

VxWorks 开发指南与 Tornado 实用手册

周启平 张 杨 吴 琼 编著

- 集 Tornado 工具的使用和 VxWorks 编程于一体
- 详细介绍了 Tornado 下的工具使用，以图解的方式描述，使读者易于理解
- 深入介绍了 VxWorks 系统内核、文件系统、网络系统，以及基于 VxWorks 的应用编程，还介绍了虚拟内存、图形系统等内容
- 本书以实用为目的，内容全面，结合作者多年丰富实际开发经验，提供相关实例



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

VxWorks 开发指南与 Tornado 实用手册

周启平 张 杨 吴 琼 编著



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

内容提要

本书深入介绍了 VxWorks 操作系统内核技术、基于 VxWorks 操作系统的应用编程,并详细介绍了 Tornado 开发环境的使用等内容。全书共 20 章,主要内容包括:开发环境 Tornado、创建用户工程、交叉调试器 -CrossWind、目标机系统状态浏览器-Browser、软件逻辑分析仪-WindView、目标机服务器-Target Server、用户定制开发环境 Tornado、VxWorks 简介、VxWorks 基本内核、VxWorks 文件系统、VxWorks 网络系统、VxWorks 图形系统等内容。

本书语言通畅、条理清晰、内容全面且深入浅出,是以实用为目的结合编者多年实际开发经验编写而成的。它既适合以 VxWorks 操作系统为基础的嵌入式系统开发、设计人员,同时也可以作为 VxWorks 和 Tornado 的培训教材、自学读本。

图书在版编目(CIP)数据

VxWorks 开发指南与 Tornado 实用手册 / 周启平, 张杨, 吴琼编著. —北京: 中国电力出版社, 2004
ISBN 7-5083-2319-X

I.V... II.①周...②张...③吴... III.①实时操作系统, VxWorks—技术手册②软件工具, Tornado—技术手册
IV.①TP316.2-62②TP311.56-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 058569 号

责任编辑: 张妍

书 名: VxWorks 开发指南与 Tornado 实用手册

出版发行: 中国电力出版社

地址: 北京市三里河路 6 号 邮政编码: 100044

电话: (010) 88515918 传 真: (010) 88518169

本书如有印装质量问题, 我社负责退换

印 刷: 汇鑫印务有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印 张: 21.5 字 数: 528 千字

书 号: ISBN 7-5083-2319-X

版 次: 2004 年 7 月北京第一版

印 次: 2004 年 7 月第一次印刷

印 数: 0001—5000 册

定 价: 32.00 元

版权所有, 翻印必究

前 言

说到这本书的成因，可谓是“一拍即合”。虽然三个人有着不同的想法，我们却为着同一个目的而努力。

接触 VxWorks 几年间，一直苦于没有一本简单明了的中文书籍。当手中拿着英文手册的时候，我常想，如果能有一本中文的书该多好。当我们三个人凑到一起，才发现有这种需求的人真的好多。我们各自擅长不同的方面，掌握不同的知识，却没有什么交流的机会，相信很多人也有相同的感受。我们为什么不将自己知道的一些东西拿出来与大家分享呢？

所有的这些想法让我们希望写出一本书来，这本书应该让所有接触 VxWorks 的人都不会再感到上手、使用工具、编程、设计的困难，让所有常见的问题都有答案。或许本书达到了这个目的，也可能没有实现我们的想法，但是，大家已经全力已赴。

由于三个人所熟悉的部分不尽相同、工作所占用的时间也不同，我们分别编写了本书的不同章节：周启平完成了第 1 章～第 5 章、第 7 章、第 13 章、第 17 章～第 20 章，吴琼完成了第 6 章、第 8 章～第 12 章，至于本人，由于工作繁忙，而且最熟悉的只有编写程序，所以只完成了其中的第 14 章～第 16 章。在写这本书的过程中，周启平所付出的工作是最多的，从编制到校对、从联系编辑到最终交稿都参与其中。在这里我向他们两人所付出的辛苦表示敬佩。

同时要表示感谢的是我们的家人、朋友、同事以及我的几个直属领导，感谢编辑部的编辑们的大力支持，感谢他们为这本书所付出的艰辛劳动。所有这些人的名字我不需要在这里一一列出，因为在我心里他们已经有了无比重要的地位。

