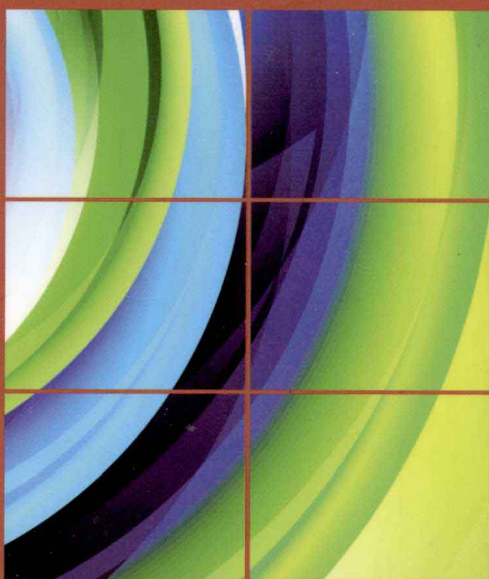
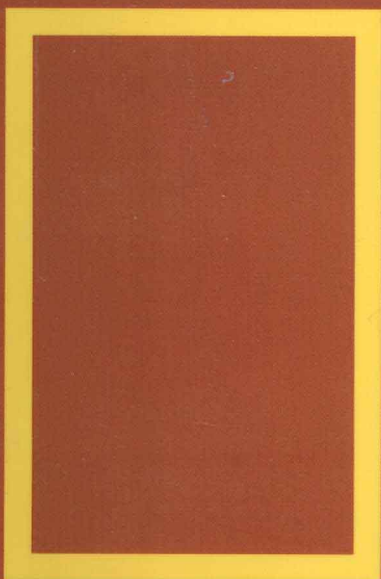


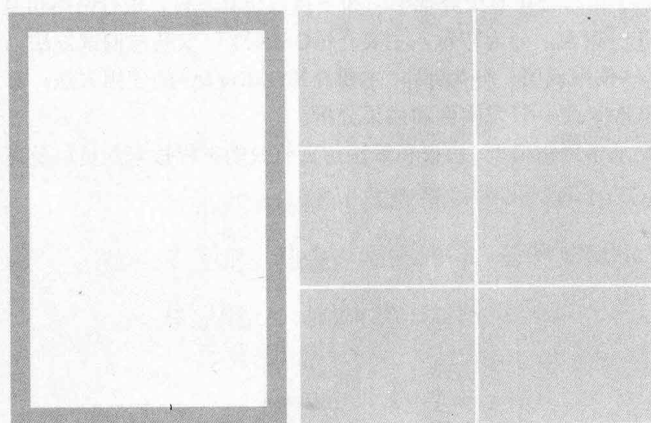
OMNeT++ 与网络仿真



■ 赵永利 张杰 著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

OMNeT++ 与网络仿真



■ 赵永利 张杰 著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

OMNeT++与网络仿真 / 赵永利, 张杰著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2012. 11
ISBN 978-7-115-29078-6

I. ①0… II. ①赵… ②张… III. ①计算机网络—计
算机仿真—应用软件 IV. ①TP393.01

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第181737号

内 容 提 要

本书是国内第一本关于OMNeT++在网络仿真方面的中文书籍, 内容涉及OMNeT++模块组成、使用方法和具体实例讲解, 目的在于帮助使用者更好地学习和掌握该仿真软件, 进行网络仿真实验。全书共分为3部分, 第一部分为OMNeT++指南, 分为17章, 主要介绍OMNeT++安装与调试方法、NED语言、模块组成等; 第二部分为OMNeT++使用说明, 分为9章, 主要介绍OMNeT++的使用方法; 第三部分为网络仿真实验, 分为5章, 主要介绍OMNeT++开发实例和成果分析。

本书的适用对象主要是从事网络模型、协议和算法仿真研究的工程技术人员以及高校相关专业的研究生和教师。

OMNeT++与网络仿真

-
- ◆ 著 赵永利 张 杰
责任编辑 王建军
执行编辑 代晓丽
 - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 25 2012 年 11 月第 1 版
字数: 576 千字 2012 年 11 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-29078-6

