



工作导向创新实践教材

基于ARM9的 小型机器人制作

校企合作的经典体现

谭立新 主 编 刘 锰 副主编



学ARM就像学单片机一样，
一切就是这么简单！



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

工作导向创新实践教材

基于 ARM9 的小型 机器人制作

谭立新 主 编
刘 锰 副主编

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

《基于 ARM9 的小型机器人制作》以“嵌入式探月小车设计开发”为主线,通过“项目导向、任务驱动”编撰,全书分为三个部分:Linux 基础及环境搭建,ARM 开发板硬件基础,嵌入式 Linux 的应用开发。共包括 9 个项目:Linux 基础及环境搭建(项目 1);ARM 开发板硬件基础(项目 2);嵌入式 Linux 的应用开发(项目 3~项目 9)。每个项目从项目描述、教学目标、知识准备、任务实现、考核评价、拓展提高六个方面来组织编写。

本书可作为高等职业院校嵌入式系统工程、应用电子技术、电子信息工程技术、电子工艺与管理、电子设备与运行管理、玩具设计与制作及自动控制等专业的教材,也可供广大从事嵌入式领域的科研和工程技术人员参考使用,还可作为嵌入式培训班的授课教材或参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于 ARM9 的小型机器人制作/谭立新主编. —北京:电子工业出版社,2011.11

工作导向创新实践教材

ISBN 978-7-121-14820-0

I. ①基… II. ①谭… III. ①小型机器人—制造—高等职业教育—教材 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 209980 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:王昭松 特约编辑:徐 岩

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×980 1/16 印张:15.25 字数:332 千字

印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:30.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

随着信息化、智能化、网络化的发展,嵌入式技术将全方面展开,已成为通信和消费类产品的发展方向。嵌入式系统分别在硬件和软件(主要是嵌入式操作系统)方面获得发展,已成为 IT 界的又一焦点,研发自主知识产权的嵌入式处理器和嵌入式操作系统,对于我们的民族 IT 产业具有十分重要的战略意义。

通用计算机工业的基础被认为是由 Wintel (Microsoft 和 Intel 在 20 世纪 90 年代初建立的联盟)垄断的工业,而嵌入式系统是分散的工业,充满了竞争、机遇和创新,嵌入式系统领域的产品和技术,留给各个行业的中小规模高技术公司的创新余地非常大,各个应用领域不断向前发展,其中的嵌入式处理器核心也同步发展,构成了推动嵌入式工业发展的强大动力。

PC 行业	硬件	80%采用 Intel 的 80X86 体系结构,芯片基本采用 Intel、AMD、Cyrix 等几家公司
	软件	Microsoft 的 Windows 及 Word 占领了大约 80%~90%的市场份额
嵌入式行业	硬件	嵌入式处理器 70%~80%采用 ARM 体系结构,其他的还有 MIPS、PowerPC、SH 等
	软件	根据美国 VDC 统计数据显示,未来两年将占嵌入式操作系统市场份额的 50%

Linux 开放原始码及其模块化的设计,为用户提供了极最大限度的可缩放功能。嵌入式 Linux 操作系统以价格低廉、功能强大又易于移植的优势被广泛采用,成为新兴的力量,以 Linux 为代表的免费软件开始占领比较大的市场,嵌入式操作系统及其研发平台的市场被普及计算 (Pervasive-Computing) 概念所驱动,发展更为迅速,嵌入式 CPU 是嵌入式系统的核心,拥有自己的嵌入式 CPU 和支撑硬件是发展自主版权嵌入式系统的前提和基础。操作系统是软件产业的基础和龙头,它能左右软件产业的发展方向,是世界软件产业最大的利润来源。研制自主版权的嵌入式操作系统意义重大,它可使中国的 IT 行业真正走向成熟和自立。

