国家自然科学基金资助项目

OMNeT++网络仿真

王俊义　魏延恒　仇洪冰　符杰林　编著

西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

国家自然科学基金资助项目

OMNeT++网络仿真

王俊义　魏延恒　仇洪冰　符杰林　编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书在充分考虑网络仿真的特点及难点的前提下，对 OMNeT++通信网络仿真软件系统进行了详细的讲解，力求使读者能够全面系统地学习通信网络仿真以及仿真模型的设计构建方法。

本书共分三篇，第一篇阐述了 OMNeT++通信网络仿真软件系统的构成、仿真工作原理、仿真实现；第二篇则讲述了该仿真软件的具体使用方法；第三篇给出了大量典型的仿真模型实例，通过这些实例读者能够直观地感受 OMNeT++网络仿真软件的使用以及网络仿真模型的设计构建方法。

本书可作为高等学校通信工程、计算机科学与技术、网络工程等相关专业高年级本科生的教材，也可供通信网络工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

OMNeT++网络仿真/王俊义等编著. —西安：西安电子科技大学出版社，2014.3

ISBN 978-7-5606-3275-9

Ⅰ. ①O… Ⅱ. ①王… Ⅲ. ①计算机网络—计算机仿真—应用软件—高等学校—教材

Ⅳ. ①TP393.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 005752 号

策　　划　马乐惠

责任编辑　马乐惠　马晓娟

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)88242885　88201467　　邮　　编　710071

网　　址　www.xduph.com　　电子邮箱　xdupfxb001@163.com

经　　销　新华书店

印刷单位　陕西华沐印刷科技有限责任公司

版　　次　2014 年 3 月第 1 版　2014 年 3 月第 1 次印刷

开　　本　787 毫米×1092 毫米　1/16　　印　　张　22.75

字　　数　534 千字

印　　数　1～3000 册

定　　价　39.00 元

ISBN 978 – 7 – 5606 – 3275 – 9/TP

XDUP 3567001-1

＊＊＊ 如有印装问题可调换 ＊＊＊

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前　言

当今的通信网络随着网络规模的不断扩大，技术的不断提高，正向着综合性、复杂性的方向演进，网络的构建方式以及网络拓扑结构也变得日益复杂。与此同时，网络的性能也变得越来越不可预测，有效评估和研究网络技术、协议、性能成了迫切的需求。传统上的经验、试验及计算等网络设计方法，仅适用于小型规模的网络，对于当今的大规模复杂网络，如果采用真实环境进行研究和开发，不仅增加了网络设计成本，而且不稳定的网络环境也不便于数据的统计和分析，因此急需一种科学的手段来反映和预测网络的性能。由此，网络仿真技术便应运而生。网络仿真技术通过网络仿真软件模拟真实环境和调整网络参数来给出大量客观、可靠的数据，反映并预测网络的性能。网络仿真技术能有效提高网络规划和设计的可靠性和准确性，增强决策的科学性，降低了网络投资风险，已得到了广泛的应用。目前，国内还没有真正自主研发的、得到大范围应用的网络仿真工具，研究人员使用的主要是国外的一些主流网络仿真工具，其中的一款仿真软件 OMNeT++由于其优良的特点正在得到愈来愈多的青睐。

OMNeT++(Objective Modular Network Testbed in C++)是面向对象的离散事件仿真工具，它是由布达佩斯大学通信工程系开发的一个开源的、基于组件的、模块化的开放仿真平台，具有强大的图形用户界面接口和嵌入式仿真内核，可以运行于 Linux、Windows 及 DOS 等多个操作平台之下。OMNeT++可以用来仿真任何离散事件的系统，包括仿真通信协议、计算机网络、并行系统、多处理器系统和分布式系统，能够建立目前几乎所有网络对象的基本模型之间的互联，并且使复杂的网络通信和拓扑结构得到简单而正确的仿真。OMNeT++在描述模型、定义网络拓扑、实现模型、跟踪支持、调试、性能等多方面都显示出强大的优势。本书将主要讲述 OMNeT++仿真软件的工作原理以及仿真设计方法，力求使读者通过本书的学习具备良好的仿真设计素养和能力。

