Z8D16R-2 芯片简介文档

V1.0

2015-3-11

声明

国民技术股份有限公司（以下简称国民技术）保有在不事先通知而修改这份文档的权利。国民技术认为提供的信息是准确可信的。尽管这样，国民技术对文档中可能出现的错误不承担任何责任。在购买前请联系国民技术获取该器件说明的最新版本。对于使用该器件引起的专利纠纷及第三方侵权国民技术不承担任何责任。另外，国民技术的产品不建议应用于生命相关的设备和系统，在使用该器件中因为设备或系统运转失灵而导致的损失国民技术不承担任何责任。国民技术对本手册拥有版权等知识产权，受法律保护。未经国民技术许可，任何单位及个人不得以任何方式或理由对本手册进行使用、复制、修改、抄录、传播等。

注意

这是国民技术不便于披露的文件，它包含一些保密的信息。在没有签订任何保密协议前或者在国民技术单方面要求的情况下请归还于国民技术。任何非国民技术委托人不得使用或者参考该文件。

如果你得到了这份文件，请注意：

- 不得公开文档内容
- 不得转载全部或部分文档内容
- 不得修改全部或部分文档内容

在以下情况这份文件必须销毁

- 国民技术已经提供更新的版本
- 未签订保密协议或者保密协议已经过期
- 受委托人离职

给我们的客户

我们一直在不断的改进我们的产品及说明文档的品质。我们努力保证这份文档的说明是准确的，但也可能存在一些我们未曾发现的失误。如果您发现了文档中有任何疑问或错失的地方请及时联系我们。您的理解及支持将使得这份文档更加完善。

版本	日期	备注
V1.0	2015.3.11	创建文件

缩写全称

缩写	全拼
ADC	Analog Digital Convertor
ATPG	Automatic Test Pattern Generation
EOT	Embeded OTP Test
EIU	Embeded Interrupt Unit
ESD	Electrostatic Discharge
FIFO	First In, First Out
GPIO	General Programmable Input Output Pin
IOM	Input and Output Module
ISO	International Standardization O；rganization
KBC	Key Board Countroller
LCD	Liquid Crystal Display
LD	Light Detector
OTP	One Time Programable
OTP	One Time Password
OTPC	One Time Programable memory Controllor
PRAM	Peripheral Ram for Algorithm
PBUS	Program BUS
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RNG	Random Number Generator
RTC	Real Time Conter
SAC	Secure Algorithm Controller
SCU	System Control Unit
SEC	Security
SBUS	Sfr BUS
SRAM	Static RAM
SM3	Shangye Mima No.3
TBC	Time Base Couter
TS	Temperature Sensor
UART	Universal Asynchronous Receive/Transmitter
WDT	Watch Dog Timer
XBUS	Xdata BUS

目录

图片清单

列表清单

1 关键特性

1.1 系统

- 低功耗优化的 8 位 Zi8051-SC 安全 MCU 核
  - 增强型单周期指令集
  - Intel 8051 指令兼容
  - 支持 WDT 电路
  - 支持 4 路 8 bit 或 2 路 16bit 可配置的 Timer
  - 支持主频 32K、64K、500K、2M 可配
  - 支持适时自动休眠
- 系统功能
  - 支持外挂晶体振荡器
  - 内置实时时钟计数功能及自动补偿机制
  - 内置段码 LCD 驱动及 Bias 生产电路
  - 内置温度传感器
  - 内置 10bitADC
  - 内置 2M，RC-OSC 电路

1.2 片上存储单元

- 非易失性程序存储器，可配置为
  - 48KB OTP 模式，仅支持一次编程，擦除需要使用紫外光，
  - 24KB MTP 模式，可支持二次编程
  - 16KB MTP 模式，可支持三次编程
- SRAM：3KB+256B

1.3 安全组件

- 安全算法
  - 内置硬件 SM3 算法；
  - 支持软件算法实现，SHA-1，SHA-256 ， SHA-384 及 SHA-512
  - 内置真随机数发生器
- 安全防护
  - 总线加密加扰
  - 存储器数据加密加扰
  - 存储器访问权限控制
  - SRAM 数据带奇偶校验
  - 支持胶连逻辑（GlueLogic）激光攻击检测；
  - 支持自然光检测（开盖检测）
  - 支持温度检测
  - 支持电压检测
  - 硬件 SM3 算法时钟加扰
  - 支持测试、下载模式封口
  - 唯一序列号

