



网络仿真 VRNET 基础与开发

主 编 霍景河
副主编 张国辉 张 增 陈 茜



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

网络仿真 VRNET 基础与开发

主 编 霍景河

副主编 张国辉 张 增 陈 茜

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从初学者的角度出发,用通俗易懂的语言和丰富多彩的实例,详细介绍使用通信网络仿真工具 VRNET 进行应用开发需要掌握的所有知识。本书首先介绍 VRNET 的特点和应用范围,然后介绍 VRNET 的安装及基本使用方法,并用简单的例子让读者初步掌握仿真工具的基本使用步骤及方法。接着对仿真工具 VRNET 的集成开发环境、开发原理、NED 语言及涉及的主要对象和类进行详细剖析。在此基础上以一个较为复杂的例子详细介绍 VRNET 项目创建及实现过程,最后介绍依托该工具开发出的标准模型库和高级模型库。在本书最后还给出了典型通信网络构建实训,供学习者参考。

本书可作为高等学校电子信息类专业高年级本科生或研究生的教材,也可作为本科生课程设计、毕业设计或研究生论文实验等的参考用书,还可以作为从事现代通信系统设计和产品研究开发的专业技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

网络仿真 VRNET 基础与开发 / 霍景河主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2016. 4
ISBN 978-7-5121-2418-9

I. ① 网… II. ① 霍… 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 (2015) 第 218813 号

网络仿真 VRNET 基础与开发

WANGLUO FANGZHEN VRNET JICHU YU KAIFA

策划编辑: 李运文

责任编辑: 陈跃琴 特邀编辑: 刘康康

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

<http://www.bjtu.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印 刷 者: 北京时代华都印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 24.25 字数: 605 千字

版 次: 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2418-9/TN·104

印 数: 1~1 000 册 定价: 68.00 元



本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

随着网络技术的迅猛发展,战术通信系统更新速率逐步加快,其功能越来越强、性能越来越高、结构越来越复杂。传统的经验、试验测试及数学推导等方法已难以满足研究需要,必须采用仿真的方法进行研究。当前,建模与仿真已日渐发展成为一种基本科学活动,其以灵活、经济、可控、高效等优点,在通信系统研制开发、系统检验、军事训练及评估等领域发挥着积极作用。

“工欲善其事,必先利其器”。通信网络的高效仿真,必须借助于专用网络仿真。本书着重对常用的网络仿真 VRNET Developer (简称 VRNET) 进行介绍。

本书主要特点在于:从入门到开发应用对网络仿真 VRNET 进行介绍,在介绍 VRNET 特点及适用范围的基础上,先从一个简单的例子入手,带领读者一步步踏入网络仿真的殿堂,激发出读者的学习兴趣,而后由浅入深,对仿真工具 VRNET 的集成开发环境、开发原理、NED 语言及涉及的主要对象和类进行详细剖析,并介绍利用 VRNET 开发出的标准模型库和高级模型库。

本书共分 11 章。

第 1 章简要介绍 VRNET 的特点和应用范围。

第 2 章介绍 VRNET 的安装、授权,并向读者展示 VRNET 的快速入门实例。

第 3 章介绍 VRNET 集成开发环境,从工作空间、仿真项目、应用场景、进行配置四个方面分析 VRNET 集成开发环境的逻辑结构,将集成开发环境界面布局分菜单栏、工具栏、项目资源管理器、属性/大纲视图、文件编辑区和信息显示区逐一进行说明,并拓展了部分高级设置内容。

第 4 章从离散事件仿真原理、分组传输模型和无线仿真原理三个方面剖析 VRNET 的仿真原理,并对无线收发流程进行具体描述。

第 5 章对 VRNET 使用的网络描述语言 NED 进行描述,并对 NED 编辑器、简单模块、复合模块、网络、参数、端口、信道、子模块和链路逐一进行分析和说明。

