

物联网工程技术丛书

# 物联网技术 与应用教程

王震 张小全 李湃 编著



清华大学出版社

物联网工程技术丛书

# 物联网技术 与应用教程

王震 张小全 李湃 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以 STM32 无线单片机为平台,全面介绍物联网常用的无线传感器网络应用。第 1 章主要介绍无线单片机 STM32 平台的原理与应用;第 2~5 章主要介绍常用的无线网络,包括 ZigBee、Wi-Fi、GPRS 的通信原理与应用,以及  $\mu\text{C}/\text{OS}$  实时操作系统的原理与应用;第 6、7 章以精细农业智能监控系统为例,全面介绍物联网工程规划、设计开发、项目实施等完整的设计和工程流程。

本书可作为高等院校电子信息、计算机、物联网等相关专业的教材,也可作为物联网应用工程师的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

物联网技术与应用教程/王震等编著.--北京:清华大学出版社,2013

物联网工程技术丛书

ISBN 978-7-302-31978-8

I. ①物… II. ①王… III. ①互联网络—应用—教材 ②智能技术—应用—教材 IV. ①TP393.4  
②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 078274 号

责任编辑:孟毅新

封面设计:傅瑞学

责任校对:李梅

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.75 字 数:383千字

版 次:2013年10月第1版 印 次:2013年10月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00元

随着计算机技术特别是嵌入式技术的发展,以及“智慧地球”概念的提出,物联网技术的工程应用得到了广泛的开展。物联网技术应用领域的广泛性和应用领域的特殊性,对物联网应用的基础平台即嵌入式系统有较高的要求,不但要求平台数据处理能力强,还要求功耗低、性能稳定,且易于搭建无线传感网络。因此,如何选择物联网基础平台及搭建无线传感网络,就成为物联网工程应用的一个重要问题。

业界著名的微芯片公司意法半导体公司在之前成功的多系列嵌入式芯片和解决方案的基础上,开发出了专用于物联网工程的 STM32 无线单片机系列芯片。STM32 系列给 MCU 用户带来了前所未有的自由空间,提供了全新的 32 位产品选项,结合了高性能、实时、低功耗、低电压等特性,同时保持了高集成度和易于开发的优势。STM32 互联系列让设计人员可以在同时需要以太网、USB、CAN 和音频级 I2S 接口的产品设计中发挥工业标准的 32 位微处理器的优异性能。本书正是在该系列芯片应用的基础上,结合目前广泛应用的物联网技术和工程实施完成的。

本书内容共分 7 章。

第 1 章(STM32W 无线单片机基础知识)主要介绍 STM32 系列芯片的基本特点和逻辑结构,结合 STM32W108 详细介绍芯片的电器特性、引脚定义、片上外设等内容,并以上海庆科信息技术有限公司出品的 EMZ3018 模块为例介绍了一种常见的应用。

第 2 章(ZigBee 无线网络技术)主要介绍 ZigBee 技术的起源、技术特点和应用领域,并对 ZigBee Pro 的协议栈进行了详细的分析和介绍;最后介绍了 ZigBee 在物联网中的典型应用。

第 3 章(Wi-Fi 协议原理与开发应用)主要介绍 Wi-Fi 技术的组成、原理、技术优势以及目前和未来的应用;分析 Wi-Fi 技术在物联网中的两个典型应用;最后结合 EMB-380 模组应用进行了详细的分析和举例。

第 4 章(GPRS 通信原理与开发应用)主要介绍 GPRS 的发展、特点和分类等,并在此基础上,以 SIM900A GPRS 模块为例,介绍 GPRS 在物联网中的应用和详细应用参考设计。

第 5 章( $\mu$ C/OS-II 嵌入式系统原理与应用)主要介绍了  $\mu$ C/OS-II 实时操作系统的原理、内核结构、任务管理、通信与同步等核心内容;并结合一款 STM32 芯片,详细介绍了  $\mu$ C/OS-II 的系统移植和应用开发过程。

第6章(传感器原理与应用)主要介绍传感器的定义、分类、特性、应用领域和发展方向,并根据实际应用,介绍温/湿度、加速度、气压计等几种不同传感器的应用;最后结合物联网技术的应用,详细介绍无线传感器网络的体系结构、关键技术和网络应用。

第7章(精细农业智能监控系统设计与开发)在前面几章的技术基础上,以精细农业智能监控系统的实际应用为例,首先介绍精细农业的特点和发展状况,然后结合物联网在精细农业中的应用,详细介绍系统架构、无线组网方案、软/硬件设计方案等,最终完成了一个完整的物联网工程案例。

本书在编写过程中,受到了北京凯威利亚科技发展有限公司的支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,希望广大读者批评、指正。