以 ARM 为核心的硬件平台开发小型机器人,具有体积小、低功耗、低成本、高性能等优势,同时配以以嵌入式 Linux 为代表的免费软件开发小型机器人,一是不需要任何的许可证或商家的合作关系,源代码可以免费获得,这使得采用 Linux 作为操作系统不会遇到任何关于版权的纠纷;二是标准平台上的移植加快了软件与硬件的开发过程,并且开发人员可以对操作系统进行定制,适应其特殊需要,这对于经费、时间受限制的研究与开发项目是很有吸引力的。以 ARM 和嵌入式 Linux 开发小型机器人代表了嵌入式技术的基本技术,也是通信和消费类电子产品的典型代表,符合高职高专院校教学改革的需求及人才培养定位和发展趋势。

现有高职院校的专业教材很多都是按照知识体系编写的,重理论、轻实践,重原理、轻应用或者根本与实践无关。学生学习了一个学期,不知道这个知识在实践中有什么作用,为什么要学习,与今后的工作有什么联系,以及如何应用等。本书探索了回归工程教学的教材编写思路,要求是按照项目设计制作或者工作过程展开,将学科知识融入到项目或者产品的制作过程中,回归到人类认识自然的本原方式,典型工程案例的实践过程按照“任务驱动”的模式组织,通过“实践—归纳—推理—再实践”这一螺旋式上升的方法获取系统的科学知识和实践技能,回归到科学知识和实践技能获取的自然过程,并将企业的“6S”考核体系融入到教学考核评价中。将嵌入式探月小车作为典型工程案例编写教材,培养学生职业能力,这是本书的主要探索,也是本书的主要特色。教材每个项目主要包括以下几个组成部分。

① **项目描述。**介绍该项目的工程实践应用与技术要求及其实现的主要技术关键;介绍案例与课程的联系与技术要点及职业要求。

② **教学目标。**从知识、能力、态度等方面介绍各项目的教学目标,包括方法能力、专业能力、社会能力以及团队合作等。

③ **知识准备。**实现项目设计制作所必需的知识,不求知识的完整性与全面性,以“必需、够用”为度。

④ **任务实现。**任务实现所需的材料、场地、技术资料、实现的步骤、相关的技术要求、现场要求、工艺与技术文件的撰写等。

⑤ **考核评价。**对学生作品的质量评价、技术评价、职业素养评价、完成过程评价的评分标准。

⑥ **拓展提高。**让学生学会触类旁通、举一反三,学生知识的迁移,技能的强化,职业能力的拓展等。

本书由工业和信息化职业教育教学指导委员会电子信息类专业教学指导委员会副主任委员、湖南省高等学校教学名师、湖南信息职业技术学院信息工程系主任谭立新教授担任主编,谭立新教授提出了本书编写的基本思路,提供了智能嵌入式探月小车的原始技术资料,并撰写了项目3;湖南信息职业技术学院信息工程系刘锰讲师任副主编,参与开发了嵌入式探月小车的技术工作,整理了智能嵌入式探月小车的技术资料,撰写了项目1和项目2,并协助进行了统稿工作;湖南信息职业技术学院信息工程系罗坚工程师和肖成老师主要参与了嵌入式探月小车的技术开发工作,并撰写了项目4和项目5;湖南信息职业技术学院信息工程系李平安讲师主要参与了嵌入式探月小车的技术开发工作,并与长沙航空职业技术学院航空电子电气工程系主任朱国军副教授撰写了项目6;湖南信息职业技术学院信息工程系邓知辉讲师、张家界航空职业技术学院电气工程系主任胡良君副教授撰写了项目7;湖南信息职业技术学院计算机工程系汪淼湘讲师参与了嵌入式探月小车的技术开发工作,并与湖南科技经贸职业学院电子信息学院副院长何美生副教授撰写了项目8;湖南信息职业技术学院信息工程系罗坚工程师和娄底职业技术学院信息工程系教研室主任李和平副教授撰写了项目9;