定价: 68.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

21 世纪是一个信息化高速发展的时代，人类面临着各种各样的数据信息冲击，网络的概念在人们的生活中日益凸显。计算机网络、通信网络、社会关系网络、论文索引网络等，无不引起了当前科研人员的广泛关注。而网络仿真是攻克网络的关键技术，对其模型、方法、协议进行性能验证的基本手段，在目前的网络科学研究中发挥着重要作用。

OMNeT++是一款面向对象的离散事件网络模拟器，具有通用的体系结构，可以用于解决各个领域的问题，比如无线通信网络和有线通信网络建模、协议仿真建模、排队网络建模、多处理器和其他分布式硬件系统建模、硬件体系结构验证和复杂软件系统评估等多个方面。它可以用于任何适用离散事件方法的系统仿真和建模，并且可以方便地映射为依靠交换信息进行通信的实体。

OMNeT++本身并不是所有现实系统的模拟器，但它确实为实现仿真提供了基础底层结构和工具。这种基础底层结构的基本成分之一是一种用于仿真模型的组件体系结构，模型由可重复使用的元件（即模块）组成。写好的模块可重复使用，并且能够以各种方式组合，像 LEGO 块一样。OMNeT++模拟器可以在各种用户接口下运行。图形动画的用户接口对于演示和调试非常有用，而命令行的用户接口则是批处理的最佳选择。

OMNeT++同样支持分布式并行仿真，并且可以利用多种机制在一个分布式并行模拟器的各个部分之间进行通信，比如 MPI 或者已命名信道。这种并行仿真算法可以很容易地进行扩展，也很容易嵌入新的模块。各个模块不需要任何特殊的装置就可以并行运行，这只是一个配置问题。因为模拟器可以在 GUI 下并行运行，OMNeT++甚至还可以用于并行模拟仿真算法的课堂演示，并能够为运行过程提供详细的反馈信息。相对于 OPNET 和 NS2 等网络仿真工具，OMNeT++具有简单易学的特点，而且其在学术和非盈利性活动中是免费的。

本书主要介绍 OMNeT++软件模块组成、使用方法，并结合具体实例进行讲解。全书共分为 3 部分，第一部分为 OMNeT++指南，分为 17 章，主要介绍 OMNeT++的安装与调试方法、NED 语言、模块组成等；第二部分为 OMNeT++使用说明，分为 9 章，主

要介绍 OMNeT++ 的使用方法；第三部分为网络仿真实验，分为 5 章，主要介绍 OMNeT++ 开发实例，每一章对应一个实例，每个实例都有详细的讲解和结果分析。

本书在写作过程中参考了大量 OMNeT++ 软件的开源代码和英文文档，同时也凝聚了作者所在课题组多年来的科研经验和实践总结，还包含了曹徐平、张会彬、王颖博士和李鹏、黄海、王晶晶、刘君研、喻玥和邓俊妮硕士在他们攻读学位期间的部分研究成果，在此表示感谢。

由于作者的水平有限，本书中难免有错误或者不周之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2012 年 6 月 25 日于北京

目 录

第一部分 OMNeT++指南

第 1 章	OMNeT++概述	3
1.1	OMNeT++为何物	3
1.2	新建和运行模拟器	4
1.3	各分类的内容	5
第 2 章	OMNeT++的安装与系统需求	8
2.1	OMNeT++的安装环境	8
2.2	VC 和 OMNeT++联调	8
第 3 章	OMNeT++从 3.x 版本到 4.0 版本的移植	10
3.1	OMNeT++4.0 版本在 3.x 基础上的改变	10
3.2	移植工具	13
3.3	移植	14
第 4 章	NED 语言	22
4.1	NED 概述	22
4.2	循序渐进	23
4.3	简单模块	27
4.4	复合模块	29
4.5	信道	31
4.6	参数	32
4.7	门	36
4.8	子模块	38
4.9	连接	39
4.10	重连接	40
4.11	作为参数的子模块类型	42
4.12	特性（元数据注释）	43
4.13	继承	46
4.14	包	46

