

# 源码开放学ARM

@亚嵌李明老师<sup>1</sup>

2012-04-30

<sup>1</sup>This is the PDF file for the how to write opensource book contents. It is licensed under the Creative Commons Attribution-Non Commercial-Share Alike 3.0 license. I hope you enjoy it, I hope it helps you learn the software development, and I hope you' ll continuously watch this : <http://limingth.github.com/LAS0/>, will be happy if you follow my weibo <http://weibo.com/limingth>



# 学习目标

ARM 阶段的学习，构成了嵌入式软件开发工程师知识体系中不可缺少的一个内容。在这个阶段我们努力培养学员具备以下的素质和能力：

- 1) 掌握ARM体系结构和汇编语言。
- 2) 能够初步学会阅读硬件原理图和芯片数据手册。
- 3) 具备为SoC芯片常见外设如 UART, NandFlash, Timer 等编写驱动程序的能力。
- 4) 能够完成 Bootloader 项目的程序编写和移植工作。



## 适合对象

本阶段对于学员学习基础的要求如下：

- 1) 掌握C语言，熟悉指针的用法。
- 2) 学过计算机组成原理和数字电路等课程。
- 3) 具备一定的英文阅读能力。
- 4) 对计算机底层的运行机制和软硬件协同工作具有浓厚的兴趣。



# 如何写作本书的

对于有志于参与本书编写的学员，可以通过学习以下内容来进一步了解关于如何写书的相关知识。

- \*如何安装 GIT

<http://progit.org/book/zh/ch1-4.html>

- \*如何使用 GitHub

<http://www.worldhello.net/gotgithub/index.html>

- \*如何用 markdown 写书

<http://www.slideshare.net/larrycai/write-book-in-markdown>

- \*简介轻量级标记语言 Markdown

<http://www.worldhello.net/gotgithub/appendix/markups.html>

- \*如何生成 pdf 版本

<https://github.com/larrycai/kaiyuanbook/blob/master/BUILD.md>





# 目录

学习目标	i
适合对象	iii
如何写作本书的	v
目录	vii
<b>1 开发环境搭建</b>	<b>1</b>
1.1 硬件平台	1
1.1.1 准备工作	1
1.1.2 硬件平台的验证	1
1.2 硬件原理图	2
1.2.1 原理图包含的信息	2
1.2.2 核心板	2
1.2.3 底板	3
1.3 开发工具链	3
1.3.1 安装说明	4
1.3.2 命令行开发工具链 / (GNU tools-chain)	4
1.3.3 C 编译器	4
1.3.4 asm 汇编器	4
1.3.5 obj 链接器	5
1.3.6 二进制转换工具	5
1.3.7 综合应用	5
1.3.8 ARM Docs 开发文档	5
1.4 基本开发流程	6
1.4.1 编写源码	6
1.4.2 编写 Makefile	7
1.4.3 make 编译项目	7
1.4.4 测试可执行文件	7
<b>2 芯片手册导读</b>	<b>9</b>
2.1 内部结构框图	9
2.1.1 S5PV210 芯片数据手册目录结构	9
2.1.2 S5PV210 Block Diagram 芯片内部结构框图	10
2.1.3 芯片手册的一般结构	11
2.1.4 芯片手册应该怎样阅读?	11

2.2	存储管理和地址映射	12
2.2.1	存储器件	12
2.2.2	地址空间	12
2.2.3	Memory Map 存储映射	12
2.3	特殊功能寄存器	13
2.3.1	关于内核，控制器，总线和外设之间的关系	13
2.3.2	特殊功能寄存器的设置	14
2.4	时序图	14
2.4.1	基本概念	15
<b>3</b>	<b>GPIO 控制器</b>	<b>17</b>
3.1	控制器内部结构	17
3.2	GPIO 输出引脚	17
3.3	GPIO 特殊功能寄存器	18
3.4	GPIO 驱动代码实现	18
3.4.1	汇编程序	19
3.4.2	ARM汇编的延时函数	19
3.4.3	立即数的表示	19
3.4.4	连接开发板	19
3.4.5	led.c 参考代码实现	20
3.4.6	button.c 参考代码实现	20
3.4.7	buzzer.c 参考代码实现	21
<b>4</b>	<b>CLOCK 时钟管理</b>	<b>23</b>
4.1	时钟发生器	23
4.1.1	时钟源的周期换算关系	23
4.1.2	Clock Controller 时钟控制器 (p353-p417)	23
4.2	时钟输出频率	23
4.2.1	时钟输出	24
4.3	锁相环和分频器	24
4.3.1	锁相环 PLL	24
4.3.2	分频器 Divider	24
4.3.3	举例：UART 串口时钟 PCLK_PSYS 的生成过程	24
4.4	时钟驱动代码实现	25
4.4.1	举例：UART 串口时钟 PCLK_PSYS 的生成过程	25
<b>5</b>	<b>UART 控制器</b>	<b>27</b>
5.1	串口的硬件连接（硬件原理图）	27
5.2	串口的管脚功能复用	27
5.3	串口时序图	28
5.4	串口控制器功能	28
5.5	串口的寄存器 SFR:	28
5.6	查看 uboot 对串口的设置	29
5.7	uart.c 参考代码实现	29
5.8	uart.h 参考代码实现	30

<b>6</b>	<b>SDRAM 控制器</b>	<b>31</b>
6.1	DDR SDRAM 硬件连接情况（原理图）	31
6.2	SDRAM 管脚功能复用	32
6.3	SDRAM 时序图	32
6.4	SDRAM 控制器结构	32
6.5	DDR 寄存器配置	32
6.6	SDRAM 驱动代码实现	32
6.7	课后作业:	32
<b>7</b>	<b>NandFlash 控制器</b>	<b>35</b>
7.1	K9F2G08 芯片	35
7.2	NandFlash 管脚功能复用	35
7.3	Nand Flash Timing 时序	35
7.4	NandFlash 控制器结构	36
7.5	Nand Flash Controller 控制器寄存器	36
7.6	初始化配置	36
7.7	NandFlash 驱动代码实现	37
7.7.1	nand.c 参考代码实现	37
7.7.2	nand.h 参考代码实现	38
7.7.3	思考问题: 如何访问 Flash 0地址	39
<b>8</b>	<b>Exception 异常处理</b>	<b>41</b>
8.1	异常相关基本概念	41
8.1.1	ARM 的工作模式有几种? 各是哪些?	41
8.1.2	ARM 的寄存器有多少? 各是哪些?	41
8.1.3	ARM 的异常有几种? 各是哪些?	41
8.2	异常向量表的实现	42
8.2.1	ARM 的异常向量表是指什么? 有什么特点?	42
8.3	异常处理流程	42
8.3.1	ARM 的软中断异常发生后, 硬件做何响应?	42
8.3.2	cpu 内核跳转到 0x8 之后, 软件需要做哪些工作?	42
8.4	软中断异常代码实现	43
<b>9</b>	<b>Interrupt 控制器</b>	<b>45</b>
9.1	中断相关基本概念	45
9.1.1	异常和中断的概念区分	45
9.1.2	中断处理的相关概念	45
9.2	中断处理流程	46
9.2.1	哪些事情硬件做, 哪些事情软件做?	46
9.2.2	如何跳转	46
9.3	中断寄存器配置	46
9.3.1	中断相关寄存器的设计演变	46
9.3.2	S5PV210 中断相关寄存器	47
9.4	硬件中断异常代码实现	48
9.4.1	实验验证结论:	49

<b>10 PWM Timer 定时器</b>	<b>51</b>
10.1 定时器工作原理 . . . . .	51
10.2 定时器寄存器配置 . . . . .	51
10.3 定时器驱动代码实现 . . . . .	52

## 第 1 章

# 开发环境搭建

### 1.1 硬件平台

本课程采用 [广州友善之臂](http://arm9.net/tiny210.asp) 的 Tiny210 开发板 作为实验开发平台。关于这个硬件开发板的详细描述和介绍，可以参考阅读下面这个链接的内容。 <http://arm9.net/tiny210.asp>

请通过阅读上述材料之后，回答以下有关开发板硬件平台的问题：

- 1) 开发板采用的主芯片是什么型号，基于什么 ARM 内核？
- 2) 开发板运行程序的主频是多少？使用什么内存？内存有多大？
- 3) 开发板上能够运行哪几种操作系统？它们有什么差别？
- 4) 什么叫 BSP，开发板的 BSP 支持哪些外设？

#### 1.1.1 准备工作

需要参加课程的学员提前准备好以下环境：

- 1) 电源线（5v）
- 2) 串口线（双母头）
- 3) 开发板（已经烧写了 u-boot 或者用 SD 卡可以启动到 u-boot 下）
- 4) 超级终端（hyperterm, 115200，无硬件流控，连接开发板有输出）
- 5) 如果是用笔记本，通常没有串口，需要自备一根 USB转RS232串口的线，并安装相应驱动。  
推荐使用 Z-Tek 力特，驱动比较好装：<http://www.360buy.com/product/134961.html>