湖南信息职业技术学院信息工程系教学主任吴再华副教授和湖南信息职业技术学院教研室主任李雪东高级实验师撰写了附录 A、附录 B 和附录 C。

《基于 ARM9 的小型机器人制作》是典型的嵌入式教材，可以作为嵌入式系统工程、应用电子技术、电子信息工程技术、电子工艺与管理、电子设备与运行管理、玩具设计与制作等专业的教材，也可供嵌入式领域的科研和工程技术人员参考使用。

本书共分为三部分，各部分内容如下。

第一部分 Linux 基础及环境搭建。从 Linux 的安装过程、基本操作命令开始，系统地介绍了嵌入式 Linux 的环境搭建，为 Linux 初学者能够快速入门提供了保证。

第二部分 ARM 开发板硬件基础。结合 ARM 开发板硬件的具体实验介绍嵌入式 Linux 的 I/O 与文件系统的开发、进程控制开发、进程间通信开发、网络应用开发、基于中断的开发、设备驱动程序的开发，以及嵌入式图形界面的开发等，使读者能够边学边用，更快更好地学会 ARM 开发板的应用。

第三部分嵌入式 Linux 的应用开发。根据典型工程项目及具体外设介绍嵌入式小型机器人的运动、通信及控制等功能的实现，使读者能够边学边用，更快更好地掌握所学知识，并能灵活应用。

《基于 ARM9 的小型机器人制作》主要得到了以下基金项目的资助：湖南省职业教育“十一五”重点建设项目——应用电子技术精品专业（湘教发（2007）41 号）；湖南省职业院校教育教学改革研究项目（重点）——基于系列产品驱动的专业教育教学研究与实践（项目编号：ZJDA2009004）；工业和信息产业职业教育教学指导委员会教学项目——基于智能电子产品的系列教材开发与实践（项目编号：HZW2010-108）。本书选取的典型工程项目——嵌入式探月小车控制软件 V1.0 版已获计算机软件著作权（登记号：2010SR069123）。

《基于 ARM9 的小型机器人制作》得到了工业和信息产业职业教育教学指导委员会、电子工业出版社的指导与大力支持，并得到了中科鸥鹏科技有限公司秦志强博士的指导和湖南科瑞特科技有限公司张玉希高级工程师的支持，同时也凝聚了湖南省众多兄弟院校的支持与帮助。在此一并表示感谢！

编 者

2011 年 7 月 15 日

目 录

项目 1 软件环境搭建与配置	(1)
1.1 项目描述	(1)
1.2 教学目标	(1)
1.3 知识准备	(1)
1.4 任务实现	(2)
1.4.1 安装 VMware Workstation	(2)
1.4.2 在虚拟机上安装 RedHat Linux 操作系统	(5)
1.4.3 Linux 的常用命令	(22)
1.4.4 vi 编辑器的进入	(25)
1.4.5 vi 编辑器的两种模式	(25)
1.4.6 vi 编辑器的退出	(25)
1.4.7 vi 编辑器的基本编辑	(26)
1.4.8 vi 编辑器的文件操作指令	(26)
1.4.9 VMwaretools 的安装	(26)
1.4.10 交叉编译环境配置	(30)
1.4.11 超级终端配置	(32)
1.4.12 NFS 配置	(33)
1.5 考核评价	(34)
任务 1 VMware 安装	(34)
任务 2 Linux 安装	(34)
任务 3 vi 编辑器删除、复制文件及脚本编写	(34)
任务 4 安装 VMwaretools	(35)
任务 5 配置交叉编译环境	(35)
任务 6 搭建自己的 NFS	(35)
1.6 拓展提高	(35)
任务 1 Linux 命令的使用	(35)
任务 2 JTAG 驱动安装配置及烧写文件	(35)
项目 2 ARM2440 开发板	(36)
2.1 项目描述	(36)
2.2 教学目标	(36)
2.3 知识准备	(36)