读者也许对通信网络的理论知识比较了解，但是由于 OMNeT++通信网络仿真软件是由建模工具、仿真运行工具、输出结果分析工具等组成的复杂软件系统，如果要掌握网络仿真技术还需要在学习掌握 OMNeT++网络仿真软件方面下一番功夫。同时，由于仿真模型还要仰仗于使用 C++语言实现其具体行为，因此还要求读者具备一定的 C++编程能力。根据笔者多年的通信网络仿真课程教学经验，学习者基础水平的参差不齐必然会对通信网络仿真技术的学习带来一定的困难和挑战。本书充分考虑到了上述难点，对 OMNeT++通信网络仿真软件系统的构成、仿真工作原理、仿真实现机制进行了详细的讲解，力求使读者能够全面系统地学习 OMNeT++通信网络仿真软件以及仿真模型的设计构建方法。同时，想要真正掌握一门网络仿真技术还需要实践的支撑，本书的第三部分给出了大量典型的仿真模型实例，使读者能够直观地感受 OMNeT++网络仿真软件的使用以及网络仿真模型的设计构建方法。

本书的作者常年从事通信网络仿真的教学及相关科研工作，充分理解学生在学习过程中所遇到的难点以及对合适的教材的需求。本书以实用性、系统性、完整性和前沿性为特

点，由浅入深地详细讲述了 OMNeT++网络仿真软件的工作原理、操作步骤和仿真模型的设计及实现机制。鉴于通信网络仿真偏重实践的特点，本书还提供了经典的网络仿真案例，并给出详细的注释和算法过程，使读者在学习过程中理解起来更容易。本书注重整体认识，着眼系统思维，首先给出的关于离散事件网络仿真的总体认识，使读者从全局上对本书有个整体的把握。随后本书对每一部分进行详细的讲解，目的是使读者能够系统全面地掌握这款仿真软件。在众多学科中，通信网络仿真是一个比较新的同时也具有一定难度的学科。为了让读者能够打消畏难情绪从而学有所得、学有所乐，本书充分尊重认知规律，放眼拓展，步步为进，用浅显易懂的语言讲解复杂抽象的概念，以方便读者理解。

本书分为三大部分：第一部分(第一篇)为 OMNeT++软件教程，主要讲述 OMNeT++网络仿真软件的工作原理以及仿真模型的设计与实现机制。本部分共分为八章，从模型的构建编写到模型的编译生成，最后是仿真模型的执行和统计结果的收集。前六章描述模型的编写，其中包括仿真模型的基本构成、基本概念以及编写仿真模型的基本方法和基本组件。从整个仿真模型的构成上划分：第二章讲述 NED 文件的编写，第三、四章则主要介绍用 C++实现文件的编写，第五章主要讲解自定义消息文件的编写。第七章介绍仿真模型从构建到执行的过程，包括仿真模型的构建、配置仿真可执行文件、仿真的执行。最后，第八章的内容是统计结果的收集与分析方法。第二部分(第二篇)为 OMNeT++用户指南，讲述了 OMNeT++网络仿真软件的操作步骤，这一部分共分为十个章节。前五个章节分别描述了在编写仿真模型不同文件时的不同操作步骤。第六章则介绍了仿真模型的构建执行的操作。后面的章节分别介绍了不同的 OMNeT++软件的不同运行环境以及结果。第三部分(第三篇)为仿真实例，以仿真实例帮助读者更好地学习理解 OMNeT++仿真软件仿真模型的设计编写以及操作步骤。以上三部分既相互独立又彼此呼应，读者可以根据具体情况灵活取舍。

本书以王俊义为第一作者，魏延恒、仇洪冰、符杰林协作编写。王俊义编写第一部分的第三、四、六、八章以及第二部分的第三、四、五、七章外加第三部分的第一、二章，并负责全书的统稿。魏延恒负责第一部分的第一、二、五、七章以及第二部分的第一、二、九三章。仇洪冰编写第二部分的第六、八、十章。符杰林编写了第三部分的第三、四章。

本书为国家自然科学基金资助项目(61261017)成果。

本书在写作过程中参考了大量 OMNeT++软件开源代码和英文文档，同时也凝聚了课题组多年的研究经验和实践总结。

由于编者能力有限，书中难免有错误与纰漏，欢迎各位读者及专家批评指正。

王俊义

2013 年 10 月

目　录

第一篇　OMNeT++软件教程

第二篇 用 户 指 南

第三篇 仿 真 实 例

第一篇

OMNeT++软件教程

第一章 OMNeT++概述

1.1 OMNeT++简介

OMNeT++是一款面向对象的离散事件网络仿真器，能够实现如下功能：

- 有线及无线通信网络仿真；
- 协议仿真；
- 排队网络仿真；
- 仿真多处理器和其他分布式硬件系统；
- 硬件体系结构验证；
- 复杂软件系统多方面的性能评估；
- 模拟其他任何一种适合离散事件方法的系统。

