



普通高等教育“十三五”规划教材
高等院校计算机系列教材
空间信息技术实验系列教材

嵌入式系统开发 实验教程

冯 迅◎编

普通高等教育“十三五”规划教材

高等院校计算机系列教材

空间信息技术实验系列教材

嵌入式系统开发实验教程

冯 迅 编

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

“嵌入式系统开发”是计算机及其相关专业的专业课程,本书作为实验教材,不仅详细讲解了嵌入式系统开发的环境搭建,还针对每个实验提供了完整的操作步骤和程序代码。全书共分16个实验,内容包括:Linux系统基本命令、开发环境的搭建、裸机跑LED控制、Linux系统下C程序的编译及调试、程序的交叉编译、Bootloader的编译与烧写、内核的配置与编译、嵌入式根文件系统的制作、进程控制、文件编程、网络应用开发、内核模块开发、嵌入式Linux系统下的LED控制、按键中断、PWM控制、基于网络的远程灯光控制。每个实验都对实验目的、实验内容及实验步骤等做了较为全面的阐述。

本书中各实验步骤清晰、可操作性较强,可作为本、专科院校计算机及其相关专业“嵌入式系统开发”课程的实验教材,也可作为广大嵌入式系统爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统开发实验教程/冯迅编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.8

普通高等教育“十三五”规划教材 高等院校计算机系列教材

ISBN 978-7-5680-3968-0

I. ①嵌… II. ①冯… III. ①微型计算机-系统开发-高等学校-教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第178123号

嵌入式系统开发实验教程

冯 迅 编

Qianrushu Xitong Kaifa Shiyuan Jiaocheng

策划编辑:徐晓琦 李 露

责任编辑:李 露

封面设计:原色设计

责任校对:何 欢

责任监印:赵 月

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:8.5

字 数:193千字

版 次:2018年8月第1版第1次印刷

定 价:21.60元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

空间信息技术实验系列教材

编 委 会

顾 问 陈 新 徐 锐 匡 锦 陈广云

主 编 杨 昆

副主编 冯乔生 肖 飞

编 委 (按姓氏笔画排序)

丁海玲 王 敏 王加胜 冯 迅

朱彦辉 李 岑 李 晶 李 睿

李 臻 杨 扬 杨玉莲 张玉琢

陈玉华 罗 毅 孟 超 袁凌云

曾 瑞 解 敏 廖燕玲 熊 文

序

21 世纪以来,云计算、物联网、大数据、移动互联网、地理空间信息技术等新一代信息技术逐渐形成和兴起,人类进入了大数据时代。同时,国家目前正在大力推进“互联网+”行动计划和智慧城市、海绵城市建设,信息产业在智慧城市、环境保护、海绵城市等诸多领域将迎来爆发式增长的需求。信息技术发展促进信息产业飞速发展,信息产业对人才的需求剧增。地方社会经济发展需要人才支撑,云南省“十三五”规划中明确指出,信息产业是云南省重点发展的八大产业之一。在大数据时代背景下,要满足地方经济发展需求,对信息技术类本科层次的应用型人才培养提出了新的要求,传统拥有单一专业技能的学生已不能很好地适应地方社会经济发展的需求,社会经济发展的人才需求将更倾向于融合新一代信息技术和行业领域知识的复合型创新人才。

为此,云南师范大学信息学院围绕国家、云南省对信息技术人才的需求,从人才培养模式改革、师资队伍建设和实践教学建设、应用研究发展、发展机制转型 5 个方面构建了大数据时代下的信息学科。在这一背景下,信息学院组织学院骨干教师力量,编写了空间信息技术实验系列教材,为培养适应云南省信息产业乃至各行各业信息化建设需要的大数据人才提供教材支撑。

该系列教材由云南师范大学信息学院教师编写,由杨昆负责总体设计,由冯乔生、肖飞、罗毅负责组织实施。系列教材的出版得到了云南省本科高校转型发展试点学院建设项目的资助。