1.4 通讯接口

- LCD
  - 支持段码式 LCD 屏；
  - 支持 1/1~1/5 duty 的显示格式，即支持 5 COM/31 SEG、4 COM/32 SEG 、 3 COM/33 SEG、2 COM/34 SEG 四种模式，最大为 155 段；
  - 支持 1/2bias,1/3 bias，内置 bias 生成电路；
  - 帧频率可配置，支持 64Hz、

73Hz、85Hz、102Hz 四种；
- 支持 LCD Drive Stop Mode、LCD display mode, all LCDs on mode、all LCDs off mode 四种显示模式；
- 支持 34 * 5 Bits 的显示 Buffer；

➢ ADC
- 10bit 精度
- 支持对内置温度传感器 TS 输出进行量化
- 支持对内置电压传感器输出进行量化
- 支持一路对芯片外部输入模拟进行量化

➢ UART
- 1 路 UART 接口
- 波特率为 4800bps @32.768 KHz

➢ EOT
- 程序下载接口

➢ GPIO
- 支持 16 个 GPIO，其中 1 个可复用为 32.768KHz 晶振频率输出，2 个可复用为 UART，其它为通用 GPIO；
- 通用 GPIO（共 16 个）可配置为输入或输出，可配置上拉下拉；
- 通用 GPIO（共 16 个）支持上升沿中断，下降沿中断，双沿中断；

1.5 电气特性

➢ 工作电压 2.4V～3.6V

➢ 工作温度-20℃ ～70℃，存储温度 -45℃ ～85℃

➢ ESD：HBM ±2KV

1.6 功耗指标

➢ 待机模式：RTC 持续计数，典型功耗 300nA

➢ 工作模式：
- <5uA@32.768KHz VDD=3.0V/CPU SUSPEND
- <9uA@32.768KHz,VDD=3.0V /CPU RUN
- 16.4uA@65.536KHz VDD=3.0V /CPU RUN
- 136.2uA@500KHz,VDD=3.0V /CPU RUN
- 291uA@2MHz,VDD=3.0V /CPU RUN

1.7 产品封装

➢ Wafer/DIE

1.8 应用产品

➢ 第一代安全动态口令

➢ 第二代安全动态口令

➢ 需要实时时钟的其他电子产品

2 产品描述及功能框图

Z8D16R-2 是国民技术自主研发的基于 *nEnergy*™ 超低功耗处理技术的安全微控制器芯片。在 75mAh 电池驱动下可以实现 5-8 年的待机和使用寿命，适合于采用纽扣电池长时间工作的动态密码令牌等设备。安全性达到国家密码局一级及国家信息安全测评中心 EAL4+以上安全防护等级。

Z8D16R-2 采用自主研发的单周期高性能 8 位安全 MCU 核，与标准 8051 指令集完全兼容。采用真随机数发生器和硬件 SM3 安全算法，同时对 SRAM 采用了安全防护措施保证了 Z8D16R-2 在动态口令业务的高安全性和高效性。Z8D16R-2 内置 RTC 电路，断码 LCD 驱动电路，温度传感器，通过片内 ADC 可实现无需外部器件即可对电源电压检测和片外模拟信号的量化，可选模式的 TIMER 和 WDT 以及丰富的可复用 IO，使得 Z8D16R-2 的应用变得十分的灵活，下图是 Z8D16R-2 的功能框图。

