

# 嵌入式Linux实验指导书

——基于SEP4020嵌入式微处理器

QIANRUSHI LINUX SHIYAN ZHIDAOSHU  
JIYU SEP4020 QIANRUSHI  
WEICHULIQI

程杰 方攀 张黎明◎主编



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# 嵌入式Linux实验指导书

## ——基于SEP4020嵌入式微处理器

程杰 方攀 张黎明◎主编



东南大学出版社  
· 南京 ·

## 内容提要

本指导书目的在于让读者对嵌入式系统的开发和 ARM 编程建立清晰的认识。这些实验从知识要点、例程代码、开发方法等方面对源程序进行详细介绍,使读者在学习过程中能够体验开发工具使用、设计开发步骤、实践开发过程,从而提高程序开发的能力。

本指导书是在多年的嵌入式系统教学基础上编写的,充分考虑了学习者的专业特点、学习特点、知识结构等,适合读者自学使用,也可以作为嵌入式系统开发人员学习和研究之用。

另外,在书后的附录中还列出了一些实验过程中思考题的解决方法,以供读者参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式 Linux 实验指导书:基于 SEP4020 嵌入式微处理器 / 程杰, 方攀, 张黎明主编—南京:东南大学出版社,2011.1

ISBN 978-7-5641-2615-5

I. ①嵌… II. ①程…②方…③张… III. ①微处理器, ARM—系统设计—高等学校—教材②Linux 操作系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP332②TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 010438 号

## 嵌入式 Linux 实验指导书——基于 SEP4020 嵌入式微处理器

---

|      |                        |
|------|------------------------|
| 出版发行 | 东南大学出版社                |
| 社 址  | 南京市四牌楼 2 号 (邮编 210096) |
| 责任编辑 | 王全祥                    |
| 责任印制 | 张文礼                    |
| 经 销  | 江苏省新华书店                |
| 印 刷  | 南京玉河印刷厂                |
| 开 本  | 889 毫米×1194 毫米 1/16    |
| 印 张  | 13.25                  |
| 字 数  | 360 千字                 |
| 印 数  | 1—3000 册               |
| 版 次  | 2011 年 1 月第 1 版        |
| 印 次  | 2011 年 1 月第 1 次印刷      |
| 定 价  | 42.00 元                |

---

(东大版图书如有印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025-83792328)

# 前 言

随着信息化技术的发展,嵌入式系统已经成为当前 IT 产业的一个热门话题。而在其中最受关注和欢迎的非嵌入式 Linux 莫属。当前最受欢迎的 Android 移动终端操作系统,还有在桌面领域日益强大的 Ubuntu 操作系统,其内核都是 Linux。在嵌入式系统的教学和学习中,可以借鉴的学习材料也是五花八门,参差不齐。无论是对于从事嵌入式系统教育的老师,还是刚刚入门的嵌入式系统初学者,往往无所适从。

本书推出的目的就是为嵌入式系统教学和学习提供一个有益的参考。SEP4020 是国家专用集成电路工程技术研究中心开发设计的一款基于 ARM720T 内核的嵌入式微处理器,该处理器集成了 ARM720T 内核、以太网 MAC、LCD 控制器、SD 卡控制器等丰富外设,在交互式系统和工业控制领域有着广泛的应用。由南京博芯电子有限公司推出的基于 SEP4020 的教学系统是非常适合当前嵌入式系统教学和学习的。在一般的教学模式下,嵌入式系统基础教学和嵌入式操作系统教学往往需要 ARM7/ARM9 两套平台,而基于 SEP4020 的平台在默认情况下不使能 MMU/CACHE,完全兼容初级的 ARM7TDMI 教学需要,使能 MMU/CACHE 后就可以顺利进行嵌入式 Linux 等高阶嵌入式操作系统教学需要。一套平台完成从入门到进阶的学习,降低了教学成本和学习负担。

本书分为四章:第一章介绍了 SEP4020 和 UB4020EVB 的基本知识,并简单介绍了开发工具的安装;第二章是基础实验,这一章的主要介绍了嵌入式系统开发环境 ADS 的基本使用;第三章是 BootLoader 实验,详细介绍了 Linux 开发环境的配置和 U-Boot 的使用,通过此章的学习可以掌握嵌入式 Linux 开发环境的基本使用。第四章是本书的重点,通过多达 14 个实验从嵌入 Linux 基础命令到驱动程序实验、上层应用实验详细介绍了嵌入式 Linux 开发的各个方面,通过此章的学习,可以帮助读者建立嵌入式 Linux 开发的基本概念并掌握内核编译、驱动开发和应用程序设计的基本技能。另外本书的每个实验后均安排了思考题,帮助读者进一步理解,并在附录部分给出了所有思考题的参考答案。

嵌入式系统是一门实践性非常强的学科,在掌握了基本知识后通过大量的实验和动手实践才可以建立清晰的知识体系和开发能力,希望读者拿到本书后就可以动手开展相关实验。在实验的过程中遇到任何疑难和问题,均可以参加 SEP4020 相关的技术讨论。为了更好地配合读者学习,我们在嵌入式系统爱好者论坛(<http://www.armfans.net>)开设了 SEP4020 相关版面和初学者专属版面,欢迎参加讨论。

