

ESP32-C3 系列芯片

技术规格书

搭载 RISC-V 32 位单核处理器的极低功耗 SoC

支持 2.4 GHz Wi-Fi 和 Bluetooth LE

包括

ESP32-C3

ESP32-C3FN4

ESP32-C3FH4



预发版本 0.4
乐鑫信息科技
版权 © 2020

产品概述

ESP32-C3 系列是极低功耗、高集成度的 MCU 系统级芯片 (SoC), 集成 2.4 GHz Wi-Fi 和低功耗蓝牙 (Bluetooth® LE) 双模无线通信, 具有:

- 完整的 Wi-Fi 子系统, 符合 IEEE 802.11b/g/n 协议, 具有 Station、SoftAP 和 SoftAP + Station 混杂三种模式
- 低功耗蓝牙子系统, 支持 Bluetooth 5 和 Bluetooth mesh
- 行业领先的低功耗性能和射频性能
- RISC-V 32 位单核处理器, 四级流水线架构, 主频高达 160 MHz
- 内置 400 KB SRAM、384 KB ROM 存储空间, 并支持多个外部 SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI flash
- 完善的安全机制
 - 硬件加密加速器可支持 AES-128/256、Hash、RSA、HMAC、数字签名和安全启动
 - 集成真随机数发生器
 - 支持片上存储器、片外存储器和外设的访问权限管理
 - 支持片外存储器加解密功能
- 丰富的通信接口及 GPIO 管脚, 可支持多种场景及复杂的应用

功能框图

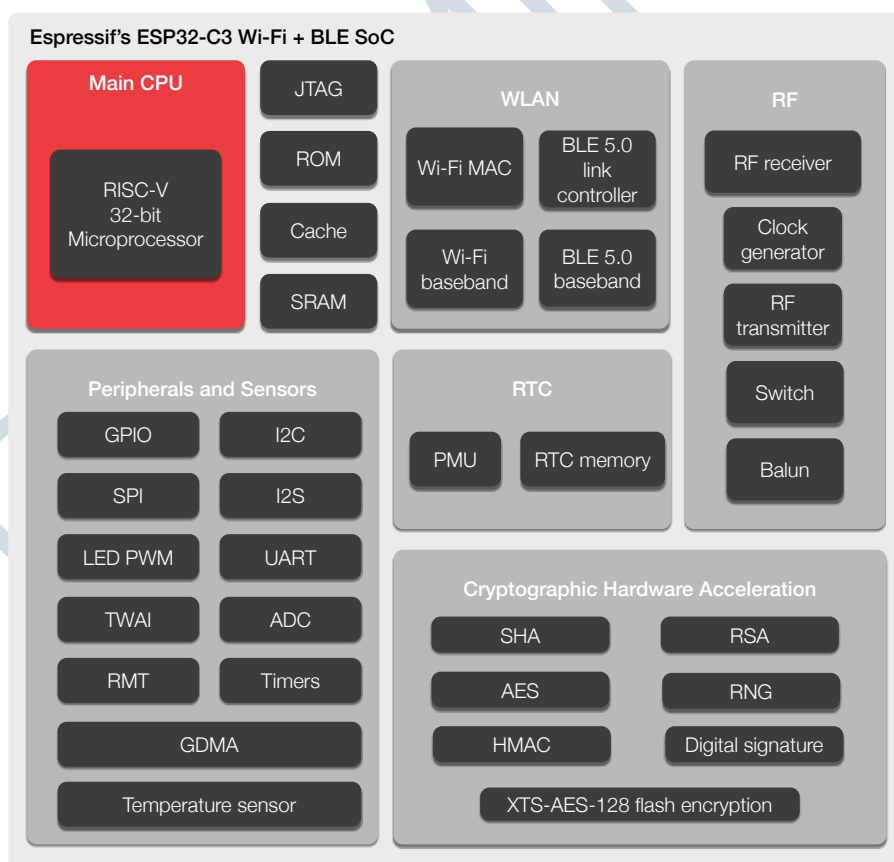


图 1: 功能框图

产品特性

Wi-Fi

- 支持 IEEE 802.11 b/g/n 协议
- 在 2.4 GHz 频带支持 20 MHz 和 40 MHz 频宽
- 支持 1T1R 模式，数据速率高达 150 Mbps
- 无线多媒体 (WMM)
- 帧聚合 (TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU)
- 立即块回复 (Immediate Block ACK)
- 分片和重组 (Fragmentation and defragmentation)
- Beacon 自动监测 (硬件 TSF)
- 4 × 虚拟 Wi-Fi 接口
- 同时支持基础结构型网络 (Infrastructure BSS) Station 模式、SoftAP 模式和 Station + SoftAP 混杂模式
请注意 ESP32-C3 系列在 Station 模式下扫描时，SoftAP 信道会同时改变
- 天线分集
- 802.11 mc FTM

蓝牙

- 低功耗蓝牙 (Bluetooth LE): Bluetooth 5、Bluetooth mesh
- 速率支持 125 Kbps、500 Kbps、1 Mbps、2 Mbps
- 广播扩展 (Advertising Extensions)
- 多广播 (Multiple Advertisement Sets)
- 信道选择 (Channel Selection Algorithm #2)

CPU 和存储

- 32 位 RISC-V 单核处理器，主频高达 160 MHz
- 384 KB ROM
- 400 KB SRAM
- 8 KB RTC SRAM

- SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI 接口外接多个 flash

高级外设接口和传感器

- 22 × GPIO 口
- 2 × 12 位 SAR 模/数转换器，多达 6 个通道
- 1 × 温度传感器
- 3 × SPI
- 2 × UART
- 1 × I2C
- 1 × I2S
- 红外收发器，2 个发送通道和 2 个接收通道
- LED PWM 控制器，多达 6 个通道
- 通用 DMA 控制器 (简称 GDMA)，3 个接收通道和 3 个发送通道
- 1 × TWAI™ 控制器 (兼容 ISO11898-1)

低功耗管理

- 电源管理单元，五种功耗模式

安全机制

- 安全启动
- Flash 加密
- 4096 位 OTP，用户可用的高达 1792 位
- 加密硬件加速器：
 - AES-128/256 (FIPS PUB 197)
- 访问权限管理
- SHA 加速器 (FIPS PUB 180-4)
- RSA 加速器
- 随机数生成器 (RNG)
- HMAC
- 数字签名