前 言

目前,在全国高校“嵌入式系统”课程的教学中,大部分仍是以 ARM9 为例来进行授课的,而实验教学则大部分依托三星公司的 S3C24xx 系列芯片来开展。一方面,市场上基于 S3C24xx 的实验设备的品牌众多,且每一品牌都有各自的特点;另一方面,理论教材与实验设备很难做到同步结合。基于上述原因,笔者编撰了本实验指导教材,以供“嵌入式系统”课程的实验教学使用。

本实验指导教材以笔者多年的嵌入式系统实际开发经验为基础,一共选取了 16 个典型应用作为实验,每个实验均以实验目的、实验设备、实验性质、实验内容、实验原理和实验步骤为序进行讲述,便于学生理解和操作。尽管嵌入式系统在原理上较为复杂,但本教材对实验步骤进行了较为详细的量化分解,一步步地引导学生进行操作,让学生即使还未完全通晓原理,也依然能够通过实验指导教材去一步步完成实验,这样容易取得更好的学习效果。

目前的嵌入式系统主要分为跑操作系统和不跑操作系统两种类型,本实验指导教材侧重于第一种类型。全书基于 Linux 操作系统,重点讲述了 Linux 系统基本命令、Linux 下的程序开发、Linux 下的字符型驱动程序开发、Linux 按键中断程序、Linux 网络应用开发以及 Linux 内核的配置与编译等相关内容,为学生学习嵌入式 Linux 系统开发提供指导和帮助。

本书的编写得到了云南师范大学信息学院领导的大力支持,在此表示感谢。由于编者知识水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

冯 迅

2018 年 1 月

目 录

实验一 Linux 系统基本命令	(1)
一、实验目的	(1)
二、实验设备	(1)
三、实验性质	(1)
四、实验内容	(1)
五、实验原理	(1)
六、实验步骤	(1)
实验二 嵌入式系统开发环境的搭建	(7)
一、实验目的	(7)
二、实验设备	(7)
三、实验性质	(7)
四、实验内容	(7)
五、实验原理	(7)
六、实验步骤	(8)
实验三 裸机跑 LED 控制	(26)
一、实验目的	(26)
二、实验设备	(26)
三、实验性质	(26)
四、实验内容	(26)
五、实验原理	(26)
六、实验步骤	(26)
实验四 Linux 系统下 C 程序的编译及调试	(30)
一、实验目的	(30)
二、实验设备	(30)
三、实验性质	(30)
四、实验内容	(30)
五、实验原理	(30)
六、实验步骤	(30)

实验五 Linux 系统下 C 程序的交叉编译	(33)
一、实验目的	(33)
二、实验设备	(33)
三、实验性质	(33)
四、实验内容	(33)
五、实验原理	(33)
六、实验步骤	(33)
实验六 Bootloader 的编译与烧写	(36)
一、实验目的	(36)
二、实验设备	(36)
三、实验性质	(36)
四、实验内容	(36)
五、实验原理	(36)
六、实验步骤	(36)
实验七 嵌入式 Linux 系统内核的配置与编译	(41)
一、实验目的	(41)
二、实验设备	(41)
三、实验性质	(41)
四、实验内容	(41)
五、实验原理	(41)
六、实验步骤	(41)
实验八 嵌入式根文件系统的制作	(44)
一、实验目的	(44)
二、实验设备	(44)
三、实验性质	(44)
四、实验内容	(44)
五、实验原理	(44)
六、实验步骤	(44)
实验九 嵌入式 Linux 系统下的进程控制	(47)
一、实验目的	(47)
二、实验设备	(47)
三、实验性质	(47)
四、实验内容	(47)
五、实验原理	(47)