第 6 章对 VRNET 中的对象和类进行深入分析,重点列举了消息类 `cMessage`、随机数产生类、模块参数类 `cPar`、容器中存储数据类 `cQueue` 和 `cArray`、路由支持和网络发现类 `cTopology`、统计类 `cStatistic` 及其派生类、分布估计类、记录仿真结果类、变量图形化观察类 `WATCH`、发送调试输出和提示输入 `ev` 对象等 10 个对象和类。

第 7 章从定义简单模块类型、为 `cSimpleModule` 增加功能、有限状态机、发送和接收消息、获取模块参数、获取端口和链路、遍历访问各模块、模块间方法的直接调用和动态创建模块等方面详细介绍简单模块的相关设计原理、设计步骤与实现过程。

第 8 章按照创建仿真程序、配置仿真、运行仿真和分析仿真结果的步骤,详细介绍了基于 VRNET 的项目创建及实现过程。

第 9 章从网络图形和动画、事件日志、NED 文档和消息、插件扩展等方面介绍 VRNET 其他功能。

第 10 章详细分析了基于 VRNET 开发的标准模型库和高级模型库，在高级模型库中主要对 WiMax 协议模型库、接口模型库和无线传播模型库 WPM 进行介绍。

第 11 章主要包含：包交换案例实训、路由协议性能分析案例实训和无线开发案例实训。

本书要求读者具备通信原理、计算机网络和 C++ 的基础知识。

本书得到国家自然科学基金（61302110）资助。

本书由装甲兵工程学院信息工程系霍景河教授任主编，由装甲兵工程学院信息工程系讲师张国辉、张增和北京未尔锐创科技有限公司陈茜工程师任副主编，参加本书编写工作的人员还有李红领、尚世峰、杨新旺、杨健康、何彬、臧云华、唐世庆、李晓燕、李冠男、陈颖颖、霍一菲、高昂。本书在编写过程中，得到了装甲兵工程学院信息工程系领导给予的帮助和支持，以及北京未尔锐创科技有限公司提供的技术支持，在此一并表示衷心的感谢。

尽管本书经过了作者反复斟酌及仔细审校，但由于作者水平所限，书中难免存在一些错漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目 录

第1章 VRNET 简介	1
1.1 VRNET 的特点	2
1.2 VRNET 的应用范围	2
第2章 VRNET 快速入门实例	4
2.1 安装和授权	4
2.1.1 软件安装	4
2.1.2 软件授权 (License)	9
2.1.3 编译器安装注意事项	9
2.2 快速入门教程	10
2.2.1 教程简介	10
2.2.2 IDE 界面介绍	10
2.2.3 导入已有项目	11
2.2.4 运行模型库已有项目	21
2.2.5 创建新项目	26
第3章 VRNET 集成开发环境	41
3.1 概述	41
3.1.1 菜单栏	42
3.1.2 工具栏	45
3.1.3 项目资源管理器	45
3.1.4 属性/大纲视图	48
3.1.5 文件编辑区	49
3.1.6 信息显示区	52
3.2 高级设置	53
3.2.1 属性	53
3.2.2 首选项	55
第4章 VRNET 仿真原理	57
4.1 离散事件仿真原理	57
4.1.1 VRNET 中的简单模块	58
4.1.2 VRNET 中的事件	58
4.2 分组传输模型	59
4.2.1 传输延迟, 误比特率和速率	59
4.2.2 链路上的多个传输	59
4.3 无线仿真原理	60
4.3.1 无线收发流程	60