第一次合作难免会有很多不适应的地方，第一次写书也难免会有考虑不周之处，这所有的一切都会表现在这本书的字句中，如果出现什么遗漏或者错误还请读者指正。在这本书中，我们也参考了 VxWorks 相关的使用手册和市面上出现的其他相关书籍，有时候真是想不到更好的语句或例子来说明同一件事。为了使这本书能更好，我们适当地引用了其中的字句，相关参考书籍列表在参考文献中提供，感谢这些书籍的编者，他们所铺的路使我们能走得很轻松。

这本书主要面向 VxWorks 的初学者和对 VxWorks 有一定了解的开发人员。书中前半部分主要描述了集成开发环境 Tornado 及其工具的使用，后半部分则着重于 VxWorks 编程所需要的知识，更适合于中级水平的读者。由于不涉及到 BSP 和驱动的修改、编写，本书中没有过多地介绍硬件体系架构和 BSP、驱动方面的知识。当然，相关的说明是必不可少的。

希望能有机会继续写下去，把我们知道的更深层的东西拿出来与大家共享，让我们走过的弯路不再困扰和我们一样的人。

希望所有人可以和我们探讨有关 VxWorks 的问题，我们的联系方式为：

周启平：qpzhou@sina.com

吴琼：wq2651@yahoo.com.cn

张杨：zhangyang@first.com.cn

作 者

目 录

前言

第 1 章	开发环境 Tornado.....	1
1.1	Tornado 集成开发环境的概述.....	1
1.2	Tornado 集成开发环境简述.....	4
1.3	开发环境 Tornado 安装与卸载.....	7
1.4	开发环境 Tornado 基本操作.....	13
1.5	开放的开发环境 Tornado.....	24
	小结.....	24
第 2 章	集成编辑器——Editor.....	25
2.1	集成编辑器简述.....	25
2.2	认识编辑器工具栏.....	25
2.3	利用编辑器管理及编辑文件.....	25
2.4	编辑器自定义操作.....	27
2.5	Tornado 编辑器的缺点.....	28
	小结.....	29
第 3 章	创建用户工程.....	30
3.1	创建一个可下载型应用.....	30
3.2	创建一个用户定制型 VxWorks 映像.....	35
3.3	创建一个可引导型应用.....	56
3.4	工程构造规则.....	58
3.5	宿主机与目标机 (Host-Target) 的通信.....	64
3.6	配置、构造引导程序及引导盘的制作.....	73
	小结.....	81
第 4 章	集成仿真器——VxSim.....	82
4.1	VxSim 概述.....	82
4.2	VxSim 与目标机服务器 (Target Server) 的通信.....	82
4.3	基于 VxSim 开发 VxWorks 应用.....	83
4.4	构造自定义的 VxSim.....	84
	小结.....	86
第 5 章	交叉调试器——CrossWind.....	87

11.2	在 Tools 菜单中添加自定义菜单项.....	156
11.3	Tcl 定制文件.....	158
	小结.....	158
第 12 章	代码预分析工具——WindNavigator.....	159
12.1	WindNavigator 概述.....	159
12.2	认识 WindNavigator.....	159
12.3	WindNavigator 的基本功能及使用.....	160
	小结.....	167
第 13 章	实时操作系统 VxWorks.....	168
13.1	VxWorks 概述.....	168
13.2	VxWorks 的模块分析.....	170
	小结.....	174
第 14 章	VxWorks 基本内核.....	175
14.1	wind 核心.....	175
14.2	任务.....	175
14.3	任务间通信.....	194
14.4	看门狗定时器.....	203
14.5	中断服务代码.....	203
14.6	wind 内核功能展示应用示例.....	210
	小结.....	215
第 15 章	VxWorks I/O 系统.....	216
15.1	文件、设备、设备驱动程序的关系.....	216
15.2	基本 I/O 接口.....	218
15.3	缓冲 I/O.....	225
15.4	其他的格式化 I/O 操作.....	226
15.5	I/O 系统的内部结构.....	227
15.6	基本 I/O 应用示例.....	234
	小结.....	239
第 16 章	VxWorks 文件系统.....	240
16.1	与 MS-DOS 兼容的文件系统 (dosFs).....	240
16.2	原始文件系统 (rawFs).....	251
16.3	磁带文件系统 (tapeFs).....	255
16.4	CD-ROM 文件系统 (cdromFs).....	257
16.5	目标机服务器文件系统 (TSFS).....	258

