



普通高校“十三五”规划教材

牛建伟 刘禹 编著

嵌入式SylixOS实践开发教程



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十三五”规划教材

嵌入式 SylixOS 实践开发教程

牛建伟 刘 禹 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是实时嵌入式操作系统的教学实验指导教材,以 SylixOS 为基础,引导学生对嵌入式实时系统的功能和开发实践由浅入深地展开学习。全书共 14 章:第 1 章介绍 SylixOS 的基本概念和开发环境;第 2 章为 ARM 汇编基础的实验;第 3~6 章为基础系统操作实验,包括文件、时间、线程和进程;第 7、8 章为系统通信实验,包括串口收发和网络通信;第 9~12 章为驱动部分的实验,包括 GPIO 驱动、LED 驱动、I²C 驱动和 SD 卡驱动;第 13 章讨论共享库的实现;第 14 章介绍 Qt 图形界面的实现方式。附录包括推荐阅读书目、SylixOS BSP 简介、SylixOS 系统调试及固化、shell 命令的说明。

本书既可作为高等院校相关专业本科生的实验指导教材,也可为相关领域的工程开发人员提供技术参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式 SylixOS 实践开发教程 / 牛建伟,刘禹编著

. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2017.5

ISBN 978-7-5124-2426-5

I. ①嵌… II. ①牛… ②刘… III. ①实时操作系统
—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 099600 号

版权所有,侵权必究。

嵌入式 SylixOS 实践开发教程

牛建伟 刘 禹 编著

责任编辑 孙兴芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京泽宇印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:14.25 字数:304 千字

2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5124-2426-5 定价:35.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

信息化技术的发展,给人类的生存环境和生产环境都带来了重要的变革。当今,炙手可热的物联网(IoT)、智能穿戴、航空航天等重大 IT 相关应用领域,都广泛涉及嵌入式操作系统的应用,特别是嵌入式实时操作系统的应用。掌握嵌入式实时操作系统的应用开发,是计算机相关专业人才培养的一个重要方向。

本书以 SylixOS 为载体,讲述嵌入式实时操作系统中的应用开发技术,既可作为高等院校相关专业本科生的实验指导教材,也可对相关领域的工程开发人员提供技术参考。

由于计算机科学与技术是一门实践性很强的学科,所以本书在内容安排上以实验技术为核心,采用案例式驱动教学的方式,针对各知识点,给出了大量的实例,以帮助读者快速建立感性认识。本书实例均在实际系统环境下运行通过。

本书共分 14 章,第 1 章介绍 SylixOS 的基本概念、实时性特征和开发环境(RealEvo-IDE);第 2 章以 ARM 汇编为基础,讲解汇编语言与 C 语言混合编程的方法;第 3 章介绍 SylixOS 对普通文件(磁盘文件)的操作方法和文件操作相关函数的使用;第 4 章介绍时间相关概念、时间读取和时间设置方法;第 5 章讲解线程的概念和线程间的同步方式;第 6 章介绍进程相关概念,进程的创建、退出,以及进程间的通信;第 7 章介绍 SylixOS 中对 RS232 - C 接口的使用方法;第 8 章介绍在 TCP/IP 协议上使用 Socket 进行以太网通信的方法;第 9 章介绍 GPIO 驱动和 GPIO 的实际操作案例;第 10 章介绍一个完整的 LED 内核模块驱动例程;第 11 章介绍 I²C 总线控制器驱动和 I²C 总线扩展的外设驱动;第 12 章介绍 SD 卡相关驱动的移植;第 13 章介绍 SylixOS 下共享库的编程方法;第 14 章介绍 Qt 图形界面编程实验。附录包括推荐阅读书目、SylixOS BSP 简介、SylixOS 系统调试及固化、shell 命令的说明。



本书由牛建伟、刘禹编著。其中,刘禹负责编写第 5~10 章和第 14 章,牛建伟负责编写其余章节以及全书统稿工作。

本书是作者在多年嵌入式操作系统教学的基础上形成的。作为一本教材,它既包含了作者的教学研究与教学实践,也吸取了国内外同类教材和有关文献中的精华,在此,谨向这些教材和文献的作者表示感谢;同时,在对本书实验内容的编写和验证过程中,得到了北京翼辉信息技术有限公司的大力支持,在此谨表示诚挚的谢意;另外,在本书的编写、出版过程中,得到了北京航空航天大学出版社的大力支持,在此谨表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在一些不足和错误之处,恳请各位专家和读者不吝赐教。

