信网仿真技术可有效地提高网络规划和设计的可靠性与准确性，明显降低网络投资风险，减少不必要的投资浪费。

目前，最广泛使用的网络仿真软件有 NS 和 OPNET。其中，OPNET 具有建模层次分明、API 函数库的功能强大、开发界面友好等优点，更适合于现代通信网的网络仿真。本书将基于 OPNET 论述通信网的建模方法。

1.2.1 OPNET 的发展过程

OPNET 公司起源于 MIT(麻省理工学院)，成立于 1986 年。1987 年，OPNET 公司发布了第一个商用化产品 Modeler，该产品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仿真成为可能。

OPNET Modeler 主要面向研发，其宗旨是为了“Accelerating Network R&D(加速网络研发)”。对于网络的研发，一般分为三个阶段：第一阶段为设计阶段，包括网络拓扑结构的设计，协议的设计、配置以及网络中设备的设计、选择；第二阶段为发布阶段，是为了使设计出的网络能够具有一定性能，如吞吐率、响应时间等；第三阶段为实际运营中的故障诊断和优化升级。OPNET 公司的仿真开发软件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优化和故障诊断工具。OPNET Modeler 将各个阶段所需要的工具加以整合，组合成了一个由模型设计工具、仿真核心、数据收集工具以及分析工具相互协作的系统仿真平台。

OPNET Modeler 提供了丰富的模型库，一方面，研发者可调用现有模型，通过仿真实验，对网络的性能和行为进行分析，对网络参数进行优化，还可以通过编程，修改现有模型，对网络协议进行改进；另一方面，Modeler 可以创建复杂而强大的节点和进程模型，可以研究模型库以外的新型网络，同时，这些模型又可成为模型库的新成员，使后来的研发人员可以脱离底层系统的复杂设计，通过新模型提供的接口完成网络的研发和验证。

OPNET 公司针对局域网、光纤网等特定用户方向, 基于 Modeler 建立了多个用户化模型, 并以产品的形式给予用户特殊的建模环境, 如 IT Guru、WDM Guru 等, 构成了一个产品系列, 各系列产品特点如下:

- IT Guru 可以用于大中型企业, 做智能化的网络设计、规划和管理;
- SP Guru 相对 IT Guru 在功能上更加强大, 内嵌了更多的附加功能模块, 包括流分析模块、网络医生模块、多提供商导入模块、MPLS 模块, 使 SP Guru 成为了电信运营商量身定做的智能化网络管理、规划以及优化平台;
- WDM Guru 面向光纤网络的运营商和设备制造商, 可为其提供管理 WDM 光纤网络的功能, 并为测试产品提供了一个虚拟的光网络环境。

目前, OPNET 广泛应用于大型通信设备制造商、大中型企业、电信运营商、军方和政府的研发机构、大专院校等客户群体。

1.2.2 OPNET Modeler 的特点

OPNET Modeler 是一个大型软件包, 该软件包不仅支持通常意义上的网络建模和仿真, 而且提供对特殊网络的仿真支持。OPNET Modeler 的特点如下:

- (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 建模过程分为进程(Process)、节点(Node)以及网络(Network)三个层次。在进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, 在网络层次中将这些设备互连组成网络。分级设计方法与在实际通信网中得到的分级结构形成自然的对应关系。
- (3) 项目可建立多个场景。基于设计方案建立网络场景, 利用不同的场景可对同一项目中不同的设计方案进行比较。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。
- (4) 有限状态机。在进程层次使用有限状态机来对协议和其他进程进行建模。在有限状态机的状态和转移条件中使用 C/C++ 语言对任何进程进行模拟。用户可以根据需要灵活地控制仿真的详细程度。
- (5) 对协议编程的全面支持。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。OPNET 已经提供了众多协议模型, 因此对于很多协议, 无需进行额外的编程。
- (6) 系统的完全开放性。Modeler 中源码全部开放, 用户可以根据自己的需要对源码进行添加和修改。
- (7) 高效的仿真引擎。使用 Modeler 进行开发的仿真平台, 仿真的效率相当高。
- (8) 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, 也可将曲线数据导出到电子表格中。
- (9) 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。
- (10) 集成调试器。Modeler 可快速地验证仿真并发现仿真中存在的问题。OPNET 本身有自己的调试工具——OPNET Debugger(ODB)。
- (11) 源代码调试。Modeler 可方便地调试由 OPNET 生成的 C/C++ 源代码。

