

网络仿真技术与应用丛书

NS2

与网络模拟

于斌 孙斌 温暖 王绘丽 陈江锋 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

网络仿真技术与应用丛书

NS2 与网络模拟

于 斌 孙 斌 温 暖 王绘丽 陈江锋 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

NS2 与网络模拟 / 于斌等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.4
(网络仿真技术与应用丛书)

ISBN 978-7-115-14475-1

I. N... II. 于... III. 计算机网络—计算机模拟 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 005592 号

内 容 提 要

本书是专门介绍 NS2 模拟软件的入门和进阶教程, 内容包括 NS2 模拟软件在不同平台下的安装, 进行网络模拟的方法和技巧, 以及 Tcl、OTcl 语言等必备的基础知识, 并通过 NS2 模拟软件介绍了网络模拟的研究思路和研究方法。

本书内容精炼, 通俗易懂, 可以让初学者在很短的时间内全面掌握 NS2 模拟软件。本书特别适合利用 NS2 软件从事网络研究和开发的技术人员自学参考, 也可作为高等院校计算机网络课程的实验教材和 NS2 模拟培训班教材。

网络仿真技术与应用丛书

NS2 与网络模拟

-
- ◆ 编 著 于 斌 孙 斌 温 暖 王绘丽 陈江锋
责任编辑 陈万寿
 - ◆ 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>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.25
字数: 342 千字
印数: 1—4 500 册
- 2007 年 4 月第 1 版
2007 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-14475-1/TN

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

前 言

在如今这个信息化的时代，网络几乎无处不在，它已经延伸至社会、经济、安全的每一个角落，影响着个人生活的方方面面。在网络迅速发展扩大的同时，也面临着更高的技术要求，如快速的路由协议、安全性、高带宽等。对网络本身的研究，也就成为科研领域中的一大热点，在研究过程中，受成本、环境、人工等种种因素影响，常常需要在模拟的网络环境下进行。当前的网络模拟软件种类较多，特点各异，本书中将主要介绍其中一种影响力较广、使用者较多，并且属于开源版本的优秀网络模拟软件——NS2。

全书共分为7章：第1章主要介绍NS2的背景知识及安装的操作过程；第2章通过几个简单的Tcl脚本例子，使读者对NS2的使用有个直观的认识；第3章主要介绍NS2中使用的几种开发语言，Tcl、OTcl和C++，包括命令格式、流程控制、输入输出等；第4章中提到的分裂对象模型，主要是解决多种编程语言之间对象和变量的关联问题；第5章则重点介绍了NS2这一软件的设计原理、构件、组成元素等，通过详实的例子详细剖析了软件的众多特性；第6章则介绍了NS2所使用的众多工具，正是通过这些工具，NS2才能拥有更多、更强大的功能。第7章列举了NS2在教育、科研环境下的具体应用，包括协议的增加、修改等，使读者能够进一步理解和掌握这一模拟软件。

作者长期使用NS2软件进行网络模拟，具备丰富的源代码分析和模拟实践经验。本书所讲的内容很多是作者使用NS2过程中遇到困难解决方法。每个人遇到的困难可能不同，作者只能从自己碰到的或能预料到的方面来讲解。由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，敬请读者批评指正。

作 者

2006年12月

目 录

第 1 章 NS2 的简介和安装	1
1.1 NS2 的简介	1
1.2 NS2 的安装	2
1.2.1 不同平台对 NS2 支持情况的比较	2
1.2.2 Linux 平台使用 allinone 方式的安装过程	3
1.2.3 Windows 平台 Cygwin 环境下的安装过程	5
1.2.4 VMware 虚拟机环境下的安装过程	8
第 2 章 NS2 初级入门	10
2.1 第一个 Tcl 脚本	10
2.2 第二个 Tcl 脚本（无线模型）	12
2.3 第三个 Tcl 脚本	17
第 3 章 NS2 使用的语言简介	22
3.1 Tcl 简介	22
3.1.1 基本命令格式	22
3.1.2 变量和变量赋值	23
3.1.3 字符串	23
3.1.4 表达式	24
3.1.5 指令替代	24
3.1.6 流程控制	25
3.1.7 过程	26
3.1.8 数组	27
3.1.9 输出	28
3.1.10 eval 命令	29
3.1.11 upvar 和 uplevel 命令	30
3.1.12 error 和 catch 命令	31
3.2 OTcl 简介	31
3.2.1 OTcl 与 C++ 的区别	31
3.2.2 基本语法	32
3.2.3 OTcl 的 C Api	34
3.3 C++ 简介	34
第 4 章 分裂对象模型	35
4.1 解释器相关类的介绍和用途	35
4.1.1 Tcl 类	36
4.1.2 TclObject 类	37
4.1.3 TclClass 类	39