编者  
2013年8月

<b>第 1 章 STM32W 无线单片机基础知识</b> .....	1
1.1 STM32 系列控制器简介 .....	1
1.1.1 STM32 控制器的主要特点 .....	1
1.1.2 STM32 存储器和总线架构 .....	3
1.1.3 STM32 电源控制及电源管理 .....	4
1.1.4 STM32 微控制器的启动配置 .....	6
1.1.5 STM32 微控制器的应用 .....	7
1.2 STM32W108 系列微控制器 .....	7
1.2.1 STM32W108 产品命名规则及硬件特性 .....	9
1.2.2 引脚说明 .....	10
1.2.3 电气特性 .....	11
1.2.4 STM32W108 系统模块介绍 .....	12
1.3 STM32W108 片上外设 .....	16
1.3.1 通用输入/输出 .....	16
1.3.2 通用定时器 .....	18
1.3.3 串行接口 .....	20
1.3.4 数模转换器 ADC .....	22
1.3.5 中断 .....	23
1.4 STM32W 无线单片机的应用 .....	25
1.4.1 EMZ3018 模组简介 .....	25
1.4.2 EMZ3018 模组应用 .....	30
<b>第 2 章 ZigBee 无线网络技术</b> .....	34
2.1 ZigBee 简介 .....	34
2.1.1 ZigBee 的起源与 ZigBee 联盟 .....	34
2.1.2 ZigBee 技术特点 .....	35
2.1.3 ZigBee 无线数据传输网络描述 .....	36
2.1.4 ZigBee 采用的自组织网通信方式 .....	37

2.1.5	ZigBee 的频带 .....	37
2.1.6	ZigBee 性能分析 .....	38
2.1.7	ZigBee 的应用前景 .....	39
2.2	ZigBee Pro 协议栈 .....	39
2.2.1	ZigBee 与 ZigBee Pro 的比较 .....	39
2.2.2	解析 ZigBee 堆栈架构 .....	41
2.2.3	APL 应用层介绍 .....	44
2.2.4	应用支持子层简介 .....	47
2.2.5	服务规范 .....	47
2.2.6	帧格式 .....	65
2.3	ZigBee 技术在物联网中的应用 .....	68
2.3.1	用户 ZigBee 方案选型考虑 .....	68
2.3.2	ZigBee 光照采集实现 .....	72
<b>第 3 章</b>	<b>Wi-Fi 协议原理与开发应用</b> .....	<b>76</b>
3.1	Wi-Fi 原理简介 .....	76
3.1.1	Wi-Fi 简述 .....	76
3.1.2	Wi-Fi 技术组成与演进 .....	78
3.1.3	Wi-Fi 技术优势 .....	82
3.1.4	Wi-Fi 加密方式 .....	84
3.1.5	Wi-Fi 目前的应用 .....	84
3.1.6	Wi-Fi 未来发展 .....	85
3.2	Wi-Fi 在物联网中的应用 .....	87
3.2.1	应用一：中兴智能 Wi-Fi 技术在物联网中的应用 .....	88
3.2.2	应用二：Wi-Fi Direct 技术 .....	89
3.3	EMB-380 Wi-Fi 模组介绍 .....	90
3.3.1	硬件连接关系 .....	93
3.3.2	EMB-380 操作说明 .....	96
3.3.3	EMB-380 初始化说明 .....	102
3.3.4	输出发送函数 .....	103
3.3.5	接收数据函数 .....	104
<b>第 4 章</b>	<b>GPRS 通信原理与开发应用</b> .....	<b>105</b>
4.1	GPRS 通信原理 .....	105
4.1.1	GPRS 的特点 .....	105
4.1.2	GPRS 的发展 .....	106
4.1.3	GPRS 分组交换通信技术 .....	106
4.1.4	GPRS 移动终端分类 .....	106

4.1.5	GPRS 网络结构 .....	107
4.2	GPRS 在物联网中的应用解决方案 .....	107
4.2.1	物联网基本概念 .....	107
4.2.2	GPRS 移动通信技术在物联网中的应用 .....	109
4.2.3	SIM900A GPRS 模块介绍 .....	110
4.2.4	基于 SIM900A 的应用参考设计 .....	110
4.3	代码例程 .....	116
<b>第 5 章</b>	<b><math>\mu</math>C/OS- II 嵌入式系统原理与应用 .....</b>	<b>123</b>
5.1	$\mu$ C/OS- II 操作系统简介 .....	123
5.2	实时系统概念 .....	123
5.3	$\mu$ C/OS- II 内核结构 .....	125
5.3.1	$\mu$ C/OS- II 组成 .....	125
5.3.2	$\mu$ C/OS- II 内核运行机制 .....	125
5.3.3	$\mu$ C/OS- II 内核调度 .....	126
5.3.4	$\mu$ C/OS- II 初始化 .....	127
5.4	$\mu$ C/OS- II 的中断处理 .....	129
5.5	$\mu$ C/OS- II 任务管理 .....	132
5.5.1	建立任务 OSTaskCreate() .....	132
5.5.2	建立外部任务 OSTaskCreateExt() .....	134
5.6	$\mu$ C/OS- II 的时间管理 .....	134
5.7	任务之间的通信与同步 .....	135
5.7.1	事件控制块 ECB .....	136
5.7.2	信号量 .....	141
5.7.3	邮箱 .....	147
5.7.4	消息队列 .....	154
5.8	在 STM32 上移植 $\mu$ C/OS- II .....	162
5.8.1	开发工具 .....	164
5.8.2	目录和文件 .....	164
5.8.3	OS_CPU.H .....	165
5.8.4	OS_CPU_A.ASM .....	169
5.8.5	OS_CPU_C.C .....	173
<b>第 6 章</b>	<b>传感器原理与应用 .....</b>	<b>180</b>
6.1	传感器原理 .....	180
6.1.1	传感器的定义 .....	180
6.1.2	传感器的分类 .....	181
6.1.3	传感器的基本特性 .....	182