4.3.2 天线的设置和使用	63
第5章 NED 语言	64
5.1 NED 概述	64
5.2 NED 编辑器	65
5.3 简单模块 (Simple Modules)	66
5.4 复合模块 (Compound Modules)	67
5.5 网络 (Networks)	68
5.6 参数 (Parameters)	69
5.7 端口 (Gates)	69
5.8 信道 (Channels)	69
5.9 子模块 (Submodules)	70
5.10 链路 (Connections)	70
第6章 VRNET 对象和类	72
6.1 消息类 cMessage	72
6.1.1 cMessage 类	73
6.1.2 自消息	75
6.1.3 分组的建模	75
6.1.4 封装	76
6.1.5 附着对象和附着参数	78
6.1.6 消息定义	79
6.1.7 枚举	80
6.1.8 消息声明	80
6.1.9 继承, 合成	82
6.1.10 利用已有的 C++ 类型	84
6.1.11 定制生成的类	85
6.1.12 Generation Gap 模式	87
6.1.13 在消息类中利用 STL	90
6.1.14 消息类 cMessage 总结	91
6.1.15 消息编辑器	92
6.2 随机数产生类	95
6.2.1 随机数产生器	96
6.2.2 随机数流, RNG 映射	96
6.2.3 获取随机数	96
6.2.4 随机变量	97
6.2.5 从柱状图产生随机数	98
6.3 模块参数类 cPar	98
6.4 容器中存储数据类 cQueue 和 cArray	98
6.4.1 队列类: cQueue	99
6.4.2 可扩展数组: cArray	100
6.5 路由支持和网络发现类 cTopology	101

6.5.1	概述	101
6.5.2	基本用法	101
6.5.3	最短路径	103
6.6	统计类 cStatistic 与其派生类	105
6.7	分布估计类	105
6.7.1	k 分算法	108
6.7.2	瞬时检测和结果准确性	110
6.8	记录仿真结果类	111
6.8.1	输出矢量: cOutVector	111
6.8.2	输出标量	112
6.8.3	精度	113
6.9	变量图形化观察类 WATCH	113
6.9.1	基本查看	113
6.9.2	读写查看	114
6.9.3	结构查看	114
6.9.4	STL 查看	115
6.9.5	快照	115
6.9.6	获取协同程序栈的用途	117
6.10	发送调试输出和提示输入 ev 对象	118
第 7 章	简单模块设计与实现	119
7.1	定义简单模块类型	119
7.1.1	概述	119
7.1.2	构造器	120
7.1.3	构造器和析构器与 initialize() 和 finish() 的比较	120
7.1.4	“Garbage collection” 和兼容性	121
7.1.5	举例	121
7.1.6	使用全局变量	123
7.2	为 cSimpleModule 增加功能	123
7.2.1	handleMessage()	123
7.2.2	activity()	126
7.2.3	initialize() 和 finish()	130
7.2.4	handleParameterChange()	131
7.2.5	通过派生重用模块代码	132
7.3	有限状态机	132
7.4	发送和接收消息	137
7.4.1	发送消息	137
7.4.2	广播和重传	137
7.4.3	延迟发送	138
7.4.4	直接消息发送	138
7.4.5	接收消息	139

7.4.6	wait()函数	139
7.4.7	使用自消息进行事件建模	140
7.4.8	仿真终止	141
7.5	获取模块参数	141
7.6	获取端口和链路	143
7.6.1	端口对象	143
7.6.2	链路属性	143
7.6.3	传输状态	143
7.6.4	连接性	144
7.7	遍历访问各模块	145
7.8	模块间方法的直接调用	146
7.9	动态创建模块	147
7.9.1	何时需要动态创建模块	147
7.9.2	概述	147
7.9.3	创建模块	148
7.9.4	删除模块	149
7.9.5	模块的删除和 finish()的调用	149
7.9.6	创建链路	149
7.9.7	删除链路	150
第 8 章	VRNET 项目创建及实现	151
8.1	创建仿真程序	151
8.1.1	概述	151
8.1.2	使用 Windows 和 Microsoft Visual C++	152
8.2	配置仿真	156
8.2.1	配置仿真	156
8.2.2	配置文件: vrnet.ini	156
8.2.3	配置段	157
8.2.4	设置模块参数	159
8.2.5	参数研究	161
8.2.6	参数研究及结果分析	164
8.2.7	配置随机数发生器	168
8.3	运行仿真	169
8.3.1	简介	169
8.3.2	命令行界面	172
8.3.3	图形化界面	174
8.3.4	批处理	176
8.3.5	疑难解决	178
8.4	分析仿真结果	179
8.4.1	结果文件	179
8.4.2	集成开发环境中的分析工具	180