4.1.4 TclCommand 类	39
4.1.5 EmbeddedTcl 类	39
4.1.6 InstVar 类	40
4.2 OTcl 与 C++之间的连接	40
4.2.1 C++对象的创建与删除	40
4.2.2 访问 C++对象的属性	41
4.2.3 调用 C++对象的方法	43
第 5 章 NS2 详解	46
5.1 NS2 的原理	46
5.2 节点	47
5.2.1 节点的基本元素	47
5.2.2 节点方法: 设置节点	48
5.2.3 节点设置接口	49
5.2.4 Classifier	51
5.2.5 路由模块和分类器组织	59
5.2.6 相关的 Tcl 命令	62
5.3 链路	63
5.3.1 创建简单链路	64
5.3.2 最简单的网络拓扑	67
5.3.3 Connector	67
5.3.4 相关的 Tcl 命令	68
5.4 队列和包调度	69
5.4.1 队列类	70
5.4.2 DropTail 类型	72
5.4.3 相关的 Tcl 命令	73
5.5 延时	74
5.6 代理	75
5.6.1 Agent 类的状态变量和函数	76
5.6.2 协议代理	76
5.6.3 OTcl 连接	77
5.6.4 TCP	78
5.6.5 UDP	82
5.6.6 相关的 Tcl 命令	85
5.7 NS2 的调度器和事件	85
5.7.1 调度器 (Scheduler)	86
5.7.2 事件 (event)	87
5.7.3 相关的 Tcl 命令及例子	87
5.8 定时器	88
5.8.1 C++抽象基类 TimerHandler	88

5.8.2	设定一个新的定时器	90
5.8.3	例子: TCP 重传定时器	90
5.8.4	OTcl Timer 类	92
5.8.5	相关的 Tcl 命令	93
5.9	分组头及其格式	94
5.9.1	协议特定的分组头	94
5.9.2	添加新的分组头类型	96
5.9.3	在模拟中选择包含的分组头	96
5.9.4	与分组相关的类	97
5.10	应用程序	103
5.10.1	Application 类	103
5.10.2	运输层代理的 API 函数	104
5.10.3	流量发生器 (TrafficGenerator 类)	106
5.10.4	应用模拟器: Telnet 和 FTP	110
5.10.5	相关的 Tcl 命令	110
5.11	无线网络	111
5.11.1	NS2 中的基本无线模型	111
5.11.2	移动节点的创建	112
5.11.3	移动节点的运动	114
5.11.4	移动节点的组成	115
5.12	Trace 文件	116
5.12.1	对跟踪的支持	116
5.12.2	OTcl 的帮助函数	116
5.12.3	对库的支持和示例	117
5.12.4	C++ 的跟踪类	118
5.12.5	跟踪文件格式	119
5.12.6	无线模拟的跟踪文件格式	126
第 6 章	相关工具详解	133
6.1	Gawk	133
6.1.1	Gawk 简介	133
6.1.2	如何执行 Gawk 程序	134
6.1.3	读取输入档案	135
6.1.4	打印输出	136
6.1.5	patterns	139
6.1.6	Action 中的算式(Expression)	140
6.1.7	Actions 里面的控制语句	141
6.1.8	内建函数(Built-in Functions)	144
6.1.9	使用者定义的函数(User-defined Functions)	146
6.1.10	举例	146

6.1.11 结论	147
6.2 Gnuplot	147
6.2.1 举例说明	148
6.2.2 详细讲解	150
6.3 Cbrgen 和 Setdest	160
6.4 threshold	163
6.5 Nam	164
6.5.1 Nam 使用界面	164
6.5.2 Nam 动画的主要构件	166
6.5.3 举例说明	167
6.6 xgraph	169
6.7 Tracegraph	175
6.8 GDB	175
6.8.1 如何用 GDB 调试 NS2	175
6.8.2 如何在 GDB 调试中设定断点	176
6.8.3 如何在 GDB 调试中执行程序	176
6.8.4 如何在 GDB 调试中调试程序	176
6.8.5 GDB 调试中常用的命令	178
第 7 章 NS2 中的源代码分析	179
7.1 向 NS2 中添加新的协议	179
7.1.1 头文件 ping.h	179
7.1.2 定义函数	180
7.1.3 对 NS2 已有文件的一些改变	183
7.1.4 Tcl 文件	184
7.2 修改 NS2 自带的 Linkstate 路由协议	184
7.2.1 NS2 平台下修改后的 Linkstate 模块的流程图	185
7.2.2 对 Linkstate 路由模块的修改	186
7.3 NS2 固定网络与无线网络模拟发送数据的过程	191
7.3.1 固定网中数据的发送流程	191
7.3.2 NS2 固定网络模拟发送数据的具体函数分析	192
7.3.3 无线网中数据的发送流程	198
7.3.4 NS2 无线网络模拟的具体函数分析	201
参考文献	218