6.1.4	传感器的应用领域	189
6.1.5	传感器的发展方向	191
6.2	传感器应用举例	192
6.2.1	数字温湿度传感器 SHT1x 应用简介	192
6.2.2	加速度传感器应用简介	196
6.2.3	数字气压计应用简介	200
6.2.4	光照传感器 ISL29023	203
6.3	传感器与物联网	205
6.4	无线传感网络	207
6.4.1	无线传感网络的发展及其特点	207
6.4.2	无线传感网络体系结构	210
6.4.3	无线传感网络协议栈	214
6.4.4	无线传感网络关键技术	216
6.4.5	无线传感网络与互联网的融合	219
6.4.6	无线传感网络应用	219
<b>第 7 章</b>	<b>精细农业智能监控系统设计与开发</b>	<b>221</b>
7.1	研究背景及意义	221
7.1.1	精细农业的特点	221
7.1.2	精细农业目前的发展状况	222
7.2	精细农业的技术支持	224
7.2.1	精细农业的技术组成部分	224
7.2.2	精细农业中的 GIS 技术	225
7.2.3	精细农业中的 GPS 技术	228
7.2.4	精细农业中的遥感技术	234
7.2.5	管理决策支持和专家系统	236
7.3	物联网在精细农业中的应用	240
7.3.1	农业物联网的发展背景	240
7.3.2	物联网在精细农业发展中的现实案例	242
7.3.3	农业物联网的发展趋势	246
7.4	精细农业智能监控系统技术实现	248
7.4.1	智能农业监控系统架构	248
7.4.2	无线传感器采集节点	250
7.4.3	短程无线传输方案	251
7.4.4	远程无线传输方案	253
7.4.5	智能主控硬件设计方案	253
7.4.6	智能监控系统集成软件	255
	<b>参考文献</b>	<b>258</b>

## 1.1 STM32 系列控制器简介

STM32 系列 32 位闪存微控制器使用来自于 ARM 公司具有突破性的 Cortex-M3 内核,该内核是专门设计来满足集高性能、低功耗、实时应用、具有竞争性价格于一体的嵌入式领域的要求的。Cortex-M3 在系统结构上的增强让 STM32 受益无穷;Thumb-2 指令集带来了更高的指令效率和更强的性能;通过紧耦合的嵌套矢量中断控制器,对中断事件的响应比以往更迅速;被广泛认为是针对 16 位 MCU 应用领域的 32 位处理器。STM32 系列给 MCU 用户带来了前所未有的自由空间,提供了全新的 32 位产品选项,结合了高性能、实时、低功耗、低电压等特性,同时保持了高集成度和易于开发的优势。

STM32 互联系列让设计人员可以在同时需要以太网、USB、CAN 和音频级 I2S 接口的产品设计中发挥工业标准的 32 位微处理器的优异性能。它按性能分成两个不同的系列:STM32F103“增强型”系列和 STM32F101“基本型”系列。增强型系列时钟频率达到 72MHz,是同类产品性能最高的产品;基本型时钟频率为 36MHz。目前互联系列下设两个产品系列:STM32F105 和 STM32F107。STM32F105 系列集成一个全速 USB 2.0 Host/Device/OTG 接口和两个具有先进过滤功能的 CAN2.0B 控制器;STM32F107 系列则在 STM32F105 系列基础上增加一个 10/100Mb/s 以太网媒体访问控制器(MAC),以完整的硬件支持 IEEE 1588 精确时间协议,使设计人员能够为实时应用开发以太网连接功能。内置专用缓存让 USB OTG、两个 CAN 控制器和以太网接口同时工作,以满足通信网关应用的需求,以及各种需要灵活的工业标准连接功能的挑战性需求。

### 1.1.1 STM32 控制器的主要特点

下面列举 STM32 系列控制器的一些主要特点。

(1) 使用 ARM 最新的、先进架构的 Cortex-M3 内核,1.25 DMIPS/MHz 和 0.19mW/MHz。

单周期乘法指令和硬件除法指令,Thumb-2 指令集以 16 位的代码密度带来了 32 位的性能。

内置了快速的中断控制器,提供了优越的实时特性,中断间的延迟时间降到只需6个CPU周期,从低功耗模式唤醒的时间也只需6个CPU周期。

STM32 超值型系列以应用为中心的产品特性包括12个16位计时器,其中一个电机控制专用PWM计时器。计时器通道多达26条,封装引脚数量最多100pin(QFP100)。该系列还提供一个12位高速模数转换器以解决各种工业控制的要求。此外,意法半导体可以为用户提供免费的软件支持服务,包括整套家电和电机控制专用3相电机控制软件库,以及帮助家电达到EN/IEC 60335-1 Class B强制性标准的免费的VDE认证软件库,加速客户的产品化进程。