由于水平有限,编写时间仓促,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见。如果您有任何意见和建议,可以随时与我们联系。您可以通过论坛与我们交流,也可以通过电子邮件与我们沟通,邮箱地址是 [author@armfans.net](mailto:author@armfans.net)。请您在帖子或邮件中注明书名。

编者

2011 年 1 月

# 目 录

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| 第一章 嵌入式教学实验平台和开发环境介绍 .....      | ( 1 )  |
| 1.1 嵌入式系统及其应用开发 .....           | ( 1 )  |
| 1.2 SEP4020 处理器简介 .....         | ( 2 )  |
| 1.3 处理器功能综述 .....               | ( 3 )  |
| 1.3.1 ARM720T 内核(CORE) .....    | ( 3 )  |
| 1.3.2 时钟和功耗管理(PMU) .....        | ( 3 )  |
| 1.3.3 中断控制器(INTC) .....         | ( 4 )  |
| 1.3.4 存储器接口(EMI) .....          | ( 4 )  |
| 1.3.5 液晶显示控制器(LCDC) .....       | ( 5 )  |
| 1.3.6 10/100 M 以太网(MAC) .....   | ( 5 )  |
| 1.3.7 DMA 控制器(DMAC) .....       | ( 5 )  |
| 1.3.8 通用定时器/脉宽调制器(TIMER) .....  | ( 6 )  |
| 1.3.9 脉宽调制(PWM) .....           | ( 6 )  |
| 1.3.10 实时时钟(RTC/WD) .....       | ( 6 )  |
| 1.3.11 串口/红外(UART/IrDA) .....   | ( 6 )  |
| 1.3.12 外设接口(SSl) .....          | ( 7 )  |
| 1.3.13 卡控制器(SMC) .....          | ( 7 )  |
| 1.3.14 I2S 音频接口(I2S) .....      | ( 7 )  |
| 1.3.15 USB 客户端控制器(USBD) .....   | ( 7 )  |
| 1.3.16 MC/SD 控制器(MMC/SD) .....  | ( 7 )  |
| 1.3.17 通用输入输出(GPIO) .....       | ( 8 )  |
| 1.3.18 工作电压、工作频率与封装 .....       | ( 8 )  |
| 1.4 处理器的地址空间分配及地址映射 .....       | ( 8 )  |
| 1.5 UB4020EVB 实验开发板介绍 .....     | ( 9 )  |
| 1.5.1 UB4020EVB 教学系统材料清单 .....  | ( 9 )  |
| 1.5.2 硬件特性 .....                | ( 9 )  |
| 1.5.3 其他硬件接口 .....              | ( 10 ) |
| 1.5.4 开发板实物图 .....              | ( 11 ) |
| 1.5.5 主要功能模块 .....              | ( 12 ) |
| 1.5.6 注意跳线 .....                | ( 13 ) |
| 1.6 开发工具 ADS 与 Jlink 驱动安装 ..... | ( 13 ) |
| 1.6.1 ADS 安装步骤 .....            | ( 13 ) |
| 1.6.2 J-Link 安装步骤 .....         | ( 14 ) |

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| <b>第二章 基础实验</b>                     | ( 15 ) |
| 实验 1 ARM 汇编实验                       | ( 15 ) |
| 一、实验目的                              | ( 15 ) |
| 二、实验设备                              | ( 15 ) |
| 三、预备知识                              | ( 15 ) |
| 四、实验原理                              | ( 16 ) |
| 五、实验内容                              | ( 20 ) |
| 六、实验步骤                              | ( 21 ) |
| 七、代码例程                              | ( 22 ) |
| 八、思考总结                              | ( 24 ) |
| 实验 2 C/汇编混合编程实验                     | ( 25 ) |
| 一、实验目的                              | ( 25 ) |
| 二、实验设备                              | ( 25 ) |
| 三、预备知识                              | ( 25 ) |
| 四、实验原理                              | ( 25 ) |
| 五、实验步骤                              | ( 26 ) |
| 六、代码例程                              | ( 27 ) |
| 七、思考总结                              | ( 28 ) |
| 实验 3 通用输入输出 GPIO 实验                 | ( 29 ) |
| 一、实验目的                              | ( 29 ) |
| 二、实验设备                              | ( 29 ) |
| 三、预备知识                              | ( 29 ) |
| 四、实验原理                              | ( 29 ) |
| 五、实验内容                              | ( 29 ) |
| 六、实验步骤                              | ( 29 ) |
| 七、代码例程                              | ( 29 ) |
| <b>第三章 Linux 开发环境和 U-Boot 实验</b>    | ( 30 ) |
| 3.1 建立嵌入式 Linux 开发环境                | ( 30 ) |
| 实验 1 安装虚拟机 VMware Workstation       | ( 30 ) |
| 实验 2 安装 Fedora7 操作系统                | ( 31 ) |
| 实验 3 安装交叉编译工具 arm-linux-gcc         | ( 41 ) |
| 实验 4 配置网络文件系统 NFS                   | ( 42 ) |
| 3.2 U-Boot 实验(NandFlash 启动)         | ( 47 ) |
| 实验 1 烧录 U-Boot、Linux 内核与 Yaffs 文件系统 | ( 47 ) |
| 实验 2 U-Boot 常用命令                    | ( 53 ) |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 实验 3 Linux 操作系统引导 .....   | ( 57 ) |
| 实验 4 TFTP 传输与网络文件系统 ..... | ( 60 ) |