第 1 章 NS2 的简介和安装

1.1 NS2 的简介

对于如何验证网络协议的正确性和进行相关性能测试，人们提出了很多方法，目前最广泛使用的方法就是通过虚拟环境进行模拟仿真。NS2 是最流行的进行网络模拟的软件之一，已广泛被科研院所和各大高校用于进行网络分析、研究和教学。它支持众多的协议，并提供了丰富的测试脚本。

NS2，即 Network Simulator Version 2，是面向对象的、离散事件驱动的网络环境模拟器，主要用于解决网络研究方面的问题。NS2 提供了在无线或有线网络上的 TCP、路由、多播等多种协议的模拟。

NS2 来源于 1989 年的 Real Network Simulator 项目，经过多年的发展，于 1995 年得到施乐公司 (Xerox) 的支持，加入 VINT 项目。NS2 一直以来都在吸收全世界各地研究者的成果，包括 UCB、CMU 等大学和 SUN 等公司的无线网络方面的代码。

NS2 是一个面向对象的网络模拟工具，可以完整地模拟整个网络环境。NS2 使用一整套 C++ 类库实现了绝大多数常见的网络协议以及链路层的模型，利用这些类的实例就可以搭建起整个网络的模型，而且包括详尽的细节实现。这简直就是一种梦想的实现，试想如果手头能有这样一个工具，我们就可以在单机环境中模拟网络的各个元素，加深对网络的了解和认识；同时，加快我们开发新协议的速度。

与 NS2 类似的软件有 OPNET，这是一个商用的网络模拟软件，它能够针对各款交换机和路由器来搭建网络；与之相比，NS2 是一个免费的软件，它可以在 Windows/UNIX 上运行，且所有源代码公开，对于进行网络的研究和扩展非常方便，所以在学术界更多的是采用 NS2 来做模拟。

NS2 使用两种编程语言，OTcl（具有面向对象特性的 Tcl 脚本程序设计语言）和 C++。之所以选择这两种语言，是因为模拟器有两方面的事情需要做。一方面，具体协议的模拟和实现，需要一种程序设计语言，能够高效率地处理字节 (Byte)、报头 (Packet Header) 等信息，能够应用合适的算法在大量的数据集合上进行操作。为了实现该任务，程序内部模块的运行速度 (run-time speed) 是非常重要的，而运行模拟环境的时间、寻找和修复 bug 的时间，以及重新编译和运行的时间 (run-around time) 不是很重要。这种情况下，C++ 语言是非常合适的。另一方面，许多网络中的研究工作都是围绕着网络组件和环境的具体参数的设置和改变而进行的，需要在短时间内快速地开发和模拟出所需要的网络环境 (scenarios)，并且方便修改和发现、修复程序中的 Bug。在这种要求下，网络环境布置的时间就显得很重要了，因为模拟环境的建立和参数信息的配置只需要运行一次。因此，脚本语言就具有很大优势，具

有面向对象特性的 Tcl 脚本语言可以充分满足此需求。

NS2 的 Tcl/C++架构与 Windows 下的 COM/VBScript 编程模式有些类似，使用 VC 来编写和实现 COM 对象，然后使用 VB 来操纵 COM 对象。Windows 提供了 COM 接口，这就在系统范围内保证了这种机制的有效性。与之相比，NS2 则能够使 Tcl 脚本了解到它的 C++类库结构，同时按照它的类分级来创建对象，这也很了不起。

总之，NS2 为我们提供了一个很好的网络模拟实验平台。同时，由于它使用两种语言，对使用者的要求也相应增高。

1.2 NS2 的安装

NS2 是在 UNIX 系统上开发的，因此可以在 FreeBSD、SunOS、Solaris 等 UNIX 和类 UNIX 系统上安装，另外，NS2 也可以安装并运行在 Windows 平台上，但最好在 Posix-like 的机器上使用。所需硬件条件，对于一般的模拟来说，只需要普通的计算机即可，而运行大的模拟场景则需要大量的内存，同时，高性能的 CPU 对于提高 NS2 模拟速度也很关键的。软件要求方面，安装 NS2 需要一个 C++编译器。

NS2 的安装有两种方式：一次性安装（allinone 软件包）和组装（from all the pieces）。用 allinone 软件包安装 NS2 需要大约 320MB 硬盘空间；选择组装方式进行安装则会节省一些空间。但前者安装操作更为方便、简单，所以大多使用者采用此种安装方式。

1.2.1 不同平台对 NS2 支持情况的比较

1. 支持的软件模块

NS2 的实现依赖于许多组件（软件模块），这些组件相互依赖，安装时应该按照一定的顺序进行。各平台对软件模块的支持情况如表 1-1 所示。

表 1-1 不同平台对 NS2 的支持情况

	Tcl-TK	OTcl	TclCL	Ns	Nam	xgraph	cweb	sgb	Gt-itm and sgb2ns	zlib
Pc+Windows	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N
Pc+UNIX	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

(Y——支持，N——不支持)