8.4.3	Scave 工具	181
8.4.4	可选的统计分析和绘图工具	182
第 9 章	VRNET 的其他功能	183
9.1	网络图形和动画	183
9.1.1	显示字符串	183
9.1.2	参数的导入	189
9.1.3	颜色	189
9.1.4	图标	190
9.1.5	增强动画效果	191
9.1.6	中文名称	192
9.2	事件日志	194
9.2.1	简介	194
9.2.2	配置	194
9.2.3	事件日志工具	195
9.3	NED 文档和消息	196
9.3.1	概述	196
9.3.2	文档注释	196
9.3.3	文本布局与格式化	197
9.3.4	定制和添加页面	200
9.4	插件扩展	201
9.4.1	简介	201
9.4.2	插件描述	202
9.4.3	访问配置	204
9.4.4	执行新的接口	204
第 10 章	VRNET 模型库	206
10.1	标准模型库	206
10.1.1	使用指南	207
10.1.2	常用 API 函数	240
10.1.3	常用配置项	273
10.2	高级模型库	274
10.2.1	WiMax 协议模型库	274
10.2.2	接口模型库	280
10.2.3	无线传播模块 WPM	289
第 11 章	典型通信网络构建实训	302
11.1	包交换案例实训	302
11.1.1	实训目的	302
11.1.2	实训简介	302
11.1.3	创建项目	303
11.1.4	创建简单模块	303
11.1.5	创建消息	307

11.1.6	创建网络	309
11.1.7	实现函数体	313
11.1.8	生成 INI 文件	317
11.1.9	构建项目	319
11.1.10	使用 INI 参数, 运行仿真	319
11.2	路由协议性能分析案例实训	322
11.2.1	实训目的	322
11.2.2	实训简介	322
11.2.3	使用模型库搭建节点及网络	323
11.2.4	AODV 协议仿真	329
11.2.5	DSR 协议仿真	332
11.2.6	DSDV 路由协议仿真	334
11.3	无线开发实训	335
11.3.1	天线定制实训	337
11.3.2	指定调制曲线实训	343
11.3.3	通信流程定制实训	347
参考文献		377

第1章

VRNET 简介

VRNET 是针对国内自主研发的集成网络仿真开发平台。该平台采用 C++ 面向对象方法进行建模与仿真,具备开发周期短、效率高、通用性强和易于维护等优点。图 1-1 为 VRNET 启动界面。