16.6	文件系统应用示例	259
小结		263
第 17 章	VxWorks 的网络系统	264
17.1	VxWorks 网络系统简述	264
17.2	VxWorks 网络系统配置	266
17.3	网络应用程序接口	276
17.4	升级 4.3 BSD 网络驱动程序	281
17.5	网络应用示例	285
小结		297
第 18 章	VxWorks 虚拟内存接口	298
18.1	VxWorks 虚拟内存接口简述	298
18.2	虚拟内存配置	299
18.3	虚拟内存的使用	300
18.4	使用 MMU 编程	301
18.5	虚拟内存应用示例	306
小结		312
第 19 章	VxWorks 图形系统	313
19.1	图形系统简述	313
19.2	WindML 2.0	314
19.3	Zinc 6.0	322
小结		325
第 20 章	Target Shell	326
20.1	Target Shell 简述	326
20.2	透视 Target Shell	326
20.3	Target Shell 的配置问题	329
小结		331
参考文献		332

第 1 章 开发环境 Tornado

能够利用计算机所有硬件特性并能直接控制硬件的惟一语言是什么？如果回答不出来没关系，因为随着现代科技的进步和硬件的发展，现在的编程已经很少使用它，它就是经典的——汇编语言。不过使用汇编语言非常不方便，编程人员不得不自己写批处理文件来编译、连接应用程序，或者使用命令行方式来实现自己的需求。

之所以汇编语言使用不方便，就是因为没有一个好的集成开发环境（Integrate Develop Environment, IDE）。IDE 具体是什么概念？简单地说它就是把编辑、编译、调试等一些辅助开发工具集成在一起，通常以图形界面提供给用户（如图 1.1 所示的 Visual C++ 开发环境），在这里不做详细说明。

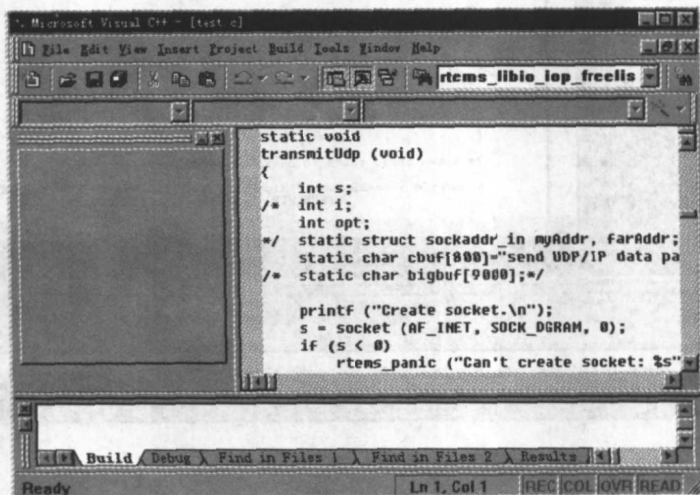


图 1.1 Visual C++集成开发环境

Tornado 也是一个开发环境，是由美国 Wind River 公司开发的新一代嵌入式系统开发环境。1995 年，对于 Wind River 公司来说，是值得纪念和庆祝的一年，因为 Tornado 开发环境获得了权威 EDN 杂志颁发的年度产品创新奖。佩服！佩服！不过有一句话说得好“心动不如行动”，想掌握和详细了解 Tornado，就得花点时间去学习下面几章内容，让我们一起行动吧！

1.1 Tornado 集成开发环境的概述

1.1.1 概述

Tornado 是一套强大的图形化嵌入式集成开发环境，如图 1.2 所示的开发环境 Tornado II，是最

新一代嵌入式实时应用开发和调试环境的代表。Tornado II 带有一个先进的面向嵌入式开发者的开发和配置平台，基于强大的内核技术，遵循 Wind River 的传统，继承了第一代 Tornado 开发环境的优点，同时增加了一些新的工具和技术，是一个成熟而又开放的开发环境。