OMNeT++为编写仿真程序提供了基础结构和工具，从而可以以其基本成分构建仿真模型的组件体系结构。可以重复使用编好的模块且能够以多种方式将其组合成仿真模型。

模块之间通过门相互连接并组成复合模块。复合模块的嵌套深度是无限的。模块之间通过传递消息进行通信，且消息可以携带任意数据结构。各模块均可通过门和连接沿指定路径或以直接发送的方式将消息发送到目的地。对模型的具体行为进行封装的模块称为简单模块，简单模块为模块层次结构中的最低层。用户利用仿真类库中由 C++编写的简单模块类实现其行为。

OMNeT++仿真器可以在各种不同的用户界面下运行，图形化动画用户界面主要用于演示和调试，命令行用户界面主要用于执行批处理。和用户界面一样，仿真器和工具也是高度可移植的，可以在最通用的操作系统(Linux，MacOS/X，Windows)上进行测试，在稍做修改后，可在大多数的类似于 Unix 的操作系统上对程序进行编译。

OMNeT++支持并行分布式仿真，可通过多种机制以确保并行分布式仿真不同进程之间进行通信，比如 MPI 和命名的通道。当然也可以扩展并行仿真算法或嵌入新的算法。用户只需要在配置文件中对模型进行配置就能并行运行此模型。

1.2 建模组件介绍

1.2.1 建模概念

模块间通过消息传递进行联系，其传递方式有两种：一种是通过连接传递，另一种是

直接传递。不同的简单模块可以组合成为复合模块，以此类推复合模块也可以再进一步组成更复杂的复合模块，嵌套深度并不受限制。由此看来，我们也可以将整个模型本身看作是复合模块，在OMNeT++中整个仿真模型称作网络。

除一般属性(如时间标记)外，在实际仿真中消息能够携带任意数据结构，可以表示计算机网络中的数据帧或数据包，也可以表示排队网络中的服务与用户以及其他类型的移动实体。简单模块一般通过门发送消息，也可以直接发送消息至目的模块。门是模块对外接输入/输出的接口：输出门用于发送消息，输入门用于接收消息。将不同门连接起来的组件叫连接。在 OMNeT++中，连接的创建有一定的限制，只能在以下情形下进行：同层级的模块间；在复合模块中，相应的两个子模块间；复合模块与子模块的门之间。由于会妨碍模块的重用，OMNeT++不允许跨层级创建门。正是由于模型的层级结构，不同简单模块间的消息一般会经过一系列的连接才会传递成功。而复合模块就像“纸箱”一样，在其内部和外部之间透明地转发消息。诸如传播时延、数据率以及误码率一类的参数都可以封装到连接。同时我们也可以定义带有特定属性的连接并对其进行复用。

模块一般会定义特定参数用来向简单模块传递配置数据以及帮助定义拓扑结构。我们将程序中的参数表示为对象，因此参数能够取字符串、数字或布尔类型等数值。除常量外，参数显然也可以作为随机数源，其实际分布由模型配置文件进行配置。如果没有赋值，参数能够交互地提醒用户对其赋值且将带有其他参数的表达式作为参数值也是可以的。复合模块可以向其子模块传递参数或参数表达式。

OMNeT++为用户提供了用于描述实际系统结构的有效工具，主要特征如下：

(1) 分层次嵌入式模块。

(2) 各模块以模块类型分类。

(3) 模块之间基于消息传输进行通信。

(4) 模块参数灵活。

(5) 拓扑描述语言。

1.2.2　分层模块

一般将整个 OMNeT++模型称为网络，其顶层模块称为系统模块。系统模块的下层模块为其子模块，上述子模块还可以拥有自身的子模块，这样就形成了整个模型的嵌套层级结构。在模块结构中，允许用户根据实际系统绘制逻辑结构图。模块结构利用 OMNeT++的 NED 语言进行描述。

1.2.3　模块类型

与最底层的简单模块不同，包含子模块的模块称为复合模块。在模型中实现模型算法的是简单模块。简单模块和复合模块都属于模块类型的实例。为了描述模块，用户定义了模块类型；而模块类型的实例可以用来组成更复杂的模块类型，最终，用户创建的系统模块就是上述定义的模块类型所组成的实例；所有的网络模块都是系统模块类型的子模块和子子模块。

当一种模块类型被用作构建模型的单元时，此类型的简单模块和复合模块并无区别。

在不影响现有的模块类型用户的条件下，这使得用户可以将一个简单模块分割成多个简单模块，然后嵌入至复合模块，或者相反，将一个复合模块的功能合并为单个简单模块。可以将模块类型存储为库文件，也就意味着用户可以根据模块类型对模块对象进行分组生成组件库。