STM32与ARM7TDMI相比运行速度最多可快35%,增强型系列时钟频率达到72MHz,是同类产品中性能最高的产品,且代码最多可节省45%。

(2) 低功耗方面优越的表现。高性能并非意味着高耗电,STM32经过特殊处理,针对应用中3种主要的能耗需求进行了优化,这3种能耗需求分别是运行模式下高效率的动态耗电机制、待机状态时极低的电能消耗和电池供电时的低电压工作能力。为此,STM32提供了3种低功耗模式和灵活的时钟控制机制,用户可以根据自己所需的耗电/性能要求进行合理的优化,从闪存(Flash)执行代码,功耗仅为36mA,上电,如果默认使用内部HSI时钟的8MHz,经测试为10mA左右。待机模式可实现系统的最低功耗,可将电流消耗降至 $2\mu\text{A}$ 。是32位微处理器市场上功耗最低的产品,仅相当于0.5mA/MHz。

(3) 出众及创新的外设。STM32的优势来源于两路高级外设总线(APB)结构,其中一个高速APB(可达CPU的运行频率)连接到该总线上的外设能以更高的速度运行。

(4) 最大限度的集成整合。STM32内嵌电源监控器,以减少对外部期间的需求,包括上电复位、低电压检测、掉电检测和自带时钟的看门狗定时器,内置32KB到128KB的闪存。

(5) 使用一个主晶振可以驱动整个系统。低成本的4~16MHz晶振即可驱动CPU、USB以及所有外设,使用内嵌PLL产生多种频率可以为内部实时时钟选择32kHz的晶振。内嵌出厂前调校的8MHz RC振荡电路,可以作为主时钟源。额外的针对RTC或看门狗的低频率RC电路。

(6) 开发工具。意法半导体以及众多第三方为32位STM32微控制器提供了从低成本到高端的全套开发工具,包括简单易用的入门套件、完整的开发工具方案、编程工具以及嵌入式操作系统,所有这些都是为基于ARM Cortex-M3内核的STM32专门定制的。

STM32超值型系列产品内置支持CEC(消费电子控制)协议的硬件电路,以简化CEC在电视机、蓝光播放器、个人录像机和家庭影院设备内的运用。CEC协议遵循HDMI(High Definition Multimedia Interface,高清晰度多媒体接口)标准,通过CEC协议,最多10台HDMI设备可以相互识别并通信,处理便捷的使用操作功能,使用STM32支持的CEC功能可以降低设计繁杂度,减少CPU、外设和存储器的使用。此外,STM32超值型系列产品还整合一个12位数模转换器(DAC),开发人员可在各种应用中增加音频支持功能,例如保安设备或家庭自动化系统,以迎合各种需要模拟波形生成控制的市场需要。