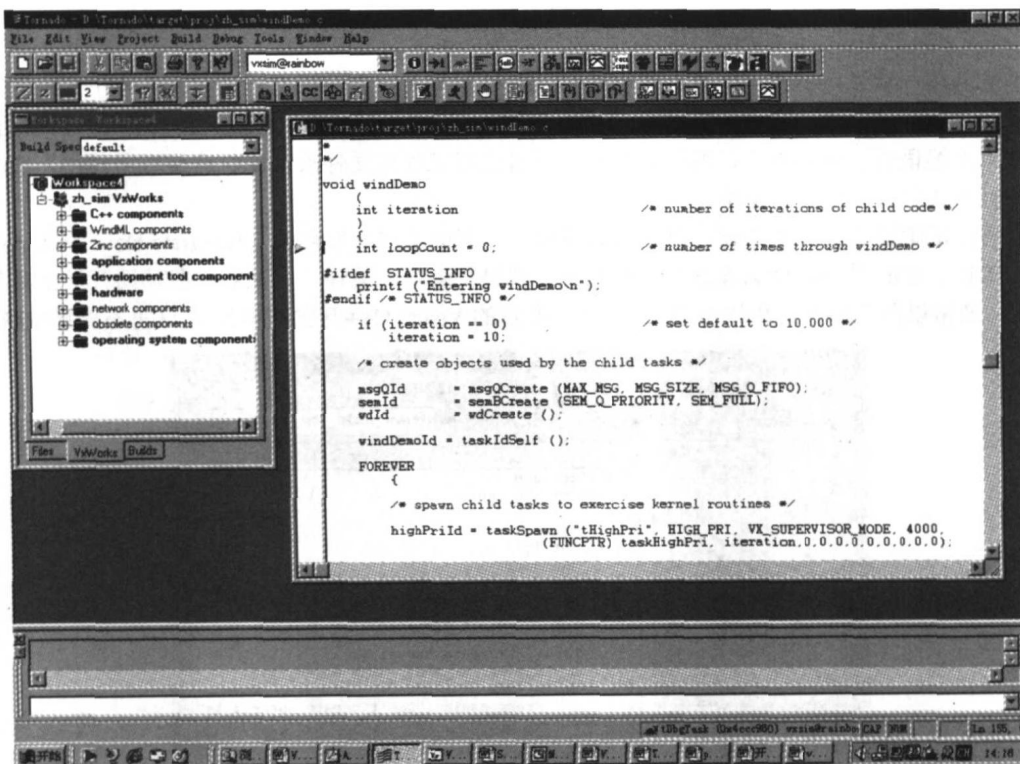


图 1.2 开发环境 Tornado II

Tornado II 开发系统包含三个高度集成的部分：

- 运行在宿主机和目标机上的功能强大的交叉开发工具和实用程序；
- 运行在目标机上的高性能、可裁剪(用户根据自己需要配置系统)的实时操作系统 VxWorks；
- 连接宿主机和目标机的多种通信方式，如以太网、串口线、ICE (在线仿真器)、ROM 仿真器或用户定制的连接方式等。

Tornado II 嵌入式集成开发环境系统结构如图 1.3 所示。

1.1.2 特点

从总体上来说，Tornado II 具有以下特点。

1. 集成性和直观性

从开始使用到配置系统，Tornado 提供的工具能够实现平滑和无缝的开发过程。所有的工具设计成互相配合完成各自的功能，目标系统提供一个互相作用的开发环境以实现交互开发。Tornado

提供一个在 Windows X、SUN、HP 操作系统上运行的集成开发环境，脱离了许多较早的工具所依赖的原始的命令行接口。这个集成环境支持语法敏感的编辑器、统一的编译器和调试器，以及其他的一些易于使用的工具，这些都集成在一个工具包里。