牛建伟

2017 年 1 月于北京

目 录

第 1 章 SylixOS 开发基础知识	1
1.1 SylixOS 介绍	1
1.2 RealEvo-IDE 介绍	1
1.3 RealEvo-IDE 常用工程介绍	2
1.4 建立 SylixOS Base 工程	3
1.5 SylixOS 第一个应用程序 helloworld	5
1.6 RealEvo-IDE 工程导入	7
第 2 章 ARM 汇编基础实验	9
第 3 章 文件操作实验	14
3.1 实验一 shell 命令文件操作实验	14
3.2 实验二 文件操作实验——相关函数的使用	17
3.3 实验三 文件目录操作实验	20
第 4 章 时间操作实验	24
4.1 实验一 shell 命令时间操作实验	24
4.2 实验二 时间操作实验——相关函数的使用	25
第 5 章 线程实验	30
5.1 实验一 线程管理实验	30
5.2 实验二 线程同步实验——信号量	33
5.3 实验三 线程同步实验——互斥锁	38
5.4 实验四 线程同步实验——条件变量	41
第 6 章 进程实验	46
6.1 实验一 进程管理实验	46
6.2 实验二 进程间通信实验——共享内存	50
6.3 实验三 进程间通信实验——消息队列	54



第 7 章 串口收发实验	59
第 8 章 网络通信实验	65
8.1 实验一 UDP 实验	65
8.2 实验二 TCP 客户端实验	70
8.3 实验三 TCP 服务器实验	74
8.4 实验四 简易 Web 服务器实验	78
第 9 章 GPIO 驱动实验	92
9.1 实验一 GPIO 驱动编写实验	92
9.2 实验二 GPIO 输出实验	97
9.3 实验三 GPIO 输入实验	102
第 10 章 LED 驱动实验	108
10.1 实验一 内核模块基本实验	108
10.2 实验二 GPIO 内核态输出实验	111
10.3 实验三 GPIO 内核态输入实验	114
10.4 实验四 LED 驱动编写实验	120
第 11 章 I ² C 驱动实验	130
11.1 实验一 I ² C 驱动编写实验	130
11.2 实验二 ZLG7290 驱动编写实验	141
11.3 实验三 EEPROM 驱动编写实验	167
第 12 章 SD 卡驱动实验	183
第 13 章 共享库实验	195
13.1 实验一 共享库基础实验	195
13.2 实验二 zlib 库使用实验	198
第 14 章 Qt 图形界面编程实验	202
14.1 实验一 Qt 工程的导入	202
14.2 实验二 Qt 下 GPIO 输出实验	205
14.3 实验三 Qt 下 GPIO 输入实验	207



附 录	212
附录 A 推荐阅读书目	212
附录 B SylixOS BSP 简介	212
附录 C SylixOS 系统调试及固化	213
附录 D shell 命令说明	216
参考文献	220

第 1 章 SylixOS 开发基础知识

1.1 SylixOS 介绍

SylixOS 是目前国内功能最为完善的实时嵌入式操作系统,符合 IEEE 1003 (IEC 9945)POSIX 操作系统规范,同时支持 IEEE 1003.1b 针对实时操作系统的扩展标准。其实时性与知名的 VxWorks 操作系统相当,同时又可兼容大部分 Linux、UNIX、BSD 等 POSIX 兼容系统应用程序与中间件。SylixOS 目前由北京翼辉信息技术有限公司负责维护升级,同时提供完善的开发、调试、仿真、部署环境。

SylixOS 操作系统以开放源代码形式存在,开源版权遵循 GPL 规范,方便学习和研究。本书是针对 SylixOS 的 Cortex-A9 教学验证平台(以下称“验证平台”)编写的,但本书中的方法在 RealEvo-Simulator(与 RealEvo-IDE 一起提供的 SylixOS 虚拟机)和其他平台上同样适用。

1.2 RealEvo-IDE 介绍

SylixOS 开发使用由北京翼辉信息技术有限公司开发的 RealEvo-IDE 集成开发环境。

RealEvo-IDE 开发环境可以在 <http://www.acoinfo.com> 上下载。

RealEvo-IDE 是一套完备的集成开发环境,所集成的工具能完整覆盖软件设计、编译、调试及性能分析等研发过程,非常稳定易用。

本书中的所有例程均已在 RealEvo-IDE 下编译测试,在进行本书实验前需要下载并安装 RealEvo-IDE。

SylixOS 集成开发环境安装包文件名一般为 SylixOS IDE xxx.iso(xxx 为版本号),使用虚拟光驱软件 DTLite 加载此文件后会看到如图 1.1 所示的内容。双击“InstallWizard.exe”即可安装 RealEvo-IDE 系列集成开发环境。SylixOS IDE xxx.iso 文件中的 doc 目录下有说明文档“RealEvo 系列软件注册步骤.pdf”,根据该文档中的说明可以完成 RealEvo-IDE 的安装和注册。