2. 稳定性

在 PC+Windows 平台上使用 NS2 时，可能出现的问题比较多。例如，若在 Cygwin 下安装 NS2，那么安装完成之后会产生一个 Home 子目录，并且在 Home 目录下生成一个使用者的文件夹，放置一些环境变量等信息，这是在第一次使用 Cygwin 之后，根据电脑使用者的一些信息生成的。因为 Cygwin 认为 Administrator 是惟一的合法使用者，如果启动 Cygwin 时发现没有 Home 子目录，则表示现有的用户身份不是管理员，必须重新启动 Windows 系统，并以 Administrator 身份重新登录，然后再开启 Cygwin，就会看到 Home 子目录，同时有三个

文件夹在 Administrator 子目录下。

NS2 在 PC+Linux 环境下的使用情况，总的来说比较稳定，安装也比较方便，但也会出现一些由于组件安装不完全引起的问题，所以一般都需要完全安装。

3. 总结和建议

综合比较各个平台对 NS2 的支持情况，总体情况如表 1-2 所示。

表 1-2 综合比较 Windows 和 Linux 对 NS2 的支持情况

	PC+Windows	PC+Linux
平台特点	优点：界面友好，人性化设计，网络及硬件支持良好，应用程序丰富。 缺点：代码冗繁，系统稳定性及自身修复能力差。	优点：源代码开放，界面友好，网络功能丰富，较稳定。 缺点：应用软件及硬件驱动程序缺乏。
安装过程	未安装 Cygwin 时只可用 from all the pieces 方式安装，较为复杂； 安装 Cygwin 后可用 allinone 方式安装，较为简单。	可选用 from all the pieces 或 allinone 方式安装，较为简便。
模块支持	支持 NS2 的必选软件模块，但对可选模块的支持性较差。	对 NS2 的必选软件模块及可选模块均支持性良好。
使用过程	容易引发较多问题，相关帮助文档及可咨询信息较少，解决问题的难度较大。	由于 LINUX 完全开放源代码的特性，可根据需要任意修改源代码。相关帮助文档及论坛较多，可获得的帮助较多，使问题的解决较为容易。

1.2.2 Linux 平台使用 allinone 方式的安装过程

这是安装 NS2 最常用、最方便的方法，推荐使用。

(1) 在 <http://www.isi.edu/nsnam/dist/> 网页上下载要使用的版本。本文以 2.28 版本为例讲解，则需要下载 ns-allinone-2.28.tar.gz。

(2) 假定当前用户为 nsuser，当前目录为 /home/nsuser/，用 tar 命令解压缩 ns-allinone-2.28.tar.gz，如图 1-1 所示。

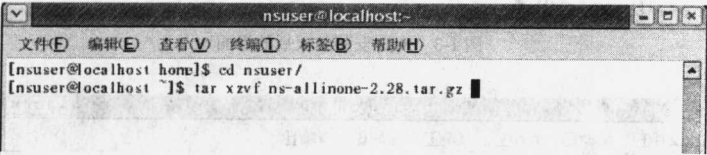


图 1-1 用 tar 命令解压缩 ns-allinone_2.28.tar.gz 的界面

(3) 将 nam1.11 文件夹中的 agent.h 文件的 73 行最后的 null 改为 0，否则会编译出错，不能产生 nam 的运行函数。

(4) 进入解压出来的文件夹 ns-allinone-2.28，执行 ./install 命令，如图 1-2 所示。

(5) NS2 开始自动安装，如果最后出现如图 1-3 所示的画面，则说明安装结束，已经成功安装 NS2。

(6) 退出到目录 /home/nsuser，打开 .bashrc 文件，修改 NS2 提示设置的环境变量的值：PATH、LD_LIBRARY_PATH 和 TCL_LIBRARY，如图 1-4 所示。