## 第四章 嵌入式 Linux 开发实验 .....

( 67 )

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 实验 1 Linux 常用命令的使用 .....  | ( 67 )  |
| 一、实验目的 .....              | ( 67 )  |
| 二、实验设备 .....              | ( 67 )  |
| 三、实验内容 .....              | ( 67 )  |
| 实验 2 通用输入输出 GPIO 实验 ..... | ( 72 )  |
| 一、实验目的 .....              | ( 72 )  |
| 二、实验内容 .....              | ( 72 )  |
| 三、预备知识 .....              | ( 72 )  |
| 四、实验设备 .....              | ( 72 )  |
| 五、实验原理 .....              | ( 72 )  |
| 六、内核编译相关选项 .....          | ( 76 )  |
| 七、实验步骤 .....              | ( 76 )  |
| 实验 3 行列键盘实验 .....         | ( 77 )  |
| 一、实验目的 .....              | ( 77 )  |
| 二、实验内容 .....              | ( 77 )  |
| 三、预备知识 .....              | ( 77 )  |
| 四、实验设备 .....              | ( 77 )  |
| 五、实验原理 .....              | ( 77 )  |
| 六、内核编译相关选项 .....          | ( 80 )  |
| 七、实验步骤 .....              | ( 81 )  |
| 实验 4 SD 卡实验 .....         | ( 84 )  |
| 一、实验目的 .....              | ( 84 )  |
| 二、实验内容 .....              | ( 84 )  |
| 三、预备知识 .....              | ( 84 )  |
| 四、实验设备 .....              | ( 84 )  |
| 五、实验原理 .....              | ( 84 )  |
| 六、编译内核相关选项 .....          | ( 92 )  |
| 七、实验步骤 .....              | ( 93 )  |
| 实验 5 LCD 显示实验 .....       | ( 97 )  |
| 一、实验目的 .....              | ( 97 )  |
| 二、实验设备 .....              | ( 97 )  |
| 三、预备知识 .....              | ( 97 )  |
| 四、实验原理 .....              | ( 98 )  |
| 五、内核编译相关选项 .....          | ( 100 ) |

---

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 实验 6 以太网传输实验 .....           | (108) |
| 一、实验目的 .....                 | (108) |
| 二、实验设备 .....                 | (108) |
| 三、实验内容 .....                 | (108) |
| 四、实验原理 .....                 | (108) |
| 五、内核编译相关选项 .....             | (111) |
| 六、实验操作步骤 .....               | (115) |
| 实验 7 MP3 播放实验 .....          | (117) |
| 一、实验目的 .....                 | (117) |
| 二、实验设备 .....                 | (117) |
| 三、实验内容 .....                 | (117) |
| 四、预备知识 .....                 | (117) |
| 五、实验原理 .....                 | (117) |
| 六、内核编译相关选项 .....             | (123) |
| 七、实验步骤 .....                 | (125) |
| 实验 8 USB Device 实验 .....     | (127) |
| 一、实验目的 .....                 | (127) |
| 二、实验设备 .....                 | (127) |
| 三、实验内容 .....                 | (127) |
| 四、预备知识 .....                 | (127) |
| 五、实验原理 .....                 | (127) |
| 六、内核编译相关选项 .....             | (129) |
| 七、实验步骤 .....                 | (130) |
| 实验 9 触摸屏实验 .....             | (133) |
| 一、实验目的 .....                 | (133) |
| 二、实验内容 .....                 | (133) |
| 三、预备知识 .....                 | (133) |
| 四、实验设备 .....                 | (133) |
| 五、实验原理 .....                 | (133) |
| 六、内核编译相关选项 .....             | (137) |
| 七、实验步骤 .....                 | (139) |
| 实验 10 MiniGUI 图形用户界面编程 ..... | (158) |
| helloworld 应用程序 .....        | (158) |
| 一、实验目的 .....                 | (158) |
| 二、实验内容 .....                 | (158) |
| 三、预备知识 .....                 | (158) |
| 四、实验设备 .....                 | (158) |
| 五、实验原理 .....                 | (158) |
| 六、实验步骤 .....                 | (158) |



