

K210

产品规格书



提升社会运行效率 | 改善人类生活方式

关于本手册

本文档为用户提供Kendryte 210硬件技术规格介绍。

发布说明

| 日期 | 版本 | 发布说明 |
|------------|--------|----------------------|
| 2018-08-01 | V0.1.0 | 初始版本 |
| 2018-09-13 | V0.1.1 | 修正 SPI 与 GPIO 中错误的描述 |
| 2018-09-14 | V0.1.2 | 修正第一章节出现的错别字 |
| 2018-09-17 | V0.1.3 | 修正第二章引脚描述错误 |
| 2018-09-18 | V0.1.4 | 增加 Kendryte 系统架构图 |
| 2018-09-19 | V0.1.5 | 修正关于定时器的错误描述 |
| 2020-05-06 | V0.1.6 | 修正部分单元细节参数 |
| 2022-09-07 | V0.1.7 | 修正部分质量与可靠性参数 |
| 2022-09-29 | V0.1.8 | 修正部分POD数据 |

免责声明

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,包括使用本档内信息产生的侵犯任何专利权行为的责任。本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。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。

版权公告

版权归 © 2019 嘉楠科技所有,保留所有权利。

目录

| | |
|---|----|
| 1 概述 | 1 |
| 1.1 AI 解决方案 | 1 |
| 1.1.1 机器视觉 | 1 |
| 1.1.2 机器听觉 | 2 |
| 1.1.3 视觉/听觉混合解决方案 | 2 |
| 1.2 系统架构 | 2 |
| 1.2.1 功能框图 | 2 |
| 1.2.2 框图概述 | 3 |
| 1.2.3 系统架构 | 3 |
| 1.2.4 内存映射 | 4 |
| 1.2.5 时钟树 | 5 |
| 1.3 应用 | 5 |
| 1.3.1 应用场景 | 5 |
| 1.3.2 应用电路示例 | 6 |
| 1.3.3 推荐接入外设 | 9 |
| 2 引脚定义 | 9 |
| 2.1 引脚布局 | 10 |
| 2.2 引脚描述 | 11 |
| 2.3 电源分配 | 17 |
| 2.4 复位电路 | 17 |
| 2.5 特殊引脚 | 18 |
| 3 功能描述 | 18 |
| 3.1 中央处理器 (CPU) | 18 |
| 3.1.1 CPU 指令特点 | 19 |
| 3.1.2 FPU 与浮点计算能力 | 19 |
| 3.1.3 高级中断管理能力 | 19 |
| 3.1.4 调试能力 | 20 |
| 3.1.5 存储系统 | 20 |
| 3.1.6 外部总线接口 | 20 |
| 3.2 神经网络处理器 (KPU) | 20 |
| 3.3 音频处理器 (APU) | 21 |
| 3.4 静态随机存取存储器 (SRAM) | 21 |
| 3.4.1 通用 SRAM 存储器 | 22 |
| 3.4.2 AI SRAM 存储器 | 22 |
| 3.5 系统控制器 (SYSCTL) | 23 |
| 3.6 现场可编程 IO 阵列 (FPIOA/IOMUX) | 23 |
| 3.7 高级加密加速器 (AES Accelerater) | 23 |
| 3.8 数字视频接口 (DVP) | 23 |
| 3.9 快速傅里叶变换加速器 (FFT Accelerater) | 24 |
| 3.10 安全散列算法加速器 (SHA256 Accelerater) | 24 |
| 3.11 通用异步收发传输器 (UART) | 24 |
| 3.12.1 高速 UART | 25 |
| 3.12.2 通用 UART | 25 |
| 3.12 看门狗定时器 (WDT) | 26 |
| 3.13 通用输入/输出接口 (GPIO) | 27 |
| 3.13.1 高速 GPIO | 27 |
| 3.13.2 通用 GPIO | 27 |
| 3.14 直接内存存取控制器 (DMAC) | 28 |
| 3.15 集成电路内置总线 (I ² C) | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 3.16 串行外设接口 (SPI) | 28 |
| 3.17 集成电路内置音频总线 (I ² S) | 29 |
| 3.18 定时器 (TIMER) | 29 |
| 3.19 只读存储器 (ROM) | 30 |
| 3.20 实时时钟 (RTC) | 30 |
| 3.21 脉冲宽度调制器 (PWM) | 30 |
| 4 电气特性 | 31 |
| 4.1 可编程驱动能力 | 31 |
| 4.2 时钟频率特性 | 32 |
| 4.3 场景功耗特性 | 32 |
| 4.3.1 人脸检测场景..... | 33 |
| 4.3.2 声音定位场景..... | 33 |
| 4.4 EMC 特性 | 34 |
| 4.4.1 ESD 特性..... | 34 |
| 4.4.2 Latch-up 特性..... | 34 |
| 4.5 上/下电顺序 | 34 |