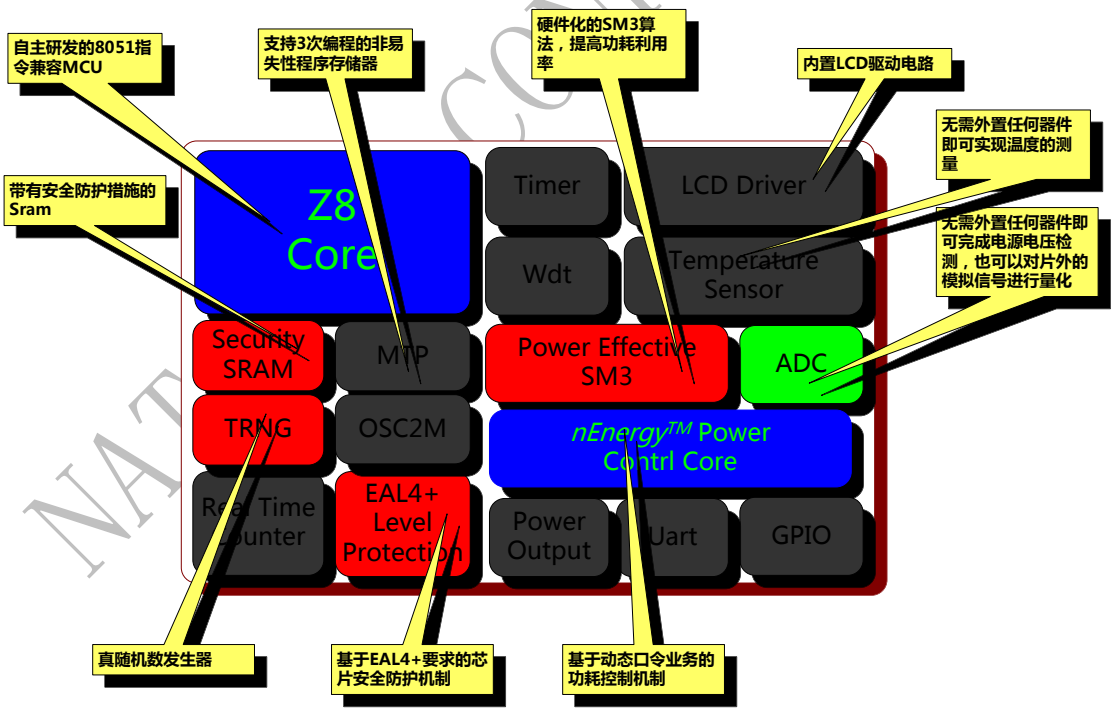

Figure 2-1 Z8D16R-2结构图

3 DIE PAD 引脚排布及定义

3.1 PAD 引脚排布

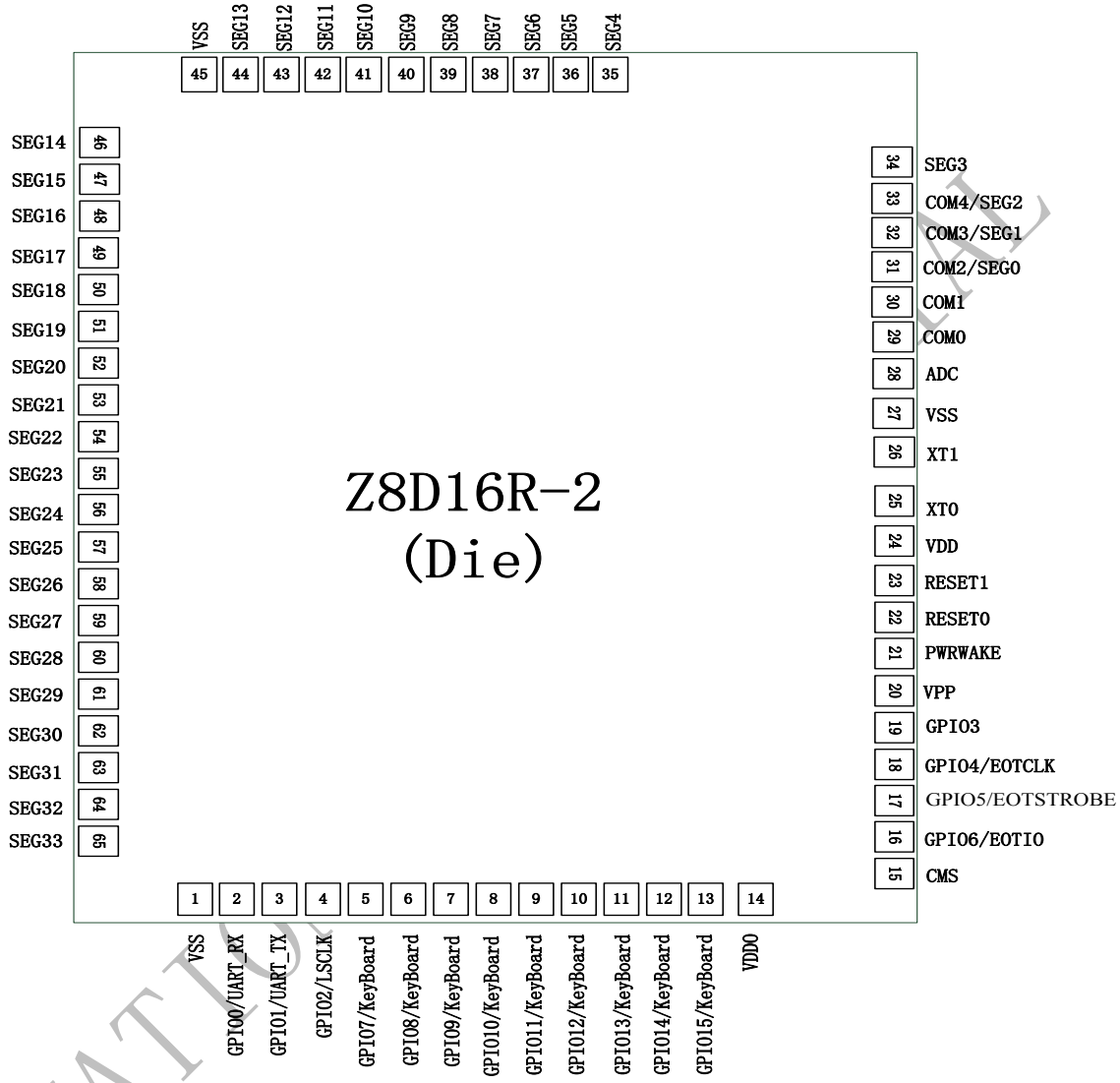

Figure 3-1 DIE PAD排布图

3.2 PAD 引脚定义

Table 3-1 引脚定义及功能

PAD 名称	引脚定义	IO 类型	功能描述
COM0_PAD	COM0	O	LCD 驱动
COM1_PAD	COM1	O	
COM2_PAD	COM2/SEG0	O	
COM3_PAD	COM3/SEG1	O	
COM4_PAD	COM4/SEG2	O	

SEG3～SEG33_PAD	SEG3～SEG33	O	
VDD_PAD	VDD	Power	芯片电源输入 2.0V～3.6V，典型值 3.3V
VDDO_PAD	VDDO	Power	VDD 输出
VSS_PAD	VSS	Power	电源地
VSS_PAD	VSS	Power	电源地
VSS_PAD	VSS	Power	电源地
VPP_PAD	VPP	Power	OTP 编程电源
XT0_PAD	XT0	I	32.768KHz 晶振 XT0
XT1_PAD	XT1	O	32.768KHz 晶振 XT1
ADC_PAD	ADC	I	ADC 输入
CMS_PAD	CMS	I	芯片模式
PWRWAKE_PAD	PWRWAKE	I	芯片唤醒
RESET0_PAD	RESET0	I	芯片复位
RESET1_PAD	RESET1	I	芯片复位