在文件夹 RealEvo-Simulator 和 RealEvo-IDE(见图 1.1)下面分别有相应软件的使用说明文档——“RealEvo-Simulator 使用手册.pdf”和“RealEvo-IDE 使用手册.pdf”。在“RealEvo-IDE 使用手册.pdf”文档中对 RealEvo-IDE 的使用有细致、全面的



doc	2016/10/21 9:49	文件夹	
ppt	2016/10/21 9:49	文件夹	
QtCreator	2016/4/9 19:56	文件夹	
RealEvo-Compiler	2016/4/9 20:24	文件夹	
RealEvo-IDE	2016/4/9 19:56	文件夹	
RealEvo-QtSylixOS	2016/4/9 20:10	文件夹	
RealEvo-Simulator	2016/4/9 20:10	文件夹	
Tools	2016/10/21 9:49	文件夹	
Autorun.inf	2016/4/9 19:50	安装信息	1 KB
InstallWizard.exe	2016/4/9 19:50	应用程序	1,643 KB
InstallWizard.ico	2016/4/9 19:51	图标	287 KB
InstallWizard.ini	2016/4/9 19:50	Configuration Se...	1 KB
license	2016/4/14 15:50	文件	1 KB
mfc100.dll	2016/4/9 19:51	应用程序扩展	4,241 KB
msvcr100.dll	2016/4/9 19:51	应用程序扩展	753 KB
software.list	2016/4/9 19:51	LIST 文件	1 KB
Thumbs.db	2016/4/9 19:51	Data Base File	9 KB

图 1.1 SylixOS IDE 光盘内的文档

说明,通过对手册中内容的练习可以全面掌握对 RealEvo-IDE 的使用。

注意:为了保证实验顺利进行,务必要根据“RealEvo-IDE 使用手册.pdf”文档熟悉 RealEvo-IDE 的基本操作。

1.3 RealEvo-IDE 常用工程介绍

SylixOS 软件开发共分为 3 层(分别对应 RealEvo-IDE 里面 3 种不同类型的工程):

- 操作系统内核开发:SylixOS Base 工程。
- BSP 软件开发:SylixOS BSP 工程。
- 应用软件开发:SylixOS APP 工程。

其中:

- 操作系统内核是高度抽象的软件集合,里面集成了操作系统的所有组件,包括 SylixOS 内核、文件系统、POSIX 支持、网络协议栈及组件。这些软件符合标准,而且与硬件无关,可以提供给所有平台使用。
- BSP 软件是与硬件相关的软件的集合,将所有硬件相关的细节封装在 BSP 层,使得操作系统内核和应用程序与硬件实现解耦。
- 应用软件是用户针对不同使用场景和需求而开发的软件,通过调用 SylixOS 操作系统的标准编程接口,即可调用硬件功能;更换硬件平台后,应用软件不需要修改,只要重新编译即可实现原有的功能。



1.4 建立 SylixOS Base 工程

在开发应用程序前,需要建立一个 SylixOS Base 工程,为应用程序提供操作系统标准编程接口支持。

RealEvo-IDE 安装并注册成功之后,即可在主菜单 File 中找到建立 SylixOS Base 工程的入口,具体操作如下:

选择 File→New→Project 菜单项(见图 1.2),打开 New Project 对话框,在该

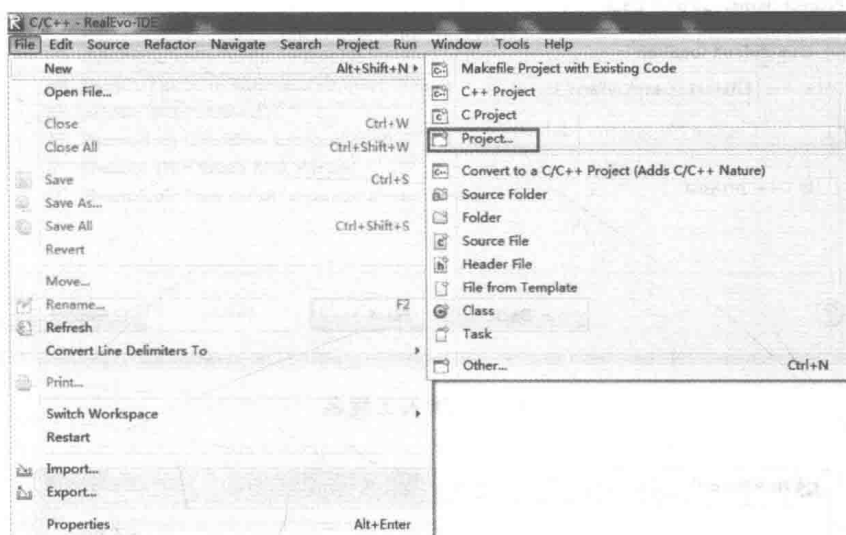


图 1.2 选择 Project

对话框中的列表框中选择 SylixOS Base(见图 1.3),然后单击 Next 按钮;在

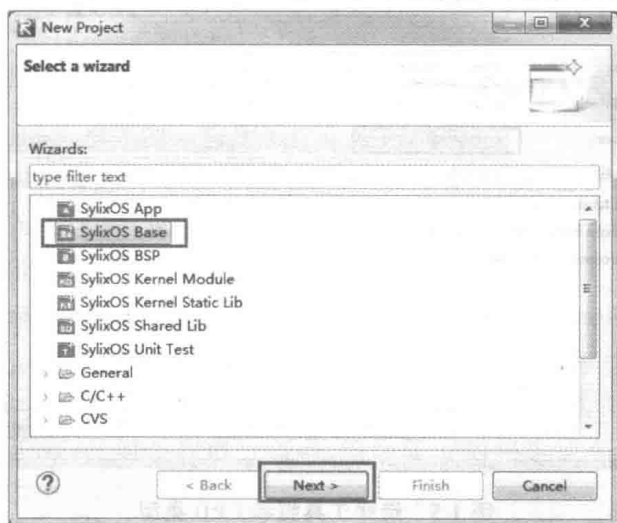


图 1.3 选择 SylixOS Base



Project name 文本框中输入工程名(见图 1.4),然后单击 Next 按钮;在 Base Setting 选项卡中选择工具链和 CPU 类型(见图 1.5),然后单击 Next 按钮;在 Component List 选项组中选“libsylxos(SylixOS kernel)”和“libcextern(SylixOS process Library)”复选框(见图 1.6),然后单击 Finish 按钮即可完成)。