1.3 本书的组织结构

按照内在逻辑,可将本书从内容上分为上、下两个部分(上篇、下篇):上篇为从第二章至第五章,讲述建模的方法;下篇从第六章至第十章,讲述建模的实例,其中第十章讲述了一种典型的综合应用案例。

建模方法部分(上篇)阐释了 OPNET 的内在结构和核心机制,包括以三层建模机制和对象化为特征的建模架构、基于离散事件的仿真驱动方法、实体对象的通信方法、多进程和多队列机制、基于 Proto C 的进程域建模方法等内容。各部分内容之间具有内在的逻辑性。同时,建模方法部分着重阐述了 OPNET 建模方法中的根本性、关键性问题,该部分是 OPNET 仿真建模的基础,为后续章节的建模应用提供方法支撑。

建模实例部分(下篇)阐释了典型的建模实例,包括 M/M/1 队列建模、基于 CSMA/ALOHA 的链路层建模、基于无线技术的物理层建模、计算机网络建模等内容。所选实例均来自通信网中基本的理论、协议和网络,不求面面俱到,但求通过不同层面不同特点的建模分析,形成建模的一般性思路。各个实例均提供了相应的实验,读者可通过实际操作加深对建模的理解,并体会对仿真结果的分析方法。该部分是建模部分的应用,是理论的实践化。其中第十章的综合应用实例以下一代民航数据链 VDL2 为例,论述了 OPNET 在实际研发项目中的建模和仿真过程。该部分既是建模实例部分前四章的展开,也是建模方法部分的综合性应用。通过 VDL2 案例,可使读者进一步理解基于 OPNET 通信网建模的方法及其在实践中的应用价值。

第二章 OPNET 建模架构

OPNET Modeler 应用对象化和层次化的架构方法进行建模。对象化是基于面向对象的方法,对模型实例化。层次化是将复杂的系统从结构上分解为网络层、节点层和进程层三个层次,每层完成一定的功能。

对象化和层次化之间又是相互关联的,上层模型由在下层模型中实例化的对象所构成。

2.1 OPNET 的对象化

2.1.1 模型与对象

模型(Model)和对象(Object)是 OPNET Modeler 建模中的基本范畴,理解二者的逻辑内涵和相互关系是建模的基础。

1. 模型

在仿真建模中,要将所研究的物理系统抽象化,并对物理系统的内部结构、工作性能等信息进行规范性描述。由诸多的描述规范所形成的集合,称为模型。模型对应于面向对象中类的范畴。

在 OPNET 中,有些模型是已经定义好的,用户不能改变,只能通过属性进行外部控制,称为**内在模型**,如强制性状态和非强制性状态。而与网络的三层建模相对应的网络模型、节点模型、进程模型都是用户可定义的或用户可更改的,称为**通用模型**。对于通用模型,用户既可以对属性进行外部控制,还可以改变其内在行为。换言之,通用模型是用户可建模的,其对应的建模环境称为建模域。在 OPNET 中,网络域、节点域和进程域建模横跨了网络建模的所有层次,是建立模型的主要方法。

在某些情况下,模型开发者需要在不改变模型内部结构和内部行为的情况下定制模型的接口。在 OPNET 中,节点和链路模型的属性接口可以使用模型派生机制进行修改,生成一个与已有模型具有不同属性接口的新模型,称这个新模型为**派生模型**。已有模型为派生模型的**父模型**。不存在父模型的模型叫做**基础模型**。所有派生模型最终都来自某个唯一的基础模型。提供模型派生机制的目的在于允许在不复制或重建原有模型核心功能的情况下进行新模型的专门化接口开发。