GPIO0_PAD	GPIO0/UARTRX	IO	GPIO0/串口接收复用
GPIO1_PAD	GPIO1/UARTTX	IO	GPIO1/串口发送复用
GPIO2_PAD	GPIO2/ LSCLK	IO	GPIO2/ LSCLK 复用
GPIO3_PAD	GPIO3	IO	普通 IO
GPIO4_PAD	GPIO4	IO	普通 IO
GPIO5_PAD	GPIO5	IO	普通 IO
GPIO6_PAD	GPIO6	IO	普通 IO
GPIO7_PAD	GPIO7	IO	普通 IO
GPIO8_PAD	GPIO8	IO	普通 IO
GPIO9_PAD	GPIO9	IO	普通 IO
GPIO10_PAD	GPIO10	IO	普通 IO
GPIO11_PAD	GPIO11	IO	普通 IO
GPIO12_PAD	GPIO12	IO	普通 IO
GPIO13_PAD	GPIO13	IO	普通 IO
GPIO14_PAD	GPIO14	IO	普通 IO
GPIO15_PAD	GPIO15	IO	普通 IO

4 Zi8051-SC MCU 核

Z8D16R-2芯片采用了自行开发的Zi8051-SC 8位安全MCU核，其结构如图4-1所示。Zi8051-SC核是一款与工业标准8051指令集完全兼容的单周期高性能8位安全微控制器。该微控制器包括指令译码单元（IDU）、控制执行单元（EU）、算术逻辑单元(ALU)、中断处理单元（IPU）、通用寄存器组(R0-R7)、特殊功能寄存器组（SFR）、核内RAM接口及核内256字节SRAM、扩展SFR总线接口、