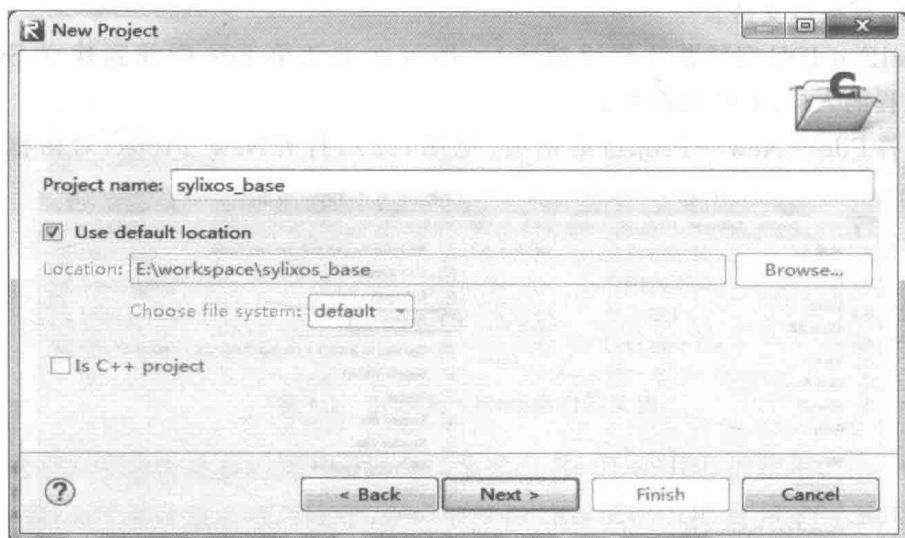


图 1.4 输入工程名

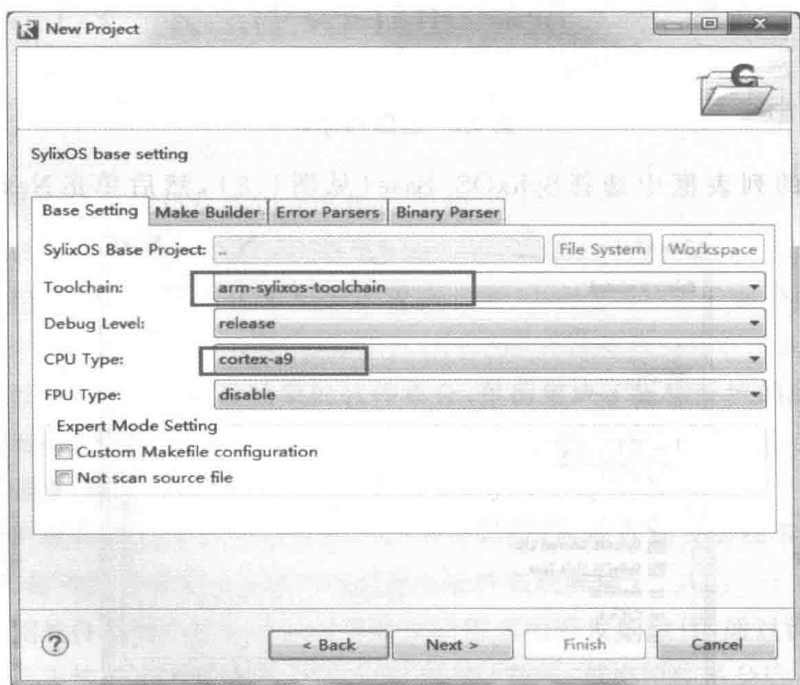


图 1.5 选择工具链和 CPU 类型

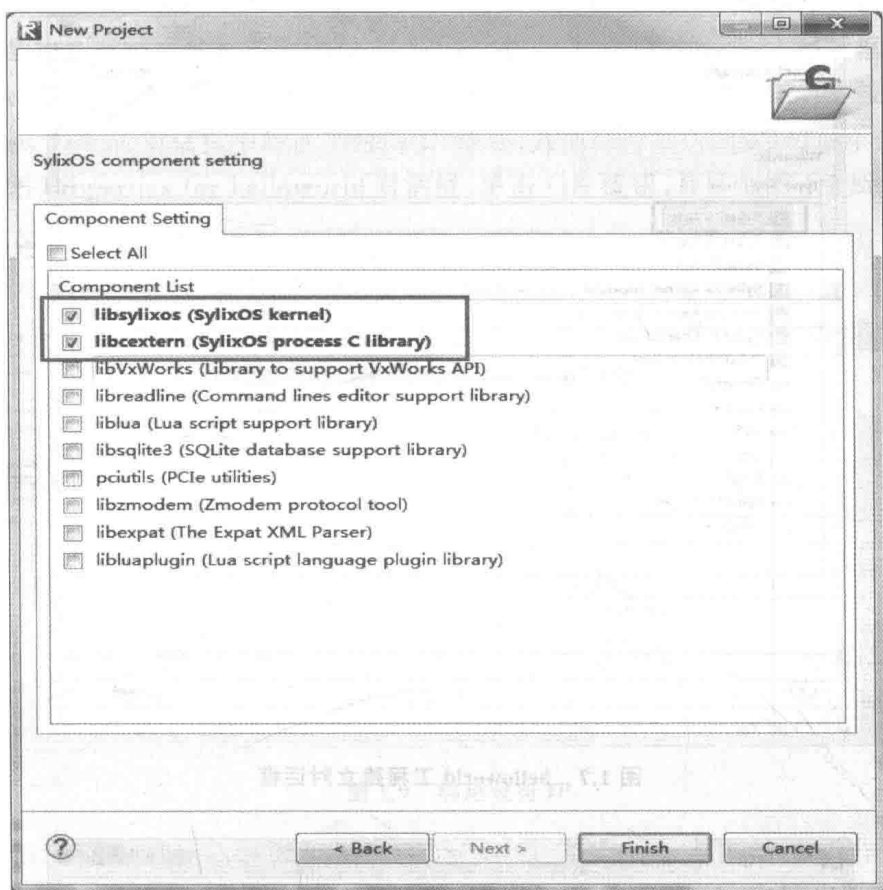


图 1.6 选择操作系统组件

1.5 SylixOS 第一个应用程序 helloworld

建立 SylixOS Base 工程后,就可以建立应用程序开始应用软件的开发了。本节通过一个 helloworld 工程来演示应用程序创建的流程。

打开 RealEvo-IDE,选择 File→New→Project 菜单项,打开 New Project 对话框,选择 SylixOS App 工程(见图 1.7),单击 Next 按钮并在 Project name 文本框中输入工程名称“helloworld”。

单击 Next 按钮,打开如图 1.8 所示的对话框,然后在 Base Setting 选项卡中的 SylixOS Base Project 列表框中选择 base 工程目录,单击 Finish 按钮完成工程创建。