### 1.1.2 STM32 存储器和总线架构

STM32 总线架构如图 1.1 所示。

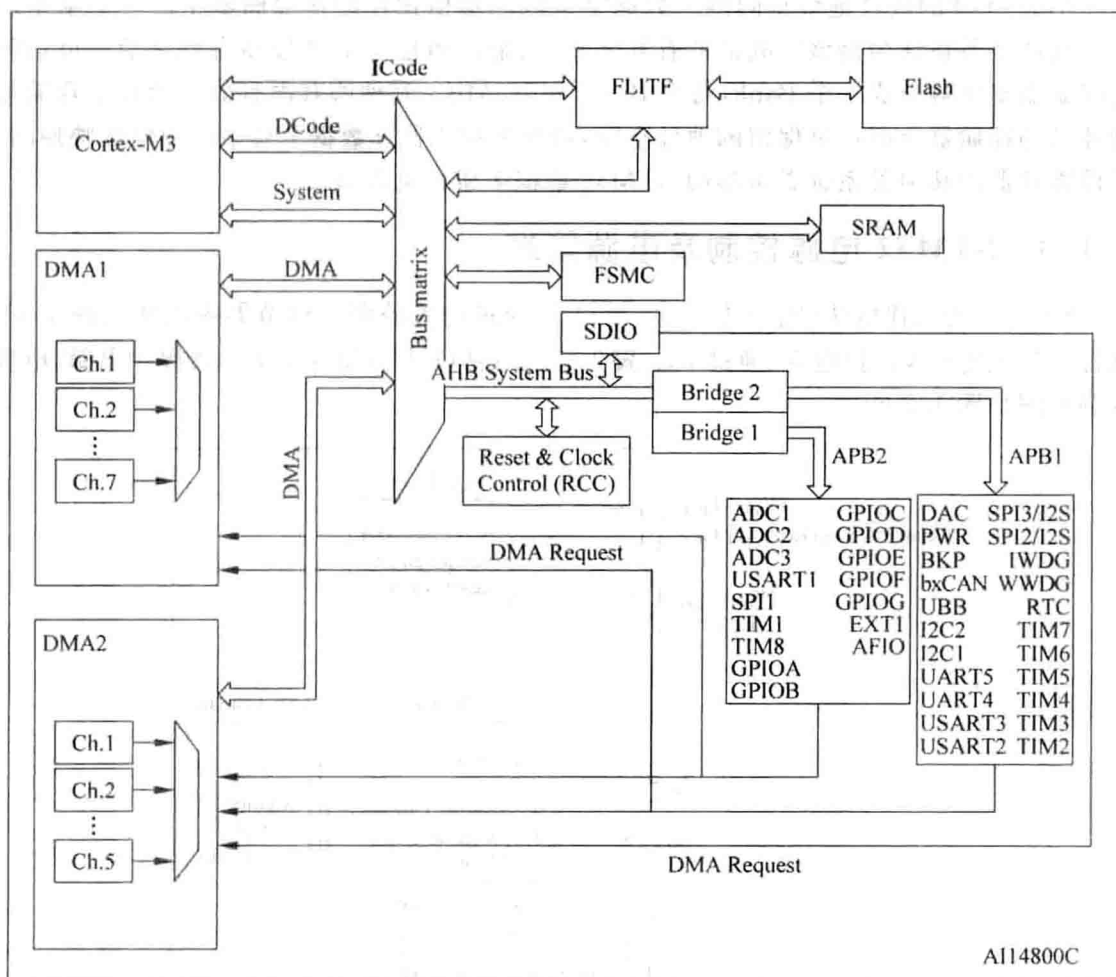


图 1.1 STM32 总线架构

系统由以下几个部分组成。

(1) 4 个驱动单元。

(2) Cortex-M3 内核, ICode 总线, DCode 总线和系统总线(S-Bus)。ICode 总线将 Cortex-M3 内核的指令总线与闪存指令接口相连接。指令预取在此总线上完成。而 DCode 总线将 Cortex-M3 内核的 DCode 总线与闪存存储器的数据接口相连接(常量加载和调试访问)。S-Bus 总线连接 Cortex-M3 内核的系统总线(外设总线)到总线矩阵, 总线矩阵协调着内核和 DMA 之间的访问。

(3) 通用 DM1 和 DM2 单元。DMA 总线将 DMA 的 AHB 主控接口与总线矩阵相连, 总线矩阵协调着 CPU 的 DCode 和 DMA 到 SRAM、闪存和外设的访问。

(4) 4 个被动单元。

(5) 内部 SRAM(静态随机存储单元)。

(6) 内部 Flash(闪存存储器)。

(7) FSMC。

(8) AHB 到 APB 之间的桥接。

STM32 的程序存储器、数据存储器、寄存器和输入/输出端口(GPIO)被映射在同一个大小为 4GB 的线性地址空间内。数据字节以小端格式存放在存储器中。一个字里的最低地址字节被认为是该字的最低有效字节,而最高地址字节是最高有效字节。可访问的存储器空间被分成 8 个 Bank,每个 Bank 为 512MB。其他所有没有分配给片上存储器和外设的存储器空间都是保留的地址空间,请参考相应器件数据手册中的存储器映像图。外设寄存器的映射关系读者可参阅 STM32 数据手册相关章节。

### 1.1.3 STM32 电源控制及电源管理

STM32 的工作电压( $V_{DD}$ )为 2.0~3.6V。通过内置的电压调节器提供所需的 1.8V 电源。当主电源  $V_{DD}$  掉电后,通过  $V_{BAT}$  脚为实时时钟(RTC)和备份寄存器提供电源,电源控制框图如图 1.2 所示。