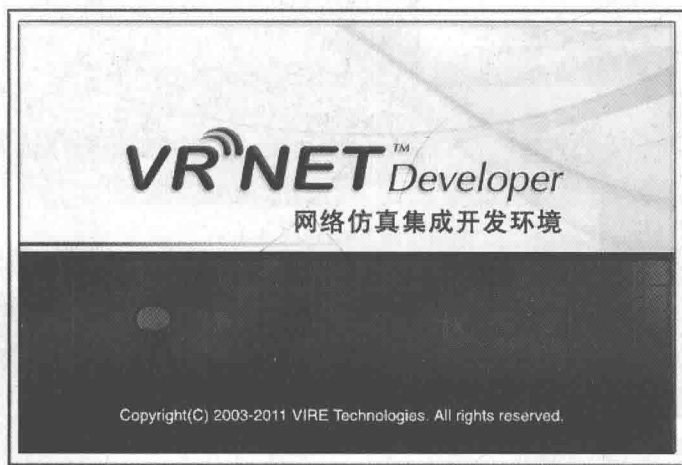


图 1-1 VRNET 启动界面

VRNET 集成网络仿真开发平台包含集成开发环境、标准模型库、高级模型库、多种专业模型库、接口模型库以及无线信道模拟模块等。协议、设备、平台、网络的四层建模机制能够高效地支持在仿真设计中的代码重用,有效地缩短开发周期,具有良好的开放性能的各级模型库能够满足在有线和无线网络领域的各类仿真需求。开放的模型库源码方便进行二次开发以及定制化需求,同时还可以作为功能模块集成到其他应用软件中。通信协议模型结合无线信道模拟大大提高了仿真精度,解决了无线通信中复杂电磁环境给通信带来的不良影响等问题。丰富的接口模型库保证了平台的扩展性,通过不同接口,VRNET 可以与其他同构、异构软件实现协同仿真,满足不同级别的仿真需求。另外,VRNET 高效的离散事件调度算法和并行仿真功能,能够很好地支持大规模仿真,并能优化仿真速度。综上所述,VRNET 具有强大的技术优势,适用于军事及其他特殊应用系统的仿真。

1.1 VRNET 的特点

VRNET 具有良好的开放性和扩展性（如图 1-2 所示，VRNET 与其他系统具备良好地结合性），适合集成大规模的网络，不但能按照当前需求构建仿真系统，而且能够满足对于未来的二次开发、构建更大规模分布式仿真系统等需求，有着其他仿真软件无法比拟的优势。

VRNET 具有以下功能特点。

- 全中文文化的开发界面
- 仿真内核定制化开放
- 协议源码全部开放
- 良好的可扩展性
- 代码的可移植性
- 分层建模机制
- 灵活的拓扑描述机制
- 优异的仿真速度
- 运行时修改参数
- 事件跟踪与分析
- 强大的结果分析能力
- 运行时动画显示
- 精确的无线信道模拟
- 支持分布式仿真
- 支持半实物仿真



图 1-2 VRNET 与其他系统具备良好的结合性

1.2 VRNET 的应用范围

VRNET 能够运用在所有适用于离散事件仿真机制的场合，其适用的场合如下。

- 陆军战术电台组网
- 高速数据链
- 空军自组织网络
- 无线自组织网络
- 栅格网通信系统
- 分布式半实物仿真系统

- 卫星星座组网
- 海军数据链
- 电子对抗系统
- 导弹武器数据链
- 传感器网络
- 指控系统的仿真支撑网络
- 模拟训练系统的仿真支撑网络
- 3G/LTE 无线通信网络
- 其他任何适合应用离散事件处理的仿真系统的建模和仿真