第 5 章 简单模块	50
5.1 仿真概念	50
5.2 定义简单模块类型	53
5.3 添加函数至 cSimpleModule	57
5.4 访问模块参数	69
5.5 访问门和连接	72
5.6 发送和接收消息	76
5.7 终止仿真	84
5.8 OMNeT++中的有限状态机	85
5.9 遍历模块层次	89
5.10 模块间的直接调用方法	91
5.11 动态模块创建	92
第 6 章 消息	96
6.1 消息和包	96
6.2 消息定义	102
第 7 章 仿真库	116
7.1 类库的使用惯例	116
7.2 模块日志	119
7.3 仿真时间的转换	120
7.4 产生随机数	120
7.5 容器类	123
7.6 路由支持 cTopology	125
7.7 统计和分布估计	129
7.8 记录仿真结果	135
7.9 查看和快照	138
7.10 派生新类	142
7.11 对象所有权管理	147
第 8 章 构建仿真程序	150
8.1 概述	150
8.2 使用 gcc	151
第 9 章 配置环境	157
9.1 配置仿真环境	157
9.2 配置文件 omnetpp.ini	157
9.3 部件	158
9.4 设置模块参数	160

9.5	参数研究.....	162
9.6	参数研究和结果分析	166
9.7	配置随机数据生成器	170
第 10 章	运行仿真.....	172
10.1	概述.....	172
10.2	Cmdenv 命令行界面.....	175
10.3	Tkenv 图形用户界面	177
10.4	批执行.....	178
10.5	Akaroa 支持: 多重并行复制.....	180
10.6	故障处理	182
第 11 章	网络图形和动画.....	186
11.1	显示字符串.....	186
11.2	参数置换.....	193
11.3	颜色.....	193
11.4	图标.....	194
11.5	布局.....	195
11.6	增强动画.....	195
第 12 章	分析仿真结果.....	197
12.1	结果文件	197
12.2	在 IDE 仿真中的分析工具.....	198
12.3	Scave 工具	198
12.4	其他的统计分析和画图工具	200
第 13 章	事件日志.....	202
13.1	介绍.....	202
13.2	配置.....	202
13.3	事件日志工具	204
第 14 章	NED 文档和消息.....	205
14.1	概述.....	205
14.2	文档注释	205
14.3	文本布局与格式化	207
14.4	定制和添加页面	209
第 15 章	并行分布式仿真	212
15.1	并行离散事件仿真介绍	212

15.2	评估仿真模型中的并行可行性	212
15.3	OMNeT++支持的并行分布仿真	213
第 16 章	插件扩展	220
16.1	概述	220
16.2	插件描述	221
16.3	访问配置	223
16.4	实现新的用户接口	224
第 17 章	嵌入式仿真内核	226
17.1	结构	226
17.2	OMNeT++嵌套	227

第二部分 OMNeT++使用说明

第 18 章	OMNeT++使用介绍	237
18.1	工作台	237
18.2	工作空间	238
18.3	仿真视角	239
18.4	创建 OMNeT++工程	239
18.5	获取帮助	240
第 19 章	编辑 NED 文件	241
19.1	概述	241
19.2	创建新的 NED 文件	242
19.3	使用 NED 编辑器	243
19.4	相关视图	248
第 20 章	编辑 ini 文件	252
20.1	概述	252
20.2	创建 ini 文件	252
20.3	使用 ini 文件编辑器	253
20.4	关联的视图	258
第 21 章	编辑消息文件	261
21.1	创建消息文件	261
21.2	消息文件编辑器	262
第 22 章	C++开发	263
22.1	引言	263

		目 录
22.2	前提条件	264
22.3	创建一个 C++工程	264
22.4	配置工程	266
22.5	相关工程	270
22.6	编辑 C++代码	271
22.7	建立工程	272
22.8	运行或调试工程	273
22.9	头文件浏览器视图	273
22.10	大纲视图	273
22.11	类型层次视图	274
22.12	问题视图	275
22.13	控制台视图	275
第 23 章	加载与调试	277
23.1	运行仿真	277
23.2	批处理	280
23.3	调试仿真	281
23.4	运行快捷方式	282
23.5	控制执行和进展报告	282
第 24 章	图形化运行环境	285
24.1	特点	285
24.2	开始运行 Tkenv	285
24.3	配置选择	286
24.4	环境变量	286
24.5	主窗口	286
24.6	检验模拟	287
24.7	浏览已注册的组件	290
24.8	运行和控制模拟	291
24.9	寻找对象	292
24.10	日志和模块输出	293
24.11	模拟选项	295
第 25 章	序列图表	298
25.1	介绍	298
25.2	创建一个 Eventlog 文件	298
25.3	序列图表	299
25.4	事件日志表	305
25.5	过滤器对话框	308