ROM总线接口、核外RAM总线接口，其内部结构如下图所示。

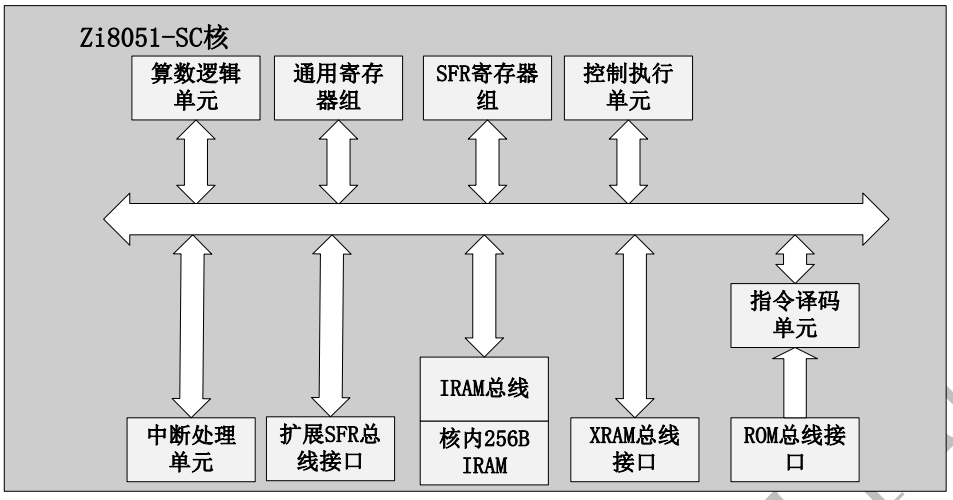

Figure 4-1 Zi8051-SC内核及存储接口部分结构图

5 系统控制单元 SCU

系统控制单元SCU负责芯片系统中的时钟配置、中断控制、低功耗控制以及复位等功能的实现。

5.1 系统及模块时钟

在用户模式下用到的时钟源有：Crystal Osc、Crystal 64KHz、OSC2M，其中Crystal Osc接外部晶振提供32.768KHz时钟，Crystal 64KHz将Crystal Osc时钟倍频提供65.536KHz时钟，OSC2M为内部振荡器根据SCU寄存器配置支持2MHz与500KHz两种频率时钟。用户模式下，各个模块的时钟可以根据需要单独开启与关闭。

5.2 低功耗模式

支持的低功耗模式如下表所示。

Table 5-1 低功耗模式列表

功耗模式	特色	进入条件	退出条件	描述	应用
仓储	极深度休眠	1）软件配置SCU 中寄存器； 2)SUSPEND 超时	PowerWake IO 输入低电平	仅功耗控制电路工作，其它电路断电或不工作； Crystal Osc 关闭；	不需要 RTC 与其它电路工作，并且要求功耗极低的场合

待机	深度休眠	1）软件配置SCU 中寄存器； 2）SUSPEND 超时 3）正常工作时按 PowerWake IO	1）待机时按 PowerWake IO 2）SCU 定时唤醒	仅功耗控制电路与 RTC 电路工作，其它电路断电或不工作；	仅需要RTC工作，不需要其它电路工作，并且要求功耗极低的场合
Overlook	常显模式	在 Standby 基础上，开启 LCD 显示功能	1）待机时按 PowerWake IO 2）SCU 定时唤醒	仅功耗控制电路、RTC 电路以及 LCD 相关电路工作，其它电路断电或不工作	需要 RTC 和 LCD 工作的时候，应用于常显模式
SUSPEND	中度休眠	软件配置 PCON.Pd 后增加 2 条 NOP();	唤醒信号有效	core 相关部分休眠；各外设等仍可正常工作；	可用在 CPU 空转等待外设完成工作等场合

注：1、正常模式与SUSPEND模式下，芯片各功能模块的时钟可以单独打开或关闭，以达到降低功耗的目的。

2、在中断状态有效并且对应的唤醒使能打开时，才能产生有效的唤醒信号，如果还需要产生中断，还需要打开对应的中断使能。

5.3 中断控制

芯片共14个中断源，与CPU核的5个中断类型的对应关系如下表所示。

Table 5-2 芯片中断列表

中断等级	中断类型	中断源	个数	涉及模块
4	外部中断（INT0）	Wdt	1	Wdt
		Secure	1	AnalogControl
		PowerWakeIO	1	Scu
3	定时器 0 中断（TF0）	TBC	1	TBC
2	外部中断（INT1）	Timer0/1/2/3	1	Timer
1	定时器 1 中断（TF1）	Wake Timer	1	Scu
		Suspend TimeOut	1	Scu
0	串行中断（SI）	Sm3	1	Sm3
		Uart	1	Uart

		GPIO	1	Iom
		ADC	1	AnalogControl

5.4 复位源

系统包括以下复位源：

- POR上电复位；
- Reset IO复位；
- WDT复位；

6.定时器 Timer 及看门狗 WDT

Timer 在 OTP 芯片中主要用来定时和测量时间的长短。可以配置为四个 8Bit 相互独立的 Timer，或者是四个自动 Load 功能的 8Bit Timer，或者是两个个 16Bit Timer。Timer 使用系统时钟进行计数，计时时间可配置，采用加法计数器，当计数器溢出时产生相应的中断，定时结束。

为避免软件运行时进入死循环，同时监视程序段运行时间是否正常，防止系统进入死锁状态，需要由 WDT(Watch Dog Timer)对软件运行的时钟周期数进行监控，提供跳出软件死循环或系统死锁的功能。开启 WDT 后，若软件运行时进入死循环或程序段运行超时，就会产生中断信号或系统复位信号，从而保护系统。WDT 溢出周期可配置，支持 125ms、500ms、2s、8s 四种配置。