图 1-3 所示为 VRNET 的典型应用。

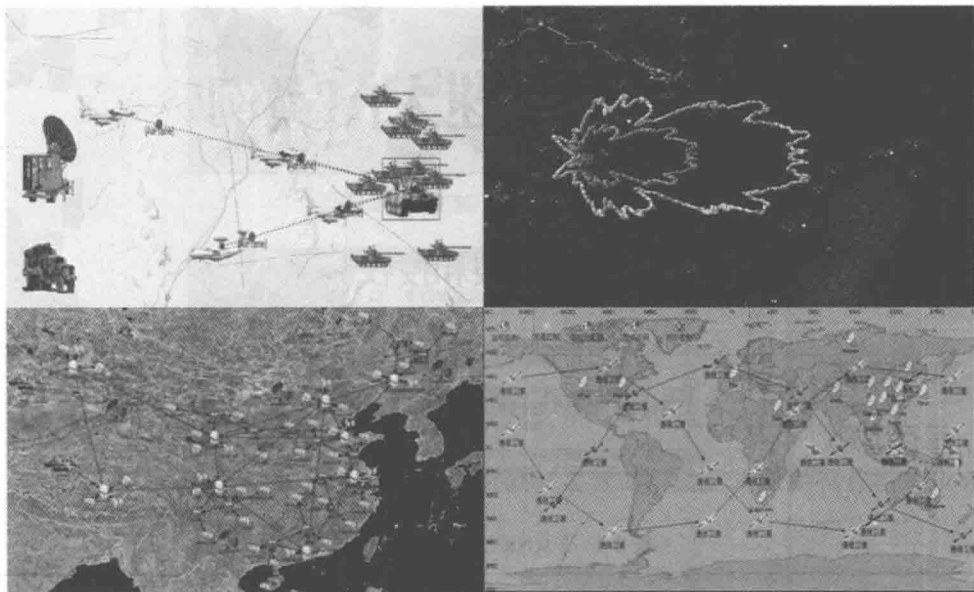


图 1-3 VRNET 典型应用

作为一款优秀的集成网络仿真开发平台，VRNET 在提供了标准模型库和高级模型库的同时，还提供多种专业模型库、无线信道模拟模块和接口模型库。专业模型库包含了大量具有实际参考意义的协议、设备、平台、网络、信道模型，为陆军战术电台组网、卫星组网、数据链等不同领域的仿真运用提供了有效支撑。无线信道模拟模块提供了对特定环境下无线信道的精确仿真。接口模型库包含分布式接口、半实物接口和数据库接口等，满足不同规模的半实物仿真与其他同构、异构系统协同的联合仿真需求，充分体现了其平台良好的扩展性。

第2章

VRNET 快速入门实例

2.1 安装和授权

2.1.1 软件安装

2.1.1.1 运行环境

VRNET 运行环境要求及指标如表 2-1 所示。

表 2-1 VRNET 运行环境需求

环 境		指 标
硬件	CPU	双核 2.0 GHz 或以上
	内存	2GB (推荐 4 GB 或以上)
软件	操作系统	Windows XP Windows Server 2003 Windows Server 2008 Windows 7
	编译器	VC 2005 SP1
	JRE	1.6
	文档阅读	PDF Reader 6.0

2.1.1.2 安装过程

1. 第一步：安装 VC 编译器

VRNET 的开发，是基于 C/C++的编译环境。VRNET 支持 Visual Studio 2005，在安装 VRNET 前请提前安装 VS 开发环境，并在此基础上安装 VS 2005 SP1 补丁。

如果在安装 VRNET 之前尚未安装 VS 2005，请参考 2.1.3 节（编译器安装注意事项）的内容。

2. 第二步：安装 JRE

JRE 是 Java 运行环境(Java Runtime Environment)的缩写，运行 VRNET 需安装 JRE 1.6。其安装步骤如图 2-1、图 2-2 所示。

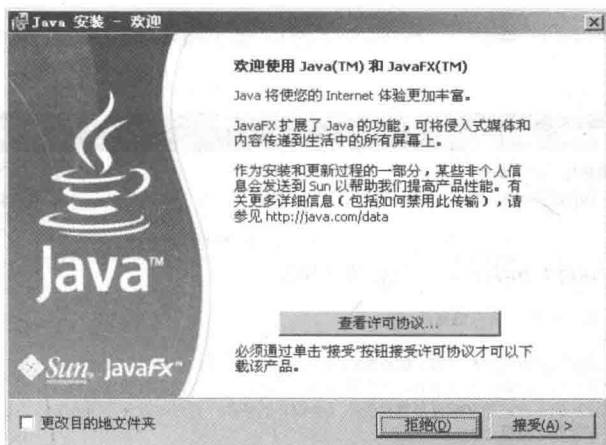


图 2-1 安装 JRE 1.6 (1)