如果开发板是刚拿到的，则一般都没有烧写 u-boot，可以自己烧写 u-boot 到开发板 SD卡上，这需要准备以下条件：

- 1) SD卡（自备，2G或者4G都可以）
  - 2) SD卡读卡器（自备，连接PC后格式化为 FAT32 分区，可以显示盘符）
- 烧写SD卡的步骤可以参考随开发板附带的《用户手册》，需要用到 SD-Flasher.exe 这个工具。

#### 1.1.2 硬件平台的验证

在开始学习后继内容之前，通常需要对硬件平台进行以下3个方面的正确性验证：

- 1) 主芯片（通常使用 jtag 工具，能够读取到 cpu 的 ID）
- 2) 串口输出（通常使用 超级终端，设置好波特率和流控制，能够和开发板bootloader进行交互）
- 3) 下载和烧写（一般通过串口或者usb进行，下载是到 SDRAM，烧写是到 NandFlash）

串口连接开发板，验证bootloader命令的输入输出：

- 1) 连接开发板
- 2) 启动超级终端 hypertrm(.exe)
- 3) 选择 COM1 (pc)
- 4) 修改波特率为 115200
- 5) 修改流控制为 无 (none)（否则影响输入）
- 6) 连接之后，重启开发板，及时按回车键，输入 help  
(如果发现有输出但无法输入，留意 Scroll Lock 是否被误按)

嵌入式开发的硬件平台，是以后我们学习ARM开发课程的实验平台。目前常见的硬件开发板从 ARM7、ARM9、ARM11内核一直到 Cortex A/R/M 系列发展很快，大部分都是采用核心板+底板的结构，如何进一步了解硬件设计的原理，看懂主芯片和外设之间的作用关系，就需要我们了解硬件设计原理图方面的知识了。

## 1.2 硬件原理图

通常提供硬件平台的厂家，都会随开发板光盘附带硬件原理图。硬件原理图一般都是以 PDF格式提供，这和硬件设计人员通过使用 Prote1/OrCAD Capture 这样的硬件原理图设计工具产生的文件不同，但PDF的文档方便查阅，易于打开，对于嵌入式软件开发工程师用于开发已经足够了。

[Tiny210-core-board.pdf](#)

[Tiny210-mother-board.pdf](#)

### 1.2.1 原理图包含的信息

核心板的原理图和底板的原理图，通常分为两个文件存放。通过查看原理图，能够知道哪些信息？

有哪些芯片

芯片有哪些管脚

芯片之间的连接关系

芯片与外设本身之间的连接关系

得到有些芯片管脚的默认连接（接地/接电源/NC (No Connection) 不连接的管脚）

电阻电容等分立元件（模拟电路）

### 1.2.2 核心板

核心板一般包含了最小系统，也就是主芯片SoC，内存SDRAM，闪存FLASH，复位电路Reset，调试接口JTAG，时钟CLOCK和电源Power。请在原理图上分别找到这些器件，并初步熟悉了解它们的芯片型号。

```

主芯片    SoC: S5PV210 -> 584pin [S5PV210_UM_REV1.1.pdf]
内存      Mem: K4T1G -> 1Gb=128MB [K4T1G164QE_rev11.pdf]
闪存      Flash: K9F2G08 -> 2Gb*8bit=256MB [K9F2G08.pdf]
复位电路  Reset: Max811 [MAX811T.pdf]
调试电路  Jtag: TCK/TDI/TDO/TMS/TRST
时钟      CLOCK: 24Mhz (X1) XXTI/XXTO
发光二极管 LED: LED1-4
高清接口  HDMI: mini HDMI(CON8)

```

### 1.2.3 底板

底板一般包含了常见外设，例如通用GPIO，串口UART，网卡Net，液晶屏接口LCD，音频接口Audio等。请在原理图上找到这些器件，并初步熟悉了解它们的芯片型号。

```

CONN-AB: 30*2 * 2个 = 120pin 引出 (例如串口TxD/RxD)
CONN-C: 15*2 = 30pin 引出 (例如I2C, CAM)
Power-On/Off: S1
NET : DM9000AEP (Ethernet) HR91105A [DM9000.pdf]
Audio: WM8960 (DA/AD convert) [WM8960_Rev40.pdf]
Buzzer: PWM Timer (beep)
RTC: Real-Time Clock
I2C-Eeprom: MAC address (6 bytes)
Buttons: K1-K8 (XEINT16-27)
SD-CARD: Data(4pin) + (4pin)
UART: 串口(通用异步收发器) [MAX3232.pdf]
LCD : 40pin / 45pin (DATA-24pin) [H43-HSD043I9W1.pdf]

```

以上所有芯片的数据手册，都可以在开发板附带光盘中找到，也可以从 <https://github.com/limingth/ARM-Resources> 链接下载得到。

## 1.3 开发工具链

在ARM开发领域，有两大类开发工具可以选择，一类是基于 Windows 平台的 SDT, ADS, RealView MDK 系列，一类是基于 Linux 平台的 GNU Cross-Toolchain。

考虑到从简单到复杂的学习路线，我们先介绍 Windows 平台上的工具链。一旦我们对工具链背后的开发思路比较了解之后，再来学习 Linux 上的工具就会比较容易上手。

有关 ADS 工具和 MDK 工具的介绍，可以参考阅读百度百科的介绍。

[ADS简介] (<http://baike.baidu.com/view/171249.htm#sub6295819>)

[MDK简介] (<http://baike.baidu.com/view/1745465.htm>)

总体说来，MDK 是 ADS 的升级版本，界面上做了很大改动，但后台使用的命令行工具链基本一样。以下就是以 ADS 安装为例，对命令行工具链做一个简单说明。

### 1.3.1 安装说明

工具下载：<http://limingth.github.com/ARM-Tools>  
安装目录：C:\Program Files\ARM\ADSV1\_2\Bin  
图形开发环境：  
IDE.exe - ADS IDE  
axd.exe -AXD debugger

### 1.3.2 命令行开发工具链 /(GNU tools-chain)

```
armcc.exe -C compiler (armcpp.exe) /(gcc)
armasm.exe -ASM Assembler /(as)
armlink.exe -Linker /(ld)
fromelf.exe -Bin-Utills /(objdump/objcopy)
```

### 1.3.3 C 编译器

armcc 常用编译参数

- c 只编译，不连接
- D (定义)条件编译 (-DDEBUG)
- U (不定义)条件编译 (-DDEBUG)
- g 增加调试信息
- I 指定 include 路径(自己的)
- On 编译优化级别
- S 生成汇编
- o 指定生成文件名

思考问题：arm-linux-gcc 交叉编译器的库 和 armcc 链接的库是否一样？

用法举例：

```
armcc hello.c
```

默认会生成 \_\_image.axf (a.out)，其中 axf 文件是 ELF 格式的可执行文件

```
armcc -c hello.c
```

默认会生成 hello.o，此时还需要 link 之后才能生成 axf 可执行文件

特殊用法：

如果一个C程序，没有 main 函数，编译会怎么样？（有警告warning，无错误error，能生成可执行文件axf）

### 1.3.4 asm 汇编器

armasm 通常只生成 .o 的目标文件

用法举例：

```
armasm start.s
```

默认会生成 start.o，此时还需要 link 之后才能生成 axf 可执行文件



### 1.3.5 obj 链接器

armlink 常用链接参数

- ro-base 指定可执行代码的位置（代码段执行地址）
- rw-base 数据段执行地址
- first 指定 .o 文件放在链接的最开始处
- entry 指定 axd 调试工具加载 axf 文件的入口地址（转成bin之后就丢失了）
- scatter file 指定链接脚本（.scf文件/在linux下.lds文件）

用法举例：

```
armlink hello.o -o hello.axf
```

```
armlink -first start.o -ro-base 0x0 -entry begin start.o main.o -o hello4.axf
```

### 1.3.6 二进制转换工具

fromelf 常用转换参数

- bin 生成bin文件，最终烧写到开发板上
- c 生成txt文本文件，反汇编文件
- d 打印数据段内容
- s 打印符号表
- t 打印字符串表

用法举例：

```
fromelf -bin hello.axf -o hello.bin
```

```
fromelf -c -s -d hello.axf -o hello.txt
```

### 1.3.7 综合应用

单独汇编程序的编译链接

```
armasm start.s
```

```
armlink start.o -o demo.axf
```

单独C程序的编译链接

```
armcc -c hello.c
```

```
armlink hello.o -o hello.axf
```

汇编和C程序的混合链接

```
armasm start.s
```

```
armcc -c main.c
```

```
armlink -first start.o -ro-base 0x0 -entry begin start.o main.o -o demo.axf
```

### 1.3.8 ARM Docs 开发文档

DDI0100E\_ARM\_ARM.pdf - ARM体系结构知识，侧重于内核

ADS\_CompilerGuide\_D.pdf - 编译器使用  
 ADS\_AssemblerGuide\_B.pdf - 汇编器使用  
 ADS\_LinkerGuide\_A.pdf - 链接器使用  
 ADS\_DebugTargetGuide\_D.pdf - 调试器使用