25.6	其他特征	311
25.7	实例	312
第 26 章	分析结果	321
26.1	概览	321
26.2	创建分析文件	321
26.3	使用分析编辑器	322
26.4	关联视图	335

第三部分 网络仿真实验

第 27 章	数据队列仿真	341
27.1	实验背景	341
27.2	仿真概述	342
27.3	仿真流程	342
27.4	仿真代码分析	344
27.5	仿真结果	351
第 28 章	P2P 技术仿真	353
28.1	实验背景	353
28.2	仿真概述	353
28.3	仿真流程	354
28.4	仿真代码分析	356
28.5	仿真结果	359
第 29 章	仿真实例 hist	361
29.1	实验背景	361
29.2	仿真概述	361
29.3	仿真流程图	362
29.4	仿真代码分析	362
29.5	仿真结果	366
第 30 章	Routing	368
30.1	实验背景	368
30.2	仿真概述	369
30.3	仿真流程	369
30.4	仿真代码分析	370
30.5	仿真结果	375

第 31 章 基于 PCE 的多域路径计算	378
31.1 实验背景	378
31.2 仿真概述	380
31.3 仿真流程	381
31.4 数据结构及信令包格式	382
31.5 仿真结果分析	384
参考文献	386

第一部分

OMNeT++指南

第 1 章

OMNeT++概述

1.1 OMNeT++为何物

OMNeT++是一款面向对象的离散事件网络模拟器，具有通用的体系结构，可以用于解决如下各种领域的问题。

- 无线通信网络和有线通信网络建模；
- 协议仿真建模；
- 排队网络建模；
- 多处理器和分布式硬件系统建模；
- 硬件体系结构验证；
- 评估复杂软件系统多方面的性能。

总的来说，它可以用于任何适用离散事件方法的系统仿真和建模，并且其可以方便地映射为依靠交换信息进行通信的实体。

OMNeT++本身并不是所有现实系统的模拟器，但它确实为实现仿真提供了基础底层结构和工具。这种基础底层结构的基本成分之一是一种用于仿真模型的组件体系结构，模型由可重复使用的元件（即模块）组成。写好的模块可以重复使用，并且能够以各种方式组合，像 LEGO 块一样。

模块之间可以通过“门”（其他系统中称为端口）互连，进一步组合形成复合模块。模块的嵌套深度是无限的。模块通过消息传递进行通信，这些消息可以承载任意的数据结构。模块可以通过门和连接在预先定义好的路径上传递消息，或者直接传递到目的地。后者对于无线仿真是非常有用的。例如，模块可以有参数，用于规范模块的行为，参数化模型的拓扑。模块层次结构中最低层的模块称为简单模块，它们对行为进行封装。简单模块在 C++ 中进行编写，并且利用仿真库中的内容。

OMNeT++模拟器可以在各种用户接口下运行。图形动画的用户接口对于演示和调试非常有用，而命令行的用户接口则是批处理的最佳选择。

和用户接口一样，模拟器和工具是高度便捷的。它们在最通用的操作系统上进行测试（如 Linux、Mac OS/X、Windows），并且在稍许修改后，也可以在大多数类似于 UNIX

的操作系统上编译。

OMNeT++同样支持分布式并行仿真，并且可以利用多种机制在一个分布式并行模拟器的各个部分之间进行通信，比如 MPI 或者已命名信道。这种并行仿真算法可以很容易地进行扩展，也很容易嵌入新的模块。各个模块不需要任何特殊的装置就可以并行运行，这只是一个配置问题。因为模拟器可以在 GUI 下并行运行，OMNeT++甚至还可以用于并行模拟仿真算法的课堂演示，并能够为运行过程提供详细的反馈信息。

OMNEST 是 OMNeT++的一个商业版本，OMNeT++只在学术和非盈利性活动中免费，在出于商业目的使用时需要从 Simulcraft 公司获得 OMNEST 许可证。