应用（部分举例）

具有超低功耗的 ESP32-C3 系列专为物联网 (IoT) 设备而设计，应用领域包括：

- [智能家居](#)
 - 智能照明
 - 智能按钮
 - 智能插座
 - 室内定位
- [工业自动化](#)
 - 工业机器人
 - Mesh 组网
 - 人机界面
 - 工业总线应用
- [医疗保健](#)
 - 健康监测
 - 婴儿监控器
- [消费电子产品](#)
 - 智能手表、智能手环
 - OTT 电视盒、机顶盒设备
- Wi-Fi 和蓝牙音箱
- 具有数据上传功能的玩具和接近感应玩具
- 智慧农业
 - 智能温室大棚
 - 智能灌溉
 - 农业机器人
- 零售餐饮
 - POS 系统
 - 服务机器人
- 音频设备
 - 网络音乐播放器
 - 音频流媒体设备
 - 网络广播
- 通用低功耗 IoT 传感器集线器
- 通用低功耗 IoT 数据记录器

目录

产品概述	2
功能框图	2
产品特性	3
应用	4
1 产品型号对比	9
1.1 ESP32-C3 系列芯片命名	9
1.2 ESP32-C3 系列芯片对比	9
2 管脚定义	10
2.1 管脚布局	10
2.2 管脚描述	10
2.3 电源管理	12
2.4 Strapping 管脚	12
3 功能描述	14
3.1 CPU 和存储	14
3.1.1 CPU	14
3.1.2 片上存储	14
3.1.3 外部 flash	14
3.1.4 存储器映射	14
3.1.5 Cache	15
3.2 系统时钟	16
3.2.1 CPU 时钟	16
3.2.2 RTC 时钟	16
3.3 模拟外设	16
3.3.1 模/数转换器 (ADC)	16
3.3.2 温度传感器	16
3.4 数字外设	16
3.4.1 通用输入/输出接口 (GPIO)	16
3.4.2 串行外设接口 (SPI)	17
3.4.3 通用异步收发器 (UART)	17
3.4.4 I2C 接口	17
3.4.5 I2S 接口	18
3.4.6 红外遥控器	18
3.4.7 LED PWM 控制器	18
3.4.8 通用 DMA 控制器	18
3.4.9 TWAI 控制器	18
3.5 射频和 Wi-Fi	18
3.5.1 2.4 GHz 接收器	19
3.5.2 2.4 GHz 发射器	19
3.5.3 时钟生成器	19
3.5.4 Wi-Fi 射频和基带	19

3.5.5 Wi-Fi MAC	19
3.5.6 联网特性	20
3.6 低功耗蓝牙	20
3.6.1 低功耗蓝牙射频和物理层	20
3.6.2 低功耗蓝牙链路层控制器	20
3.7 低功耗管理	21
3.8 定时器	21
3.8.1 通用定时器	21
3.8.2 系统定时器	22
3.8.3 看门狗定时器	22
3.9 加密硬件加速器	22
3.10 物理安全特性	22
3.11 外设管脚分配	23
修订历史	25
解决方案、文档及法律信息	26

PRELIMINARY

表格

1	ESP32-C3 系列芯片对比	9
2	管脚描述	10
3	Strapping 管脚	13
4	ESP32-C3 系列和外部 flash 芯片的连接关系	17
5	外设和传感器管脚分配	23

PRELIMINARY

插图

1	功能框图	2
2	ESP32-C3 系列芯片命名	9
3	ESP32-C3 系列芯片管脚布局（俯视图）	10
4	ESP32-C3 系列数字电源管理	12
5	地址映射结构	15

PRELIMINARY

1. 产品型号对比

1.1 ESP32-C3 系列芯片命名

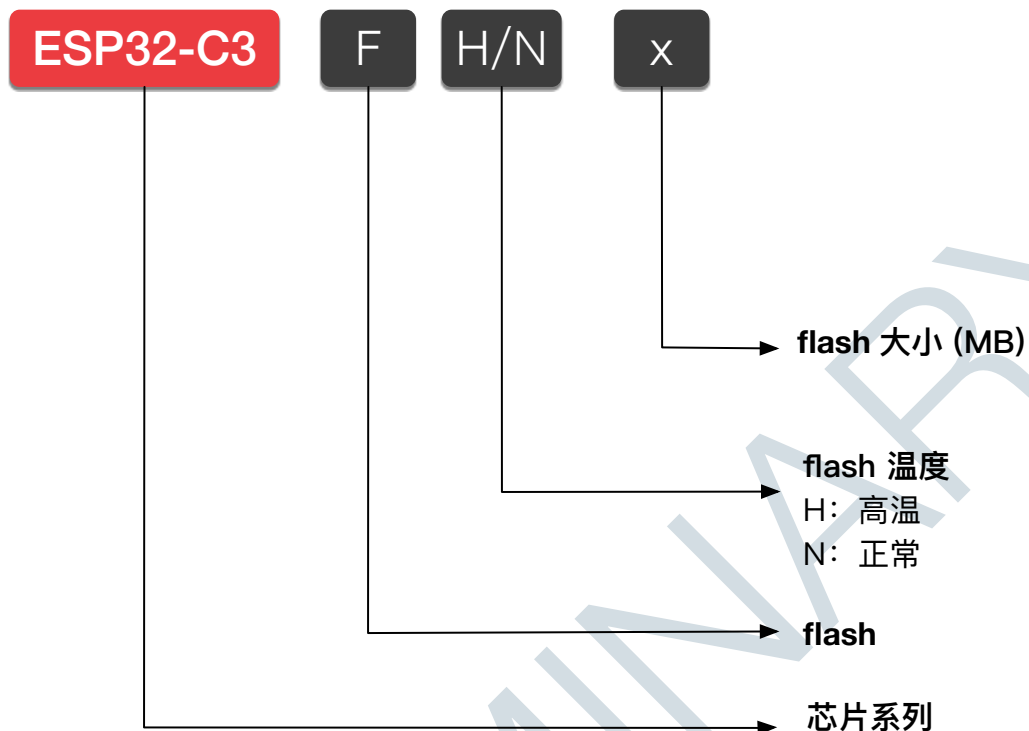


图 2: ESP32-C3 系列芯片命名

1.2 ESP32-C3 系列芯片对比

表 1: ESP32-C3 系列芯片对比

订购型号	嵌入式 flash	环境温度 (°C)	封装 (mm)
ESP32-C3	无	-40 ~ 105	QFN32 (5*5)
ESP32-C3FN4	4 MB	-40 ~ 85	QFN32 (5*5)
ESP32-C3FH4	4 MB	-40 ~ 105	QFN32 (5*5)