1.2.4 packet 传输的仿真

为使通信网络的仿真更加方便，连接可以模拟物理链路，并支持以下参数：传播延迟、比特错误率和数据率、数据报错误率，以上参数及内置算法都封装在信道对象中，这样用户就可以通过设定参数直接使用 OMNeT++的内置信道类型，当然也可以自定义新的信道类型。注意并不保证连接总是有效。默认情况下，标志数据包成功传递到目的模块的仿真时间就是数据包接收结束的仿真时间。但这一规范并不适用于某些协议的仿真(比如半双工以太网)。基于上述情况，OMNeT++目的模块将开始接收数据包所对应的仿真时间标记为消息成功传递的时刻。

1.2.5 参数表

每个模块都拥有参数表，参数值在 NED 文件中指定，也可以在 Omnetpp.ini 中进行配置。参数用于定义简单模块行为，或参数化模型拓扑。参数类型可以是 string、numeric 或 boolean 类型，或者 XML 数据等。数字型的参数可以是其他参数的表达式，也可以是 C 函数的返回值，还可以是不同分类的随机变量，同时也可以由用户交互输入。Numeric 值的参数能够以灵活的方式构建拓扑结构。在一个复合模块中，其参数定义子模块数、门数以及内部连接构建的方式。

1.2.6 拓扑描述

用户可使用 NED 描述语言定义模型的结构。NED 语言将在后面的章节中讨论。

1.2.7 算法设计

模型的简单模块中封装了 C++函数所描述的算法行为。在 OMNeT++仿真类库的支持下，C++编程语言可以充分发挥其灵活性以及强大的功能。程序员可以选择事件驱动或进程式的描述，自由使用面向对象概念(继承、多态等)及设计模式来扩展仿真功能。

仿真对象(消息、模块、队列等)由 C++类表示。我们可以有效使用各种仿真对象来创建功能强大的仿真框架。下面是部分仿真类库的类：

- 模块类，门类；
- 参数类；
- 消息类；
- 容器类；
- 数据统计类；
- 分布估计类；

● 暂态侦测类及结果精度检测类。

上述类还有其他特定应用，仿真中允许不同对象显示相关类的信息，比如名称、类名称、状态变量或内容。正是这种特点，我们才能够创建仿真 GUI，在上面显示所有的仿真内部信息。

1.3　OMNeT++的使用

1.3.1　新建并运行仿真

1. OMNeT++模型的构成

一个 OMNeT++模型包括以下几部分：

(1) NED 拓扑描述语言(.ned 文件)：使用参数、门等描述了模块结构。NED 文件可以使用任何文本编辑器或 GNED 图形化编辑器编写。

(2) 消息定义(.msg 文件)：定义各种消息类型，并可在消息中添加多种数据。OMNeT++将消息定义转化成完全的 C++类。

(3) 简单模块源：C++文件.h 或.cc 后缀。

仿真系统提供了以下组件:

(1) 仿真内核：包含用 C++编写的处理仿真以及仿真类库的代码，并编译形成一个库文件(扩展名为.a 或.lib)。

(2) 用户接口：OMNeT++用户接口在仿真执行的时候使用，用于方便调试、演示或者批处理仿真执行文件。它们用 C++编写，编译成一个库文件(扩展名为.a 或.lib)。

以上组件可以创建仿真程序。首先，使用 opp_msgc.程序将.msg 文件转化成 C++代码，然后编译所有的 C++源文件，链接仿真内核和用户接口库，生成仿真可执行文件或共享库。当仿真程序开始时，仿真系统以其原始的文本形式动态加载 NED 文件。

2. 运行仿真及结果分析

仿真程序可以编译为独立的可执行程序，并可在没有 OMNeT++软件的电脑上运行。如果系统中拥有 OMNeT++共享库，仿真程序也可以编译为一个共享库。

仿真程序在运行时，首先读取描述模型拓扑结构的 NED 文件，读取配置文件(通常为 omnetpp.ini)。ini 文件用于设置仿真程序的运行方式以及参数值等，同一文件可同时对若干仿真运行进行配置。如果用一个 ini 文件对若干仿真进行配置，最简单的运行方式就是逐个运行上述仿真。仿真的输出分别写入以下结果数据文件：输出向量文件，输出标量文件，以及用户自己的输出文件。OMNeT++拥有集成开发环境(IDE)，可为结果文件的分析提供良好的环境。由于输出文件是面向行的文本文件，因此可使用多种工具及编程语言进行处理，如 Matalab、GNU、R、Python 以及电子表格软件。

用户接口的主要目的是使模型的内部信息对用户可见，控制仿真执行，并允许用户通过改变模型内部变量或对象来控制仿真运行。这一功能在仿真项目的开发/调试阶段是非常重要的。图形用户界面同样也可以用来验证模型的运行情况。在模型文件本身不做任何改