1.2 新建和运行模拟器

这一节提供了在实践中观察 OMNeT++运行的工具和方法，比如讨论了模型文件、编译、运行仿真等问题。

一个 OMNeT++模型包括以下几部分。

- NED 语言拓扑描述 (.ned 文件)。使用参数、门等描述模块结构。NED 文件可以使用任何文本编辑器编写，此外 OMNeT++集成开发环境 (IDE) 对双向图形和文本编辑提供了出色的支持。
- 消息定义 (.msg 文件)。可以定义消息变量类型，并且在上面添加数据文件。OMNeT++将消息定义转化成完全的 C++类。
- 简单模块源。它们是 C++文件，以.h 或.cc 为后缀。
仿真系统提供了以下的组件。
- 仿真内核。包含仿真管理和仿真类库的代码。这些代码用 C++编写，编译生成一个共享库或静态库。
- 用户接口。OMNeT++用户接口在仿真执行的时候使用，以方便调试、演示或者仿真的批处理执行。它们是用 C++编写的，被编译成库文件。

利用以上组件创建仿真程序。首先，使用 `opp_msgc` 程序将 .msg 文件转化成 C++代码。其次，编译所有的 C++源文件，连接仿真内核和用户接口库，生成一个在仿真中可执行的文件或共享库。当仿真程序开始执行时，NED 文件可在原始文本里动态加载。

1. 模拟器的运行和结果分析

仿真文件可以作为一个单独的可执行程序来编译，因此它可以在其他没有 OMNeT++的机器上运行或者可以被创建为一个共享库。在这种情况下，此系统必须有 OMNeT++的共享库。当一个程序开始执行时，它首先会读取所有的 NED 文件（包括模型拓扑），然后再读取所有的配置文件（通常称为 `omnetpp.ini`），这个文件包括一些控制仿真执行的设置，模型参数的值等。配置文件也可以指定多个仿真程序的运行，在最简单的情况下，仿真程序将依次运行。

仿真的输出将会写入数据文件中，如输出向量文件，输出标量文件，以及用户自己的输出文件。OMNeT++包括一个集成开发环境，为分析这些数据文件提供了丰富的环境，

它不希望用户仅仅使用 OMNeT++来处理结果文件，输出文件的格式是文本文件，可以被类似于 Matlab 或 Octave 的数学软件包读入，或者导入到像 OpenOffice Calc, Gnumeric 或 MS Excel 之类的电子数据表中。所有这些外部的程序提供了丰富的功能用于统计分析和可视化，在 OMNeT++的范围之外加强它的功能。本书简单描述了一些数据测绘程序，以及如何将它与 OMNeT++一起使用。

输出标量文件也可以用 OMNeT++ IDE 进行可视化。它可以画出柱形统计图表，x-y 图表（比如纵轴代表吞吐量，横轴代表提供的负载），或通过剪贴板将数据导出至电子数据表和的程序进行更详细地分析。

2. 用户接口

用户接口的基本目的是使模型的内部对用户可视化，使用户可以控制仿真的执行，并通过改变模型内部的变量或对象允许用户进行干涉。这在仿真项目的开发/调试阶段非常重要。同样，一个能让用户对模型行为获得“感觉”的实践经验也很重要。图形用户接口也可以用于展示模型的操作。

相同的仿真模型可以在不同的用户接口中执行，而模型文件本身不需要做任何改动。用户可以使用一个强大的图形化用户接口对仿真进行测试和调试，最终使用一个简单快速的支持批处理执行的用户接口运行。

3. 组件库

模块类型可以从它们实际使用的地方分离出来，存储在文件中，使得用户可以组合现有的模块类型创建组件库。

4. 通用的模块化仿真程序

使用相同的简单模块集，一个可执行的仿真文件可以存储到多个独立的模型中。用户可以在配置文件中指定运行某个模型，这允许用户创建一个包括多个仿真模型的大型可执行文件，并作为一个单独的仿真工具进行发布。这种方法实现了拓扑描述语言的灵活性。

1.3 各分类的内容

如果安装了发行版的源程序，系统中的 omnetpp 目录将包括以下的子目录（如果安装了一个未编译的发行版，将缺少一些目录，或者会有额外的目录，比如包括 OMNeT++ 绑定的软件）。

1. 仿真系统本身的目录

omnetpp/	OMNeT++根目录
bin/	OMNeT++可执行文件
include/	仿真模型的头文件
lib/	库文件
images/	网络图形中使用的图标和背景
doc/	手册、自述文件、许可证、应用程序接口等
manual/	HTML 帮助文件