---

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| Loadbmp 位图实验 .....             | (162)     |
| 一、实验目的 .....                   | (162)     |
| 二、实验内容 .....                   | (162)     |
| 三、预备知识 .....                   | (162)     |
| 四、实验设备 .....                   | (162)     |
| 五、实验原理 .....                   | (162)     |
| 六、实验步骤 .....                   | (164)     |
| 实验 11 嵌入式数据库 SQLite 实验 .....   | (165)     |
| 一、实验目的 .....                   | (165)     |
| 二、实验设备 .....                   | (165)     |
| 三、实验内容 .....                   | (165)     |
| 四、预备知识 .....                   | (165)     |
| 五、实验原理 .....                   | (165)     |
| 六、实验步骤 .....                   | (166)     |
| 实验 12 嵌入式 WEB 服务器 BOA 实验 ..... | (174)     |
| 一、实验目的 .....                   | (174)     |
| 二、实验设备 .....                   | (174)     |
| 三、实验内容 .....                   | (174)     |
| 四、预备知识 .....                   | (174)     |
| 五、实验原理 .....                   | (174)     |
| 六、实验步骤 .....                   | (174)     |
| 实验 13 CGI 应用实验 .....           | (183)     |
| 一、实验目的 .....                   | (183)     |
| 二、实验设备 .....                   | (183)     |
| 三、实验内容 .....                   | (183)     |
| 四、预备知识 .....                   | (183)     |
| 五、实验原理 .....                   | (183)     |
| 六、实验步骤 .....                   | (185)     |
| 实验 14 SNMP 应用实验 .....          | (188)     |
| 一、实验目的 .....                   | (188)     |
| 二、实验设备 .....                   | (188)     |
| 三、实验内容 .....                   | (188)     |
| 四、预备知识 .....                   | (188)     |
| 五、实验原理 .....                   | (188)     |
| 六、实验步骤 .....                   | (189)     |
| <br>附录 思考题答案 .....             | <br>(200) |

# 第一章 嵌入式教学实验平台和开发环境介绍

## 1.1 嵌入式系统及其应用开发

随着信息化技术的发展,嵌入式系统已经成为当前 IT 产业界一个非常热门的话题。因其高效、低成本、高可靠性、丰富的代码以及应用程序可扩展性、可移植性等一系列优点,目前已渐渐成为工业系统和民用系统的主力军,尤其在信息化产品中,越来越多地应用到嵌入式系统的概念。

嵌入式系统主要由嵌入式处理器、相关支撑硬件和嵌入式软件系统组成,它是集软硬件于一体的可独立工作的“器件”。嵌入式处理器主要由一个单片机或微控制器(MCU)组成。相关支撑硬件包括显示卡、存储介质(ROM 和 RAM 等)、通信设备、IC 卡或信用卡的读取设备等。嵌入式系统有别于一般的计算机处理系统,它不具备像硬盘那样大容量的存储介质,而大多使用闪存(Flash Memory)作为存储介质。嵌入式软件包括与硬件相关的底层软件、操作系统、图形界面、通信协议、数据库系统、标准化浏览器和应用软件等。

总体看来,嵌入式系统具有方便灵活、性能价格比高、嵌入性强等特点,可以嵌入到现有任何信息家电和工业控制系统中。从软件角度来看,嵌入式系统具有不可修改性、系统所需配置要求较低、系统专业性和实时性较强等特点。

后 PC 时代是一个真实的阶段,而且是一个可以预测的时代。嵌入式系统就是与这一时代紧密相关的产物,它将拉近人与计算机的距离,形成一个人机和谐的工作与生活环境。从某一个角度来看,嵌入式系统可应用于人类工作与生活的各个领域,具有极其广阔的应用前景。嵌入式系统在传统的工业控制和商业管理领域已经具有广泛的应用空间,如智能工控设备、POS/ATM 机、IC 卡等;在家庭领域更具有广泛的应用潜力,如机顶盒、数字电视、WebTV、网络冰箱、网络空调等众多消费类和医疗保健类电子设备等;此外还有在多媒体手机、袖珍电脑、掌上电脑、车载导航器等方面应用,将极大地推动嵌入式技术深入到生活和工作的方方面面。它在娱乐、军事方面的应用潜力也是巨大的,而且是有目共睹的。面对全球嵌入式系统工业化的潮流,适应我国加速知识创新和建立面向 21 世纪知识经济的需要,必须加强高等院校嵌入式系统的教学,培养高层次、实用型、复合型、国际化的嵌入式系统应用人才,使我国嵌入式系统应用水平获得跨越式发展。

要学好嵌入式系统,除了系统的学习理论知识外,重要的一个环节就是实践,在实践中加深对嵌入式软件开发的体会。只有通过实验,接触目标开发板、集成开发环境的构建方式和作业方式、嵌入式系统的硬件和软件、JTAG 调试方法,才能学会如何从头开始着手开发一个嵌入式系统;才能增加交叉编译、目标板程序调试和加载的真知;才能积累嵌入式系统开发流程、开发方法和开发技巧的经验。

目前市场上已有几千种嵌入式芯片可供选择。产品设计人员通常是首先获得嵌入式微处理器核的授权,然后根据应用的需要增加相应的接口模块,如针对网络应用产品增加以太网接口,针对多媒体应用增加音频接口等。