工程创建后将自动生成模板代码,这里不做任何更改,右击工程,在弹出的快捷菜单中选择 Build Project 对工程进行编译,编译完成后将生成名为 helloworld 的可执行程序文件。

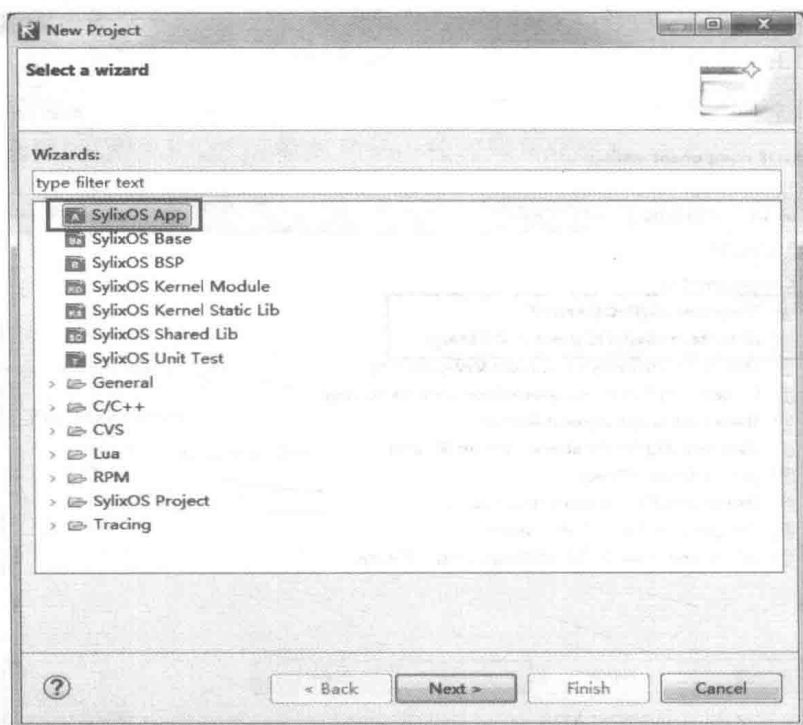


图 1.7 helloworld 工程建立对话框

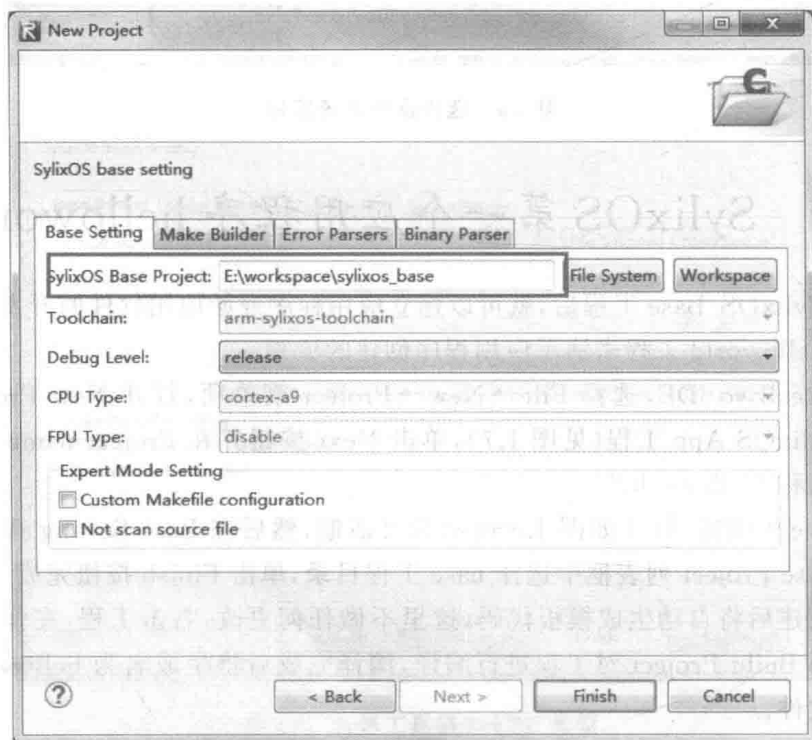


图 1.8 选择 base 工程目录



将 helloworld 程序上传到验证平台中,这里需要设置工程上传路径。右击工程,在弹出的快捷菜单中选择 Properties 打开 Properties for helloworld 对话框,然后选择 SylixOS Project→Device Setting,在右侧对应区域中单击 New Device 按钮,在弹出的 New Device 对话框中验证平台的 IP 地址,其他保持默认配置,然后单击 Finish 按钮返回 Properties for helloworld 对话框,单击 OK 按钮,具体如图 1.9 所示。