2. 管脚定义

2.1 管脚布局

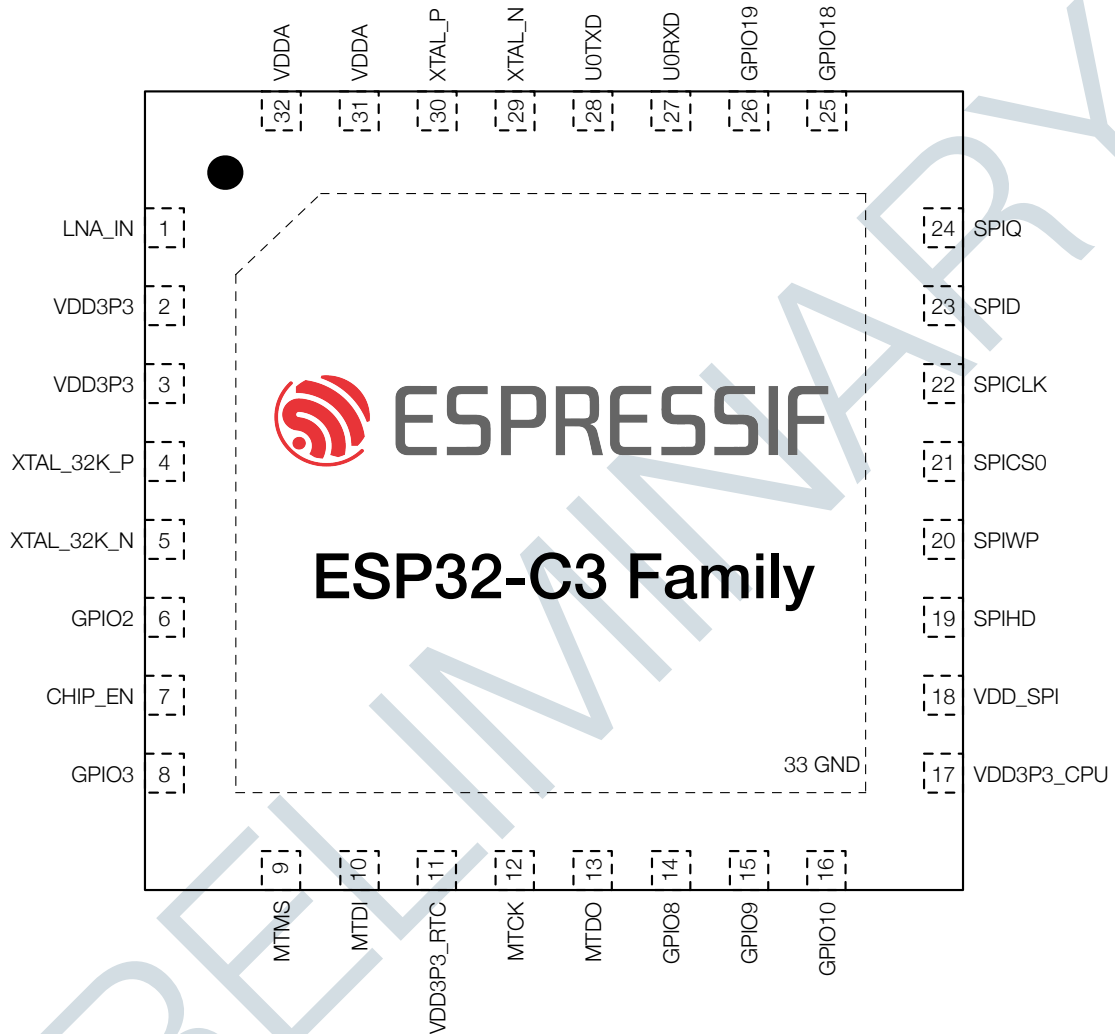


图 3: ESP32-C3 系列芯片管脚布局 (俯视图)

2.2 管脚描述

表 2: 管脚描述

名称	No.	类型	电源域	功能
LNA_IN	1	I/O	—	射频输入和输出
VDD3P3	2	PA	—	模拟电源
VDD3P3	3	PA	—	模拟电源

名称	No.	类型	电源域	功能
XTAL_32K_P	4	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO0, ADC1_CH0, XTAL_32K_P
XTAL_32K_N	5	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO1, ADC1_CH1, XTAL_32K_N
GPIO2	6	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO2, ADC1_CH2, FSPIQ
CHIP_EN	7	I	VDD3P3_RTC	高电平：芯片使能； 低电平：芯片关闭； 注意不能让 CHIP_PU 管脚浮空。
GPIO3	8	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO3, ADC1_CH3
MTMS	9	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO4, ADC1_CH4, FSPIHD, MTMS
MTDI	10	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO5, ADC2_CH0, FSPIWP, MTDI
VDD3P3_RTC	11	PD	—	RTC 电源输入
MTCK	12	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO6, FSPICLK, MTCK
MTDO	13	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO7, FSPID, MTDO
GPIO8	14	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO8
GPIO9	15	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO9
GPIO10	16	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO10, FSPICS0
VDD3P3_CPU	17	PD	—	CPU IO 电源输入
VDD_SPI	18	I/O/T/PD	VDD3P3_CPU	GPIO11, flash 电源输出
SPIHD	19	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO12, SPIHD
SPIWP	20	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO13, SPIWP
SPICS0	21	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO14, SPICS0
SPICLK	22	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO15, SPICLK
SPID	23	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO16, SPID
SPIQ	24	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO17, SPIQ
GPIO18	25	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO18
GPIO19	26	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO19
U0RXD	27	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO20, U0RXD
U0TXD	28	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO21, U0TXD
XTAL_N	29	—	—	外部主晶振输出
XTAL_P	30	—	—	外部主晶振输入
VDDA	31	PA	—	模拟电源
VDDA	32	PA	—	模拟电源
GND	33	G	—	接地

说明：

1. P：电源管脚；I：输入；O：输出；T：可以被设置为高阻。
2. ESP32-C3FN4 和 ESP32-C3FH4 的管脚 VDD_SPI、SPIHD、SPIWP、SPICS0、SPICLK、SPIQ 和 SPID 已经用于连接嵌入式 flash，不建议用于其他功能。
3. ESP32-C3 系列芯片和外部 flash 芯片的数据端口连接关系请参考 3.4.2 小节。
4. 本表中管脚功能仅指部分固定设置，对于可通过 GPIO 矩阵输入输出的信号，不受本表的限制。有关 GPIO 交换矩阵的更多信息，请参考《ESP32-C3 技术参考手册》。