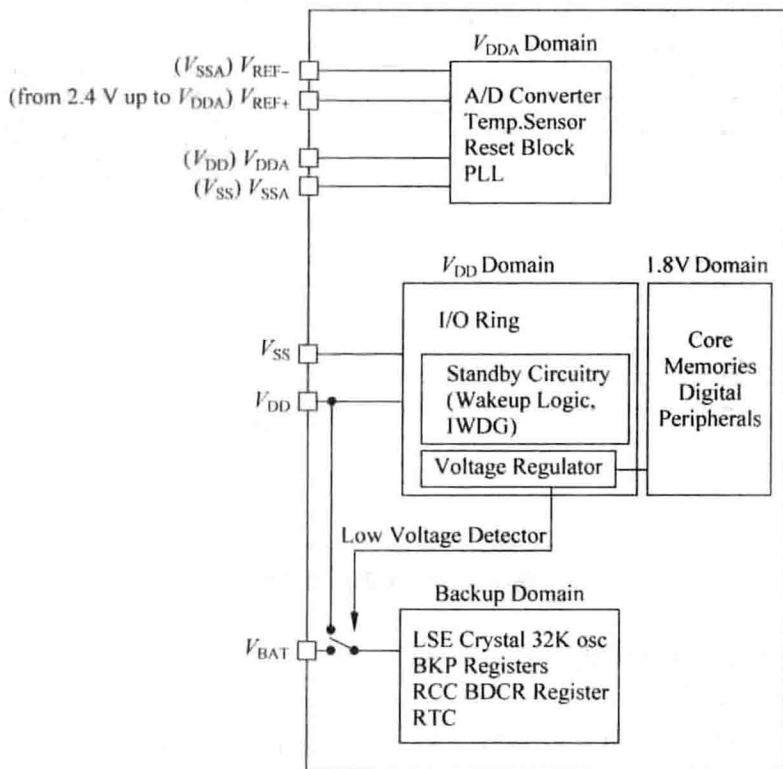


图 1.2 STM32 供电电源框图

对于  $V_{BAT}$  的使用需要说明的是,使用电池或其他电源连接到  $V_{BAT}$  脚上,当  $V_{DD}$  断电时,可以保存备份寄存器的内容和维持 RTC 的功能。 $V_{BAT}$  脚也为 RTC、LSE 振荡器供电,这保证了当主要电源被切断时 RTC 能继续工作。切换到  $V_{BAT}$  供电由复位模块中的掉电复位功能控制。如果应用中没有使用外部电池, $V_{BAT}$  必须连接到  $V_{DD}$  引脚上。

STM32 内部有一个完整的上电复位(Power On Reset, POR)和掉电复位(Power Down Reset, PDR)电路,当供电电压达到 2V 时系统即能正常工作。当  $V_{DD}/V_{DDA}$  低于指

定的限位电压  $V_{POR}/V_{PDR}$  时,系统保持为复位状态,而无须外部复位电路。上电复位和掉电复位的时序关系如图 1.3 所示。

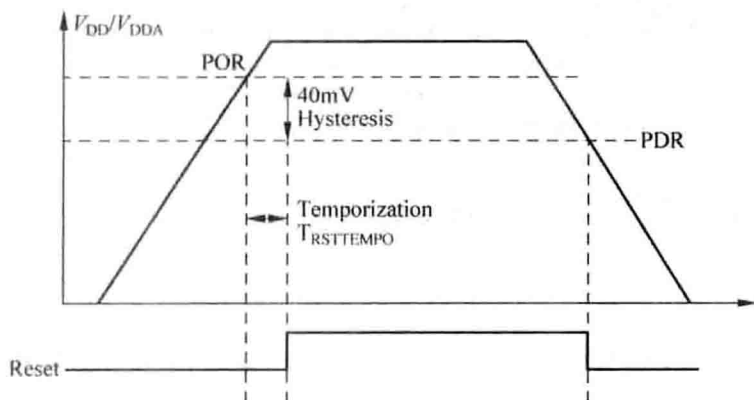


图 1.3 STM32 上电复位和掉电复位的波形图

在系统或电源复位以后,微控制器处于运行状态。运行状态下的 HCLK 为 CPU 提供时钟,内核执行程序代码。当 CPU 不需继续运行时,可以利用多个低功耗模式来节省功耗,STM32F10xxx 有 3 种低功耗模式。

(1) 睡眠模式(Cortex-M3 内核停止,外设仍在运行)。通过执行 WFI 或 WFE 指令进入睡眠状态。根据 Cortex-M3 系统控制寄存器中的 SLEEPONEXIT 位的值,有两种选项可用于选择睡眠模式进入机制。

① SLEEP-NOW: 如果 SLEEPONEXIT 位被清除,当 WRI 或 WFE 被执行时,微控制器立即进入睡眠模式。

② SLEEP-ON-EXIT: 如果 SLEEPONEXIT 位被置位,系统从最低优先级的中断处理程序中退出时,微控制器就立即进入睡眠模式。

以下是进入睡眠模式的参考代码:

```
void PWR_EnterSLEEPMode(u32 SysCtrl_Set, u8 PWR_SLEEPEntry)
{
    if(SysCtrl_Set) //对 Cortex-M3 中系统控制寄存器的 SLEEPONEXIT 位置位
        * (vu32 *)SCB_SysCtrl |= SysCtrl_SLEEPONEXIT_Set;
    else //对 Cortex-M3 中系统控制寄存器的 SLEEPONEXIT 位复位
        * (vu32 *)SCB_SysCtrl &= ~SysCtrl_SLEEPONEXIT_Set;
    //对 Cortex-M3 中系统控制寄存器的 SLEEPDEEP 位置位
    * (vu32 *)SCB_SysCtrl &= ~SysCtrl_SLEEPDEEP_Set;
    if(PWR_SLEEPEntry == PWR_SLEEPEntry_WFI)
        __WFI(); //等待中断请求
    else
        __WFE(); //等待事件请求
}
```