六、实验步骤	(47)
实验十 嵌入式 Linux 系统下的文件编程	(60)
一、实验目的	(60)
二、实验设备	(60)
三、实验性质	(60)
四、实验内容	(60)
五、实验原理	(60)
六、实验步骤	(60)
实验十一 嵌入式 Linux 系统网络应用开发	(68)
一、实验目的	(68)
二、实验设备	(68)
三、实验性质	(68)
四、实验内容	(68)
五、实验原理	(68)
六、实验步骤	(68)
实验十二 嵌入式 Linux 系统内核模块开发	(74)
一、实验目的	(74)
二、实验设备	(74)
三、实验性质	(74)
四、实验内容	(74)
五、实验原理	(74)
六、实验步骤	(74)
实验十三 嵌入式 Linux 系统下的 LED 控制	(79)
一、实验目的	(79)
二、实验设备	(79)
三、实验性质	(79)
四、实验内容	(79)
五、实验原理	(79)
六、实验步骤	(79)
(一)方案一(适用于 2.4 版本 Linux 系统内核)	(79)
(二)方案二(适用于 2.6 及以上版本 Linux 系统内核)	(86)
实验十四 嵌入式 Linux 系统下的按键中断实验	(89)
一、实验目的	(89)
二、实验设备	(89)

三、实验性质	(89)
四、实验内容	(89)
五、实验原理	(89)
六、实验步骤	(89)
(一)方案一(适用于 2.4 版本 Linux 系统内核)	(89)
(二)方案二(适用于 2.6 及以上版本 Linux 系统内核)	(94)
实验十五 嵌入式 Linux 系统下的 PWM 实验	(100)
一、实验目的	(100)
二、实验设备	(100)
三、实验性质	(100)
四、实验内容	(100)
五、实验原理	(100)
六、实验步骤	(100)
实验十六 基于网络的远程灯光控制实验	(110)
一、实验目的	(110)
二、实验设备	(110)
三、实验性质	(110)
四、实验内容	(110)
五、实验原理	(110)
六、实验步骤	(110)
附录 标准 ASCII 码表	(120)
参考文献	(121)

实验一 Linux 系统基本命令

一、实验目的

- (1)熟悉 Linux 系统环境,学会使用命令行进行操作。
- (2)掌握 Linux 系统的基本命令。
- (3)掌握 Linux 系统下的文本编辑器 vi 的使用方法。

二、实验设备

- (1)PC。
- (2)CentOS6.6 系统。

三、实验性质

验证性实验。

四、实验内容

- (1)Linux 系统的登录、注销、重启和关闭。
- (2)操作命令:列表(ls)、清屏(clear)、更改目录(cd)、显示当前路径(pwd)、创建目录(mkdir)、创建文件(touch)、删除(rm)、拷贝(cp)、移动(mv)、更改权限(chmod)、查看文本文件(cat/less)、解压(tar)。
- (3)文本编辑器 vi。

五、实验原理

通过命令操控计算机系统,实现各类功能。

六、实验步骤

(1)启动 Linux 系统并以 root 用户身份登录,进入终端命令行模式,注销、重启、关闭 Linux 系统。

具体操作步骤如下。

- ①登录名称处输入“root”并回车。

②输入 root 用户的登录密码并回车,注意输入的密码不会显示在屏幕上,所以输入时一定要确保正确,否则不能登录。

③登录后的命令行提示符为“#”,表示登录用户为 root 用户,输入“logout”并回车即可退出(即注销用户的登录,也可直接按快捷键“Ctrl+D”)。

④登录后在命令行中输入“reboot”并回车,可重新启动 Linux 系统。

⑤登录后在命令行中输入“poweroff”并回车,可关闭 Linux 系统。

(2)在终端命令行中进行以下命令的操作:ls、clear、cd、pwd、mkdir、touch、rm、cp、mv、chmod、cat、less、tar。

①列表(ls)命令的操作如下。

在命令行中输入“ls”并回车,可查看当前目录下的所有文件及目录。

在命令行中输入“ls-l”并回车(也可输入“ll”并回车),可查看当前目录下所有文件的详细信息。

在命令行中输入“ls install.log”并回车,可单独查看当前目录下名为 install.log 的文件,一般用来确认当前目录是否存在该文件。

在命令行中输入“ls-l install.log”并回车,可单独查看当前目录下名为 install.log 文件的详细信息。

在命令行中输入“ls /”并回车,可指定查看根目录下的所有文件及目录。

在命令行中输入“ls /root/.bash_profile”并回车,可显示 root 目录下名为 .bash_profile 的文件,此时文件为隐藏形式也可显示出来,而直接使用“ls /root”命令是看不到隐藏文件的。