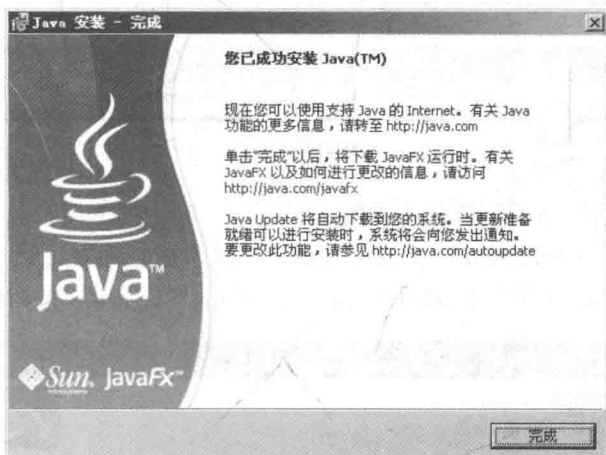


图 2-2 安装 JRE 1.6 (2)

3. 第三步: 安装 VRNET

双击 VRNET 安装程序, 出现如图 2-3 所示的界面, 单击“下一步”按钮以继续安装。

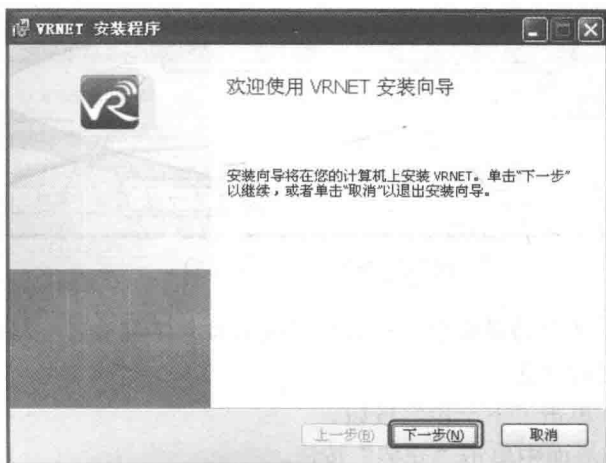


图 2-3 VRNET 安装 (1)

在如图 2-4 所示的界面中选中“我接受许可协议中的条款”复选框，然后单击“下一步”按钮。



图 2-4 VRNET 安装 (2)

接着在弹出的对话框中添加信息，如图 2-5 所示。其中的“用户名”和“所在团体”可根据实际情况进行填写，同时需要提供安装注册码（包含在软件安装光盘内），或者联系代理商以获取独特的注册码。在输入正确的注册码后，单击“下一步”按钮继续安装。

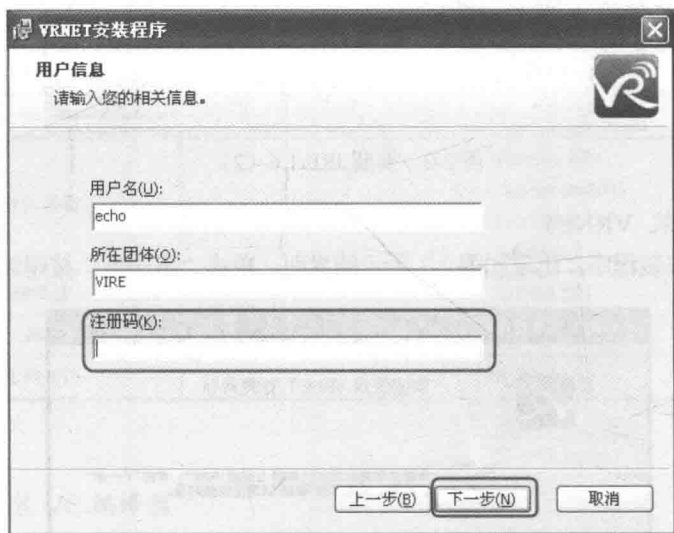


图 2-5 VRNET 安装 (3)

注意：在如图 2-6 所示的界面中，所选择的安装目录不能含有空格和中文，否则将无法在命令行模式下正常运行仿真。

选择安装目录后，单击“下一步”按钮。

在如图 2-7 所示的界面中单击“安装”按钮。