2.3.1	ARM2440 开发板硬件	(36)
2.3.2	ARM2440 开发板系统特性	(38)
2.3.3	ARM2440 开发板接口布局及跳线	(39)
2.4	任务实现	(52)
2.4.1	编写 Hello 程序	(52)
2.4.2	编写 LED 程序	(53)
2.4.3	编写按键程序	(55)
2.4.4	编写 PWM 控制蜂鸣器程序	(57)
2.4.5	编写 A/D 输入程序	(60)
2.4.6	插入驱动程序	(63)
2.5	考核评价	(68)
任务 1	编写 GPIO 程序	(68)
任务 2	编写 ADC 程序	(68)
任务 3	编写 PWM 程序	(68)
2.6	拓展提高	(68)
任务	编写蜂鸣器唱歌程序	(68)
项目 3	运动模块设计	(69)
3.1	项目描述	(69)
3.2	教学目标	(69)
3.3	知识准备	(69)
3.3.1	关于直流电机	(69)
3.3.2	宏定义	(70)
3.3.3	结构体类型的使用	(70)
3.3.4	延时程序	(71)
3.3.5	ioctl 函数	(71)
3.4	任务实现	(71)
3.4.1	方案设计	(71)
3.4.2	硬件电路设计	(72)
3.4.3	程序设计	(72)
3.4.4	程序代码编辑、调试及运行	(73)
3.4.5	用 arm_linux 交叉编译程序	(81)
3.4.6	烧写可执行文件	(81)
3.4.7	设置开机自动运行程序	(81)
3.5	考核评价	(82)

任务 1 实现小车原地转圈	(82)
任务 2 实现小车 8 字线路巡航	(82)
3.6 拓展提高	(83)
任务 实现小车进三退二巡航	(83)
项目 4 循迹模块设计	(84)
4.1 项目描述	(84)
4.2 教学目标	(84)
4.3 知识准备	(84)
4.3.1 关于灰度传感器	(84)
4.3.2 按位“与”运算符(&)	(85)
4.3.3 按位“或”运算符()	(85)
4.3.4 关于 read 函数	(86)
4.3.5 关于 sizeof 使用	(86)
4.4 任务实现	(86)
4.4.1 方案设计	(86)
4.4.2 硬件电路设计	(87)
4.4.3 程序设计	(88)
4.4.4 程序代码编辑、调试及运行	(89)
4.4.5 用 arm_linux 交叉编译程序	(104)
4.4.6 烧写可执行文件	(105)
4.5 考核评价	(105)
任务 1 实现小车白线循迹	(105)
任务 2 实现小车黑线循迹	(106)
4.6 拓展提高	(106)
任务 在中间灰度值低、四周灰度值高的平台上自主漫游	(106)
项目 5 红外模块设计	(107)
5.1 项目描述	(107)
5.2 教学目标	(107)
5.3 知识准备	(107)
5.3.1 关于红外传感器	(107)
5.3.2 指针	(108)
5.3.3 break 的使用	(108)
5.3.4 return 语句的使用	(109)
5.3.5 continue 语句的使用	(109)

5.4	任务实现	(110)
5.4.1	方案设计	(110)
5.4.2	硬件电路设计	(110)
5.4.3	程序设计	(111)
5.4.4	程序代码编辑、调试及运行	(112)
5.4.5	用 arm_linux 交叉编译程序	(119)
5.4.6	烧写可执行文件	(120)
5.5	考核评价	(120)
任务 1	实现小车红外报警	(120)
任务 2	实现小车红外避障巡航	(121)
5.6	拓展提高	(121)
任务	实现小车红外测距	(121)
项目 6	超声模块设计	(122)
6.1	项目描述	(122)
6.2	教学目标	(122)
6.3	知识准备	(122)
6.3.1	超声波传感器	(122)
6.3.2	超声波测距原理及计算公式	(123)
6.3.3	超声波传感器工作时序	(123)
6.3.4	超声波不能测距的几种情况	(124)
6.4	任务实现	(124)
6.4.1	方案设计	(124)
6.4.2	硬件电路设计	(125)
6.4.3	程序设计	(126)
6.4.4	程序代码编辑、调试及运行	(126)
6.4.5	用 arm_linux 交叉编译程序	(138)
6.4.6	烧写可执行文件	(139)
6.5	考核评价	(139)
任务 1	实现小车超声测距	(139)
任务 2	实现小车超声波检测报警	(139)
6.6	拓展提高	(140)
任务	实现小车超声波避障巡航	(140)
项目 7	温度模块设计	(141)
7.1	项目描述	(141)