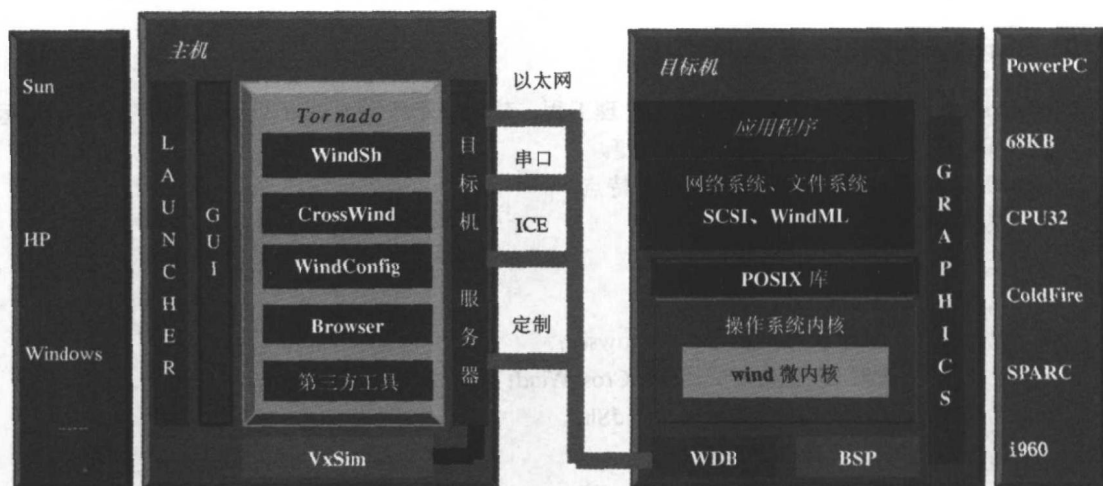


图 1.3 开发环境 Tornado II 系统结构

2. 丰富的开发工具

为了解决嵌入式系统开发者面临的问题，Tornado 设计了强大的开发和调试工具，并且将其完全集成在 Windows 风格的集成环境下。这些工具提供目标机的 C 和 C++ 语言源码级调试、目标机和工具的管理、系统对象跟踪、内存使用统计、自动配置系统。此外，这些工具设计为可以支持增量式和交互式开发。

Tornado 开发环境提供的全套的产品工具不依赖于目标机资源。尤其对于深层嵌入系统的开发者，所有的 Tornado 工具是基于宿主机的，不需要占用任何目标机资源。此外，所有的工具通过一个与目标机通信的中心模块连接到目标机。这意味着不管使用什么样的连接策略，所有的工具都可以使用。主机和目标机通信方式可以是以太网、在线仿真器、ROM 仿真器、串口或用户定制的其他方式。在目标机资源改变时，开发者可使用的工具及其性能不会改变。

3. 所有工具可用于所有目标机

Tornado 的所有工具能够在应用开发的任何阶段使用，也可以在目标系统提供任何层次资源的基础上使用。而且，无论目标机的连接方式和目标机的内存大小如何，整套 Tornado 工具都能够使用。

4. 具有高性能、高模块化、可裁剪的实时操作系统 VxWorks

VxWorks 是一个高性能系统，支持广泛的网络通信协议，并根据用户需求进行裁剪的实时操作系统。VxWorks 的开放式结构和对工业标准的支持使开发者只需做最少的工作即可设计有效的、适合于不同用户要求的实时操作系统。

5. 开放的环境

Tornado 的结构设计向开发者和第三方工具供应商提供一个开放的环境。从集成环境接口到建立连接, 用户可以根据自己需要定制 Tornado。详细说明参考 1.5 节。

1.2 Tornado 集成开发环境简述

Tornado 集成开发环境使用户创建和管理工程、建立和管理宿主机与目标机之间的通信以及运行、调试和监控 VxWorks 应用变得非常方便。

Tornado 集成开发环境具有如下的主要特点:

- 集成源码级编辑器;
- 工程管理工具;
- 包含 C 和 C++ 编译及 make 工具;
- 包含目标机系统状态浏览器——Browser;
- 包含图形化源码级交叉调试器——CrossWind;
- 包含 C 语言命令 shell 工具——WindSh;
- 包含 VxWorks 仿真器——VxSim;
- 包含目标机软件逻辑分析仪——WindView;
- 具有用户定制功能, 包括编辑器和配置工具的定制, Tornado 本身图形用户界面的定制。

1.2.1 Tornado 编辑器

Tornado 源码级编辑器具有以下特点:

- 标准的文档处理功能;
- C 和 C++ 语法关键字的突出显示;
- 调试程序时追踪代码执行;
- 编译连接程序时错误及警告信息显示。

有关 Tornado 编辑器详细说明及使用请阅读第 2 章。

1.2.2 工程管理

Tornado 工程管理工具使得组织、配置、构造 VxWorks 应用变得简单化。这些处理过程是以图形化方式来完成, 如图 1.4 所示的组织、配置及构造应用工程。构造 VxWorks 包括配置编译、连接选项等操作通过选择图 1.5 所示对话框来实现。