2.3 电源管理

ESP32-C3 系列的数字管脚可分为三种不同的电源域：

- VDD3P3_CPU
- VDD_SPI
- VDD3P3_RTC

VDD3P3_CPU 是 CPU 的输入电源。

VDD_SPI 可以作为输入电源或输出电源。

VDD3P3_RTC 同时是 RTC 和 CPU 的输入电源。

ESP32-C3 系列的数字电源管理如图 4 所示：

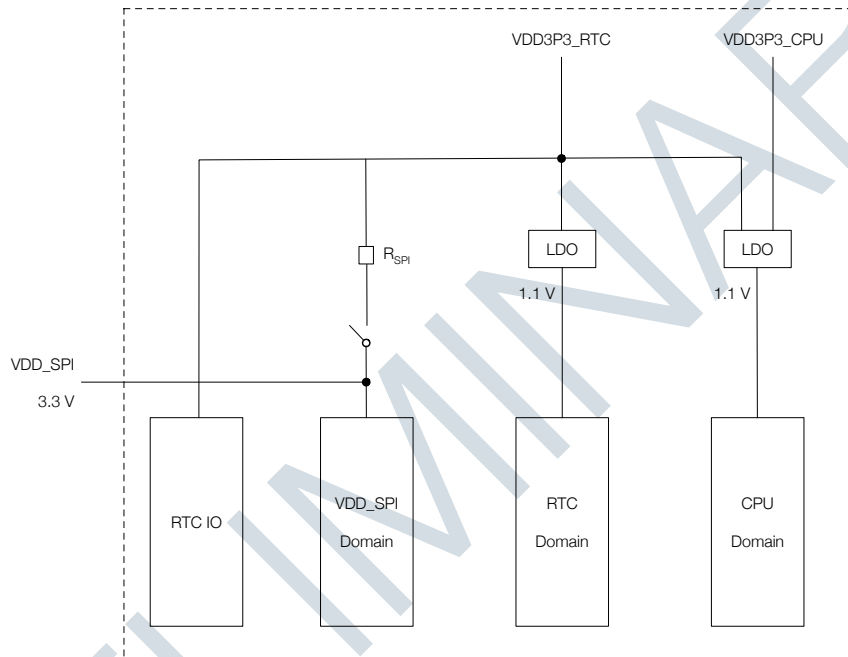


图 4: ESP32-C3 系列数字电源管理

VDD_SPI 作为输出电源时，由 VDD3P3_RTC 通过电阻 R_{SPI} 后供电（电压典型值为 3.3 V）。在 Deep-sleep 模式下，为了使 flash 漏电降到最低，可以通过软件关闭 VDD_SPI 电源。

2.4 Strapping 管脚

ESP32-C3 系列共有三个 Strapping 管脚。

- GPIO8
- GPIO9
- GPIO10

软件可以读取寄存器“GPIO_STRAPPING”中这几个管脚 strapping 的值。

在芯片的系统复位（上电复位、RTC 看门狗复位、欠压复位、模拟超级看门狗 (analog super watchdog) 复位、晶振时钟毛刺检测复位）过程中，Strapping 管脚对自己管脚上的电平采样并存储到锁存器中，锁存值为“0”或“1”，并一直保持到芯片掉电或关闭。

GPIO9 默认连接内部上拉。如果该管脚没有外部连接或者连接的外部线路处于高阻抗状态，内部弱上拉/下拉将决定这几个管脚输入电平的默认值。

为改变 Strapping 的值，您可以应用外部下拉/上拉电阻，或者应用主机 MCU 的 GPIO 控制 ESP32-C3 系列上电复位时的 Strapping 管脚电平。

复位放开后，Strapping 管脚和普通管脚功能相同。

配置 Strapping 管脚的详细启动模式请参阅表 3。

表 3: Strapping 管脚

系统启动模式 ¹			
管脚	默认	SPI 启动模式	下载启动模式
GPIO8	无	无关项	1
GPIO9	上拉	1	0
系统启动过程中，控制 ROM Code 打印			
管脚	默认	功能	
GPIO8	无	eFuse 的 UART_PRINT_CONTROL 为 0 时，上电正常打印，不受 GPIO8 控制。 1 时，若 GPIO8 为 0，上电正常打印；若 GPIO8 为 1，上电不打印。 2 时，若 GPIO8 为 0，上电不打印；若 GPIO8 为 1，上电正常打印。 3 时，上电不打印，不受 GPIO8 控制。	
系统启动过程中，控制 JTAG 信号来源			
管脚	默认	功能	
GPIO10	无	eFuse 的 EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE 为 0 时，JTAG 信号不可使用。 1 时，若 GPIO10 为 0，JTAG 信号来自于芯片管脚； 若 GPIO10 为 1，JTAG 信号不可使用。	

说明：

1. GPIO8 = 0 且 GPIO9 = 0 不可使用。

3. 功能描述

本章描述 ESP32-C3 系列的各个功能模块。

3.1 CPU 和存储

3.1.1 CPU

ESP32-C3 系列系列搭载低功耗 RISC-V 32 位单核处理器，具有以下特性：

- 四级流水线架构，支持 160 MHz 的时钟频率
- RV32IMC ISA
- 支持 32 位乘法器、32 位除法器
- 支持最多 32 个向量中断，共 7 个优先级
- 支持最多 8 个硬件断点/观察点
- 支持最多 16 个 PMP 区域
- 用于调试的 JTAG 接口

3.1.2 片上存储

ESP32-C3 系列片上存储包括：

- **384 KB 的 ROM**：用于程序启动和内核功能调用
- **400 KB 片上 SRAM**：用于数据和指令存储
- **RTC 存储器**：为 8 KB 的 SRAM，可被主 CPU 访问，在 Deep-sleep 模式下可以保存数据
- **4 Kbit 的 eFuse**：其中 1792 位保留给用户使用，例如用于存储密钥和设备 ID

3.1.3 外部 flash

ESP32-C3 系列支持多个外部 SPI、Dual SPI、Quad SPI 和 QPI flash。

CPU 的指令空间、只读数据空间可以映射到外部 flash，外部 flash 可以最大支持 16 MB。ESP32-C3 系列支持基于 XTS-AES 的硬件加解密功能，从而保护开发者 flash 中的程序和数据。

通过高速缓存，ESP32-C3 系列一次最多可以同时有：

- 8 MB 的指令空间以 64 KB 的块映射到 flash，支持 8 位、16 位和 32 位读取。
- 8 MB 的数据空间以 64 KB 的块映射到 flash，支持 8 位、16 位和 32 位读取。