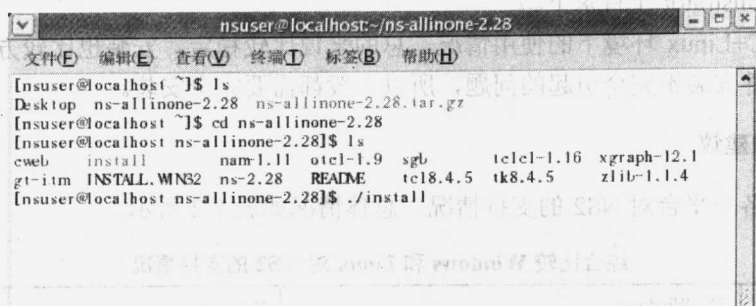


图 1-2 进入 ns-allinone-2.28 执行 ./install 的界面

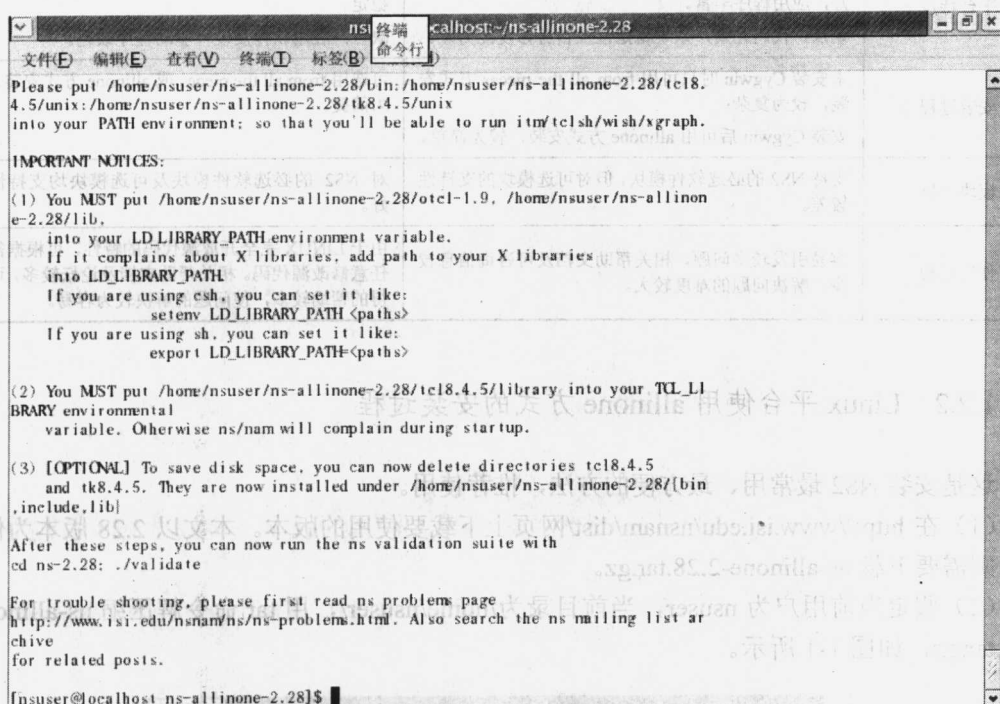


图 1-3 NS2 安装结束后的界面

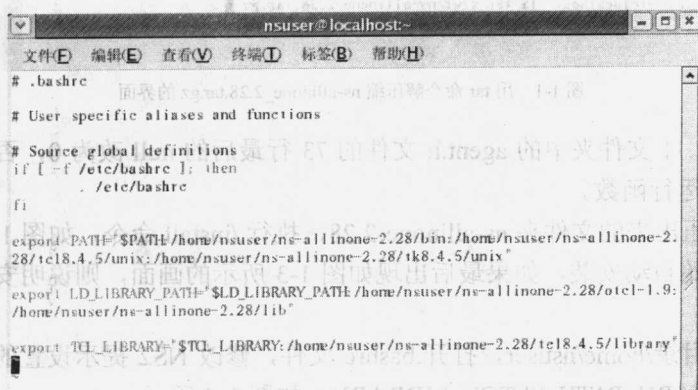


图 1-4 修改 3 个环境变量后 .bashrc 文件的内容

1.2.3 Windows 平台 Cygwin 环境下的安装过程

首先要获得 Cygwin 软件包和 NS2.28 软件包，可在附加光盘中找到，也可从网上下载。

接下来先进行 Cygwin 的安装。解压缩 cygwin.rar 文件，解压后进入新生成的 cygwin 文件夹，点击其中的 setup.exe 文件开始安装 Cygwin。按“下一步”，进入图 1-5 所示的界面。

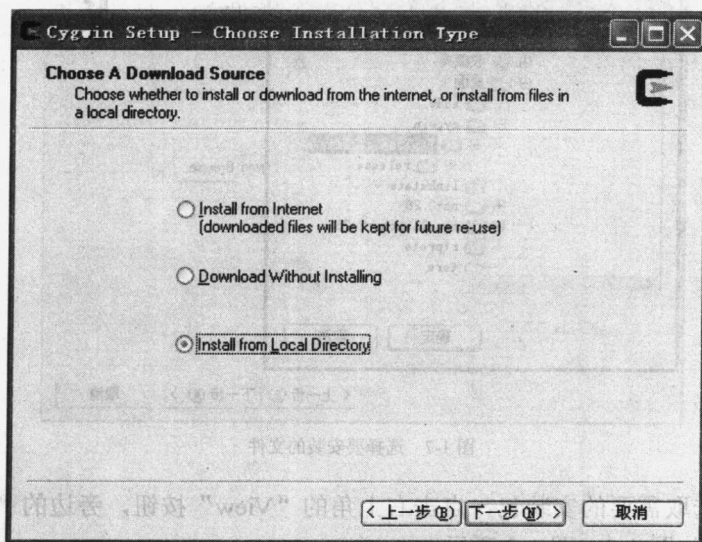


图 1-5 安装 Cygwin 的开始界面

选择图 1-5 后，点击“下一步”，开始选择安装的位置，可以选择任意磁盘分区，只要有足够空间即可，如图 1-6 所示，我们选择安装在 c 盘下，其他选项不需更改。