1.2.3 编译

Tornado 包含 GNU 编译器以及一系列完整的开发工具, 具体如下:

- cpp, C 预处理程序;
- gcc, C 和 C++ 编译器;
- make, 构造程序自动操作工具;
- ld, 目标代码连接器;

- 有效的二进制文件。

这些工具都是自由软件，来源于自由软件组织（Free Software Foundation, FSF）。Wind River 公司经过测试和验证把它们集成到 Tornado 开发环境中，在这里不作详细介绍，更多的信息请阅读《Tornado user's guide》、《GNU ToolKit User's Guide》和《GNU Make》等书籍。

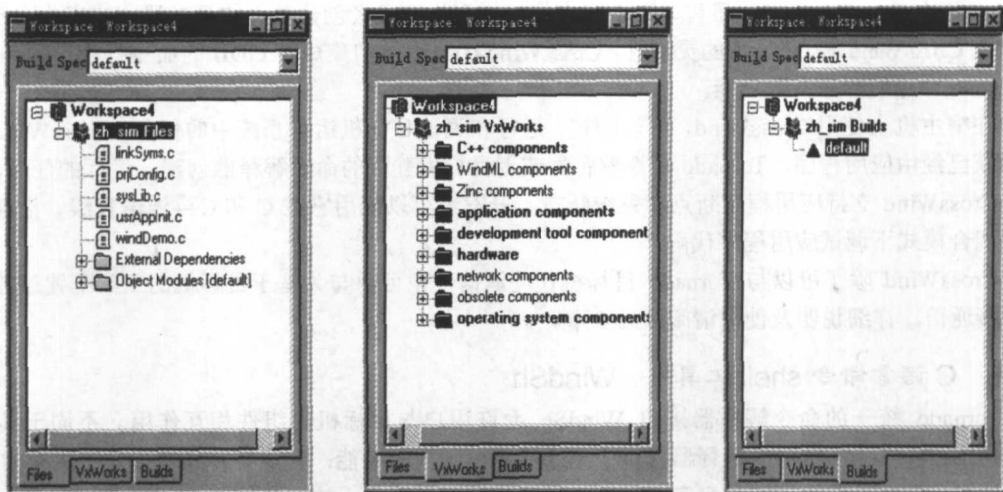


图 1.4 组织、配置及构造应用工程

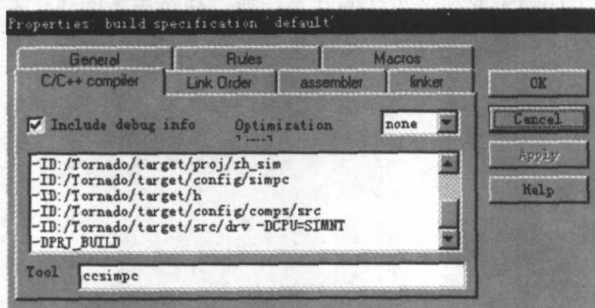


图 1.5 编译、连接选项配置

1.2.4 目标机系统状态浏览器——Browser

Browser 是 Tornado 命令解释器 WindSh 的图形化工具。与命令解释器一样，它可以在需要的时候显示目标机信息。

Browser 的主窗口显示目标系统的整个状态，它允许用户请求显示个别的目标机操作系统对象的状态，例如任务、信号量、消息队列、内存块和看门狗定时器。这些显示会根据用户命令更新或者按照开发者的设定周期性地更新。

详细说明及使用请阅读第 7 章。



1.2.5 交叉调试器——CrossWind

源码级调试器 CrossWind 提供所有调试功能的图形化和命令行的接口。功能包括符号反汇编、任务或系统断点、单步、系统状态显示和异常处理。

CrossWind 是 GNU 源码级调试器 (GDB) 的一个扩充版本。最明显的对 GDB 的扩充就是图形接口。另外 CrossWind 提供了许多 Tcl 脚本接口, 允许开发者创建熟悉的调试器宏或者为自己的需求扩充 CrossWind。为了最大的灵活性, CrossWind 的命令接口集成了 GDB 的命令行接口和 WindSh (Tornado 命令解释器) 的功能。

在宿主机上使用 CrossWind, 可以创建、运行和调试目标机运行系统中的任务。CrossWind 也可以捕获已经由应用程序、Tornado 命令解释器或者目标机驻留的命令解释器创建、运行的任务。