## 1.4 基本开发流程

### 1.4.1 编写源码

ARM 汇编语言格式要点

#### TAB 开头

ARM 汇编语言格式要求除了 label 标号之外，其他包含伪操作和指令的行都应该以一个 TAB 开头。

#### AREA 名称

AREA 表示定义代码段/数据段区域的开始，后面跟的名称会进入符号表参与链接。

#### ENTRY 入口

表示指定汇编程序的入口，最多只能写一个，也可以不写。

#### END 结束

表示汇编程序的结束，必须要写。

#### ; 注释

分号表示注释，用 // 或者 /\* \*/ 都不是注释。

#### label 定义符号

用于程序跳转时的标号，必须顶格写。

#### import symbol

用于链接外部的符号名，例如跳转到C语言的主函数。

#### export symbol

用于对外输出汇编程序内部的符号名，汇编文件内部的symbol默认对外是不公开的，隐藏的，类似C程序的static修饰。

#### C 程序注意要点

#### main函数的负面影响

链接器会引入很多外部代码，带来跟踪调试的很多问题，同时造成可执行bin文件的体积明显增大。

**\*\* “main的用法” \*\***

默认main函数真正的入口是 "main"，因此直接用 "\_\_main" 来定义C语言的主函数是比较便利的做法。

#### 替换return 0

如果主程序没有无限循环，那么最后执行 return 0 的结果是不可预期的，应该用 while(1); 无限循环来替代。

#### volatile 修饰符

编译器对 volatile 修饰的变量或者指针，都会避免优化，强制访存。这对于嵌入式寄存器的读写操作是非常必要的。

#### unsigned 修饰符

对于特殊功能寄存器的访问，通常不需要进行算术运算，将它们声明为 unsigned 无符号整型是通常的做法。

### 1.4.2 编写 Makefile

#### all 目标

第一个默认的目标，一般都起名为 `all`，`make` 执行时不需要跟目标名，会自动执行默认目标。

#### clean 目标

清除中间产生的不必要的文件，例如 `.o` `.bak` 等。

#### 宏变量

引入 `PRJ`，`SRCS`，`OBJS`，增强项目的可移植性。

#### 匹配替换技巧

`$ (SRC:.c=.o)` 的用法，灵活替换源文件到目标文件。

#### 依赖关系的传递

用依赖关系，对于文件数量较多，编译时间较长的项目非常有好处，可以做到增量编译。

#### 隐含规则

`%o:%c` 的用法，如果需要修改编译参数，则需要重新实现该条隐含规则。

### 1.4.3 make 编译项目

```
make clean 清除原有临时文件
make       重新生成所有文件
```

### 1.4.4 测试可执行文件

```
# loadb 输入命令
超级终端菜单 -> 传送 -> 发送文件 -> 选择文件 + Kermit协议 -> 点击发送

# go 0x21000000
之后观察 LED1 灯亮的现象
```



## 第 2 章

# 芯片手册导读

### 2.1 内部结构框图

如何阅读芯片手册，是很多初学者需要面临和解决的问题，但大部分人都会感到难以入手不知所措。除了数据手册一般都全部采用英文书写所带来的困难之外，更多的困难还在于不知道如何去阅读相关章节，不知道哪些是真正重要的或者哪些是无关紧要的内容。

我们以 S5PV210 芯片数据手册为例，给大家讲解一下应该如何阅读芯片手册。这本手册大约有2000多页，如果能够把握住其中的内容，则阅读其他手册也应该没有障碍。

#### 2.1.1 S5PV210 芯片数据手册目录结构

```
一、 Overview
1. overview
block diagram
2. memory map
System Memory Map
SFRs (Special Function Register)
0xE0000000 - 0xFB6FFFFF (max-512M)
真实的存储容量：寄存器的个数 * 4bytes
以串口为例：15个 * 4组 = 60个 * 50 = 3K * 4 = 12K
3. ball map
pin assignment
signal description
UART-RxD0/TxD0 CTS0/RTS0
二、 System
1. GPIO
2. Clock
3. Power
4. boot sequence
三、 Bus
1. AXI/AHB
四、 Interrupt
1. Vectored Interrupt Controller
五、 Memory
1. DRAM => DDR memeory
2. SROM => SRAM + ROM(Nor Flash)
3. OneNand
4. Nand
```

5. Compact Flash  
 六、DMA  
 1. DMA Controller  
 七、Timer  
 1. PWM Timer  
 2. System Timer  
 3. Watchdog Timer  
 4. RTC  
 八、Connectivity  
 1. UART  
 2. IIC-bus  
 3. SPI (serial peripheral interface)  
 4. USB Host  
 5. USB OTG  
 6. SD/MMC  
 九、Multimedia  
 1. LCD  
 2. CAM  
 3. G3D  
 4. CODEC  
 5. TVOUT  
 6. VIDEO  
 7. MIXER  
 8. IMAGE ROTATOR  
 9. JPEG  
 10. G2D  
 十、AUDIO  
 1. IIS  
 2. AC97  
 3. PCM  
 4. ADC (TS)  
 5. KeyPad  
 十一、Security

### 2.1.2 S5PV210 Block Diagram 芯片内部结构框图

PRODUCT OVERVIEW  
 Block Diagram  
 CPU (运算) (控制)  
 BUS (地址/数据/控制)  
 Controllers (特殊功能寄存器)  
 Pin Assignment Diagram 管脚定义  
 SIGNAL DESCRIPTIONS 信号描述  
 SPECIAL REGISTERS (SFRs)  
 SYSTEM MANAGER  
 System Memory Map (系统内存映射)  
 $0x4000000 = 0x40M = 64M$   
 System Manager Registers (10+)  
 SFR  
 Name + Address + R/W + desc. + Reset Value  
 Bit-Field 位域  
 Timing 时序图  
 Controller 控制器

OVERVIEW 综述  
 Block Diagram 框图  
 SPECIAL REGISTERS 特殊功能寄存器  
 Timing 时序图

### 2.1.3 芯片手册的一般结构

CORE - Cortex-A8  
 ALU (运算器)  
 Regs (通用寄存器)  
 MMU  
 CACHE  
 BUS  
 片内 - 地址线32bit  
 片外 - 地址线取决于BANK的大小  
 iRAM (SRAM)  
 iROM  
 Peripheral Controllers  
 Memory cont.  
 GPIO cont.  
 UART cont.  
 USB cont.  
 IIC cont.  
 SD cont.  
 SPI cont.  
 DMA cont.  
 Interrupt cont.  
 G3D, G2D  
 HDMI  
 CAMERA  
 TVOUT  
 IMAGE ROTATOR  
 JPEG

### 2.1.4 芯片手册应该怎样阅读？

Overview  
 CHIP Block Diagram, MemoryMap,  
 Pin Assignment, Signal Description  
 SFRs (how many, address range)  
 Controllers (how many)  
 System  
 Clock (BUS), Power  
 Boot Sequence (启动/引导流程)  
 GPIO  
 Device  
 UART  
 NandFlash  
 Memory (DDR)

DMA  
Interrupt  
PWM Timer  
LCD + TS  
AUDIO  
DM9000  
SD  
Security

## 2.2 存储管理和地址映射

### 2.2.1 存储器件

对于一个SoC芯片，最重要的认识莫过于了解它所能支持的存储器件和地址空间。这对于任何一个SoC芯片而言，都应该放在精读内容的首位。

存储器件主要包括以下这些，了解和掌握它们的接口和存储特性，是做嵌入式底层开发人员所必须掌握的理论知识。

1) 片内的 RAM  
iRAM - SRAM  
2) 片外的 RAM  
SRAM  
SDRAM  
DDR SDRAM  
3) 片内的 ROM  
iROM  
4) 片外的 ROM  
Nor Flash  
Nand Flash  
OneNand Flash

### 2.2.2 地址空间

地址空间主要是指32位地址线 0-4G 所对应（也可称为映射）的存储器件和访问方法（如何读写）。

0 地址 - 加电后运行的第一条指令  
片内RAM - 可以无需初始化直接使用的存储  
SFR - 特殊功能寄存器的地址范围  
SDRAM - 程序通过bootloader命令可以下载到的地址  
虚地址 - 使能MMU之后的虚拟地址

### 2.2.3 Memory Map 存储映射

存储映射这个概念是本节最重要的知识，以 S5PV210 芯片为例，了解并掌握它的映射情况。



```

Boot Area: 0x0 - 0x20000000 =512M
Mirrored region depending on boot mode

DRAM0: 0x20000000 - 0x3FFFFFFF:  $2^{29} = 512\text{M}$ 
DRAM1: 0x40000000 - 0x7FFFFFFF: =1G
SFR: 0xE0000000 - 0xFFFFFFFF: =512M
iROM: 0xD0000000 - 0xD0010000: =64K
iRAM: 0xD0020000 - 0xD0038000: =96K ( $0x18=24*0x1000$ )

```

思考问题：根据上述地址映射，对不同地址进行的访问，会引发底层硬件产生何种响应？

```

*(int *)0x00000000 : it depends
*(int *)0x21000000 : DRAM
*(int *)0xE0200280 : GPIO SFR
*(int *)0xE2900000 : UART SFR

```

## 2.3 特殊功能寄存器

特殊功能寄存器(Special Function Register)是在 SoC 芯片内部的一个重要组成部分，区别于 ARM 内核的 R0-R15 这样的寄存器，这些寄存器本质上和片内的 SRAM 一样，按地址访问，掉电以后值会丢失，无需初始化直接可以访问这样一些特性。