7 实时时钟 TBC

TBC（Time Base clock）是用于记录基于某个时间点的秒数的时钟。芯片外接的 32.768KHz 的晶体经过 32768 分频后，得到 1Hz 的时钟，作为秒数计数器的时钟，计数器增加 1 则相当于计时 1 秒。但外部的 32.768KHz 的晶体本身存在一定的生成误差，而随着环境温度的变化，频率也会出现偏差。所以为了 TBC 能精确计时，需要对生产误差和环境温度导致的频偏做补偿。

TBC 和 RTC 一起完成晶振的频率校正。TBC 的工作原理主要是根据当前温度晶振偏离的 ppm 来调整计时的周期数，TBC 支持的频率调整范围是±1024ppm，

调整精度为 1ppm。每 61 秒增加或减少一个 32.768KHz 的时钟周期就相当于调整 1ppm，根据当前需要调整的 ppm，每 61 秒对计时的时钟周期数进行增加或减少。

8 存储器组织

Z8D16R-2 的片上存储器分为两部分。一部分是非易失性的程序存储器 OTP(One Time Programable)，另一部分是易失性地静态随机存储器 SRAM。程序存储器 OTP 及 SRAM 的控制对用户是透明的，无需额外做任何其他配置。

8.1 OTP FLASH

OTP 需要通过专用的编程接口写入数据，且需要片外提供 7.5V 的编程电压。用于存放程序代码及常量数据。片上 CPU 仅对 OTP 有读的权限，无法修改 OTP 内部存储的信息，OTP 的总容量为 48K，其中最高 32Bytes 为 Info 区（地址 0x3FE0-0x3FFF），用于存储芯片的出厂数据信息，仅供程序读取，Info 区中的存储内容见下表所示。其余程序空间（地址 0x0000-0x3FDF）用来存储用户程序。

Table 8-1 Info 区存储空间

类别	名称	Byte 偏址 @ HEX	bit-Width	功能描述
芯片序列号	SN	16'h00	16*8	芯片出厂前写入，每颗芯片的芯片序列号唯一；
保留	保留	16'h10	12*8	保留
温度传感器基准值	TSAdjust	16'h1C	2*8	芯片出厂前写入，为固定温度（30 度）下温度传感器的 ADC 采样值； 软件根据此值与应用中 ADC 检测的 TS 输出值共同计算实际温度，具体应用见安全检测模块中描述；
晶振功耗控制配置值	OSC32768PowCtrl	16'h1E	1*8	芯片出厂前写入，软件直接读出后配置到系统控制模块中的 SCU 功耗控制寄存器的 CrystalPowerCtrl 位即可
保留	保留	16'h1F	1*8	保留

OTP 存储器空间支持三种模式，16KB×3 模式（容量为 16KB，可支持 3 次

编程）、24KB×2 模式（容量为 24KB，可支持 2 次编程）及 48KB×1 模式（48KB 容量，仅支持一次编程），模式信息在下载程序之前进行配置。

8.2 SRAM

片上的 SRAM 分为两个部分，3KB 的 XRAM 和 256B 的 IRAM。芯片进入待机模式时，XRAM 可通过软件控制是否保持，IRAM 中的数据将保持。

SRAM 通过 RAMC 模块来控制，RAMC 的主要功能是将 IBUS 和 XBUS 时序转化为 SRAM 的读写时序，RAMC 支持 3KB XRAM 和 256B IRAM 的读写操作，均可在单拍完成。其中 XRAM 的高 128B 为 8051 核与算法模块共享 RAM。

9 接口单元

Z8D16 IOM 模块主要用于芯片的 IO 管理，包括 IO 的复用、IO 的输入输出控制、上下拉控制、IO 的中断控制等相关内容，主要涉及模块有管脚复用配置单元 IOM、LCD 段码屏驱动单元、通用异步收发器 UART 单元、模数转换 ADC 控制单元。

IOM 外部管脚复用配置模块是 Z8D16R-2 芯片非常重要的一个组成部分。Z8DR16 芯片拥有 16 个复用可配置 IO，输入输出模式可配置，内部上拉电阻和无上拉可配置，其中：