CrossWind 支持应用程序断点和系统断点。开发者可以使用它在 C 和 C++ 源语言级、汇编语言级或混合模式下调试应用程序代码。

CrossWind 除了可以与 Tornado 目标机代理通信, 也可以与为基于目标机的工具配置过的目标机直接通信。详细说明及使用请阅读第 5 章。

1.2.6 C 语言命令 shell 工具——WindSh

Tornado 统一的命令解释器接口 WindSh 允许用户与目标机的组件相互作用。不同于其他的“shell”工具, Tornado 命令解释器提供了一个简单、强大的功能: 它能解释和执行几乎所有的 C 语言表达式, 包括函数的调用和名字在系统符号表中的变量引用。被解释的 C 声明提供了到目标环境的易于使用的接口和有用的调试性能。可以引发装载到内存中的任何子例程, 包括 VxWorks 系统和应用模块, 这样可以加快代码生成和增量代码开发。通过动态函数的执行实现的动态测试可以加快开发。命令解释器的符号调试使下面的操作更简易:

- 任务断点;
- 任务单步;
- 符号反汇编;
- 符号产生和变量观察;
- 内存观察和修改;
- 异常陷入;
- 任务跟踪;
- 堆栈检查。

通过在命令解释器创建运行任务、删除任务、挂起和唤醒任务可以实现性能分析和调试, 报告系统信息和任务信息。详细说明及使用请阅读第 6 章。

1.2.7 VxWorks 仿真器——VxSim

VxSim 是一个全面的 VxWorks 原型仿真器。提供与真实目标机一致的调试和仿真运行环境。支持 CrossWind、WindView、Browser 等工具。

VxSim 作为 Tornado 核心工具包含在软件包中, 因而允许开发者可以在没有 BSP、操作系统配置、目标机硬件的情况下, 基于 VxSim 迅速开始软件开发工作, 缩短开发时间, 提高开发效率。详细说明及使用请阅读第 4 章。

1.2.8 目标机软件逻辑分析仪——WindView

WindView 是一个图形化的可视诊断和分析用户目标机系统的工具，使用户非常容易地观察任务、中断程序之间的相互作用，它是在嵌入式系统应用开发期间，前所未有的可视工具。

WindView 主要是向开发者提供目标机硬件上应用程序实际运行的详细情况。这种系统级的诊断分析工具可以与 VxSim 一起使用。

通常嵌入式系统开发者经常因为无法知道系统级的执行情况和软件的时间特性而感到失望，而这种全功能版本的 WindView 提供了 VxWorks 应用程序的详细动态行为，图形化显示了任务、中断和系统对象相互作用的复杂关系，详细说明及使用请阅读第 8 章。

1.2.9 用户定制功能

Tornado 集成开发环境是一个开放的环境，它使用户可以根据自己的需要对 Tornado 进行定制。这种定制主要包括三个方面：

- (1) Tornado 工具选项设置；
- (2) 定制 Tornado tools 菜单；
- (3) 通过 TCL 语言定制 Tornado 环境。

详细说明及使用请阅读第 11 章。

1.3 开发环境 Tornado 安装与卸载

1.3.1 安装系统要求

- PC 兼容机或工作站；
- CPU Pentium II 100MHz 以上；
- 至少 32MB 内存；
- 至少 200MB 可用磁盘空间；
- 操作系统：

SUN 公司 Solaris 2.51, 2.6x, 或 2.7

惠普公司 HP-UX 10.2

微软公司 Windows 95/98/2000/XP, Windows NT_4.0 或更新版本

1.3.2 安装 Tornado

Tornado 的安装过程类似安装 Visual C++ 开发环境，用户根据安装步骤提示进行安装操作。以 VxWorks Intel x86 版本且安装开发环境 Tornado 的 PC 机为微软视窗操作系统——Windows 为例，具体的安装步骤如下。