从逻辑结构上看，所有对特殊功能寄存器(以下简称 SFRs)的访问操作的实现，都对应到不同的外设控制器上。访问指令本质上和对外部存储器的读写一样，都是通过LDR和STR汇编指令来实现的。

### 2.3.1 关于内核，控制器，总线和外设之间的关系

```

内核 : Cortex-A8 (CORE)
寄存器 Regs (R0-R15, CPSR)
指令集 Ins (add/sub, ldr/str)
总线 (访存指令)
地址概念 :
cpu : 32bit ldr r0, [r1] (r1:addr)
1)SRAM:
2)SFR:
-----
3)DDR:
4)Device internal memory:
总线概念 :
片内总线
地址线-32bit 由 地址寄存器的字节数 决定
片外总线
地址线-29bit 由 设计cpu时, 外接的单个存储器件的最大容量 决定
内存控制器
通过把 32bit 的最大访存范围, 分割为若干个 bank 来进行统一访问
外设控制器概念 :
外设 = 可见(接插件/关联芯片/连接线) + 不可见(外设控制器)
外设控制器 = 寄存器接口 <---- 黑匣子(类似函数库.o) ----> 外设工作的时序图
总结关系 :
都是涉及到裸板驱动 (无操作系统/无MMU参与)

```

本质上除了运算之外，都是变成为对地址的读写  
C语言的指针，在本阶段，占一个很重要的角色。

### 2.3.2 特殊功能寄存器的设置

所有我们设置的SFR，都应该和外设控制器内部的工作逻辑有关。因此了解Controller的工作方式和内在逻辑，是我们能够得以正确配置这些寄存器的正确路径。

每一个 controllers 都有一批自己的寄存器，通过读写操作就可以用来进行软件编程和控制。

Register Name

全大写，未来用来宏定义的，前面部分是这个Controller的缩写，后面部分就是它的功能)

CON - control 控制

STAT - status 状态

DAT - data 数据

MOD - mode 模式

FIFO - fifo 缓冲寄存器

CFG - config 配置

CNT - counter 计数

TXH - transmit Holder 发送缓冲

RXH - receive Holder 接收缓冲

BRDIV - baud divisor 波特率分频因子

Register Address

这个地址，是在写代码的时候，所对应操作的寄存器的唯一标识。  
名字只是用来帮助记忆的，不是内部标识，也不是用来给编译器的。

定义举例

```
#define PRO_ID (*(volatile unsigned int *)0xE0000000)
```

volatile 关键词的作用

<http://learn.akae.cn/media/index.html>

<http://learn.akae.cn/media/ch19s06.html>

写法要点：

强制类型转换，1个括号

防止优先级结合问题，1个括号

unsigned 无符号类型，防止右移问题

int 类型对应4个字节，依据手册决定是否换为 char 类型

## 2.4 时序图

### 2.4.1 基本概念

#### 时序图的基本概念

时序图是芯片与芯片之间进行数据通信所需要遵循的一种协议。通过时序图能够直观的看出，不同的芯片引脚在时间轴上的不同时刻所呈现出来的高低电平的变换，这些引脚中，有的代表地址信息，有的代表数据信息，有的代表控制信息，它们出现的先后顺序是有严格的时间参数规定的，这称为 Timing 。

芯片手册里的时序图一般都会列出其中关键的时间参数名称，在手册中都可以查到这些时间参数的具体要求。

min - 最小值  
max - 最大值  
typical - 典型值

[Timing Table]



## 第 3 章

# GPIO 控制器

### 3.1 控制器内部结构

GPIO Controller  
how many pin  
pin number, pin name, pin mux functional  
device <-> GPIO (LED1 -> GPJ2\_0) 原理图  
GPIO SFRs  
Set mux function  
控制寄存器 GPXCON  
Set pin value  
数据寄存器 GPXDAT  
Set interrupt function  
中断寄存器 ...

### 3.2 GPIO 输出引脚

General Purpose Input/Output (p92–p352)

1) 237 multi-functional input/output port pins  
34 general port groups  
2) GPIO <---> peripheral controller (signal mux)  
3) GPIO Block Diagram  
APB bus (addr + data) \*(int \*)0xE0000000 = 0x1234;  
Register File (GPIO SFRs)  
Mux Control (functional)  
Interrupt Control (Interrupt cont.)  
4) Pin Mux Description  
pin name -> GPIO name  
default function

### 3.3 GPIO 特殊功能寄存器

```

GPIO REGISTER DESCRIPTION
addr range: 0xE020_0000 - 0xE020_0F80
Reg1: GPA0CON: GPA0 + CON (control)
bit-field name: GPA0CON[7] -> GPA0_7
field width: [31:28]
GPA0_7 pin setting:
input: 0000
output: 0001
UART_1: 0010
INT: 1111

Reg2: GPA0DAT
bit-field: [7:0]
when input: the pin state(high-level:1 low-level:0)
when output: set bit 1, output high-level
when functional: leave this pin to peripheral controller

Reg3: GPA0PUD
Pull-up
Pull-down
00 = Pull-up/down disabled
01 = Pull-down enabled
10 = Pull-up enabled
11 = Reserved

Reg4: GPA0_INT_CON
Sets the signaling method
000 = Low level
001 = High level
010 = Falling edge triggered
011 = Rising edge triggered
100 = Both edge triggered
101 ~ 111 = Reserved

Reg5: GPA0_INT_MASK
Enables Interrupt / Masked
0 = Enables Interrupt
1 = Masked

Reg6: GPA0_INT_PEND
Interrupt occur status
0 = Not occur
1 = Occur interrupt

```

### 3.4 GPIO 驱动代码实现

### 3.4.1 汇编程序

```
TAB
AREA led
CODE, DATA
READONLY
label
instruction...
END
```

### 3.4.2 ARM汇编的延时函数

```
主程序中
bl delay
...

delay
ldr r0, =0x10000000
go_on
sub r0, r0, #1
cmp r0, #0
bne go_on

mov pc, lr
```

### 3.4.3 立即数的表示

mov 操作, #后面跟着的数字是立即数, 会写入指令中  
有效位不超过8位, 同时通过循环右移偶数位得到  
1 0000 0010 = 0x102  
10 0000 0100 = 0x204

### 3.4.4 连接开发板

```
启动超级终端 hypertrm (.exe)
选择 COM1 (pc)
修改波特率为 115200
修改流控制为 无 (none) (影响输入)
连接之后, 输入 help
如果发现有输出但无法输入, 留意 Scroll Lock 是否被误按

# loadb 输入命令
超级终端菜单 -> 传送 -> 发送文件
-> 选择文件 + Kermit协议 -> 点击发送
# go 0x21000000
之后观察 LED1 灯亮啦
```

### 3.4.5 led.c 参考代码实现

```
// led.c
#define GPJ2CON (*(volatile unsigned int *)0xE0200280)
#define GPJ2DAT (*(volatile unsigned int *)0xE0200284)

void led_init(void)
{
    // LED1-4: GPJ2_0, ... GPJ2_3
    // 0001 0001 0001 0001 = output
    GPJ2CON &= ~0xFFFF;
    GPJ2CON |= 0x1111;

    return;
}

void led_on(void)
{
    // set bit 0 -> led on
    GPJ2DAT &= ~0xF;

    return;
}

void led_off(void)
{
    // set bit 1 -> led off
    GPJ2DAT |= 0xF;

    return;
}
```

### 3.4.6 button.c 参考代码实现

```
// button.c
#define GPH2CON (*(volatile unsigned int *)0xE0200C40)
#define GPH2DAT (*(volatile unsigned int *)0xE0200C44)

void button_init(void)
{
    // K1 - K4 (see mother board)
    // GPH2_0 - GPH2_3
    // GPH2CON[0] [3:0] 0000 = Input
    // ...
    // GPH2CON[3] [15:12] 0000 = Input
    GPH2CON &= ~0xFFFF;

    return;
}

int button_is_down(int which)
{

```



```
// button down -> DAT = 0
int index = which - 1;

if ((GPH2DAT & (1<<index)) == 0)
return 1;

return 0;
}
```

### 3.4.7 buzzer.c 参考代码实现

```
// buzzer.c
#define GPD0CON (*(volatile unsigned int *)0xE02000A0)
#define GPD0DAT (*(volatile unsigned int *)0xE02000A4)

void buzzer_init(void)
{
// buzzer GPD0CON
// [0] SET 1
GPD0CON |= 1<<0;

return;
}

void buzzer_on(void)
{
// set bit 1 -> buzzer on
GPD0DAT |= 1<<0;

return;
}

void buzzer_off(void)
{
// set bit 0 -> buzzer off
GPD0DAT &= ~(1<<0);

return;
}
```



## 第 4 章

# CLOCK 时钟管理

### 4.1 时钟发生器

#### 4.1.1 时钟源的周期换算关系

24Mhz 输入时钟  
 $10^{-3}$  毫秒  $10^{-6}$  微秒  $10^{-9}$  纳秒  
1Khz  $10^3$  1Mhz  $10^6$  1Ghz  $10^9$   
1Ghz -> 1纳秒  
100Mhz -> 10纳秒