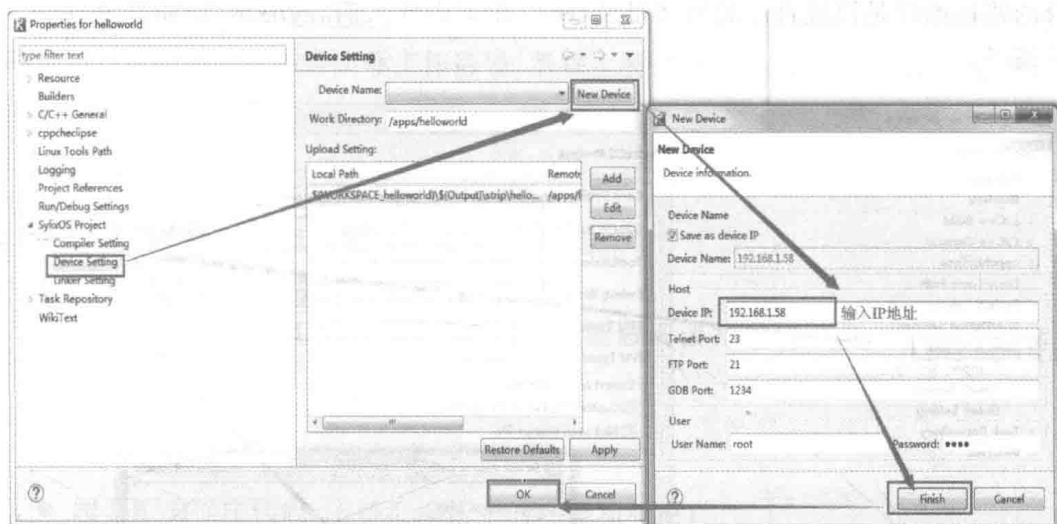


图 1.9 绑定设备 IP

右击工程,在弹出的快捷菜单中选择 SylixOS→Upload 菜单项,此操作会将 helloworld 文件上传到验证平台中,并在 RealEvo-IDE 的 Console 中输出上传结果信息。如果提示失败,则需要检查网线连接、IP 地址设置的情况。

在控制台中,将路径切换到 /apps/helloworld 下,会看到 helloworld 程序文件,执行 helloworld 程序会输出如下执行结果:

```
[root@sylixos_station:/apps/helloworld]# ls
helloworld
[root@sylixos_station:/apps/helloworld]# ./helloworld
Hello SylixOS!
```

1.6 RealEvo-IDE 工程导入

本书配有完整的实验相关工程文件,将这些工程文件复制到读者的计算机中后,需要进行一些修改才能使用。

将包含完整工程文件的工作空间(sylixos_example 文件夹)复制到一个不含中文字符的路径下,打开 RealEvo-IDE,在 Workspace Launcher 对话框中使用 Browse 按钮选择相应文件夹并打开。任何一个工程打开后直接编译都会出现错误,这里需



要修改工程 Base Project Path 的设置。右击工程,在弹出的快捷菜单中选择 Properties,在打开的 Properties for dll_demo 对话框中选择 SylixOS Project,设置界面如图 1.10 所示。单击 WorkSpace 按钮,在弹出的 Select source path 对话框中将列出本工作空间下所有的工程,选择“sylixos_base”工程,单击 OK 按钮返回。本工作空间的所有工程在编译之前都需要设置 Base Project Path。由于 sylixos_base 工程本身的路径始终是设置自己的所在目录,所以在工程导入后,sylixos_base 工程可以直接编译。