7.2	教学目标	(141)
7.3	知识准备	(141)
7.3.1	DS-18B20 温度传感器介绍	(141)
7.3.2	DS-18B20 温度传感器初始化	(142)
7.3.3	DS-18B20 温度传感器写操作	(142)
7.3.4	DS-18B20 温度传感器读操作	(142)
7.4	任务实现	(143)
7.4.1	方案设计	(143)
7.4.2	硬件电路设计	(143)
7.4.3	程序设计	(143)
7.4.4	程序代码编辑、调试及运行	(145)
7.4.5	用 arm_linux 交叉编译程序	(151)
7.4.6	烧写可执行文件	(152)
7.5	考核评价	(152)
	任务 实现温度检测	(152)
7.6	拓展提高	(153)
	任务 实现温度报警	(153)
项目 8	图像采集模块设计	(154)
8.1	项目描述	(154)
8.2	教学目标	(154)
8.3	知识准备	(154)
8.3.1	camera 介绍	(154)
8.3.2	sprintf 介绍	(154)
8.3.3	malloc() 介绍	(155)
8.3.4	free 用法	(156)
8.3.5	RGB 介绍	(156)
8.3.6	RGB565 转换 RGB888 介绍	(157)
8.4	任务实现	(157)
8.4.1	无线环境配置	(158)
8.4.2	硬件电路设计	(160)
8.4.3	程序设计	(161)
8.4.4	程序代码编辑、调试及运行	(162)
8.4.5	用 arm_linux 交叉编译程序	(171)
8.4.6	烧写可执行文件	(172)

8.5 考核评价	(172)
任务 1 图片格式转换	(172)
任务 2 图片采集并保存	(172)
8.6 拓展提高	(173)
任务 无线数据传输图片	(173)
项目 9 探月小车自主漫游设计	(174)
9.1 项目描述	(174)
9.2 教学目标	(174)
9.3 任务实现	(175)
9.3.1 方案设计	(175)
9.3.2 硬件电路设计	(175)
9.3.3 程序设计	(176)
9.3.4 程序代码编辑、调试及运行	(180)
9.3.5 用 arm_linux 交叉编译程序	(204)
9.3.6 烧写可执行文件	(205)
9.3.7 设置开机自动运行程序	(205)
9.4 考核评价	(206)
任务 1 小车自主漫游避障	(206)
任务 2 小车自主漫游避障及障碍物图像采集	(206)
任务 3 小车自主漫游避障、障碍物图像采集及环境温度采集	(207)
附录 A C 语言概要归纳	(208)
A.1 条件控制语句	(208)
A.1.1 if 语句	(208)
A.1.2 switch 语句	(214)
A.2 循环语句	(218)
A.2.1 while 语句	(218)
A.2.2 for 语句	(221)
A.3 函数	(224)
A.3.1 函数的定义	(224)
A.3.2 函数的声明和调用	(225)
附录 B 安装所需元器件清单	(227)
附录 C 调试所需仪器仪表清单	(229)
参考文献	(230)

项目 1 软件环境搭建与配置

1.1 项目描述

本项目的学习内容包括：安装 VMware 软件，在虚拟机上安装 RedHat Linux 操作系统和掌握 Linux 下的常用命令；安装并配置 arm-linux-gcc 交叉编译环境，安装 VMwaretools 及超级终端的配置和 NFS 的配置。