#### 4.1.2 Clock Controller 时钟控制器 (p353-p417)

CMU: Clock Management Unit  
总线频率  
MSYS: Main (200Mhz-100Mhz)  
Cortex A8 Core  
DRAM controller  
DSYS: Display (166Mhz-83Mhz)  
JPEG  
PSYS: Peripheral (133Mhz-66Mhz)  
UART  
AC97  
PWM Timer  
GPIO  
  
Clock Generator 时钟发生器  
S5PV210 Top-Level Clocks  
XXTI - 24Mhz --> (4 PLLS's input)  
XrtcXTI - 32.768Khz  
4 PLLs (APLL, MPLL, VPLL, EPLL)  
Phase Locked Loop 锁相环 (倍频)

### 4.2 时钟输出频率

### 4.2.1 时钟输出

```

MSYS clock domain (H->HighPerformance P->Peripheral)
AHB / APB
freq(ARMCLK) = 1000Mhz 1000M/1
freq(HCLK_MSYS) = 200Mhz ARMCLK/5
freq(PCLK_MSYS) = 100Mhz HCLK_M/2
freq(HCLK_IMEM) = 100Mhz HCLK_M/2

DSYS clock domain
freq(HCLK_DSYS) = 166Mhz
freq(PCLK_DSYS) = 83Mhz HCLK_D/2

PSYS clock domain
freq(HCLK_PSYS) = 133Mhz
freq(PCLK_PSYS) = 66Mhz HCLK_P/2
freq(SCLK_ONENAND) = 133M/166Mhz

PLL PMS setting

```

## 4.3 锁相环和分频器

### 4.3.1 锁相环 PLL

```

PLL: Fin -> Fout 倍频 XPLL_CON
MUX: 0/1 选择器 SRC选择源 CLK_SRC
DIV: /2-16 分频器 DIV CLK_DIV

REGISTER DESCRIPTION
OM[0]: cpu pin OM[0]=0, XXTI=24M
Fin_PLL: 24Mhz
APLL: APLL_CON: e0100100: 0xa07d0301 => 1000Mhz

```

### 4.3.2 分频器 Divider

```

Mux_APLL: CLK_SRC0, 0xe0100200: 10001111 [0]=> 1
Mux_MSYS: CLK_SRC0, 0xe0100200: 10001111 [16]=> 0
DIV_APLL: CLK_DIV0, 0xE0100300: 14131440 [2:0]=> 0 = /1
DIV_APLL: CLK_DIV0, 0xE0100300: 14131440 [10:8]=> 100 = /5

```

### 4.3.3 举例: UART 串口时钟 PCLK\_PSYS 的生成过程

```

Mux_PSYS: CLK_SRC0, 0xe0100200: 10001111 [24]=>0 Fout_mpll

```

```

MPLL: MPLL_CON: 0xa29b0c01 => 667Mhz (p358)
Equation to calculate the output frequency:
FOUT = MDIV X FIN / (PDIV X 2^SDIV)
Fout = (0x29b)*24M/(12 * 2^1) = 667Mhz
Mux_MPLL: CLK_SRC0, 0xe0100200: 10001111 [4]=> 1 Fout_mpll

DIV_HCLKP: CLK_DIV0, 0xE0100300: 14131440 [27:24]=> 0100 = /5
DIV_PCLKP: CLK_DIV0, 0xE0100300: 14131440 [30:28]=> 001 = /2

```

## 4.4 时钟驱动代码实现

### 4.4.1 举例: UART 串口时钟 PCLK\_PSYS 的生成过程

```

Mux_PSYS: CLK_SRC0, 0xe0100200: 10001111 [24]=>0 Fout_mpll

MPLL: MPLL_CON: 0xa29b0c01 => 667Mhz (p358)
Equation to calculate the output frequency:
FOUT = MDIV X FIN / (PDIV X 2^SDIV)
Fout = (0x29b)*24M/(12 * 2^1) = 667Mhz
Mux_MPLL: CLK_SRC0, 0xe0100200: 10001111 [4]=> 1 Fout_mpll

DIV_HCLKP: CLK_DIV0, 0xE0100300: 14131440 [27:24]=> 0100 = /5
DIV_PCLKP: CLK_DIV0, 0xE0100300: 14131440 [30:28]=> 001 = /2

```



## 第 5 章

# UART 控制器

### 5.1 串口的硬件连接 (硬件原理图)

COM0 接口 DB9 九针公头  
pin2: RSRXD0  
pin3: RSTXD0  
pin5: GND  
通过 TxD 发送字符 (以字节为单位 5-8bits)  
通过 RxD 接收字符 (以字节为单位 5-8bits)

RS232 电平: -15v->+15v (+15v-逻辑0, -15v-逻辑1)  
TTL 电平: 0->+5v (0-逻辑0, 5v-逻辑1)  
逻辑电平的转换: MAX3232 (美信芯片)

查看 MAX3232 芯片+核心板原理图可得  
RSTXD0 <- XuTxD0 -- TINY1B B7 -- XuTxD0/GPA0\_1  
RSRXD0 -> XuRxD0 -- TINY1B B8 -- XuRXD0/GPA0\_0

结论: GPA0 管理了 UART 的 Txd/Rxd 两个引脚

### 5.2 串口的管脚功能复用

参考 S5PV210芯片手册 GPA0 Mux Function 查看 GPA0[0] GPA0[1], 确认了 UART 的复用功能 查看 GPA0CON 寄存器, 了解如何设置 (0010) GPA0CON : 地址 0xe0200000 [FriendlyLEG-TINY210]# md 0xe0200000 e0200000: 22222222 000000ab 00005555 00000000  
“ ” ” ” ...UU..... e0200010: 00000000 00000000 00005555 00000000 .....UU.....

[FriendlyLEG-TINY210]# mw 0xe0200000 0x22222202

结论: RXD 影响接收, TXD 影响发送  
RTS和CTS对发送和接收暂时无影响 (无流控制)

## 5.3 串口时序图

Timing:  
 空闲状态 high-level  
 起始位 start bit - 1 bit  
 数据位 data bit - 8bit  
 奇偶校验 odd/even Parity (无)  
 停止位 stop bit - 1 bit

## 5.4 串口控制器功能

UART Controller (p853-p882) 类似是一个函数, 需要了解它的->输入, 输出, 如何实现  
 1. 输出: Timing (串行通信实现时序图) Serial I/O Frame Timing Diagram (Normal UART) ->p860  
 2. 输入: SFR (串口控制器的寄存器) REGISTER DESCRIPTION ->p864  
 3. 实现: Block Diagram (结构框图) Block Diagram of UART ->p854  
 ## 串口控制器结构  
 Block Diagram: Peripheral Bus 外设总线 (int)SFR\_ADDR = value; Control Unit 控制单元  
 Control Regs Baud-Rate Generator 波特率发生器 Clock Source 时钟源 (66M)  
 Transmitter 发送器 Transmit shift 发送移位器 Transmit buffer 发送队列FIFO缓冲器  
 Receiver 接收器 Receiver shift 接收移位器

## 5.5 串口的寄存器 SFR:

15 Regs Register Address

控制类 6个

ULCON0 0xE290\_0000  
 UCON0 0xE290\_0004  
 UFCON0 0xE290\_0008  
 UMCN0 0xE290\_000C  
 UBRDIV0 0xE290\_0028  
 UDIVSL0T0 0xE290\_002C

状态类 4个

UTRSTAT0 0xE290\_0010  
 UERSTAT0 0xE290\_0014  
 UFSTAT0 0xE290\_0018  
 UMSTAT0 0xE290\_001C

数据类 2个

UTXH0 0xE290\_0020  
 URXH0 0xE290\_0024

中断类 3个

UINTP0 0xE290\_0030  
 UINTSP0 0xE290\_0034  
 UINTM0 0xE290\_0038



## 5.6 查看 uboot 对串口的设置

```
[FriendlyLEG-TINY210]# md 0xe2900000
e2900000: 00000003 00000245 00000000 00000000 .....E.....
e2900010: 00000000 00000000 00010000 00000010 .....
e2900020: 00000000 0000000d 00000023 00000808 .....#.
e2900030: 00000005 00000005 00000000 00000000 .....
e2900040: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
e2900050: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
e2900060: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
e2900070: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
e2900080: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
e2900090: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

```
ULCON0 0xE290_0000 00000003
UCON0 0xE290_0004 00000245
UFCON0 0xE290_0008 0
UMCON0 0xE290_000C 0
UBRDIV0 0xE290_0028 00000023
UDIVSLOT0 0xE290_002C 00000808
```

其中 FIFO control & Modem control 可以不用设置

Timing setting

ULCON0 0x3

data bit: 8bit

stop bit: 1bit

parity: none

UCON0 0x245

enable Transmit & Receive MODE: 01 01 (INT&Polling)

interrupt: disable

dma: disable

CLOCK setting

UCON0 00: PCLK (66M)

--> 115200 bps (bit/second)

--> 波特率并不是串口控制器的工作频率，串口控制器在接收采样时，是波特率的16倍

66Mhz = 66000000hz

分频因子 = 66000000 / (115200\*16) - 1

(分频因子 + 1) = PCLK/(bps\*16)

UBRDIV0: 0x23 = (66000000)/(115200\*16)-1= 35

UDIVSLOT0:

## 5.7 uart.c 参考代码实现