当前在业界得到广泛应用的是英国先进 RISC 机器公司(Advanced RISC Machines,亦称为 ARM 公司)的 ARM 系列处理器核,由于其低功耗、低成本等卓越性能和显著优点,在 32 位嵌入式应用领域获得了巨大成功,如 Intel、Motorola、IBM、NS、Atmel、Philips、NEC、OKI、Sony 等几乎所

有知名半导体公司都获得了 ARM 公司的授权,开发具有自己特色的基于 ARM 核的嵌入式系统芯片。此外,ARM 芯片还获得了许多实时操作系统(RTOS, Real Time Operating System)供应商的支持,如 Windows CE、 $\mu$ CLinux、pSOS、VxWorks、Nucleus、EPOC、 $\mu$ C/OS、BeOS、Palm OS 和 QNX 等。

我们结合多年的教学经验和科研积累,采用 0.18  $\mu\text{m}$  标准 CMOS 的工艺设计,内嵌 ASIX CORE(32 位 RISC 内核,兼容 ARM720T,8 KB 指令数据 Cache 和全功能 MMU),设计了面向以 EPOS 为代表的交互式终端类应用的 SoC 芯片 SEP4020 微控制器,该微控制器提供了完整的通用外设接口,可以满足系统用户的各种需求,有关 SEP4020 详细特性将在后面进行说明。在此基础上我们设计了 UB4020EVB 嵌入式系统实验开发平台。该实验平台设计配置灵活、接口丰富,支持 Linux 和 Windows CE 等操作系统,支持经济适用的 JTAG 实时调试或低成本的串行端口监控调试,是一款理想的、高性价比的现代嵌入式系统实验平台和嵌入式系统开发评估综合平台。

本实验平台提供了各类实验,涵盖了键盘、显示、网络通信、音频、操作系统等多个方面,并且在实验课题安排上注意了课题难度的层次性和连贯性,基本可以满足各个应用层面的要求。

## 1.2 SEP4020 处理器简介

SEP4020 由东南大学国家专用集成电路系统工程技术研究中心设计,采用 0.18  $\mu\text{m}$  标准 CMOS 的工艺设计,内嵌 ASIX CORE(32 位 RISC 内核,兼容 ARM720T,8 KB 指令数据 Cache 和全功能 MMU),采用冯诺依曼结构,SEP4020 芯片中集成各种功能包括:

- 8/16 位 SRAM/NOR Flash 接口,16 位 SDRAM 接口
- 硬件 NAND FLASH 控制器,支持 NAND FLASH 自启动
- 10 M/100 M 自适应以太网 MAC,支持 RMII 接口
- 64 KByte 高速片上 SRAM
- USB 1.1 Device,全速 12 Mbps
- 支持 I2S 音频接口
- 支持 MMC/SD 卡
- LCD 控制器,支持 16 位 TFT 彩屏和 STN 黑白、灰度屏,最大分辨率到 800 $\times$ 600
- RTC,支持日历功能/WatchDog,支持后备电源
- 10 通道 TIMER,支持捕获、外部时钟驱动和 MATCH OUT
- 4 通道 PWM,支持高速 GPIO
- 4 通道 UART,均支持红外
- 2 通道 SSI,支持 SPI 和 Microwire 协议
- 2 通道 SmartCard 接口,兼容 ISO 7816 协议
- 支持最多 97 个 GPIO,14 个外部中断
- 支持外部 DMA 传输
- 片上 DPLL,支持多种功耗模式,IDLE、SLOW、NORMAL、SLEEP
- 封装:LQFP176
- 主频:90 MHz
- 供电电压:内核 1.6 V $\sim$ 2 V;IO 1.7 V $\sim$ 3.6 V
- 工作温度:−40 $\sim$ +85 摄氏度

SEP4020 处理器的框架结构图如下:

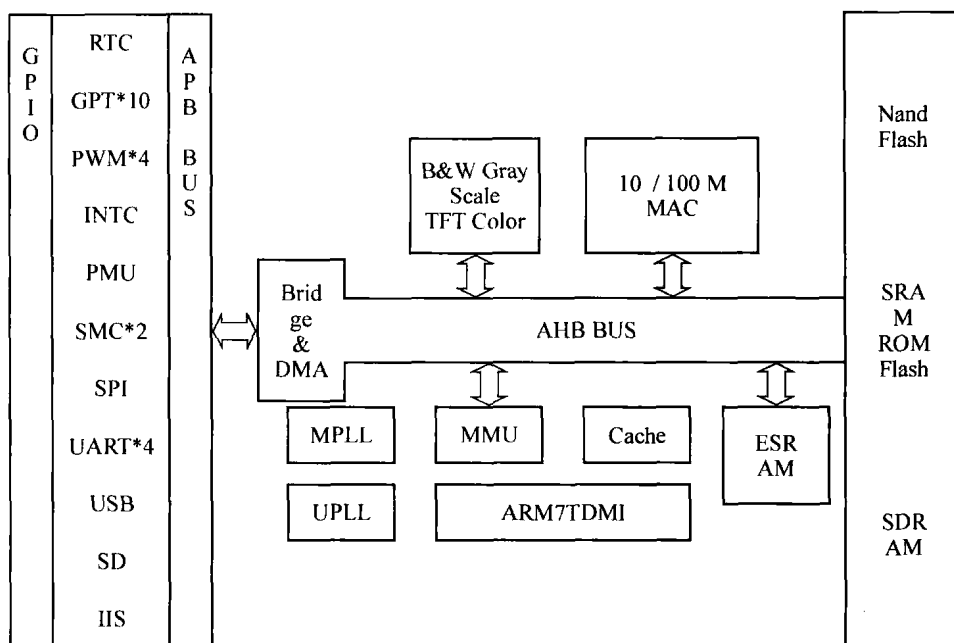


图 1.1 SEP4020 系统架构框图

### 典型应用

面向以 EPOS 为代表的交互式终端类应用(查询终端、自助服务终端、自助缴费终端等),兼顾工业控制类应用和低成本手持设备应用。

## 1.3 处理器功能综述

### 1.3.1 ARM720T 内核(CORE)

- 32 位 RISC 处理器架构——ASIX CORE
- 片上 ICE,支持各种基于 JTAG 的调试方案
- 片上 8 KByte 指令数据统一 Cache,写直达,使用随机替换算法
- 写缓存(write buffer),缓冲 8 个数据字和 4 个独立的地址
- 内存管理单元(MMU),基于段(section)和页(page)的存储器访问,其中页支持 4 KB 的小页和 64 KB 的大页,支持基于域的内存保护
- 64-entry 的 TLB,保证页表的快速存取
- 提供快速上下文切换扩充(FCSE, Fast Context Switch Extension)机制

### 1.3.2 时钟和功耗管理(PMU)

- 两个片上 DPLL,分别给系统和 USB 提供时钟
- 晶振输入 2~5 MHz(推荐使用 4 MHz 晶振输入)
- USB 专用 DPLL 频率 48 MHz,精度为  $\pm 0.1$  MHz,峰峰值抖动小于 30 ps
- 系统 DPLL 输出频率范围为 60~160 MHz,峰峰值抖动小于 200 ps
- 芯片主频软件可配,可以将 DPLL 输出分频至用户需要的主频
- 支持低功耗模式,共有四种功耗模式可供切换
- NORMAL:系统正常工作,不进行低功耗处理
- SLOW:时钟不经过 PLL,由外部晶振直接提供

- IDLE: CPU 时钟关闭, 其他模块时钟保持进入该模式之前的频率
- SLEEP: 除 RTC 外, 其他模块都停止工作

### 1.3.3 中断控制器(INTC)

- 支持 IRQ 中断和 FIQ 快速中断
- 共 34 个中断源, 其中 19 个内部中断, 14 个外部中断(其中 3 个外部快速中断 FIQ), 1 个为外部 WAKEUP 的专用快速中断
- 外部中断支持沿触发、电平触发, 极性可配
- 普通中断优先级过滤配置
- 支持软件强制中断
- 支持所有中断的软件优先级配置

### 1.3.4 存储器接口(EMI)

- 支持 SRAM/SDRAM/NOR FLASH/NAND FLASH 存储器
- SRAM 存储器接口支持 8/16 位, SDRAM 仅支持 16 位
- 零地址片选 CSA 只支持 16 位数据接口
- 不支持 AMD 时序的 NOR FLASH
- 6 个片选, 片选起始地址均可配:
  - 4 个片选(CSA, CSB, CSC, CSD)支持 SRAM/NOR FLASH, 每个片选最大支持 16 Mbytes 地址空间
  - 2 个片选(CSE, CSF)支持 SRAM/SDRAM/NOR FLASH, 该片选最大支持的 SDRAM 为 64 Mbytes
- SDRAM 特性:
  - 支持 JEDEC 标准的 SDRAM
  - SDRAM 行地址宽度和列地址宽度可配: 行地址范围 11~13 位, 列地址范围 8~11 位
  - Bank 地址位置可配, 可以配置成 row 地址的高位, 也可以配置成 row 地址的低位
  - 支持时序参数可配: tRCD/tCAS/tRP/tRFC/tRC/tXSR
  - SDRAM 的自刷新时间可配, 每次刷新的行数可配
  - SDRAM 使用 Delay Precharge 模式
  - 支持 SDRAM 的 Powerdown 模式
  - 支持 SDRAM 的 SelfRefresh 模式
- NAND FLASH 特性:
  - 支持 JEDEC 标准的 NAND FLASH
  - 独立 NAND FLASH 片选
  - 支持 8 bit NAND FLASH, 不支持 16 位 NAND FLASH
  - 地址支持 3 级、4 级和 5 级
  - 支持硬件 ECC 纠错, 1 位纠错, 多位报错。软件 ECC 可以由用户自主定义, 最多支持 16 byte 的 ECC 校验。硬件 ECC 可配置为开启或关闭
  - NAND FLASH 时序参数可配, 默认为最大可配参数
  - 支持单个 Page 的操作, 即每次读写都是一个 Page, 支持三种命令(全页、半页、校验位)
  - Page 大小支持 512 byte, 2 Kbyte
  - 支持 Ready/Busy
  - 不支持 write protect, 系统上电和下电时的保护请参考 NAND FLASH 应用文档