1 概述

Kendryte K210 是一款集成了机器视觉与机器听觉能力的系统级芯片 (SoC)，具有双核 64 位CPU, 拥有较好的功耗性能，稳定性与可靠性。该方案力主为用户提供零门槛开发，可在最短时效内部署于用户的产品中，赋予产品人工智能功能。

Kendryte K210是定位于AI和IoT领域的SoC，同时也是使用非常方便的MCU。Kendryte 中文含义为勘智，而勘智取自勘物探智。

该芯片主要应用领域为物联网领域，因此为勘物；主要提供人工智能解决方案，在人工智能领域探索，因此为探智。其主要特性包括：

- 具备机器视觉能力；
- 具备机器听觉能力；
- 更好的低功耗视觉处理速度与准确率；
- 具备卷积神经网络硬件加速器 KPU，可高性能进行卷积运算；
- 支持固件加密，难以使用普通方法破解；
- 独特的可编程 IO 阵列，使产品设计更加灵活；
- 低电压，与相同处理能力的系统相比具有更低功耗；
- 3.3V/1.8V 双电压支持，无需电平转换，节约成本。

1.1 AI 解决方案

1.1.1 机器视觉

Kendryte K210 具备机器视觉能力，是零门槛机器视觉嵌入式解决方案。它可以在低功耗情况下进行卷积神经网络计算。该芯片可以实现以下机器视觉能力：

- 基于卷积神经网络的一般目标检测；
- 基于卷积神经网络的图像分类任务；
- 人脸检测和人脸识别；

- 实时获取被检测目标的大小与坐标；
- 实时获取被检测目标的种类。

1.1.2 机器听觉

Kendryte K210 具备机器听觉能力。芯片上自带高性能麦克风阵列音频处理器，可以进行实时声源定向与波束形成。该芯片可以实现以下机器听觉能力：

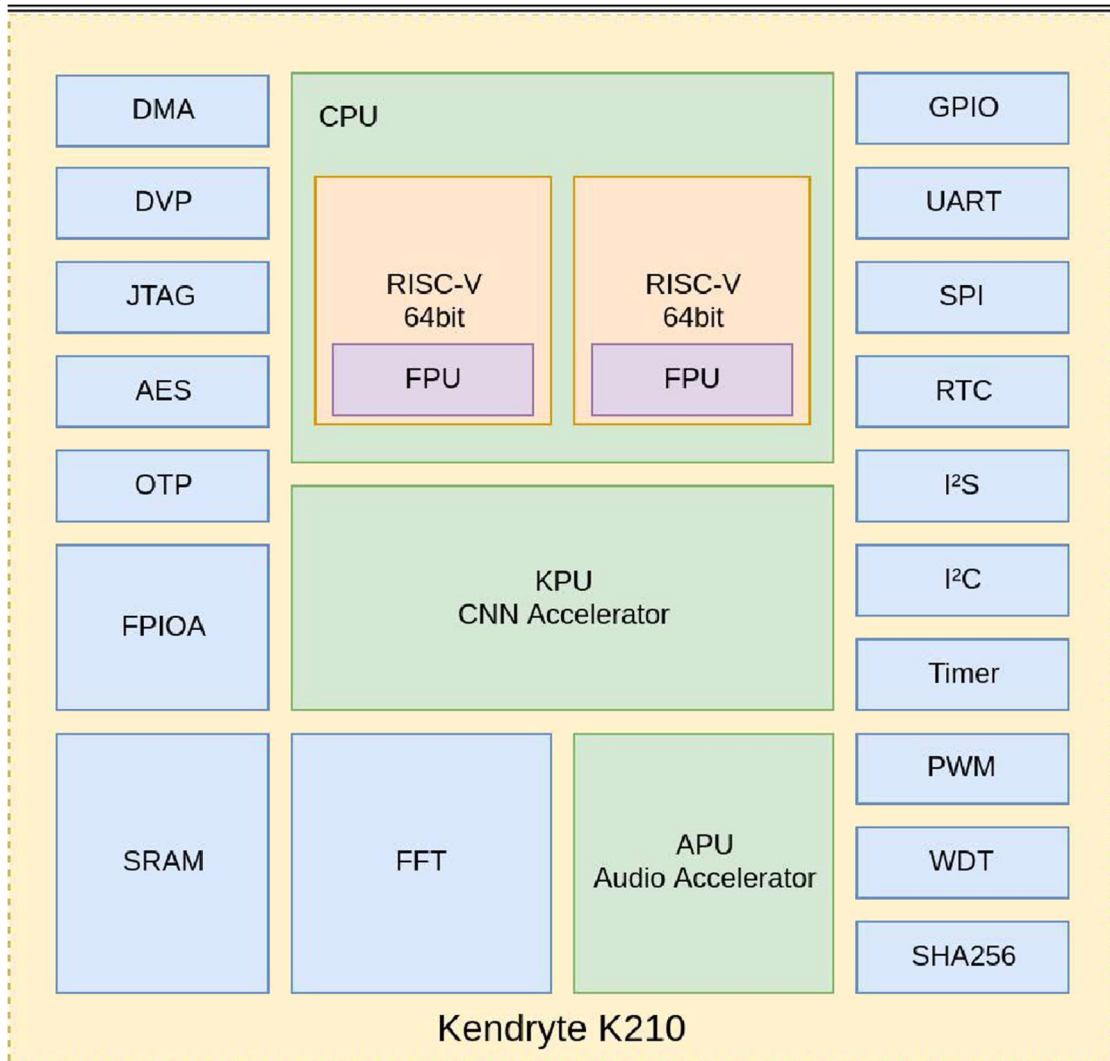
- 声源定向；
- 声场成像；
- 波束形成；
- 语音唤醒；
- 语音识别。

1.1.3 视觉/听觉混合解决方案

Kendryte K210 可结合机器视觉和机器听觉能力，提供更强大的功能。一方面，在应用中既可以通过声源定位和声场成像辅助机器视觉对目标的跟踪，又可以通过一般目标检测获得目标的方位后辅助机器听觉对该方位进行波束形成。另一方面，可以通过摄像头传来的图像获得人的方向后，使得麦克风阵列通过波束形成指向该人。同时也可以根据麦克风阵列确定一个说话人的方向，转动摄像头指向该人。