1) 2 个 IO 可复用为 UART 的发送接收引脚；
2) 1 个引脚可以复用为 LSCLK 信号输出引脚；

9.1 通用异步串口收发器（UART）

Z8D16R-2 中仅在出厂时用来下载种子密钥等，因无同时收发的应用场景，故简化设计为半双工通信。通用异步串口收发器是把存储器或处理器中并行传输的数据串行的发送到外设的 UART 接收端，或接收 UART 外设的串行数据并转换为并行数据提供给处理器。Uart 模块功能特点包括

- 提供标准的异步通讯位（起始位、奇偶位和停止位，均不可配）
- 1 个 8bit 的接收/发送 buffer
- 半双工通信
- 支持数据通讯及错误处理中断

- Uart 时钟为 32.768kHz（+/-4%）
- 传输波特率固定为 4800bps@32.768kHz

一帧数据的格式如下：

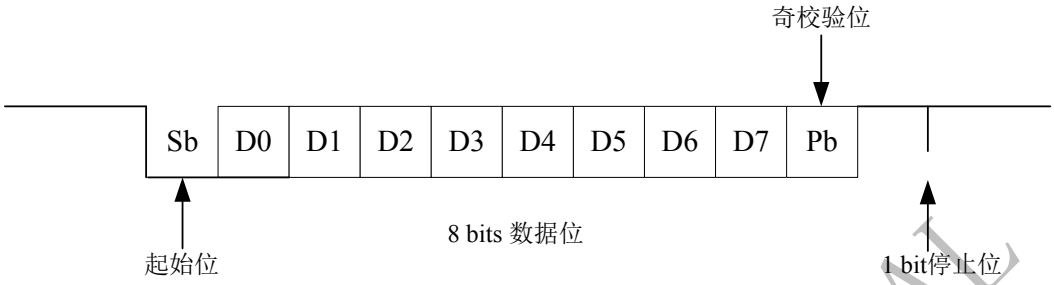

Figure 9-1一帧数据格式

9.2 液晶显示驱动模块 LCDDRIVER

LCD Driver 控制器模块根据用户配置需要显示信息产生 LCD 的 Seg Line 和 Com Line 的相应时序电压选择信号。并采用分时扫描降低功耗，采用分帧极性反转扫描防止 LCD 屏极化。

Table 9-1 LcdDrv 规格

一级规格点	子规格点	支持程度
总线	Xbus总线	用于核来配置寄存器
时钟	系统时钟（核时钟）	支持
	计数时钟	支持，32KHz
复位	系统复位	支持
Dots	1、2Scans-34Segs 2、3Scans-33Segs 3、4Scans-32Segs 4、5Scans-31Segs	支持，配置Duty，4选1
工作模式	1、LCD Stop Mode 2、All LCDs Off Mode 3、LCD Display Mode 4、All LCDs On Mode	支持，Stop模式下Com和Sel电压为Vss。
分时显示	一帧内分时scan	支持，配置Duty，4选1
极性反转	相邻帧产生的Com和Source的压差相等，极性相反	支持
电压选择信号	Bias=1/3, Bias=1/2	支持，配置Bias，
Bias Generation	Bias电路使能信号	支持，Bias电路建立时间大概10ms，软件等待

	Bias电路时钟，2KHZ	计数时钟分频输出

9.4 ADC 模块

ADC 模块主要实现逐次逼近算法，根据采样数据结果反馈给模拟单元选择下一个数据选择区域，并将逐次逼近算法每一步的采样数据记忆下来，作为最后数据输出。

被检测电压被划分为 1024 段，每一段压值为 V/1024，将输入的电压值先二分比较，如果大于 V/2，则 Dat[9]=1，启动第二次比较，如果大于 V/2+V/4，则 Dat[8]=1'b1，启动第三次比较，依次类推，比较完成后将 Dat[9:0]输出。

支持三路输入选择，包括内部温度传感器、电池电压（1/4*VDD）与 IO 输入。输入电压范围为 0 到 0.9V，采样速率约为 2.5KHz。

10 芯片安全功能

Z8D16R-2 安全功能主要由安全检测单元、随机数生成单元、算法控制单元实现。安全检测主要包括晶振频率检测、可见光检测、电池电压检测、温度检测、SRAM 数据奇偶校验、激光攻击检测、模拟 IP 使能攻击检测等。随机数生成单元用于产生随机数。算法控制单元用于实现 SM3 硬件算法。