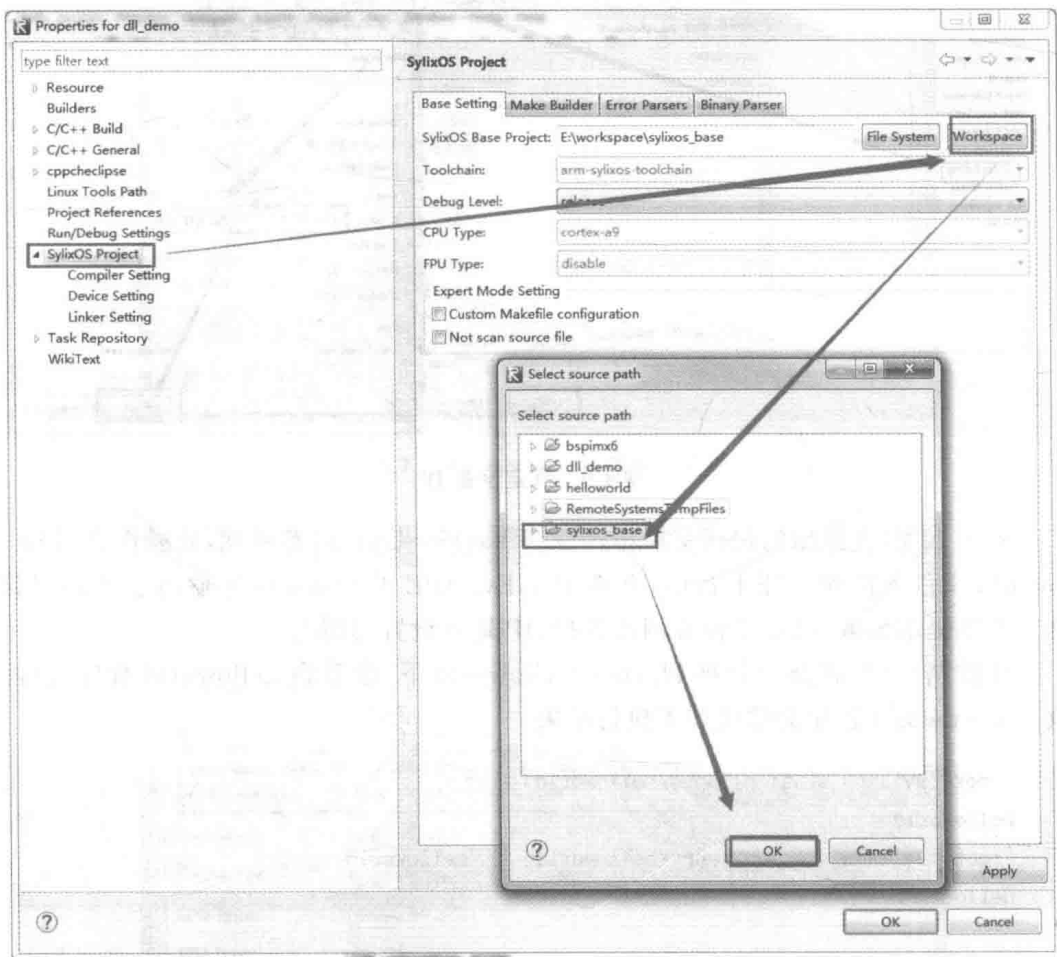


图 1.10 更改 Base Project Path 的设置

如果导入单个工程,则将工程复制到工作空间中,然后选择 File→Import→General→Existing Projects into Workspace 菜单项,将其导入 RealEvo-IDE 中,随后使用上述方法更改其 Base Project Path 的设置即可。

第 2 章 ARM 汇编基础实验

在软件行业中,绝大部分工作都是使用高级语言完成的,但在嵌入式领域中仍然会时常用到汇编语言。结合实际工作需要,本章主要讲解汇编语言与 C 语言混合编程的方法。

实验目的

- 了解 ARM 处理器的常用汇编指令和语法;
- 了解 C 语言与汇编语言混合编程的基础;
- 掌握 SylixOS 下汇编代码的编写特点,能够阅读并理解 SylixOS 中的汇编代码。

实验内容

- 阅读汇编程序代码,了解汇编指令的功能和使用;
- 阅读实验原理,掌握 C 语言与汇编语言混合编程的方法;
- 在 RealEvo-IDE 下编译 asm_program 工程,并将程序上传到验证平台运行以查看效果。

实验环境

- 硬件:已经部署 SylixOS 操作系统的验证平台,一台 PC 主机;
- 软件:RealEvo-IDE、PuTTY。

实验原理

当前嵌入式领域主要使用 C 语言进行程序设计,而这里之所以介绍 ARM 汇编,原因如下:

- 教育不同于培训,教育着眼于一个人更长期的发展;
- 汇编语言可以帮助我们更好地理解计算机系统内部的运行,帮助我们更好地学习 C 语言;
- 在操作系统中涉及 CPU 启动、硬件驱动的很多地方还只能靠汇编语言完成。

ARM 汇编学习的主要难点是 ARM 汇编指令繁多。在简单了解汇编语法后,根据汇编程序翻阅 ARM 汇编指令介绍文档是学习 ARM 汇编非常高效的一种方法。ARM Architecture Reference Manual ARMv7-A and ARMv7-R edition 的 A8 章节详细说明了每一个 ARMv7 架构处理器支持的汇编指令的功能和使用。在学习时也