不支持 power save mode

支持的 NAND FLASH 命令: Read, Read ID, Reset, Page Program, Block Erase, Read Status

### 1.3.5 液晶显示控制器(LCDC)

- 兼容 AMBA 2.0 规范
- 不支持 busy 传输, 不支持 ERROR、SPLIT 和 RETRY 传输
- 支持 4、8 和 16 拍的成组传输, 内部总线数据位宽固定为 32 位
- 显示模式:
  - 支持黑白屏
  - 支持 4 级和 16 级灰度的单色 STN 屏
  - 支持最高 65 536 色的彩色 TFT 屏
- 分辨率可配, 最大支持 800×600 的分辨率, 推荐使用 320×240 的分辨率
- 内部 20 级 4 比特的调色板, 调色板软件配置
- 可编程控制的 AC 偏置信号
- 像素时钟由系统主频分频
- 使用内嵌的 DMA 方式进行取数据操作
- 深度为 16、宽度为 32 的 FIFO 用于缓存显示数据
- 大小印第安格式软件可配
- 每行的开始和结束等待时间软件可配
- 每帧的开始和结束等待时间软件可配
- 帧脉冲、行脉冲、像素时钟、像素信号和输出使能信号极性软件可配
- 可编程 FIFO 下溢中断

### 1.3.6 10/100 M 以太网(MAC)

- 兼容 IEEE 802.3 和 802.3 u 标准, 支持 10/100 M 自适应以太网
- 支持半双工/全双工操作
- 仅支持 RMII 接口
- 自动 CRC 填充和校验
- 自动抛弃错误帧
- 支持网络监听
- 支持物理层 PHY 管理
- 支持全双工流控
- 支持短数据帧和长数据帧

### 1.3.7 DMA 控制器(DMAC)

- 6 个独立的 DMA 通道, 支持双向传输
- 支持存储器到存储器、存储器到外设、外设到存储器的 DMA 传输
- 支持芯片外部 DMA 请求和响应
- 硬件配置 DMA 通道优先级
- 每个通道对应一组独立的编程寄存器
- 每个通道有对应的可编程的目标地址寄存器、源地址寄存器
- 每个通道有对应的可编程的传输类型(存储器到存储器, 存储器到外设, 外设到存储器)
- 每个通道有对应的可编程的 AMBA Burst 传输尺寸

- 每个通道有对应的可编程的通道使能
- 每个通道有对应的可编程的 DMA Burst 尺寸
- 地址产生可配置为递增或非递增,不支持卷址
- 软件配置 Burst 请求支持穿越 1 KB 地址边界
- 支持 GATHER 和 SCATTER 的地址生成方式
- 支持基于链表配置的 DMAC
- 支持锁通道功能
- 6 通道共用一个  $16 \times 32$  bit FIFO
- 自动对数据进行打包、解包以适合 FIFO 宽度
- 可配置的传输控制方:外设或者 DMA 控制器本身
- 两个中断请求:DMA 错误和 DMA 传输完成中断请求

### 1.3.8 通用定时器/脉宽调制器(TIMER)

- 6 通道 32 位通用定时器,4 通道 16 位定时器
- 每个通道独立的计数器和控制寄存器
- 单次计数、重启计数和自由计数三种模式
- 4 个 32 位定时器支持外部输入捕捉功能

### 1.3.9 脉宽调制(PWM)

- 4 通道 PWM,每个通道有独立的 FIFO 和计数器
- 每个通道支持 3 种工作模式:PWM 模式、高速 GPIO 模式和 TIMER 模式
- 高速 GPIO 模式支持最小一个总线周期的输出和采样
- TIMER 模式支持单次计数和重启计数

### 1.3.10 实时时钟(RTC/WD)

- RTC 的年、月、日、时、分、秒计时器可以采用备用电池供电,保证掉电时保持日历
- 可设置定时中断。当前时间与设置时间相同时,RTC 即发出中断,提供月/日/小时/分钟的定时,不精确到秒
- 提供 WatchDog 功能,第一次 TIMEROOUT 产生中断,如果在下次 TIMEOUT 发生时还没有得到软件服务,产生 WatchDog RESET,系统复位
- 提供  $1/256$  秒~1 秒软件可配置的连续采样中断,实时操作系统可以使用此中断作为进程切换的时间单位
- 提供秒中断、分中断、采样中断、定时中断和 WatchDog 中断
- 支持暂停(PAUSE)模式
- 提供闰年判断机制(支持 2004 年~2024 年)

### 1.3.11 串口/红外(UART/IrDA)

- 4 通道全双工操作 UART
- 5~8 位字符操作
- 可配置的奇偶校验(偶校验,奇校验,不用奇偶校验或固定校验位)
- 可配置的停止位(1,1.5,2 位)
- Break 产生和探测功能
- 16 级深度(字节宽度)的接收 FIFO,可配置触发级和超时中断
- 16 级深度(字节宽度)的发送 FIFO,可配置触发级中断