1.2 教学目标

通过此项目让学生学会如何安装 VMware 软件，如何在 VMware 上安装 RedHat Linux 操作系统，如何安装 VMwaretools，如何安装配置 arm-linux-gcc 交叉编译环境并正确输出路径变量，如何进行超级终端的配置和 NFS 的配置，如何实现 Windows 和 Linux 文件的共享，以及掌握 Linux 下的常用命令。通过此项目的安装配置练习，使学生充分理解和掌握 VMware 工具的使用和 Linux 下交叉编译工具的安装配置，以及宿主机和开发板之间的连接的建立。通过此项目全面提高学生的实际动手能力，掌握 Linux 下解压安装命令、输出路径变量的配置和项目初期的开发环境搭建，从而让学生学习对不同软件的安装和使用，掌握项目初期的环境搭建与配置。

1.3 知识准备

需要掌握的知识有：VMwaretools 的使用，实现 Windows 和 Linux 文件共享，Linux 下 cp、tar 命令的使用，以及 profile 脚本文件的修改。特别注意的是 tar、cp 命令的使用。

tar 命令用来创建压缩包和释放压缩包。

例如，释放压缩包。

```
tar -zxvf 文件名.tar.gz
```

将文件名.tar.gz 解压安装到当前文件夹下，其中-zxvf 分别为：

- x 从归档文件中解出文件；
- v 处理过程中输出相关信息；
- f 对普通文件操作；
- z 调用 gzip 来压缩归档文件，与-x 连用时调用 gzip 完成解压缩。

cp 命令是复制，将指定的源文件复制到指定的目标文件中。如果目标文件已存在，将覆盖原来内容，但相关的方式、所有者和组不改变。



源文件的最后访问时间和目标文件的最后修改时间设置为复制进行的时间。如果目标文件不存在，cp 将创建一个新文件，命名与源文件相同。

例 1 复制一个目录下的所有文件到一个新目录，输入：

```
cp /home/janet/clients/* /home/nick/customers
```

这样只复制 clients 目录下的文件到 customers 目录。

例 2 复制一个目录包括其所有的文件和子目录到另一个目录，输入：

```
cp -R /home/nick/clients /home/nick/customers
```