说明：

芯片启动完成后，软件可以自定义片外 flash 到 CPU 地址空间的映射。

3.1.4 存储器映射

ESP32-C3 系列的地址映射结构如图 5 所示。

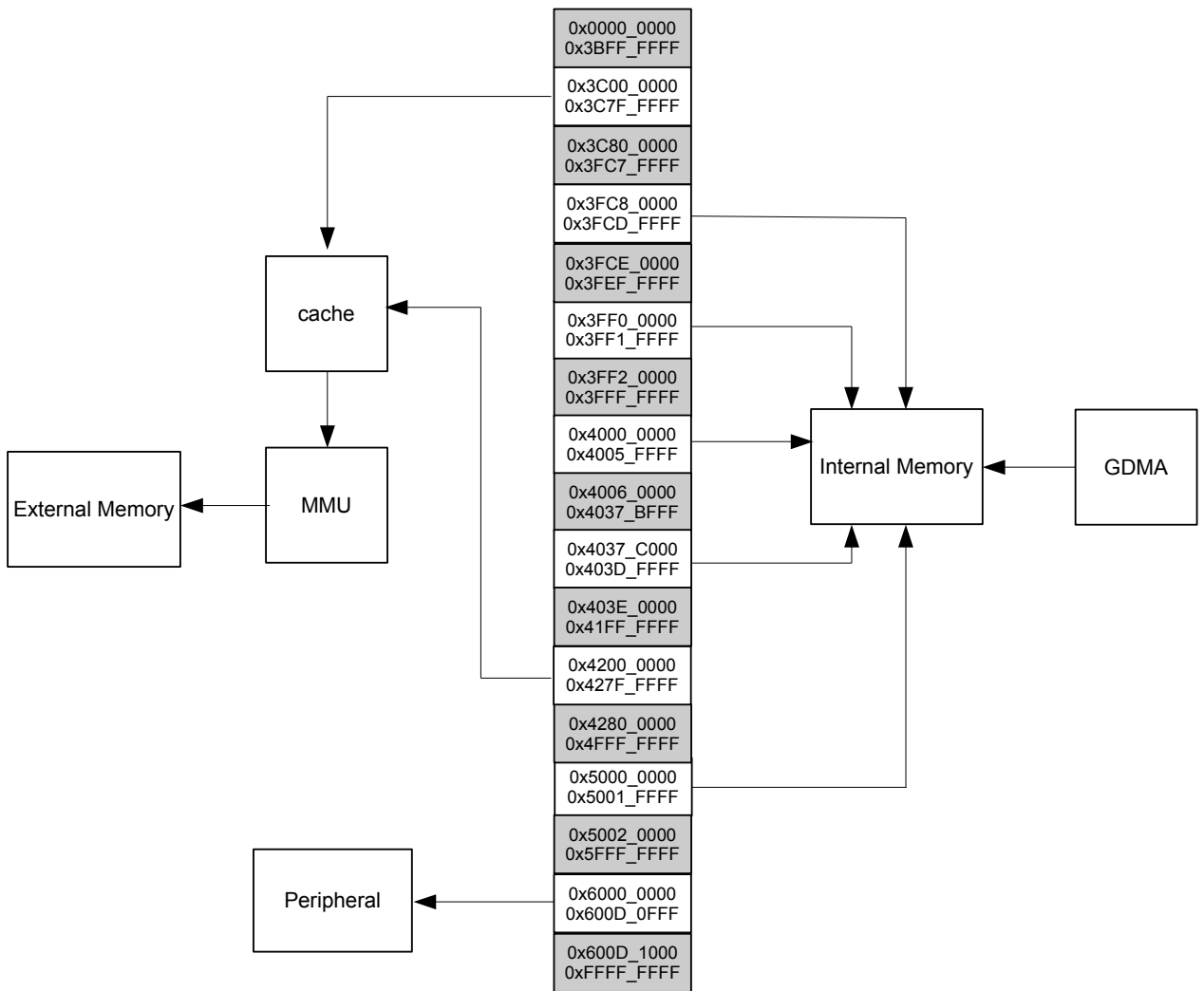


图 5: 地址映射结构

说明:

图中灰色背景标注的地址空间不可用。

3.1.5 Cache

ESP32-C3 系列采用八路组相连只读 cache 结构，具有以下特性：

- cache 的大小为 16 KB
- cache 的块大小为 32 字节
- 支持 pre-load 功能
- 支持 lock 功能
- 支持关键字优先 (critical word first) 和提前重启 (early restart)

3.2 系统时钟

3.2.1 CPU 时钟

CPU 时钟有三种可能的时钟源：

- 外置主晶振时钟
- 内置 20 MHz 振荡器时钟
- PLL 时钟

应用程序可以在外置主晶振、PLL 时钟和内置 20 MHz 时钟中选择一个作为时钟源。根据不同的应用程序，被选择的时钟源直接或在分频之后驱动 CPU 时钟。

3.2.2 RTC 时钟

RTC 慢速时钟应用于 RTC 计数器、RTC 看门狗和低功耗控制器，有三种可能的时钟源：

- 外置低速 (32 kHz) 晶振时钟
- 内置 RC 振荡器（通常为 150 kHz，频率可调节）
- 内置 78.125 kHz 时钟（由内置 20 MHz 振荡器时钟经 256 分频生成）

RTC 快速时钟应用于 RTC 外设和传感器控制器，有 2 种可能的时钟源：

- 外置主晶振经 2 分频的时钟
- 内置 20 MHz 振荡器时钟

3.3 模拟外设

3.3.1 模/数转换器 (ADC)

ESP32-C3 系列集成了两个 12 位 SAR ADC，共支持 6 个模拟通道输入。

3.3.2 温度传感器

温度传感器生成一个随温度变化的电压。内部 ADC 将传感器电压转化为一个数字量。

温度传感器的测量范围为 -20 °C 到 110 °C。温度传感器一般只适用于监测芯片内部温度的变化，该温度值会随着微控制器时钟频率或 IO 负载的变化而变化。一般来讲，芯片内部温度会高于外部温度。

3.4 数字外设

3.4.1 通用输入/输出接口 (GPIO)

ESP32-C3 系列共有 22 个 GPIO 管脚，通过配置对应的寄存器，可以为这些管脚分配不同的功能。除作为数字信号管脚外，部分 GPIO 管脚也可配置为模拟功能管脚，比如 ADC 等管脚。

所有 GPIO 都可选择内部上拉/下拉，或设置为高阻。当被配置为输入时，可通过读取寄存器获取输入值。输入管脚也可以被设置为通过边缘触发或电平触发来产生 CPU 中断。数字 IO 管脚都是双向、非反相和三态的，包括带有三态控制的输入和输出缓冲器。这些管脚可以复用作其他功能，例如 UART、SPI 等。当芯片低功耗运行时，GPIO 可被设定为保持状态。

IO MUX 和 GPIO 交换矩阵用于将信号从外设传输至 GPIO pad。两者共同组成了芯片的 IO 控制。利用 GPIO 交换矩阵，可配置外设模块的输入信号来源于任何的 IO 管脚，并且外设模块的输出信号也可连接到任意 IO 管脚。