在命令行中输入“ls /root/in*”并回车,可显示 root 目录下以字母 in 开头的文件。

②清屏(clear)命令的操作如下。

输入“clear”并回车,可进行清屏操作。

③更改目录(cd)命令的操作如下。

在命令行中输入“cd /”并回车,可返回到根目录。

在命令行中输入“cd /home”并回车,可切换到 home 目录下。

在命令行中输入“cd ..”并回车,可返回上一级目录。

在命令行中输入“cd /var/ftp/pub”并回车,可一次性切换到 pub 目录下。

在命令行中输入“cd /root”并回车,可切换到 root 用户目录下(注:root 用户目录显示为“~”)。

目录操作可使用绝对路径(从根目录开始),也可使用相对路径(从当前目录开始),为了能快速准确地更改目录,可使用“Tab”键进行目录名称的自动补齐操作。

④显示当前路径(pwd)命令的操作如下。

输入“pwd”并回车,可显示当前目录所在的绝对路径。

⑤创建目录(mkdir)命令的操作如下。

在命令行中输入“mkdir abc”并回车,可在当前目录下创建一个名为 abc 的新目录。

在命令行中输入“mkdir a b c”并回车,可在当前目录下同时创建多个目录。

在命令行中输入“`mkdir /123`”并回车,可在指定目录(根目录)下创建新目录 123。

在命令行中输入“`mkdir -p /a/b/c`”并回车,可在根目录下创建出三个嵌套的目录 a/b/c。

注意:新创建的目录名称必须在创建目录下不存在,即不能存在两个名称一样的目录。

⑥创建文件(touch)命令的操作如下。

在命令行中输入“`touch 123`”并回车,可新建名为 123 的文件。

在命令行中输入“`touch a b c`”并回车,可同时新建多个文件。

注意:新创建的文件名称必须在创建目录下不存在,即不能存在两个名称一样的文件。

⑦删除(rm)命令的操作如下。

假设当前目录下存在一个名为 123 的文件,在命令行中输入“`rm 123`”并回车,可删除该文件,但需要按“Y”键确认。

假设当前目录下存在一个名为 123 的文件,在命令行中输入“`rm -f 123`”并回车,可删除该文件,此时为强行删除,不需要确认。

假设当前目录下存在一个名为 abc 的目录,在命令行中输入“`rm -r abc`”并回车,可删除该目录,但需要按“Y”键确认。

假设当前目录下存在一个名为 abc 的目录,在命令行中输入“`rm -fr abc`”并回车,可删除该目录,此时为强行删除,不需要确认。

在命令行中输入“`rm -f a *`”并回车,可强行删除当前目录下以字母 a 开头的所有文件,不需要确认。

注意:要删除文件或目录时首先要保证它们存在,不能删除一个不存在的对象。

⑧拷贝(cp)命令的操作如下。

假设当前目录下存在一个名为 123 的文件,在命令行中输入“`cp 123 /var/ftp/pub`”并回车,可把名为 123 的文件拷贝到 pub 目录下。

在拷贝时还可进行更名,在命令行中输入“`cp 123 /var/ftp/pub/456`”并回车,则文件 123 被拷贝到 pub 目录下的同时被更名为 456。