```
// uart.c
#define ULCON0 (*(volatile unsigned int *)0xE2900000)
#define UCON0 (*(volatile unsigned int *)0xE2900004)
```

```

#define UTRSTAT0 (*(volatile unsigned int *)0xE2900010)
#define UTXH0 (*(volatile unsigned char *)0xE2900020)
#define URXH0 (*(volatile unsigned char *)0xE2900024)
#define UBRDIV0 (*(volatile unsigned int *)0xE2900028)
#define UDIVSLOT0 (*(volatile unsigned int *)0xE290002C)

void uart_init(void)
{
    // 66Mhz / (115200*16) - 1 = 0x23
    // 66Mhz / (19200*16) - 1 = 0xD5
    //UBRDIV0 = 0xD5;
    return;
}

char uart_getchar(void)
{
    char c;
    // polling receive status: if buffer is full
    //while ((UTRSTAT0 & (1<<0)) == 0)
    while (!(UTRSTAT0 & (1<<0)))
        ;

    c = URXH0;

    return c;
}

void uart_putchar(char c)
{
    // polling transmit status: if buffer is empty
    //while ((UTRSTAT0 & (1<<2)) == 0)
    while (!(UTRSTAT0 & (1<<2)))
        ;

    UTXH0 = c;

    return;
}

```

## 5.8 uart.h 参考代码实现

```

// uart.h
void uart_init(void);

char uart_getchar(void);

void uart_putchar(char c);

```

## 第 6 章

# SDRAM 控制器

### 6.1 DDR SDRAM 硬件连接情况 (原理图)

Memory Summary (p4)

DDR SDRAM (p8)

行地址：14

列地址：？

DDR DRAM 的内部结构（容量）

数据线 8bit \* 4chip = 32bit data bus

地址线 14根

内部分 8 bank, 每个bank=64M

0-64M: 0x4000000

100 000...000 (24-0)

64M-128M:

200 000...000 (24-0)

128-192M:

300 000...000 (24-0)

000

111

bank0, bank1, bank2

26根-64M/bank

行地址：14根

列地址：10根

-----

24根 + (A0, A1 -- GND)

CPU:

512M =  $2^{29}$

29根地址线 (A0-A28)

A28, A27, A26 : BA2, BA1, BA0

A25-A12: 行地址 14根

A11-A2: 列地址 10根

A1, A0, - GND

## 6.2 SDRAM 管脚功能复用

## 6.3 SDRAM 时序图

Timing:

## 6.4 SDRAM 控制器结构

## 6.5 DDR 寄存器配置

```
[FriendlyLEG-TINY210]# md 0xF0000000
f0000000: 0ff02330 00202400 20e00323 00e00323 0#...$ .#.. #...
f0000010: 00110400 ff000000 79101003 00000086 .....y....
f0000020: 00000000 00000000 ffff00ff 00000000 .....
f0000030: 00000618 2b34438a 24240000 0bdc0343 .....C4+...$$C...
f0000040: 00001db7 00000000 60000000 00000000 .....`.....
f0000050: 000005b2 00000000 00000000 00000000 .....
f0000060: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
f0000070: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
f0000080: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
f0000090: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
f00000a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
f00000b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

DDR 寄存器配置参数

data width: 32bit

row address bit: 14bit

col address bit: 10bit

memory type: DDR2

number of banks: 8banks (DDR chip)

Average Periodic Refresh Interval: 0x618

7.8us \* 200Mhz = 1560 = 0x618

7.8us : 刷新周期

Timing 时间参数

...

## 6.6 SDRAM 驱动代码实现

## 6.7 课后作业:

- 1) 修改 `uart_init`, 把波特率改为 19200
  - 2) 修改 时钟发生器, 把 PCLK 输出改为 33M, 波特率重新计算 115200
  - 3) 实现 `puts("hello, world");` 输出 "hello, world"
- 实现 实现 `putchar_hex('a')` 十六进制, 输出 0x61

目的: 了解 \n换行 \r回车 之间的差别

4) 修改 DRAM Controller,  
把 col address 的宽度改为 9bit  
把 data bit 的32bit 改为 8bit  
用上述 putchar\_hex 输出接口, 观察读取DDR内存单元的数值变化



## 第 7 章

# NandFlash 控制器

### 7.1 K9F2G08 芯片

48-pin TSOP1 封装  
NC - No Connect 不连接, 留待扩展 (25pin NC)

### 7.2 NandFlash 管脚功能复用

Signal Desc.  
IO[7:0]: 无地址线, 也无数据线, 只有IO线 (IO0-IO7)  
CLE: 命令锁存使能  
ALE: 地址锁存使能  
nCE: 芯片使能 (片选)  
nRE: 读使能  
nWE: 写使能  
nWP: 写保护  
R/nB: 就绪/忙 信号

### 7.3 Nand Flash Timing 时序

READ ID Timing (p31)  
CLE 命令周期 写1次 90h  
ALE 地址周期 写1次 00h  
DAT 数据周期 读5次 id = 0x EC DA 10 95 44

READ page Timing (p23)  
CLE 命令周期 写1次 00h  
ALE 地址周期 写5次  
CLE 命令周期 写1次 30h  
忙等待周期 R/nB 高有效  
数据周期 读2048次data + 64次ECC

## 7.4 NandFlash 控制器结构

## 7.5 Nand Flash Controller 控制器寄存器

SFR 特殊功能寄存器 (部分)

控制类

NFCONF 0xB0E00000

NFCONT 0xB0E00004

NFCMMD 0xB0E00008 [7:0] 命令

NFADDR 0xB0E0000C [7:0] 地址

数据类

NFDATA 0xB0E00010 [31:0] 数据

状态类

NFSTAT 0xB0E00028

## 7.6 初始化配置

```
mw 0xe0200320 0x22222222
```

```
mw 0xb0e00000 0x00006552
```

```
mw 0xb0e00004 0x00c100c5
```

```
mw 0xb0e00008 0x90
```

```
mw 0xb0e0000c 0x00
```

```
md 0xb0e00010
```

GPIO 功能复用设置为 NF signal

ALE: MP0\_3[1]

CLE: MP0\_3[0]

MP0\_3CON Address = 0xE020\_0320

```
mw 0xe0200320 0x22222222
```

NFCONF 0x00001000 -> 0x00006552

NAND clock = 133M (p363-NFCON) -> 7.5ns (1 clock)

Nand Timing (k9f2g08.pdf - p13)

```
mw 0xb0e00000 0x00006552
```

NFCONT 0x00c100c6 -> 0x00c100c5

```
mw 0xb0e00004 0x00c100c5
```

NFCMMD:

```
mw 0xb0e00008 0x90
```

NFADDR:

```
mw 0xb0e0000c 0x00
```

NFDATA:

```
md 0xb0e00010
```



## 7.7 NandFlash 驱动代码实现

### 7.7.1 nand.c 参考代码实现

```
// nand.c
#define NCONF (*(volatile unsigned int *)0xB0E00000)
#define NCONT (*(volatile unsigned int *)0xB0E00004)
#define NFCMMD (*(volatile unsigned char *)0xB0E00008)
#define NFADDR (*(volatile unsigned char *)0xB0E0000C)
#define NFDATA (*(volatile unsigned char *)0xB0E00010)
#define NFSTAT (*(volatile unsigned int *)0xB0E00028)

#define MP0_3CON (*(volatile unsigned int *)0xE0200320)

#define PAGE_SIZE 2048

void nand_init(void)
{
    // [15:12] TACLS = 1 -> (1) 1/133Mhz = 7.5ns
    // [11:8] TWRPH0 = 1 -> (1+1) 7.5ns * 2 = 15ns
    // [7:4] TWRPH1 = 1 -> (1+1) 7.5ns * 2 = 15ns
    NCONF |= 1<<12 | 1<<8 | 1<<4;

    // AddrCycle [1] 1 = 5 address cycle
    NCONF |= 1<<1;

    // MODE [0] NAND Flash controller operating mode
    // 0 = Disable NAND Flash Controller
    // *1 = Enable NAND Flash Controller
    NCONT |= 1<<0;

    // Reg_nCE0 [1] NAND Flash Memory nRCS[0] signal control
    // *0 = Force nRCS[0] to low (Enable chip select)
    // 1 = Force nRCS[0] to High (Disable chip select)
    NCONT &= ~(1<<1);

    // GPIO functional mux setting
    // 0010 = NF_xxx
    MP0_3CON = 0x22222222;

    return;
}

void nand_read_id(char id[])
{
    int i;

    // write read_id cmd 90h
    NFCMMD = 0x90;

    // write address 00h
    NFADDR = 0x00;

    for (i = 0; i < 5; i++)
```

```

id[i] = NFDATA;

return;
}

void nand_read_page(int addr, char buf[])
{
    int i;
    char tmp;

    // write read_page cmd 00h
    NFCMMD = 0x00;

    // write 5 address
    NFADDR = (addr>>0) & 0xFF;
    NFADDR = (addr>>8) & 0xFF;
    NFADDR = (addr>>16) & 0xFF;
    NFADDR = (addr>>24) & 0xFF;
    NFADDR = (addr>>32) & 0xFF;

    // write read_page cmd 30h
    NFCMMD = 0x30;

    // wait for R/nB -> Ready
    while ((NFSTAT & (1<<0)) == 0)
        ;

    // read data 2048 bytes
    for (i = 0; i < PAGE_SIZE; i++)
        buf[i] = NFDATA;

    for (i = 0; i < 64; i++)
        tmp = NFDATA;

    return;
}

void nand_read(int nand_addr, char * sdram_addr, int size)
{
    int pages = (size - 1)/PAGE_SIZE + 1;
    int i;

    for (i = 0; i < pages; i++)
        nand_read_page(nand_addr + i*PAGE_SIZE, sdram_addr + i*PAGE_SIZE);

    return;
}