3.4.2 串行外设接口 (SPI)

ESP32-C3 系列共有三个 SPI (SPI0、SPI1 和 SPI2)。SPI0 和 SPI1 只可以配置成 SPI 存储器模式，SPI2 既可以配置成 SPI 存储器模式又可以配置成通用 SPI 模式。

• SPI 存储器 (SPI Memory) 模式

SPI 存储器模式 (SPI0, SPI1 和 SPI2) 用于连接 SPI 接口的外部存储器。SPI 存储器模式下数据传输长度以字节为单位，最高支持四线 STR 读写操作。时钟频率可配置，STR 模式下支持的最高时钟频率为 120 MHz。

• SPI2 通用 SPI (GP-SPI) 模式

SPI2 作为通用 SPI 时，既可以配置成主机模式，又可以配置成从机模式。主机模式和从机模式均支持双线全双工和单线、双线或四线半双工通信。通用 SPI 的主机时钟频率可配置；数据传输长度以字节为单位；时钟极性 (CPOL) 和相位 (CPHA) 可配置；可连接 GDMA 通道。

- 在双线全双工通信模式下，主机和从机的时钟最高频率为 80 MHz。支持 SPI 传输的四种时钟模式。
- 在主机单线、双线或四线半双工通信模式下，时钟频率最高为 80 MHz，支持 SPI 传输的四种时钟模式。
- 在从机单线、双线或四线半双工通信模式下，时钟频率最高为 60 MHz，也支持 SPI 传输的四种时钟模式。

通常情况下，ESP32-C3 系列和外部 flash 芯片的数据端口连接关系是：

表 4: ESP32-C3 系列和外部 flash 芯片的连接关系

	SPI 单线模式	SPI 双线模式	SPI 四线模式
SPID (SPID)	DI	IO0	IO0
SPIQ (SPIQ)	DO	IO1	IO1
SPIWP (SPIWP)	WP#	N/A	IO2
SPIHD (SPIHD)	HOLD#	N/A	IO3

3.4.3 通用异步收发器 (UART)

ESP32-C3 系列有两个 UART 接口，即 UART0 和 UART1，支持异步通信 (RS232 和 RS485) 和 IrDA，通信速率可达到 5 Mbps。UART 支持 CTS 和 RTS 信号的硬件流控以及软件流控 (XON 和 XOFF)。两个 UART 接口通过共用的 UHCI0 接口与 GDMA 相连，均可被 GDMA 访问或者 CPU 直接访问。

3.4.4 I2C 接口

ESP32-C3 系列有一个 I2C 总线接口，根据用户的配置，总线接口可以用作 I2C 主机或从机模式。I2C 接口支持：

- 标准模式 (100 Kbit/s)
- 快速模式 (400 Kbit/s)
- 速度最高可达 800 Kbit/s，但受制于 SCL 和 SDA 上拉强度
- 7 位寻址模式和 10 位寻址模式
- 双寻址模式
- 7 位广播地址

用户可以配置指令寄存器来控制 I2C 接口，从而实现更多灵活的应用。

3.4.5 I2S 接口

ESP32-C3 系列有一个标准 I2S 接口，可以以主机或从机模式，在全双工或半双工模式下工作，并且可被配置为 I2S 串行 8/16/24/32 位的收发数据模式，支持频率从 10 kHz 到 40 MHz 的 BCK 时钟。

I2S 接口连接 GDMA 控制器。支持 TDM PCM、TDM MSB 对齐、TDM 标准和 PDM TX 接口。

3.4.6 红外遥控器

红外遥控器 (RMT) 支持双通道的红外发射和双通道的红外接收。通过程序控制脉冲波形，遥控器可以支持多种红外协议和单线协议。四个通道共用一个 192×32 位的存储模块来存放收发的波形。

3.4.7 LED PWM 控制器

LED PWM 控制器可以用于生成六路独立的数字波形，具有如下特性：

- 波形的周期和占空比可配置，占空比精确度可达 18 位
- 多种时钟源选择，包括 APB 总线时钟、外置主晶振时钟
- 可在 Light-sleep 模式下工作
- 支持硬件自动步进式地增加或减少占空比，可用于 LED RGB 彩色梯度发生器

3.4.8 通用 DMA 控制器

ESP32-C3 系列包含一个六通道的通用 DMA 控制器（简称 GDMA），包括三个发送通道和三个接收通道，每个通道之间相互独立。这六个通道被具有 DMA 功能的外设所共享，通道之间支持动态优先级。

通用 DMA 控制器基于链表来实现对数据收发的控制，并支持外设与存储器之间及存储器与存储器之间的高速数据传输。每个通道支持访问片内 RAM。

ESP32-C3 系列中有六个外设具有 DMA 功能，这六个外设是 SPI2、UHCI0、I2S、AES、SHA 和 ADC。

3.4.9 TWAI 控制器

ESP32-C3 系列带有一个 TWAI 控制器，具有如下特性：

- 兼容 ISO 11898-1 协议
- 支持标准帧格式（11 位 ID）和扩展帧格式（29 位 ID）
- 比特率从 1 Kbit/s 到 1 Mbit/s
- 多种操作模式：工作模式、监听模式和自检模式（传输无需确认）
- 64 字节接收 FIFO
- 数据接收过滤器（支持单过滤器和双过滤器模式）
- 错误检测与处理：错误计数器，可配置的错误中断阈值，错误代码记录，仲裁丢失记录

3.5 射频和 Wi-Fi

ESP32-C3 系列射频包含以下主要模块：

- 2.4 GHz 接收器
- 2.4 GHz 发射器
- 偏置 (Bias) 和线性稳压器
- Balun 和收发切换器

- 时钟生成器

3.5.1 2.4 GHz 接收器

2.4 GHz 接收器将 2.4 GHz 射频信号解调为正交基带信号，并用两个高精度、高速的 ADC 将后者转为数字信号。为了适应不同的信道情况，ESP32-C3 系列集成了 RF 滤波器、自动增益控制 (AGC)、DC 偏移补偿电路和基带滤波器。