(2) 停止模式(所有的时钟都以停止)。停止模式在 Cortex-M3 的深睡眠模式基础上结合了外设的时钟控制机制。在停止模式下电压调节器可运行在正常或低功耗模式。此时在 1.8V 供电区域的所有时钟都被停止,PLL、HSI 和 HSE RC 振荡器的功能被禁止,SRAM 和寄存器内容被保留下来。以下是进入停止模式的参考代码:

```

void PWR_EnterSTOPMode(u32 PWR_Regulator, u8 PWR_STOPEntry)
{
    PWR->CR &= CR_DS_Mask;          //清除 PDDS 和 LPDS 位
    PWR->CR |= PWR_Regulator;       //根据 PWR_Regulator 的值设置 LPDS 位
    *(vu32 *)SCB_SysCtrl |= SysCtrl_SLEEPDEEP_Set;
                                    //选择进入 STOP 模式的入口
    if(PWR_STOPEntry == PWR_STOPEntry_WFI)
        __WFI();
    else
        __WFE();                    //等待事件请求
}

```

(3) 待机模式(1.8V 电源关闭)。在待机模式下,所有的 I/O 引脚处于高阻态,除了以下的引脚。

- ① 复位引脚(始终有效)。
- ② 当被设置为防侵入或校准输出时的 TAMPER 引脚。
- ③ 被使能的唤醒引脚。

进入待机模式的参考代码如下:

```

void PWR_EnterSTANDBYMode(void)
{
    PWR->CR |= CR_CWUF_Set;        //清除 Wakeup 标志
    PWR->CR |= CR_PDDS_Set;        //选择进入 standby 模式
                                    //置位 SLEEPDEEP 位
    *(vu32 *)SCB_SysCtrl |= SysCtrl_SLEEPDEEP_Set;
    __WFI();                        //等待中断请求
}

```

### 1.1.4 STM32 微控制器的启动配置

在 STM32F10xxx 系列的微控制器里可以通过芯片的 BOOT[1:0]引脚选择 3 种不同启动模式,配置方式见表 1.1。

表 1.1 STM32 启动配置

启动模式选择管脚		启动模式	说明
BOOT1	BOOT0		
X	0	用户闪存存储器	用户闪存存储器被选为启动区域
0	1	系统存储器	系统存储器被选为启动区域
1	1	内嵌 SRAM	内嵌 SRAM 被选为启动区域

在系统复位后,在 SYSCLK 的第 4 个上升沿,BOOT 管脚的电平状态将被锁存。用户可以通过设置 BOOT1 和 BOOT0 引脚的状态来选择在复位后的启动模式。

在从待机模式退出时,BOOT 管脚的值将被重新锁存;因此,在待机模式下 BOOT 管脚应保持为需要的启动配置。在启动延迟之后,CPU 从地址 0x00000000 获取堆栈顶的地址,并从启动存储器的 0x00000004 指示的地址开始执行代码。因为固定的存储器映

像,代码区始终从地址 0x00000000 开始(通过 ICode 和 DCode 总线访问),而数据区(SRAM)始终从地址 0x20000000 开始(通过系统总线访问)。Cortex-M3 的 CPU 始终从 ICode 总线获取复位向量,即启动仅适合于从代码区开始(典型地从 Flash 启动)。STM32F10xxx 微控制器实现了一个特殊的机制,系统可以不仅仅从 Flash 存储器或系统存储器启动,还可以从内置 SRAM 启动。

### 1.1.5 STM32 微控制器的应用

STM32 可以理想地应用于一些需要低功耗而功能强大的微控制器的嵌入式系统设计中,或者很多通用的可系统升级的方案中,常见的有以下应用。

- (1) 工业领域应用:可编程逻辑控制器(PLC)、变频器、打印机、扫描仪和工控网络。
- (2) 建筑和安防应用:警报系统、可视电话和 HVAC。
- (3) 低功耗应用:血糖测量仪、无线抄表、电表和电池供电应用。
- (4) 家电应用:电机控制和应用控制。
- (5) 消费类产品:PC 外设、游戏机、数码相机和 GPS 平台。

## 1.2 STM32W108 系列微控制器

STM32W108 系列是微控制器厂商意法半导体公司最新推出的一个完全集成的系统级芯片。该芯片基于高性能 32 位 RISC 架构的 ARM Cortex-M3 核,工作频率高达 24MHz。其最显著的特点是片上集成了高速存储器,集成了符合 IEEE 802.15.4 标准的 2.4GHz 收发器(带有 ZigBee 功能的 STM32 单片机)。主要面向为嵌入式系统市场提供一个真正的支持嵌入式无线传感器网络设计的系统级芯片平台。

IEEE 802.15.4 是在未授权的 2.4GHz 频段内进行低功耗、低数据速率无线传输所遵守的公开标准,被广泛用于智能电表、家庭自动化、保安监视设备、遥控器等通信和网络应用。ZigBee 联盟将 IEEE 802.15.4 标准定为工业标准 ZigBee 协议的射频平台,这项通信协议在传感器网络、集中抄表、工业控制等领域应用非常广泛。

作为 STM32 这个成功的产品线最新成员,STM32W 系列得益于与其他 STM32 产品的兼容性,同时还可借助 STM32 的开发支持社区。开发人员还受益于同类最佳的代码密度,因为 Cortex-M3 内核的高能效,STM32 架构的代码密度优于其他架构至少 20%。