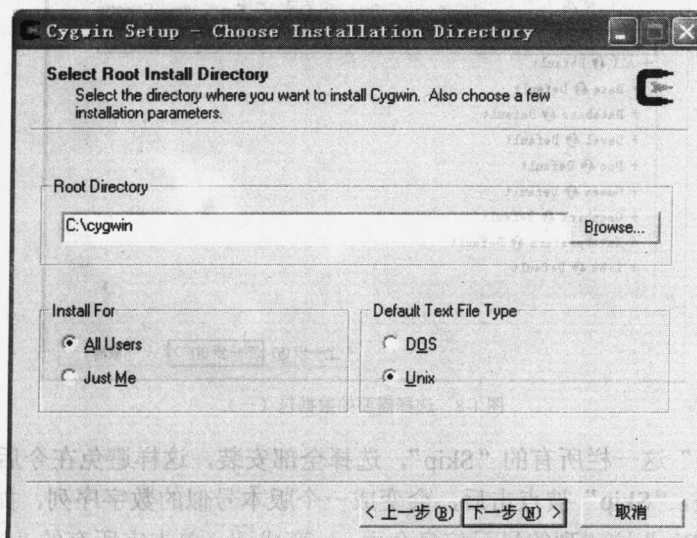


图 1-6 选择安装 Cygwin 的位置

点击“下一步”，开始选择源文件，源文件目录就是解压生成的 cygwin 文件夹中名字为“ftp……”的文件夹。具体过程是先点击“Browse…”，弹出“浏览文件夹”对话框，找到解压得到的 cygwin 文件夹，选择其子目录“ftp……”，即图 1-7 中标注为深色的部分，点击“确定”之后，按“下一步”。

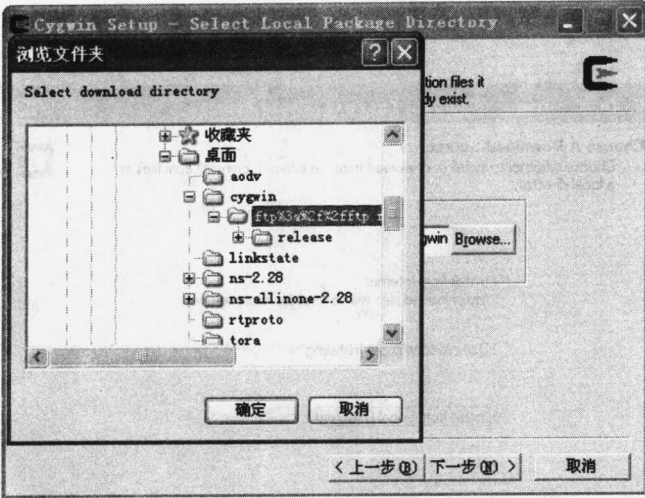


图 1-7 选择要安装的文件

下一界面是选取需要的安装包，点击右上角的“View”按钮，旁边的“Category”会变为“Full”字样，如图 1-8、图 1-9 所示。

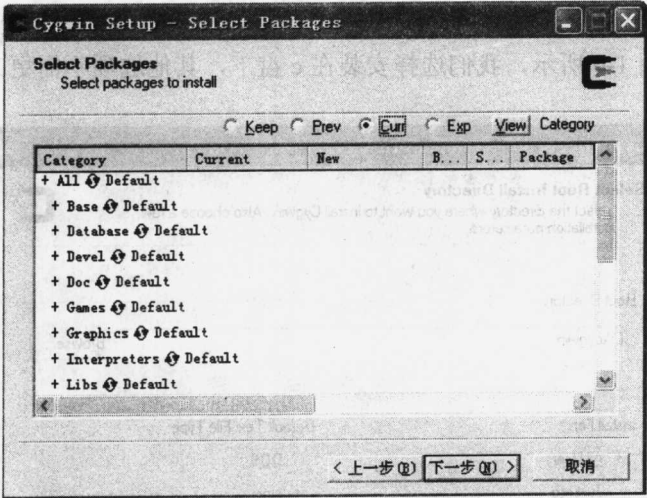


图 1-8 选择需要的数据包（一）

再点击“New”这一栏所有的“Skip”，选择全部安装，这样避免在今后使用 NS2 中的风险。要注意的是，“Skip”被点击后，会变成一个版本号似的数字序列，如：2.6-1 或年月日之类的，而且“Bi..”这一列的显示信息会由 n/a 变成☑。单击完所有的“Skip”后，按“下一步”。