3.5.2 2.4 GHz 发射器

2.4 GHz 发射器将正交基带信号调制为 2.4 GHz 射频信号，使用大功率互补金属氧化物半导体 (CMOS) 功率放大器驱动天线。数字校准进一步改善了功率放大器的线性。

为了抵消射频接收器的瑕疵，ESP32-C3 系列还另增了校准措施，例如：

- 载波泄露消除
- I/Q 相位匹配
- 基带非线性抑制
- 射频非线性抑制
- 天线匹配

这些内置校准措施缩短了产品的测试时间，并且不再需要测试设备。

3.5.3 时钟生成器

时钟生成器为接收器和发射器生成 2.4 GHz 正交时钟信号，所有部件均集成于芯片上，包括电感、变容二极管、环路滤波器、线性稳压器和分频器。

时钟生成器带有内置校准电路和自测电路。运用自主知识产权的优化算法，对正交时钟的相位和相位噪声进行优化处理，使接收器和发射器都有最好的性能表现。

3.5.4 Wi-Fi 射频和基带

ESP32-C3 系列 Wi-Fi 射频和基带支持以下特性：

- 802.11b/g/n
- 802.11n MCS0-7 支持 20 MHz 和 40 MHz 带宽
- 802.11n MCS32
- 802.11n 0.4 μ s 保护间隔
- 数据率高达 150 Mbps
- 接收 STBC (单空间流)
- 可调节的发射功率
- 天线分集

ESP32-C3 系列支持基于外部射频开关的天线分集与选择。外部射频开关由一个或多个 GPIO 管脚控制，用来选择最合适的天线以减少信道衰落的影响。

3.5.5 Wi-Fi MAC

ESP32-C3 系列完全遵循 802.11 b/g/n Wi-Fi MAC 协议栈，支持分布式控制功能 (DCF) 下的基本服务集 (BSS) STA 和 SoftAP 操作。支持通过最小化主机交互来优化有效工作时长，以实现功耗管理。

ESP32-C3 系列 Wi-Fi MAC 自行支持的底层协议功能如下：

- 4 × 虚拟 Wi-Fi 接口
- 同时支持基础结构型网络 (Infrastructure BSS) Station 模式、SoftAP 模式和 Station + SoftAP 混杂模式
- RTS 保护, CTS 保护, 立即块回复 (Immediate Block ACK)
- 分片和重组 (Fragmentation and defragmentation)
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU
- TXOP
- 无线多媒体 (WMM)
- GCMP、CCMP、TKIP、WAPI、WEP 和 BIP
- 自动 Beacon 监测 (硬件 TSF)
- 802.11mc FTM

3.5.6 联网特性

乐鑫提供的固件支持 TCP/IP 联网、ESP-WIFI-MESH 联网或其他 Wi-Fi 联网协议, 同时也支持 TLS 1.0、1.1、1.2。

3.6 低功耗蓝牙

ESP32-C3 系列包含了一个低功耗蓝牙 (Bluetooth Low Energy) 子系统, 集成了硬件链路层控制器、射频/调制解调器模块和功能齐全的软件协议栈。低功耗蓝牙子系统支持 Bluetooth 5 和 Bluetooth mesh。

3.6.1 低功耗蓝牙射频和物理层

ESP32-C3 系列低功耗蓝牙射频和物理层支持以下特性:

- 1 Mbps PHY
- 2 Mbps PHY, 用于提高传输速度和数据吞吐量
- Coded PHY (125 Kbps and 500 Kbps), 用于提高接收灵敏度和传输距离
- 硬件实现 Listen Before Talk (LBT)
- 天线分集 (Antenna diversity): 支持带有外部射频开关的天线分集与选择。外部射频开关由一个或多个 GPIO 管脚控制, 用来选择最合适的天线以减少信道衰减的影响

3.6.2 低功耗蓝牙链路层控制器

ESP32-C3 系列低功耗蓝牙链路层控制器支持以下特性:

- 广播扩展 (Advertising Extensions), 用于增强广播能力, 可以广播更多的智能数据
- 多广播
- 支持同时广播和扫描
- 多连接, 支持中心设备 (Central) 和外围设备 (Peripheral) 同时运行
- 自适应跳频和信道选择
- 信道选择算法 #2 (Channel Selection Algorithm #2)
- 连接参数更新
- 高速不可连接广播 (High Duty Cycle Non-Connectable Advertising)

- LE Privacy 1.2
- 数据包长度扩展 (LE Data Packet Length Extension)
- 链路层扩展扫描过滤策略 (Link Layer Extended Scanner Filter policies)
- 低速可连接定向广播 (Low duty cycle directed advertising)
- 链路层加密
- LE Ping

3.7 低功耗管理

ESP32-C3 系列采用了先进的电源管理技术，可以在不同的功耗模式之间切换。ESP32-C3 系列支持的功耗模式有：

- Active 模式：CPU 和芯片射频处于工作状态。芯片可以接收、发射和侦听信号。
- Modem-sleep 模式：CPU 可运行，时钟频率可配置。Wi-Fi 及 Bluetooth LE 的基带和射频关闭，但 Wi-Fi 或 Bluetooth LE 可保持连接。
- Light-sleep 模式：CPU 暂停运行。任何唤醒事件（MAC、主机、RTC 定时器或外部中断）都会唤醒芯片。Wi-Fi 或 Bluetooth LE 可保持连接。
- Deep-sleep 模式：CPU 和大部分外设都会掉电，只有 RTC 存储器处于工作状态。Wi-Fi 连接数据存储在 RTC 中。
- Hibernation 模式：内置的 20 MHz 振荡器被禁用。只有 1 个位于低速时钟上的 RTC 时钟定时器在工作。RTC 时钟定时器或 RTC GPIO 可以将芯片从 Hibernation 模式中唤醒。

3.8 定时器

3.8.1 通用定时器

ESP32-C3 系列内置两个 54 位通用定时器，具有 16 位分频器和 54 位可自动重载的向上/向下计时器。

定时器具有如下功能：

- 16 位时钟预分频器，分频系数为 1-65536
- 54 位时基计数器可配置成递增或递减
- 可读取时基计数器的实时值
- 暂停和恢复时基计数器
- 可配置的报警产生机制
- 电平触发中断

3.8.2 系统定时器

ESP32-C3 系列内置 52 位系统定时器，该系统定时器包含两个 52 位的时钟计数器和三个报警比较器，具有以下功能：

- 时钟计数器的频率固定为 16 MHz
- 三个报警比较器根据不同的报警值可产生三个独立的中断
- 两种报警模式：单次特定报警值报警和周期性报警
- 支持设置 52 位的单次特定报警值和 26 位的周期性报警值
- 计数器值重新加载
- 支持当 CPU 暂停或处于 OCD 模式时，时钟计数器也暂停

3.8.3 看门狗定时器

ESP32-C3 系列中有三个看门狗定时器：两个定时器组中各一个（称作主系统看门狗定时器，缩写为 MWDT），RTC 模块中一个（称作 RTC 看门狗定时器，缩写为 RWDT）。