STM32W 是一款真正的系统级(SoC)芯片,整合最优异的 IEEE 802.15.4 射频性能与 32 位处理性能。这个器件可发射最大 7dBm 的输出功率,支持最高 107dB 的链路预算,接收灵敏度高达 100dBm,可与附近的工作在同一频段(2.4GHz)的 Wi-Fi 和蓝牙网络共存。

低功耗是 STM32W 系列性能的一大亮点,在接收和发射模式下,功耗分别为 27mA 和 31mA。为增强电源管理功能,STM32W 还实现了 1 $\mu$ A 深睡眠模式。无线应用支持特性包括 8KB 的 SRAM、128KB 的程序闪存和带硬件加速的嵌入式 AES 加密芯片。通用资源包括一个灵活的模数转换器、SPI/UART/TWI 串口、多路计时器和 24 个带施密特触发器输入的通用输入输出。2.1~3.6V 的单工作电压有助于简化产品设计,同时高集成度还可节省外部元器件的数量。只需一个 24MHz 的晶振,或者选用一个 32.768kHz 晶振,即可提高计时器的精确度。此外,STM32W 还支持外部功率放大器。

STM32W108 单片机的内部结构如图 1.4 所示。



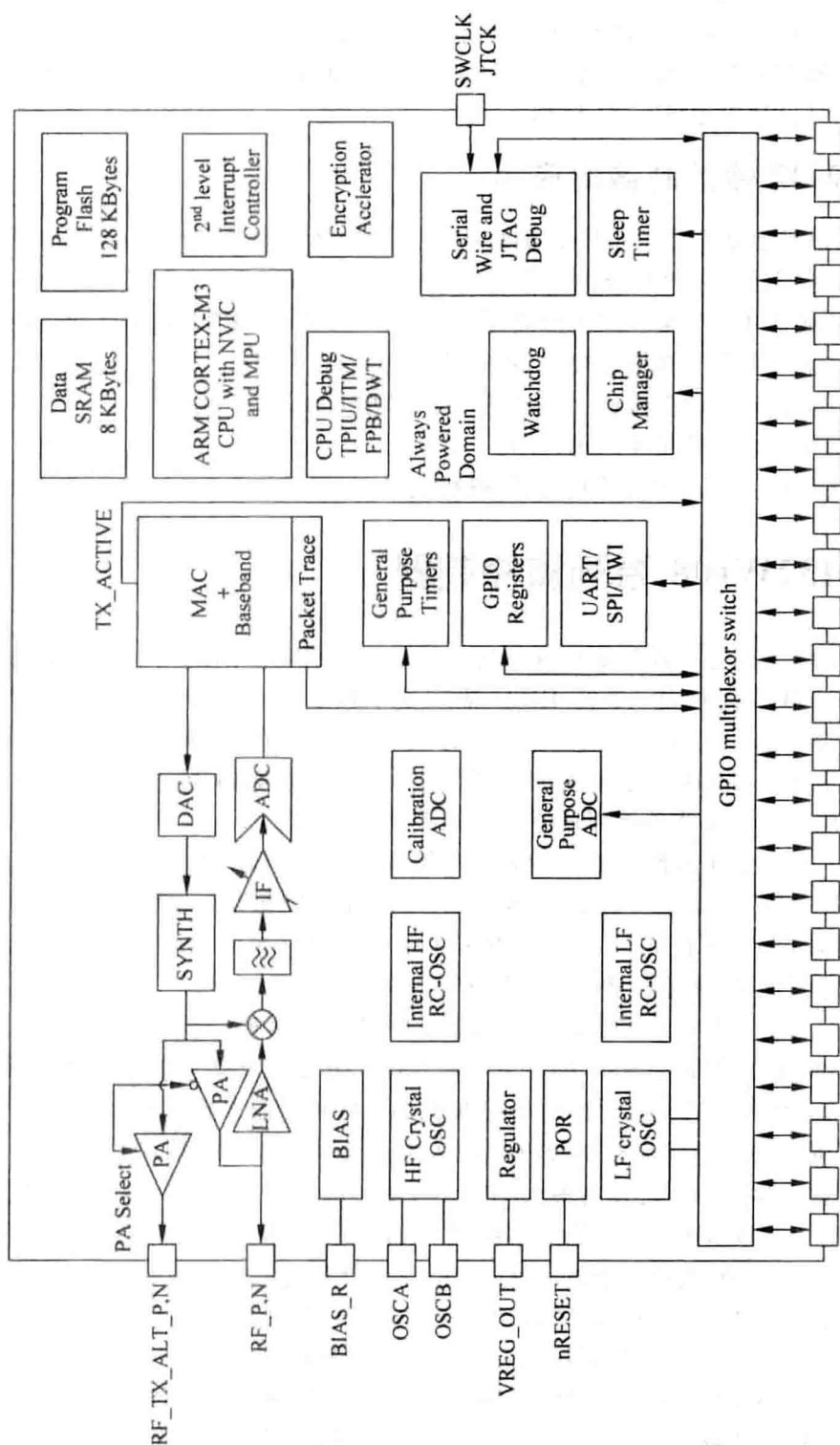


图 1.4 STM32W108 单片机的内部结构图