```

### 7.7.2 nand.h 参考代码实现

```

// nand.h
void nand_init(void);

```

```

void nand_read_id(char id[]);

void nand_read_page(int addr, char buf[]);

void nand_read(int nand_addr, char * sdram_addr, int size);

```

### 7.7.3 思考问题：如何访问 Flash 0地址

1. 软件上访问 应该是 计算出 0 地址所在的 page + block

```

NFCMMD = 0x00;
NFADDR = 0x0;
NFADDR = 0x0;
NFADDR = 0x0;
NFADDR = 0x0;
NFADDR = 0x0;
NFADDR = 0x0;
NFCMMD = 0x30;
wait R/nB;
read NFDATA 2048;

```

2. 硬件上

```

NFCMMD = 0x00; -> CLE 使能/ALE 禁止, IO[7:0] = 0x00;
NFADDR = 0x0; -> ALE 使能/CLE 禁止, IO[7:0] = 0x00;
NFADDR = 0x0; -> ALE 使能/CLE 禁止, IO[7:0] = 0x00;
NFADDR = 0x0; -> ALE 使能/CLE 禁止, IO[7:0] = 0x00;
NFADDR = 0x0; -> ALE 使能/CLE 禁止, IO[7:0] = 0x00;
NFADDR = 0x0; -> ALE 使能/CLE 禁止, IO[7:0] = 0x00;
NFCMMD = 0x00; -> CLE 使能/ALE 禁止, IO[7:0] = 0x30;
read NFSTAT; -> R/nB 线会设置 STAT 寄存器 0 位
read NFDATA; -> nRE 使能, CLE/ALE 禁止, IO[7:0] => NFDATA 中

```



## 第 8 章

# Exception 异常处理

### 8.1 异常相关基本概念

#### 8.1.1 ARM 的工作模式有几种？各是哪些？

7种  
USR: helloworld (非特权->MSR不允许执行)  
SYS: kernel (2种非异常模式)  
-----  
SVC: reset加电 (5种异常模式)  
IRQ: EINT0 key  
FIQ: EINT0 key + MODE(REG)  
ABT: Memory Fault  
UND: execute undefine ins.

#### 8.1.2 ARM 的寄存器有多少？各是哪些？

37个 = 31 通用 + 6 状态  
R0-R7: 未分组 (8个)  
R8-R12: 分组 (10个=5\*2组 FIQ/~FIQ)  
R13-R14: 分组 (12个=2\*6组 5异常+1非异常)  
R13: SP (stack pointer) 压栈/出栈  
R14: LR (Link Register) BL/异常发生后保存PC  
R15: 程序计数器 (1个)  
R15: PC (Program Counter) 流水线 +8  
-----  
CPSR: 程序状态寄存器 (1个)  
SPSR: 备份的状态寄存器 (5个-5种异常)

#### 8.1.3 ARM 的异常有几种？各是哪些？

7种

复位异常  
 数据访问中止  
 快速中断  
 快速中断  
 普通中断  
 指令预取中止  
 软件中断：SWI  
 未定义指令异常：什么样的指令是未定义？

## 8.2 异常向量表的实现

### 8.2.1 ARM 的异常向量表是指什么？有什么特点？

异常发生后的入口地址  
 从0开始的32字节，7种异常都有入口，0x14保留  
 向量一般情况下是指地址，但是异常向量表里面存放是指令  
 所有ARM内核的处理器都按上述方式工作  
 0x0: reset  
 0x8: swi  
 0x18: IRQ  
 0x1C: FIQ（放在最后，那么好处是可以省一条跳转）  
 里面存放的是跳转指令  
 跳转指令可以是 B（相对，有限）/ BL（不能）  
 还可以是 LDR（任意跳转）  
 B: 0xEA000000 + offset  
 LDR: 0xE59ff000 + offset

## 8.3 异常处理流程

### 8.3.1 ARM 的软中断异常发生后，硬件做何响应？

硬件要做6件事情，以发生SWI异常为例：

1. 保存 PC -> LR\_svc
2. 保存 CPSR -> SPSR\_svc
3. 修改 CPSR -> SVC mode
4. 修改 CPSR I-bit -> disable IRQ
5. 映射相应IRQ模式的寄存器
6. 修改 PC -> 0x8

### 8.3.2 cpu 内核跳转到 0x8 之后，软件需要做哪些工作？

软件要做以下工作：

1. 保存现场：r0-r12, r14 压栈  
 STMFD r13!, {r0-r12, r14}

```
2. 进入异常处理:  
BL swi_handler  
3. 恢复现场: r0-r12, pc 出栈  
A) LDMFD r13!, {r0-r12, pc}^  
B) LDMFD r13!, {r0-r12, r14}  
movs pc, lr  
将原来保存的 spsr 恢复给 CPSR
```

## 8.4 软中断异常代码实现





## 第 9 章

# Interrupt 控制器

### 9.1 中断相关基本概念

#### 9.1.1 异常和中断的概念区分

异常指的都是内核里面(Cortex-A8)发生的事情

例如：执行 swi 指令

中断指的都是板子上面(tiny210)发生的事情

例如：用户按下 K1 按键，

定时器Timer(不在板子上，但在芯片里)

联系在于？都有模式的切换，中断处理需要包含异常处理

异常模式包含(中断)异常模式

#### 9.1.2 中断处理的相关概念

中断源

属于 Controller (Samsung) + Board (tiny210)

中断控制器 Interrupt Controller

属于 Controller (Samsung)

中断模式的响应和恢复

属于 Cortex-A Core (ARM)

S3C4510 - ARM7TDMI

S3C2440 - ARM920T

S3C6410 - ARM1176

S5PV210 - Cortex A8

## 9.2 中断处理流程

### 9.2.1 哪些事情硬件做，哪些事情软件做？

1. 中断触发（用户/用户设置/外部数据）  
中断触发条件的初始化操作--软件有关
2. 中断响应（从当前位置跳转到 0x18）  
保存原来的模式和返回的地址--硬件有关
3. 中断发生后的(老的)现场保存和恢复  
压栈和出栈--软件有关
4. 中断返回  
恢复原来的模式和地址--软件有关
5. 中断标志位 SFR Pending bit  
pending bit 的设置--硬件有关（控制器寄存器PND）  
pending bit 的清除--软件有关（控制器寄存器PND）  
作用：识别中断源/调用相应的handler--软件有关(可以交给VIC实现)
6. 中断允许位 CPSR I-bit  
加电之后，I-bit 的初始状态是 关闭/禁止 的 (0xD3->0x53)  
MSR/MRS 可以允许使能--软件有关（内核寄存器CPSR）
7. IRQ发生 -> Pending bit -> I-bit enable -> 跳转  
(跳转之前，硬件会完成 disable I-bit，  
因此不再响应后继任何中断，直到软件恢复CPSR)
8. 在软件恢复CPSR(重新允许中断)之前，软件需要清除之前的pending bit(VIC+ADDR寄存器=0)

内核和处理器升级的过程，就是不断把原来软件的工作交给硬件来做。

中断的优先级

中断的处理程序 ISR -> 中断的向量表

### 9.2.2 如何跳转

IC VIC

```
-----
b irq_handler0 VectADDR -> PC
LDR pc, =irq_handler0 VIC interface(A31-A0)
-----
```

## 9.3 中断寄存器配置

### 9.3.1 中断相关寄存器的设计演变

IC IC Vectored IC ->

ARM7(4510) ARM9(2440) ARM11(6410) A8(210)

-----  
CPSR I-bit

内核 CPSR I-bit CPSR I-bit VIC Port(Enable)

```

(A8) VIC interface(PC)
-----
INTOFFSET VectADDRESS(32bit)
INTPRI Vectors(handlers)
INTMOD INTMOD Priority
中断 INTEND INTEND STATUS(PND) (IRQ/FIQ)
控制器 INTMSK INTMSK SELECT(MOD) IRQ/FIQ
(IC) SRCPND ENABLE(MSK)
RAWINTR(SRC)
-----
INTMSK
INTEND(clear)
EINTCON EINTCON EINTCON
中断源 (F/R/L) (F/R/L) (F/R/L)
控制器 GPXCON GPXCON GPXCON
(GPIO) (EINT) (EINT) (EINT)
-----
硬件层 Key/UART/USB/Timer