在引导加载 flash 固件期间，RWDT 和定时器组 0 中的 MWDT 会自动使能，以检测引导过程中发生的错误，并恢复运行。

看门狗定时器具有如下特性：

- 四个阶段，每个阶段都可配置超时时间。每阶段都可单独配置、使能和关闭。
- 如在某个阶段发生超时，MWDT 会采取中断、CPU 复位和内核复位三种超时动作中的一种，RWDT 会采取中断、CPU 复位、内核复位和系统复位四种超时动作中的一种。
- 保护 32 位超时计数器
- 防止 RWDT 和 MWDT 的配置被误改。
- flash 启动保护
如果在预定时间内 SPI flash 的引导过程没有完成，看门狗会重启整个主系统。

3.9 加密硬件加速器

ESP32-C3 系列配备硬件加速器，支持一些通用加密算法，比如 AES-128/AES-256 (FIPS PUB 197)、ECB/CBC/OFB/CFB/CTR (NIST SP 800-38A)、SHA1/SHA224/SHA256 (FIPS PUB 180-4)、RSA3072 和 ECC 等，还支持大数乘法、大数模乘等独立运算，其中 RSA 和大数模乘运算最大长度可达 3072 位，大数乘法的因子最大长度可达 1536 位。

3.10 物理安全特性

- 外部 flash 通过 AES-XTS 算法进行加密，加密算法使用的密钥无法被软件读写，因此用户的应用程序代码与数据不会被非法获取。
- 安全启动功能确保只启动已签名（具有 RSA-PSS 签名）的固件，此功能的可信度是根植于硬件逻辑。
- HMAC 模块可以使用软件无法访问的安全密钥来生成用于身份验证或其他用途的 MAC 签名。
- 数字签名模块可以使用软件无法访问的 RSA 密钥生成用于身份验证的 RSA 签名。
- 世界控制器模块提供两个软件运行环境，可将所有硬件和软件资源划分成两种，分别放置到安全区域及普通区域，保证普通区域硬件无法访问安全区域，从而在这两个区域之间构建安全边界。

3.11 外设管脚分配

表 5: 外设和传感器管脚分配

接口	信号	管脚	功能
ADC	ADC1_CH0	GPIO0	两个 12 位 SAR ADC
	ADC1_CH1	GPIO1	
	ADC1_CH2	GPIO2	
	ADC1_CH3	GPIO3	
	ADC2_CH0	GPIO5	
JTAG	MTDI	MTDI	软件调试 JTAG
	MTCK	MTCK	
	MTMS	MTMS	
	MTDO	MTDO	
UART	U0RXD_in	任意 GPIO 管脚	两个 UART 设备，支持硬件流控制和 GDMA
	U0CTS_in		
	U0DSR_in		
	U0TXD_out		
	U0RTS_out		
	U0DTR_out		
	U1RXD_in		
	U1CTS_in		
	U1DSR_in		
	U1TXD_out		
	U1RTS_out		
	U1DTR_out		
	I2C		
I2CEXT0_SDA_in			
I2CEXT1_SCL_in			
I2CEXT1_SDA_in			
I2CEXT0_SCL_out			
I2CEXT0_SDA_out			
I2CEXT1_SCL_out			
I2CEXT1_SDA_out			
LED PWM	ledc_ls_sig_out0~5	任意 GPIO 管脚	六路独立通道；时钟可选择 80 MHz 时钟/RTC 时钟/XTAL 时钟。占空比精确度：14 位。
I2S	I2SO_BCK_in	任意 GPIO 管脚	用于串行立体声数据的输入输出。
	I2S_MCLK_in		
	I2SO_WS_in		
	I2SI_SD_in		
	I2SI_BCK_in		
	I2SI_WS_in		
	I2SO_BCK_out		
	I2S_MCLK_out		
	I2SO_WS_out		
	I2SO_SD_out		

接口	信号	管脚	功能
	I2SI_BCK_out		
	I2SI_WS_out		
	I2SO_SD1_out		
红外遥控器	RMT_SIG_IN0~1	任意 GPIO 管脚	两路 IR 收发器，支持不同波形标准。
	RMT_SIG_OUT0~1		
SPI0/1	SPICLK_out_mux	SPICLK	支持 SPI、Dual SPI、Quad SPI、和 QPI， 可以连接片外 flash。
	SPICS0_out	SPICS0	
	SPICS1_out	SPICS1	
	SPID_in/_out	SPID	
	SPIQ_in/_out	SPIQ	
	SPIWP_in/_out	SPIWP	
	SPIHD_in/_out	SPIHD	
SPI2	FSPICLK_in/_out_mux	任意 GPIO 管脚	支持以下功能： <ul style="list-style-type: none"> • SPI、Dual SPI、Quad SPI 和 QPI 的主从机模式； • 可以连接片外 flash、RAM 和其他 SPI 设备 • SPI 传输的四种时钟模式； • 可配置的 SPI 频率； • 64 字节缓存或 GDMA 数据缓存。
	FSPICS0_in/_out		
	FSPICS1~5_out		
	FSPID_in/_out		
	FSPIQ_in/_out		
	FSPIWP_in/_out		
	FSPIHD_in/_out		

修订历史

日期	版本	发布说明
2020-11-27	V0.4	预发版本。

PRELIMINARY

解决方案、文档及法律信息

必读资料

- [《ESP-IDF 编程指南》](#)
- [《乐鑫产品订购信息》](#)
- [证书](#)
- [通知订阅](#)

销售与技术支持

- [商务问题](#)
- [技术支持](#)
- [购买样品](#)

开发者社区

- [ESP32 在线社区](#)
- [GitHub](#)

• [博客](#)

• [课程](#)

• [视频](#)

产品

• [芯片](#)

• [模组](#)

• [开发板](#)

必备资源

• [SDK 和演示](#)

• [应用程序](#)

• [工具](#)

• [AT](#)

免责声明和版权公告

本文中的信息，包括参考的 URL 地址，如有变更，恕不另行通知。文档“按现状”提供，不负任何担保责任，包括对适销性、适用于特定用途或非侵权性的任何担保，和任何提案、规格或样品在他处提到的任何担保。

本文档不负任何责任，包括使用本文档内信息产生的侵犯任何专利权行为的责任。本文档在此未以禁止反言或其他方式授予任何知识产权使用许可，不管是明示许可还是暗示许可。Wi-Fi 联盟成员标志归 Wi-Fi 联盟所有。蓝牙标志是 Bluetooth SIG 的注册商标。

文中提到的所有商标名称、商标和注册商标均属其各自所有者的财产，特此声明。

版权归 © 2020 乐鑫所有。保留所有权利。