- 对 RTS, CTS 信号提供硬件控制流支持
- 4 位可屏蔽中断源,中断优先级处理,超时中断
- 支持串行红外接口物理层协议

### 1.3.12 外设接口(SSI)

- 支持串行 MASTER 操作模式
- 支持 SSI 两个片选
- 中断可独立屏蔽,中断包括:发送 FIFO 溢出信号,发送 FIFO 空信号,接收 FIFO 满信号,接收 FIFO 下溢信号以及接收 FIFO 的溢出信号
- 串行接口协议:  
Motorola Serial Peripheral Interface (SPI)四线全双工串行接口协议。时钟相位、极性有四种组合方式,时钟相位、极性的选择决定了传输是否以第一个发送时钟作为开始,停止时时钟是否保持为高电平等问题  
National Semiconductor Micro wire 半双工的串口协议。采用控制字串行传输,来协调 MASTER 设备与 SLAVE 设备的控制信息
- 时钟比特率(数据传输的串行比特率)动态控制,仅在串行 MASTER 模式下进行的操作

### 1.3.13 卡控制器(SMC)

- 兼容 ISO 7816 协议
- 支持 T=0 和 T=1 两种传输模式
- 等待时间可配

### 1.3.14 I2S 音频接口(I2S)

- 支持 MASTER 和 SLAVE 模式
- 支持 TRANSMITTER 和 RECEIVER 功能
- 支持 32、16、8 位音频数据字长
- 支持立体声和单声道
- 支持静音和停止播放
- 数据高位(MSB)先出/先入
- 接收发送共享 4×32 数据 FIFO
- 支持 DMA 传输模式

### 1.3.15 USB 客户端控制器(USB D)

- 兼容 USB 2.0 协议,FIFO 只支持 USB 1.1 协议
- 支持 USB 全速功能,最高 12 Mbps 传输速率
- 支持 1 个控制端点,2 个数据端点
- 具有远程唤醒功能
- 数据包大小可配位 8/16/32/64 Bytes
- 支持 DMA 传输模式

### 1.3.16 MC/SD 控制器(MMC/SD)

- 兼容 SD Spec ver 1.01/1.10 和 MultiMediaCard Spec ver4. X/3. X
- 支持 SD/MMC 1 bit/4 bit/8 bit modes,不支持 SPI 模式
- 支持 MMCplus and MMCmobile,支持 CEATA specifications(ver1.0)
- 支持所有命令集,包括 MMCA stream write and read



- 支持任意 block 数据长度
- SD 时钟的最高工作为 25 MHz
- 支持 SD/MMC 卡热插拔
- 支持数据 CRC16 和命令 CRC7 校验

### 1.3.17 通用输入输出(GPIO)

- 最多 97 个可配置 GPIO
- 14 个外部中断

### 1.3.18 工作电压、工作频率与封装

- 内核(Core): 1.6~2 V, 典型值 1.8 V
- 输入输出(I/O): 2.7~3.6 V, 典型值 3.3 V
- 工作环境: -40~85 度
- 最高主频 100 MHz, 推荐使用 96 MHz
- 176 LQFP, 20 mm×20 mm

## 1.4 处理器的地址空间分配及地址映射

SEP4020 的主要外设以及外部存储器的地址映射如下表所示:

表 1.1 处理器地址映射表

| Address               | Description | Size                 |
|-----------------------|-------------|----------------------|
| 0x00000000~0x03FFFFFF | EMI(nCSA)   | 64 Mbytes(前 16 M 有效) |
| 0x04000000~0x07FFFFFF | ESRAM       | 64 Kbytes            |
| 0x08000000~0x0FFFFFFF | RESERVED    |                      |
| 0x10000000~0x10000FFF | INTC        | 4 Kbytes             |
| 0x10001000~0x10001FFF | PMC         | 4 Kbytes             |
| 0x10002000~0x10002FFF | RTC/WD      | 4 Kbytes             |
| 0x10003000~0x10003FFF | TIMER       | 4 Kbytes             |
| 0x10004000~0x10004FFF | PWM         | 4 Kbytes             |
| 0x10005000~0x10005FFF | UART0       | 4 Kbytes             |
| 0x10006000~0x10006FFF | UART1       | 4 Kbytes             |
| 0x10007000~0x10007FFF | UART2       | 4 Kbytes             |
| 0x10008000~0x10008FFF | UART3       | 4 Kbytes             |
| 0x10009000~0x10009FFF | SSI         | 4 Kbytes             |
| 0x1000A000~0x1000AFFF | I2S         | 4 Kbytes             |
| 0x1000B000~0x1000BFFF | MMC/SD      | 4 Kbytes             |
| 0x1000C000~0x1000CFFF | SMC0        | 4 Kbytes             |
| 0x1000D000~0x1000DFFF | SMC1        | 4 Kbytes             |
| 0x1000E000~0x1000EFFF | USBD        | 4 Kbytes             |