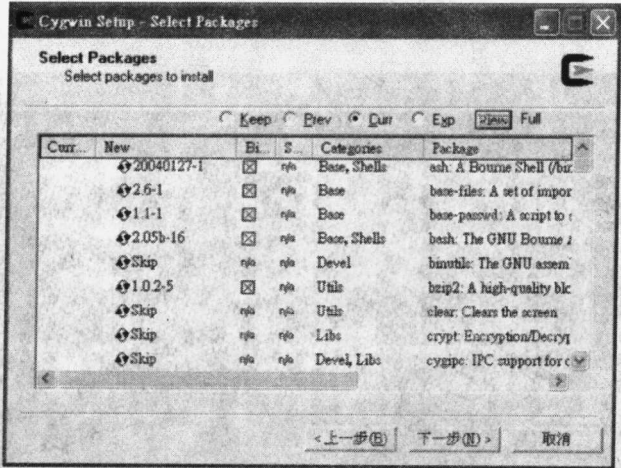


图 1-9 选择需要的数据包（二）

然后就进入安装界面，这里时间会稍微长些，要耐心等待。全部安装完了以后，单击“完成”即可。

最后弹出对话框，单击“确定”，cygwin 就安装完毕了。

然后我们开始进行 NS2 的安装。

先首次运行 Cygwin（可以单击桌面上生成的快捷方式，图标为），系统会自动在 C:\cygwin 文件夹中生成\home\×××文件夹（其中×××为当前 windows 的登录名，注意登录名中间不能存在空格，否则将无法成功安装 NS2）。