(1) 把 Tornado 安装光盘放入 PC 机光驱，安装程序自动开始安装。屏幕出现如图 1.6 所示的 Welcome 对话框。

(2) 单击 **Next >** 按钮，屏幕出现图 1.7 所示的 README 对话框。



图 1.6 Welcome 安装对话框

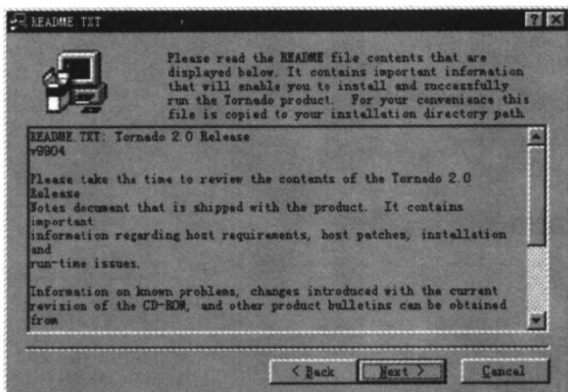


图 1.7 README 安装对话框

(3) 单击 **Next >** 按钮，屏幕出现如图 1.8 所示的 Agreement 对话框。

(4) 首先单击 **I Accept** 按钮，然后单击 **Next >** 按钮，屏幕出现如图 1.9 所示的 User Registration 对话框。

(5) 输入用户信息和安装序列号，如图 1.9 所示，然后单击 **Next >** 按钮，屏幕出现如图 1.10 所示的 Installation Options 对话框。

(6) 选择安装类型（以 Full Install 安装类型为例），如果你想安装在本地机器上，选择 Full Install 安装类型。如果你想访问被安装在远程服务器上的 Tornado 工具，选择 Program Group 安装类型。然后单击 **Next >** 按钮，屏幕出现如图 1.11 所示的工程信息对话框。

(7) 输入工程名和许可使用 Tornado 用户数，然后单击 **Next >** 按钮，屏幕出现如图 1.12 所示的选择安装目录对话框。

(8) 通过单击 Browse 选择安装目录，然后单击 **Next >** 按钮，屏幕出现如图 1.13 所示的安装产品选择对话框。

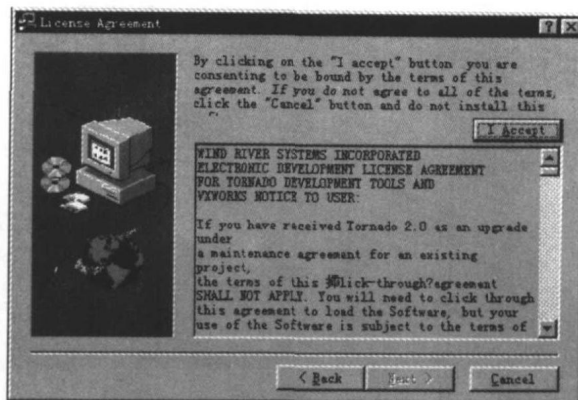


图 1.8 Agreement 安装对话框

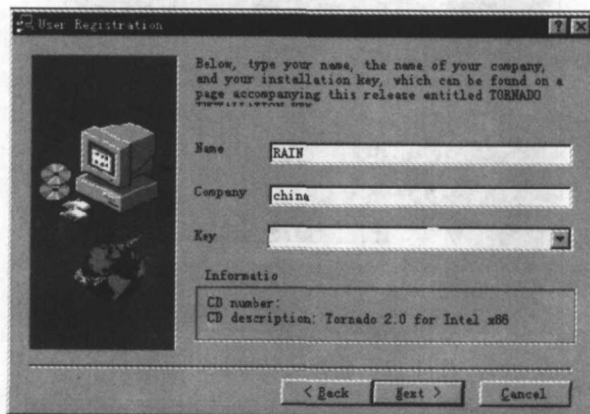


图 1.9 User Registration 安装对话框

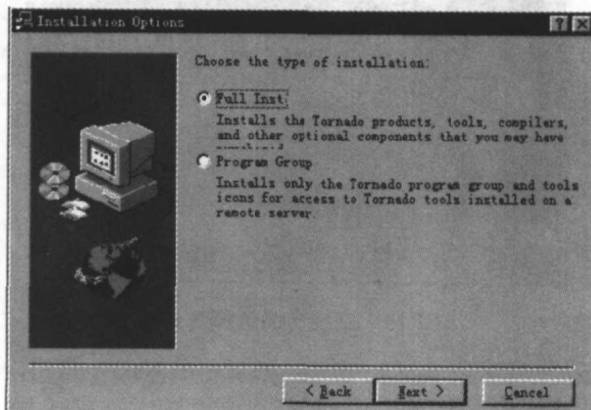


图 1.10 Installation Options 对话框