10.1 安全检测 SEC

安全检测主要包括晶振频率检测、可见光检测、电池电压检测、温度检测、SRAM 数据奇偶校验、激光攻击检测、模拟 IP 使能攻击检测等。

晶振频率检测：采用 2MHz 时钟检测晶振时钟，可预防对晶振时钟的攻击；

可见光检测：采用模拟 IP 测试可见光，可检测出对芯片的开盖攻击；

电池电压检测：采用 ADC 检测电池电压（1/4*VDD）；

温度检测：采用 ADC 检测内部温度传感器的电压，可检测高低温攻击；

SRAM 数据奇偶校验：SRAM 增加奇偶校验位，可检测对 SRAM 数据的修改攻击；

激光攻击检测：通过 GlueLogic、GlueCell 等，在激光攻击发生产生报警信号；

模拟 IP 使能攻击检测：模拟 IP 的使能信号特殊处理，在使能信号被切断等

时产生报警信号。

10.2 安全算法模块 SM3

杂凑算法又称为散列函数、哈希函数或数据摘要算法，是能够将任意有限长的输入映射为固定长度的输出的一类压缩函数。一般来说，一个满足一定安全需求的杂凑算法，应该具备单项性、抗弱碰撞性和抗强碰撞性三种密码安全特性。杂凑算法是现代密码学的一类基础算法，为信息系统提供数据摘要、数据完整性检测方法和数据随机化等，满足包含数字签名在内的许多密码体制的重要安全要求。系统时钟为 64KHz 时，完成单个分组（64B）的 SM3 运算共需要 282ms。

10.3 随机数产生模块 RNGC

随机数在信息安全系统中扮演着重要的角色，在基于计算机或 internet 的通信和交易中有着广泛的应用。比如数据加密、密钥管理、公钥和私钥的产生、电子商务、数字签名、身份鉴定以及蒙特卡罗仿真等都要用到随机数。

RNGC 模块主要完成 RNG IP 的控制以及对随机数的进一步加扰操作，增强随机数的随机性。随机数产生频率支持三种：1MHz、500KHz 与 250KHz

11 详细电气特性

11.1 最高绝对限额

此部分提供 Z8D16R-2 芯片的绝对最高限额，在实际操作时不要超过这些参数，否则将永久地损坏芯片。

Table 11-1 绝对限额列表

符号	描述	最小	最大	单位
TS	存储温度	-45	85	℃
VDD	电源电压	2.4	3.6	V
VESD	最大 ESD 电压，HBM	-2K	2K	V

11.2 操作条件

此部分显示 Z8D16R-2 芯片的电压、频率以及温度特性。

Table 11-2 电压、温度以及频率电气特性

符号	描述	最小	典型	最大	单位

T_A	工作温度	-25	25	70	℃
V_{VDD}	电源电压	2.4	3	3.6	V
I_{STD}	待机模式，Vdd=3v，25℃	-	300	800	nA
I_{DOZEN}	适时自动休眠模式，Vdd=3v，25℃	-	<5	-	uA
I_{32K}	系统以 32KHz 主频运行	-	9	-	uA
I_{64K}	系统以 64KHz 主频运行	-	16.4	-	uA
I_{500K}	系统以 500KHz 主频运行	-	136.2	-	uA
I_{2M}	系统以 2MHz 主频运行	-	291	-	uA

11.3 DC 参数

DC 特性包括每一个引脚地输入门限以及输出驱动电压及电流。这些参数能够决定最大的 DC 负载，并决定给定负载的条件下的最大的传送时间。下表显示了高低电压输入、输出以及 IO 引脚情况下的 DC 操作条件，所有的 DC 参数值在整个温度范围内有效。

Table 11-3 标准输入、输出以及 IO 引脚 DC 操作条件

符号	描述	最小	典型	最大	单位
V_{OH1}	output voltage	V_{VDD}-0.5			V
V_{OL1}				0.5	uA
I_{OOH}	output leakage			1	V
I_{OOL}		-1			V
I_{IH1}	input current (RESET_N)			1	uA
I_{IL1}		-600	-300	-2	uA
I_{IH2}	input current (TEST0)	2	300	600	uA
I_{IL2}		-1	-	-	uA
I_{IH3}	input current (GPIO)	2	30	200	uA
I_{IL3}		-200	-30	-2	uA
I_{IH3Z}		-	-	1	uA
I_{IL3Z}		-1	-	-	uA
V_{IH1}	input voltage	0.7*V_{VDD}	-	V_{VDD}	uA
V_{IL1}		0	-	0.3*V_{VDD}	uA
C_{IN}	input capacitance	-	-	5	V

11.4 AC 特性

Table 11-4 AC 特性列表

符号	描述	典型值	最小值	最大值	单位
T_{power}	上电时间	0.73	0.72	1.4	s
T_{resume}	Standby 唤醒时间	6	5	10	ms
T_{iotr}	IO 上升沿时间 tR（3.3V）	65	54	82	ns
T_{iotf}	IO 下降沿时间 tF（3.3V）	42	34	63	ns