然后将 ns-allinone-2.28.rar 文件解压缩到\home\×××下。

解压缩结束后，运行 Cygwin。之后变换路径，输入：cd ns-allinone-2.28/回车，如图 1-10 所示。

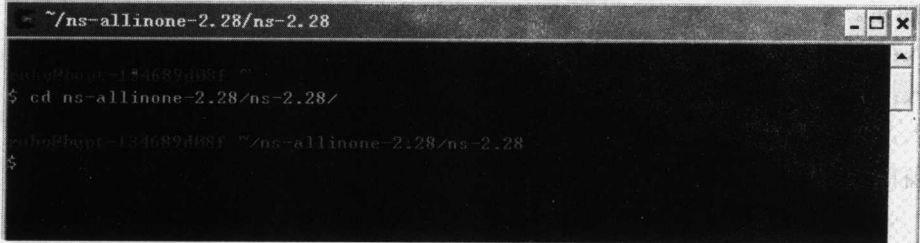


图 1-10 变换路径

然后输入./configure; make clean; make 按回车，如图 1-11 所示。

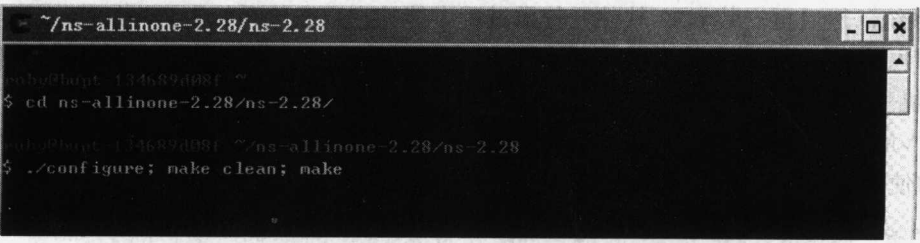


图 1-11

当看到图 1-12 所示的界面时，就表示安装完成了。

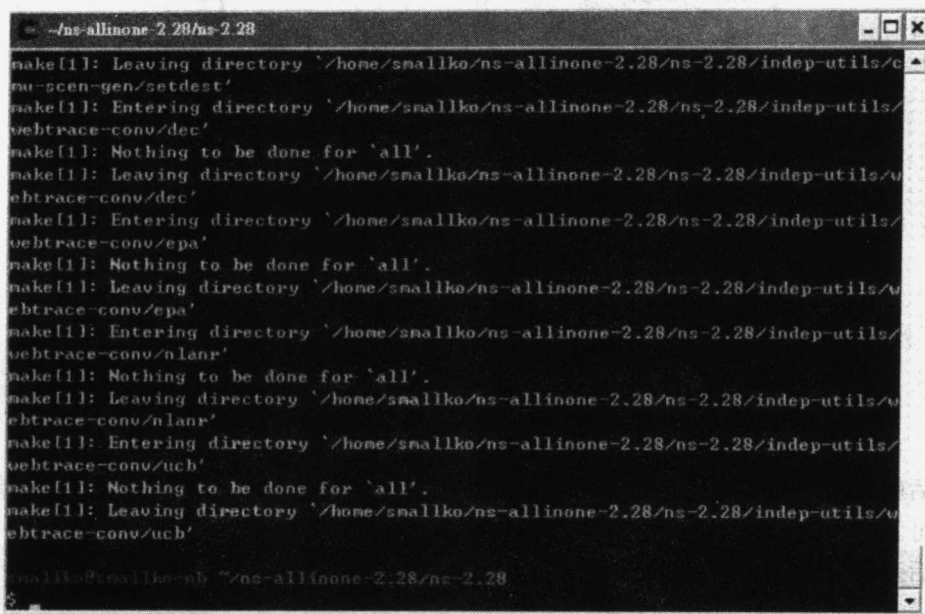


图 1-12 安装完成 NS2 的界面

此时可以输入 `ls ns.exe` 验证一下，如果系统中安装有 NS2 软件，则显示 `ns.exe`。

在使用 NS2 之前还有一个步骤要做，将解压缩得到的 `cygwin` 文件夹中的 `.bashrc` 文件拷贝到 `c:/cygwin/home/xxx` 文件夹下，覆盖原有的文件，再将 `nam-1.11` 中的 `nam.exe` 文件和 NS2.28 中的 `ns.exe` 文件拷入待运行的 `tcl` 脚本存储的地方。在此，我们用 NS2 提供的示例来说明一下，将上两个文件存入 `~/ns-tutorial/example` 下，然后开始运行 `example` 脚本，操作如图 1-13 所示。

输入：`cd ns-tutorial/example` 回车

输入：`ls` 回车，即可显示文件夹内的示例

输入：`startxwin.bat` 启动 Cygwin/X server 窗口

在窗口中输入 `ns example2.tcl` 回车，如果弹出 `nam` 窗口，表示可以正常使用。

1.2.4 VMware 虚拟机环境下的安装过程

此种使用方式主要是针对某些用户的需求。利用虚拟机，可以在 Windows 平台下搭建 Linux 系统，然后再安装 NS2 软件，使用过程中能够在双操作系统中自由切换，适合既要求 NS2 方便、稳定，又不太熟悉 Linux 平台的用户。下面主要介绍一下应用较广、使用较方便的虚拟机——VMware。

在 VMware 官方网站下载 VMware Workstation 的试用版本，申请注册码之后，可以获得 30 天的使用时间。在 Windows 系统（宿主机）安装 VMware 的过程较为简单，按照提示点击即可。安装完后，运行 VMware，然后安装 Linux 操作系统（客户机）。之后，NS2 的安装可以参照、选择前面介绍的安装方式，使用方法也相同。

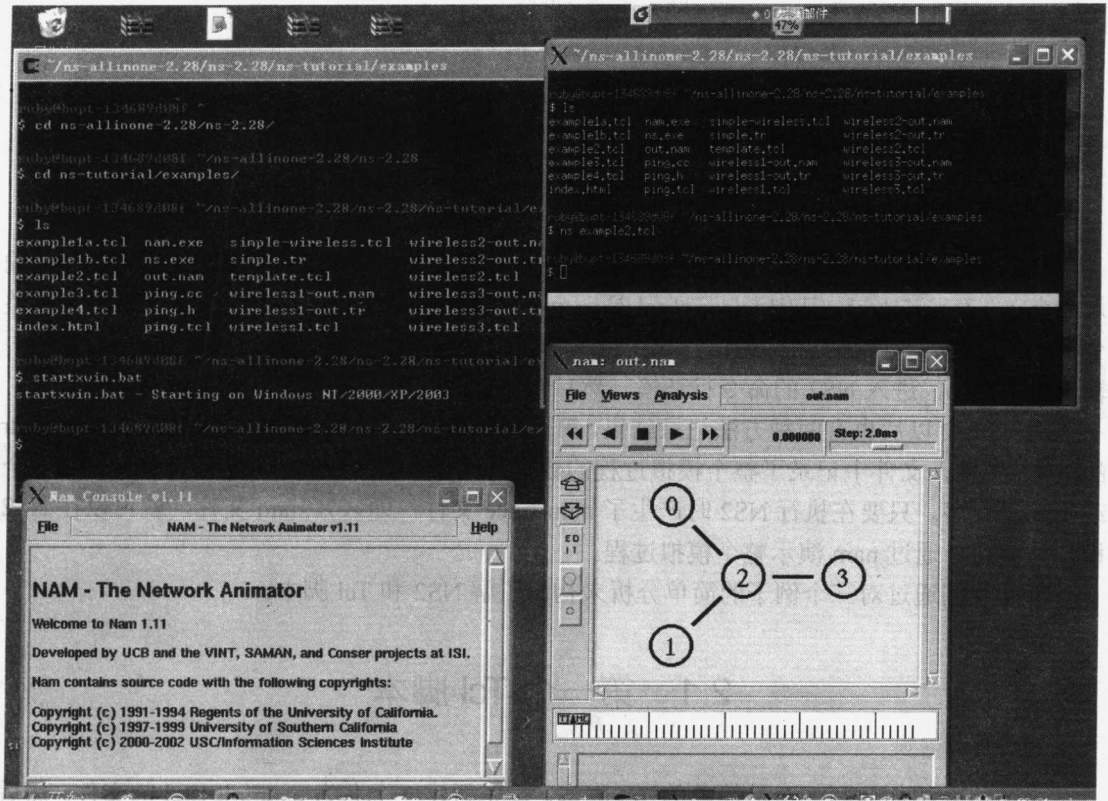


图 1-13