注：目录不能复制到目录本身。

这样将复制 clients 目录，包括所有文件、子目录和那些子目录中的文件到 customers/clients 目录。

例 3 复制一个特殊的文件集合到另一个目录，输入：

```
cp jones lewis smith /home/nick/clients
```

这样将复制当前工作目录的 jones、lewis 和 smith 文件到 /home/nick/clients 目录。

例 4 要使用模式匹配字符来复制文件，输入：

```
cp programs/*.c .
```

这样将复制 programs 目录下，以.c 结尾的文件到当前目录，表示为单个“.”（点号）。必须在 c 和最后的点号间输入一个空格。

1.4 任务实现

1.4.1 安装 VMware Workstation

(1) 双击安装程序，进入 VMware Workstation 安装向导界面，如图 1-1 所示。

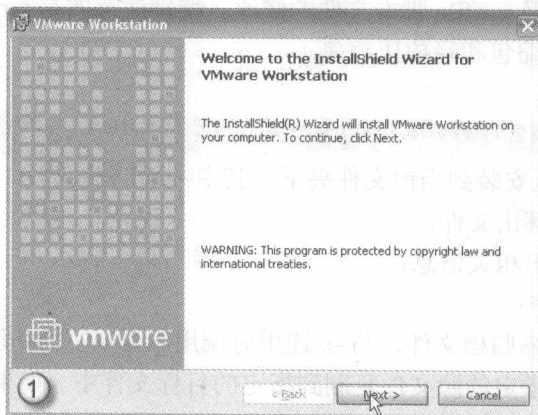


图 1-1 VMware Workstation 安装向导界面



(2) 选择“Yes, I accept...”, 界面如图1-2所示。

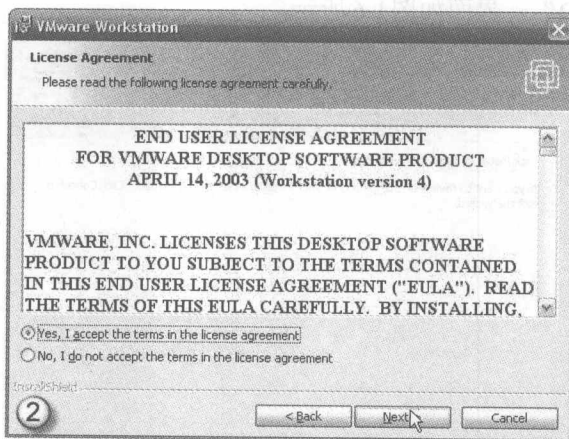


图 1-2 VMware Workstation 许可协议选择界面

(3) 单击“Next”按钮，将 VMware Workstation 安装在默认的路径下，界面如图 1-3 所示。

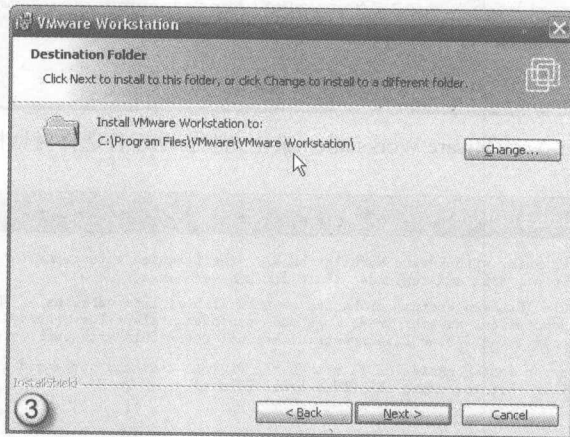


图 1-3 VMware Workstation 安装路径选择界面

(4) 确定无误后单击“Install”，界面如图1-4所示。

(5) 如果主机操作系统开启了光驱自动运行功能，安装向导弹出提示框，提示光驱的自动运行功能将影响虚拟机的使用，询问是否要关闭此项功能，此时选择“是”，关闭主机的此项功能，如图1-5所示。