```

### 9.3.2 S5PV210 中断相关寄存器

```

中断源 GPIO Controller
GPH2CON[0] [3:0] 0000 = Input
0001 = Output
0010 = Reserved
0011 = KP_COL[0]
0011 ~ 1110 = Reserved
* 1111 = EXT_INT[16]

EXT_INT_2_CON[0] [2:0] Sets the signaling method of EXT_INT[16]
000 = Low level
001 = High level
* 010 = Falling edge triggered
011 = Rising edge triggered
100 = Both edge triggered
101 ~ 111 = Reserved

EXT_INT_2_MASK[0] [0]
* 0 = Enables Interrupt
1 = Masked

EXT_INT_2_PEND[0] [0] (R)
0 = Not occur
1 = Occur interrupt

向量中断控制器 Vectored Interrupt Controller
VIC0RAWINTR 0xF200_0008 R
Specifies the Raw Interrupt Status Register
RawInterrupt [31:0] Shows the status of the FIQ interrupts before masking by the
VICINTENABLE and VICINTSELECT Registers:
0 = Interrupt is inactive before masking
1 = Interrupt is active before masking

```

**VIC0INTENABLE** 0xF200\_0010 R/W  
 Specifies the Interrupt Enable Register  
 IntEnable [31:0] Enables the interrupt request lines  
 Write:  
 0 = No effect  
 1 = Enables Interrupt.

**VICINTNCLEAR**  
 IntEnable Clear  
 Write:  
 0 = No effect  
 1 = Disables Interrupt in VICINTENABLE Register.

**VIC0IRQSTATUS** 0xF200\_0000 R  
 Specifies the IRQ Status Register  
 IRQStatus [31:0] Shows the status of the interrupts after masking by the VICINTENABLE and VICINTSELECT Registers:  
 0 = Interrupt is inactive  
 1 = Interrupt is active.

**VIC0INTSELECT** 0xF200\_000C R/W  
 Specifies the Interrupt Select Register  
 IntSelect [31:0] Selects interrupt type for interrupt request:  
 0 = IRQ interrupt  
 1 = FIQ interrupt

**VIC0VECTADDR0** 0xF200\_0100 R/W  
 Specifies the Vector Address 0 Register  
 VICVECTADDR[0-31] Bit Description  
 VectorAddr 0-31 [31:0] Contains ISR vector addresses.

**VIC0VECTPRIORITY0** 0xF200\_0204 R/W  
 Specifies the Vector Priority 1 Register  
 VectPriority [3:0] Selects vectored interrupt priority level. You can select any of the 16 vectored interrupt priority levels by programming the register with the hexadecimal value of the priority level required, from 0-15.

**VIC0ADDRESS** 0xF200\_0F00 R/W  
 Specifies the Vector Address Register  
 VectAddr [31:0]  
 Contains the address of the currently active ISR

内核  
 CPSR I-bit  
 VIC Enable (p15)

## 9.4 硬件中断异常代码实现

### 9.4.1 实验验证结论：

第一阶段，观察 GPIO 控制器里面的 pending bit 设置情况

VIC0(IRQ/FIQ)STATUS 标识中断是否通过(IRQ/FIQ)  
 VIC0INTSELECT 选择IRQ还是FIQ  
 VIC0INTENABLE 使能中断通过  
 VIC0RAWINTR 通过 EXT\_INT\_2\_MASK 之后的情况  
 -----

EXT\_INT\_2\_MASK 中断 Mask bit  
 EXT\_INT\_2\_PEND 中断 Pending bit  
 EXT\_INT\_2\_CON 下降沿触发 Falling Edge  
 GPH2CON 管脚复用 EXT\_INT[16]

第二阶段，如何清除 pending bit ？

写1清除 pending bit

写0无效

第三阶段，观察中断控制器中的使能Enable和状态Status标识寄存器

使能 Enable 寄存器在 RAW 和 STATUS 之间

STATUS 寄存器的标识位无需软件清除，只要清除 PENDING 位，该状态位自动清 0

SELECT 寄存器决定该中断是 IRQ 还是 FIQ，从而硬件会设置不同的 STATUS 寄存器

第四阶段，如何打开 CPSR I-bit ？

通过 汇编 MSR (SVC: 0xD3 1101->0101 0x53->CPSR)

```
__asm
{
mov r0, #0x53
msr cpsr, r0
}
```

第五阶段，中断发生了之后怎么办？

接下来有2种处理办法：

A) 简单的办法就是使用 VIC 向量中断控制器的功能

1. 跳转的地址向量要提前设置好

2. 通知 ARM11 内核，启用 VIC Port 功能

紧接着的问题是，如何在执行完 beep 之后返回主程序？

原因：beep 程序不能作为 IRQ\_handler

真正的 IRQ\_handler 应该要完成

1) 保存cpu 现场 STMFd

2) 清除掉 Pending bit, 调用 beep

3) 恢复cpu 现场 LDMFD (lr-4)->PC SPSR->CPSR

修改 start.s , 实现 IRQ\_handler

1) IRQ 模式下的 sp 指针需要初始化

2) 除了清除pending bit 之外，还需要清除 VIC0ADDRESS = 0;

B) 复杂的办法就是不用 VIC , 自己实现全过程

1. 当 IRQ 异常发生的时候, cpu 跳转到 0x18

2. 背景知识：reset 0 地址被映射 map 到 iROM

0 地址 在 iROM 中 (0xD0000000)

iRAM (0xD0020000) -> 0x20000

0x18: 0xEA000018

最终在 iROM 中的程序(不可修改)会加载

0xD0037400 地址开始的值，作为异常发生后要跳转的地址+offset

3. (int)IRQ\_handler -> 0xD0037400 + 0x18

如果是 SWI 软件中断，则在 0xD0037408 处填写swi\_handler的地址

## 第 10 章

# PWM Timer 定时器

### 10.1 定时器工作原理

功能：计时，中断，PWM Timer（驱动PWM信号的设备）

原理：类似于以前的“沙漏”

沙漏的计时原理：沙子量，漏沙的速度，到时的反转(连续)

Timer：

沙子量：Counter的初值  
漏沙速度：counter--（自动完成，并且依据Clock=PCLK=66Mhz）  
反转：reload 操作（InitValue -> Counter）  
装沙子：Manual update

真正的硬件设计是怎样的？

TCNTBn - 用来装沙子的量筒，可以修改  
TCNTn - 真正用来做 counter--，不可修改，不可见  
TCNTOn - 可以用来观察 TCNTn 的值的变化的

### 10.2 定时器寄存器配置

Register Address  
TCFG0 0xE250\_0000 65  
PCLK = 66M 66000000 -> 分频  
Timer Input Clock Frequency =  $PCLK / ( \{prescaler\ value + 1 \} ) / \{divider\ value \}$   
{prescaler value} = 1~255  
{divider value} = 1, 2, 4, 8, 16, TCLK

```

66M/66(65+1) = 1M = 1000000

TCFG1  0xE250_0004  0100=0x4
1M/16 = 62500

TCON   0xE250_0008
*[3] Timer 0 Auto Reload on/off
0 = One-Shot
1 = Interval Mode(Auto-Reload)
[2] Timer 0 Output Inverter on/off
0 = Inverter Off
1 = TOUT_0 Inverter-On
*[1] Timer 0 Manual Update
0 = No Operation
1 = Update TCNTB0,TCMPB0
*[0] Timer 0 Start/Stop
0 = Stop
1 = Start Timer 0

TCNTB0 0xE250_000C
val = 62500 (=1s)

TCMPB0 0xE250_0010

TCNT00 0xE250_0014
read value -> TCNT0's value

TINT_CSTAT, R/W, Address = 0xE250_0044)
Interrupt Control and Status Register
Timer 0 Interrupt Status
[5] Timer 0 Interrupt Status Bit.
Clears by writing '1' on this bit.

Timer 0 interrupt Enable
[0] Enables Timer 0 Interrupt.
1 = Enables
0 = Disabled

```

## 10.3 定时器驱动代码实现

```

// init Timer
// step 0: setup clock TCFG0+TCFG1
// step 1: TCNTBn <- init value
// step 2: Set the manual update bit
// and clear only manual update bit
// enable auto-reload bit
// step 3: Set the start bit
// step 4: Enable interrupt

while (1)
{
    // polling TCNT00, putint_hex()

```



```

// polling TINT_CSTAT bit[5] == 1 ?
beep();
}

// init VIC
Timer0 SRC = bit[21] belong to VIC0

Timer0 中断传递相关寄存器
VIC0(IRQ/FIQ)STATUS 标识中断是否通过(IRQ/FIQ)
VIC0INTSELECT 选择IRQ还是FIQ: bit21
VIC0INTENABLE 使能中断通过: bit21
VIC0RAWINTR 通过Timer0之后的情况 bit21
-----
TINT_CSTAT 中断(MSK) Enable bit [0]
TINT_CSTAT 中断(PND) Status bit [5]
TCNTB0 触发方式 1 sec interrupt
(TCFG0 + TCFG1) clock init
-GPD0CON 管脚复用 TOUT0

```