若拷贝的是目录,则要加上参数“-r”,在命令行中输入“`cp -r /var/ftp/pub /home`”并回车,则把 pub 目录拷贝到了 home 下。

注意:要拷贝文件或目录时首先要保证它们存在,不能拷贝一个不存在的对象。

⑨移动(mv)命令的操作如下。

假设当前目录下存在一个名为 123 的文件,在命令行中输入“`mv 123 /var/ftp/pub`”并回车,可把名为 123 的文件移动到 pub 目录下。

移动时还可进行更名,在命令行中输入“`mv 123 /var/ftp/pub/456`”并回车,则文件 123 被移动到 pub 目录下的同时被更名为 456。

移动目录时可进行同样的操作,不需要加参数,在命令行中输入“`mv /var/ftp/pub /home`”并回车,则把 pub 目录移动到了 home 下。

注意:要移动文件或目录时首先要保证它们存在,不能移动一个不存在的对象。

还可使用 `mv` 命令来对文件或目录进行更名,在命令行中输入“`mv 123 456`”并回车,则当前目录下的文件 123 被更名为 456。

⑩更改权限(`chmod`)命令的操作如下。

假设当前目录下存在一个名为 `abc` 的文件,使用命令“`ls -l abc`”可查看它的权限。

在命令行中输入“`chmod 777 abc`”并回车,对文件 `abc` 的权限进行更改。

使用命令“`ls -l abc`”来查看是否更改成功。

注意:4 代表“只读”,2 代表“可写”,1 代表“可执行”,数字可相加进行权限组合,如 7 代表“可读可写可执行”,而 777 代表所有用户对该文件都拥有“可读可写可执行”的权限。

⑪查看文本文件(`cat/less`)命令的操作如下。

在命令行中输入“`cat /etc/passwd`”并回车,可查看文本文件 `passwd` 的内容,但只能查看最后一页,只适合查看一屏以内的小文本文件。

在命令行中输入“`less /etc/passwd`”并回车,可使用上下光标键及上下翻页键来滚动查看文本文件 `passwd` 的全部内容,特别适合用于查看内容较多的大文本文件,查看完毕后按“Q”键退出。

⑫解压(`tar`)命令的操作如下。

假设当前目录下存在一个名为 `abc.tar.gz` 的压缩文件,可在命令行中输入“`tar -zxvf abc.tar.gz`”并回车来对文件进行解压。

若压缩文件的后缀为 `bz2`,则要输入“`tar -jxvf abc.tar.bz2`”来进行解压。

(3)在终端命令行中启动 `vi` 文本编辑器,并进行文本的添、删、查、改,以及保存、退出等基本操作。

具体操作步骤如下。

①创建文本文件的操作如下。

假设当前目录下不存在名为 `abc` 的文件,则输入“`vi abc`”并回车,可在当前目录下新建一个名为 `abc` 的文本文件,进入 `vi` 编辑器后,按“`I`”键进入插入模式(屏幕底端显示 `INSERT`),此时可录入内容,在此录入一句“`Hello world!`”。

录入完成后按“`Esc`”键返回到命令状态,然后输入一个冒号,此时屏幕底行会出现一个“`:`”,在其后面输入“`wq`”并回车,可对文件进行存盘退出,若不想保存,则输入“`q!`”并回车,直接强行退出。