(6) 安装完毕时向导弹出提示，询问是否对以前安装过的老版本 VMware Workstation



进行搜索，并提示了 3.0 版本或更新版本之间的不兼容性，如果是第一次安装 VMware Workstation，选择“NO”，界面如图 1-6 所示。

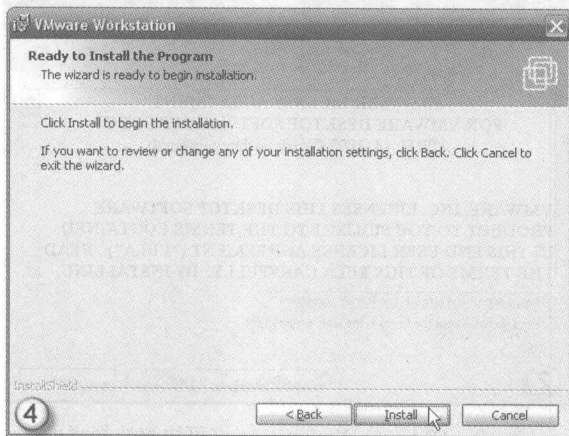


图 1-4 VMware Workstation 安装确认界面

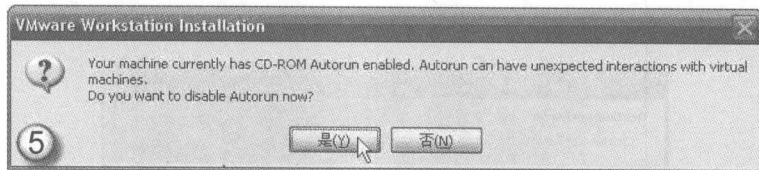


图 1-5 VMware Workstation 禁止光驱自动运行选择对话框

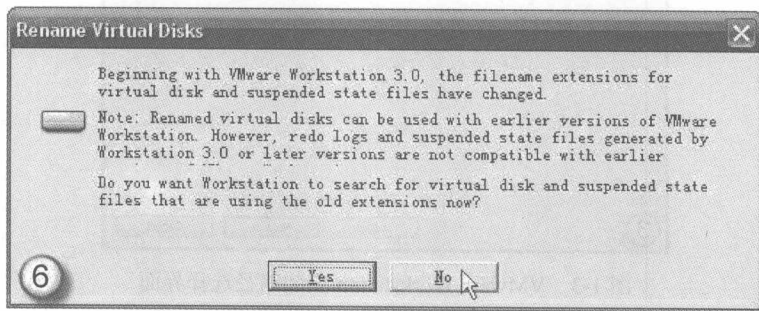


图 1-6 是否安装过 VMware Workstation 对话框

(7) 安装向导提示安装成功，安装完成界面如图 1-7 所示。

(8) 安装完成后，软件提示必须重新启动计算机系统才能正确配置软件和使用软件。重启计算机界面如图 1-8 所示。

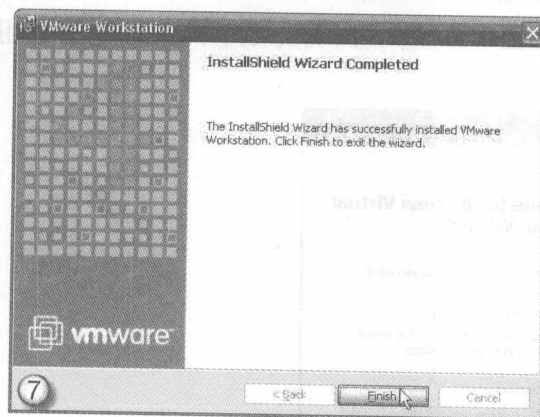


图 1-7 VMware Workstation 安装完成界面

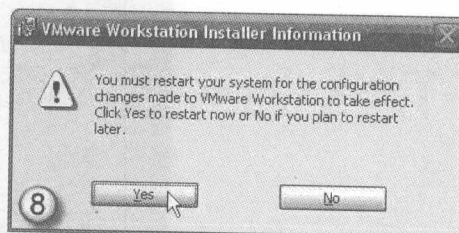


图 1-8 重启计算机界面

1.4.2 在虚拟机上安装 RedHat Linux 操作系统

虚拟机上安装 RedHat Linux 操作系统需以下几个步骤。

(1) 建好虚拟机后双击虚拟机图标，出现 VMware Workstation 启动界面，如图1-9所示。

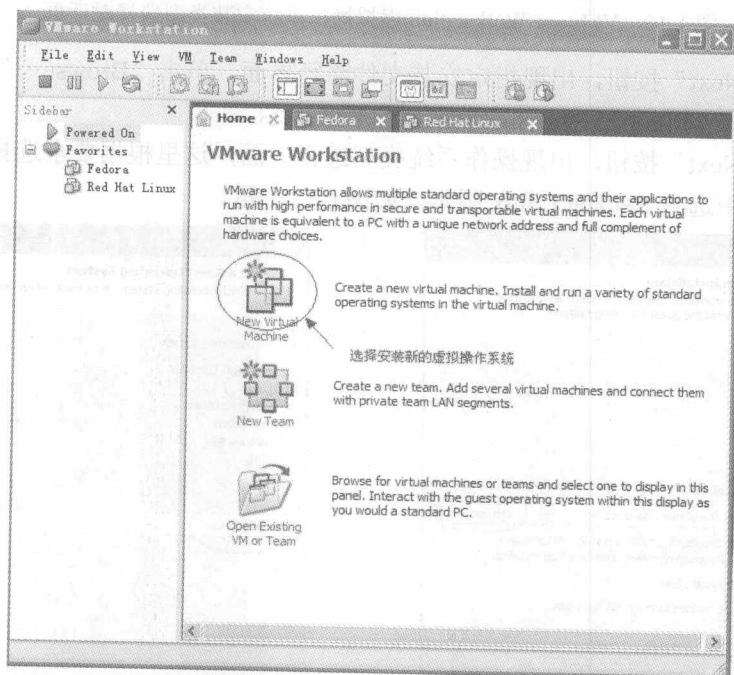


图 1-9 VMware Workstation 启动界面