②打开文本文件的操作如下。

接着第①步创建的文本文件,在命令行中输入“`vi abc`”并回车,可打开该文件,在屏幕上可看到刚才输入的内容。

③删除文本内容的操作如下。

为了方便,先拷贝一个系统中已有的文本文件来进行实验,执行命令“`cp /etc/passwd /root/test`”。

执行命令“`vi /root/test`”,使用 `vi` 打开它。

文件打开后,其内容显示在屏幕上,要对其中某一行进行删除,可在命令状态下(即非

插入模式下),把光标定位到想要删除的行(可使用上下光标键),然后连续按两次“D”键即可删除该行。

要删除多行,可在按“D”键前加入要删除的行数,比如要连续删除 7 行,可把光标定位到要删除内容的首行,然后顺序按下“7”“D”“D”三个键即可。

要删除从光标位置开始至本行结尾的内容,可在定位好光标后,顺序按下“D”“\$”两个键即可。

要删除从光标位置开始至本行开头的内容,可在定位好光标后,顺序按下“D”“0”两个键即可。

④ 拷贝文本内容的操作如下。

执行命令“vi /root/test”,使用 vi 打开文本文件 test。

要拷贝某一行的内容,则在命令状态下,把光标定位到想要拷贝的行,然后连续快速按两次“Y”键,随后把光标定位到想要粘贴的地方,然后按一次“P”键即可完成拷贝。

要进行多行拷贝,可在顺序按下“Y”“Y”前加入要拷贝的行数,比如要连续拷贝 6 行,可把光标定位到要拷贝内容的首行,然后再顺序按“6”“Y”“Y”,随后把光标定位到想要粘贴的地方,然后按一次“P”键即可完成多行拷贝。可通过按“P”键进行多次粘贴。

⑤ 编辑文本内容的操作如下。

执行命令“vi /root/test”,使用 vi 打开文本文件 test。

文本打开后,按一次“I”键进入插入模式(屏幕底端显示 INSERT),此时可使用键盘上的光标键来定位光标位置,利用上下翻页键来进行文本查看。

要增加文本内容,可把光标定位在要加入的位置,然后通过键盘录入内容即可。

要删除某些内容,可利用光标键、删除键及退格键来完成。

编辑操作完成后,参照第①步进行存盘退出的操作。

⑥ 字符串查找的操作如下。

执行命令“vi /root/test”,使用 vi 打开文本文件 test。

在底行模式下输入“/var”并回车,则可查找到文本中自光标处开始向下出现的第一个 var 字符串,找到后光标会移动到该行。

要继续查找,按“N”键即可。

要向上查找,把“/var”中的“/”符号换成“?”即可,如“?var”。在键盘上,“?”在上,所以是向上查找,“/”在下,所以是向下查找。

⑦ 字符串替换的操作如下。

执行命令“vi /root/test”,使用 vi 打开文本文件 test。

在底行模式下输入“%s/var/abc”并回车,可把本行中的第一个 var 替换为 abc。

在底行模式下输入“%s/var/abc/g”并回车,可把本行中的所有 var 替换为 abc。

在底行模式下输入“1,20s/var/abc/g”并回车,可把 1~20 行中的所有 var 替换为 abc。

⑧ 设置行号的操作如下。

执行命令“vi /root/test”,使用 vi 打开文本文件 test。

在底行模式下(在命令状态下输入一个冒号),输入“set nu”并回车,可显示出行号,便于查找操作,行号本身并不会加入到实际的文本文件中。

要跳转到某行,直接在底行模式下输入行号并回车即可,要跳转到最后一行,输入“\$”并回车,要跳转到第一行,输入“0”并回车即可。

要取消行号显示,在底行模式下输入“set nonu”并回车即可。

以上是使用 vi 进行的基本操作。其实在 Linux 系统中还可以使用 vim,它的功能与 vi 一致,但在文本的显示上使用了颜色来加以区分,特别适合程序编辑。

实验二 嵌入式系统开发环境的搭建

一、实验目的

- (1)掌握嵌入式系统开发环境的搭建方法。
- (2)掌握相关工具软件的使用方法。

二、实验设备

- (1)PC。
- (2)相关工具软件。
- (3)嵌入式系统实验箱。
- (4)相关通信电缆。
- (5)仿真器(可选)。

三、实验性质

验证性实验。

四、实验内容

- (1)安装 VMware 虚拟机。
- (2)在虚拟机中安装 Linux 系统。
- (3)安装工具软件 tftpd、8uftp、SecureCRT、SourceInsight、ARM-MDK 并进行相关配置。
- (4)连接 PC 和嵌入式系统实验箱的相关线路。
- (5)对 FTP、Samba、NFS 等服务进行相关配置。
- (6)烧写 Kernel 及根文件系统并进行相关配置。
- (7)在 Linux 系统命令行下使用 U 盘等外部存储器。

五、实验原理

嵌入式系统开发依赖于计算机、实验箱(或开发板)和相关软件的支持,通过对各类软件的安装及配置,以及对计算机与实验箱(或开发板)的线路进行连接,才能搭建出嵌入式系统开发的基本环境。