1.2 系统架构

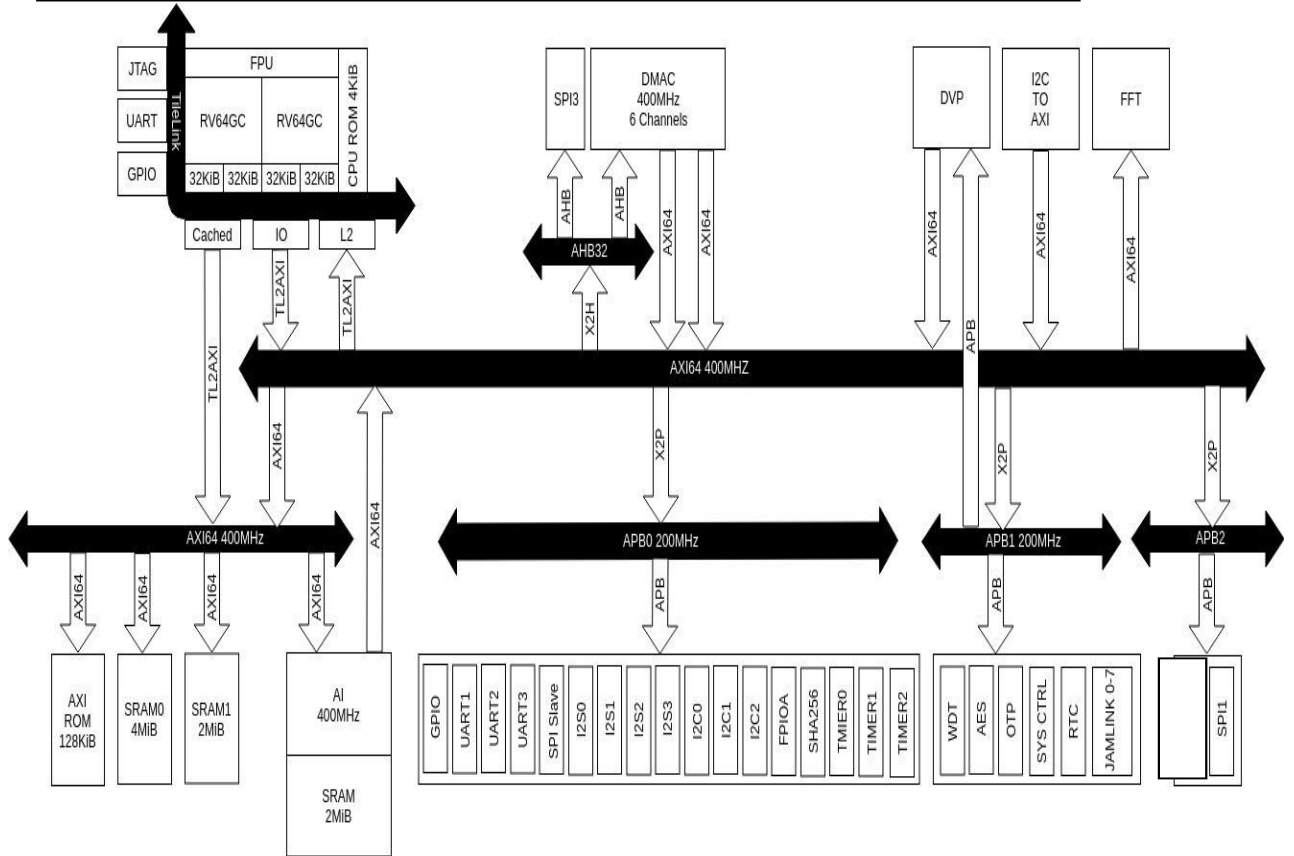
1.2.1 功能框图



1.2.2 框图概述

K210 包含 RISC-V 64 位双核 CPU，每个核心内置独立 FPU。K210 的核心功能是机器视觉与听觉，其包含用于计算卷积神经网络的 KPU 与用于处理麦克风阵列输入的 APU。同时 K210 具备快速傅里叶变换加速器，可以进行高性能复数 FFT 计算。因此对于大多数机器学习算法，K210 具备高性能处理能力。K210 内嵌 AES 与 SHA256 算法加速器，为用户提供基本安全功能。K210 拥有高性能、低功耗的 SRAM，以及功能强大的 DMA，在数据吞吐能力方面性能优异。K210 具备丰富的外设单元，分别是：DVP、JTAG、OTP、FPIOA、GPIO、UART、SPI、RTC、I²S、I²C、WDT、Timer 与 PWM，可满足海量应用场景。

1.2.3 系统架构



1.2.4 内存映射

| Bus | Start Address | Length | Peripherals |
|------|---------------|------------|-------------|
| AXI0 | 0x50000000 | 0x200000 | To AHB |
| | 0x50200000 | 0x200000 | To APB0 |
| | 0x50400000 | 0x200000 | To APB1 |
| | 0x80000000 | 0x10000000 | TO TILELINK |
| | 0x40000000 | 0x10000000 | TO AXI1 |
| | 0x40800000 | 0xc00000 | To AI |
| | 0x42000000 | 0x400000 | To FFT |
| AXI1 | 0x80000000 | 0x400000 | MEMO CACHE |
| | 0x40000000 | 0x400000 | MEMO IO |
| | 0x80400000 | 0x200000 | MEM1 CACHE |
| | 0x40400000 | 0x200000 | MEM1 IO |
| | 0x80600000 | 0x200000 | AI CACHE |
| | 0x40600000 | 0x600000 | AI IO |
| | 0x88000000 | 0x1000000 | ROM |
| AHB | 0x50000000 | 0xc00 | DMAC |
| | 0x54000000 | 0x2000000 | SPI3 |
| APB0 | 0x50200000 | 0x10000 | GPIO |

| | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|
| | 0x50210000 | 0x10000 | UART1 |
| | 0x50220000 | 0x10000 | UART2 |
| | 0x50230000 | 0x10000 | UART3 |
| | 0x50240000 | 0x10000 | SPI SLAVE |
| | 0x50250000 | 0x10000 | I2S0 |
| | 0x50260000 | 0x10000 | I2S1 |
| | 0x50270000 | 0x10000 | I2S2 |
| | 0x50280000 | 0x10000 | I2C0 |
| | 0x50290000 | 0x10000 | I2C1 |
| | 0x502a0000 | 0x10000 | I2C2 |
| | 0x502b0000 | 0x10000 | FPIOA |
| | 0x502c0000 | 0x10000 | SHA256 |
| | 0x502d0000 | 0x10000 | TIMERO |
| | 0x502e0000 | 0x10000 | TIMER1 |
| | 0x502f0000 | 0x10000 | TIMER2 |
| APB1 | 0x50400000 | 0x10000 | WDT0 |
| | 0x50410000 | 0x10000 | WDT1 |
| | 0x50420000 | 0x10000 | OTP |
| | 0x50430000 | 0x10000 | DVP |
| | 0x50440000 | 0x10000 | SYSCTL |
| | 0x50450000 | 0x10000 | AES |
| | 0x50460000 | 0x10000 | RTC |
| | 0x50470000 | 0x10000 | EMPTY |
| APB2 | 0x52000000 | 0x1000000 | SPI0 |
| | 0x53000000 | 0x1000000 | SPI1 |
| TINELINK | 0x38000000 | 0x1000 | UART0 |
| | 0x38001000 | 0x1000 | GPIOHS |

1.2.5 时钟树

使用一路外部低频时钟，并使用三路PLL提供高频时钟。

PLL0为CPU与大部分外设提供时钟

PLL1为AI加速核提供时钟

PLL2为I2S音频提供时钟

其中，AI 只能选择PLL1作为时钟源，I2S MCLK只能选择PLL2作为时钟源，其余外设可以在外部时钟与PLL0之间进行选择(通过PLL BYPASS来选择外部时钟)。而PLL2可以与PLL0级联，以获得更精准的音频采样频率。

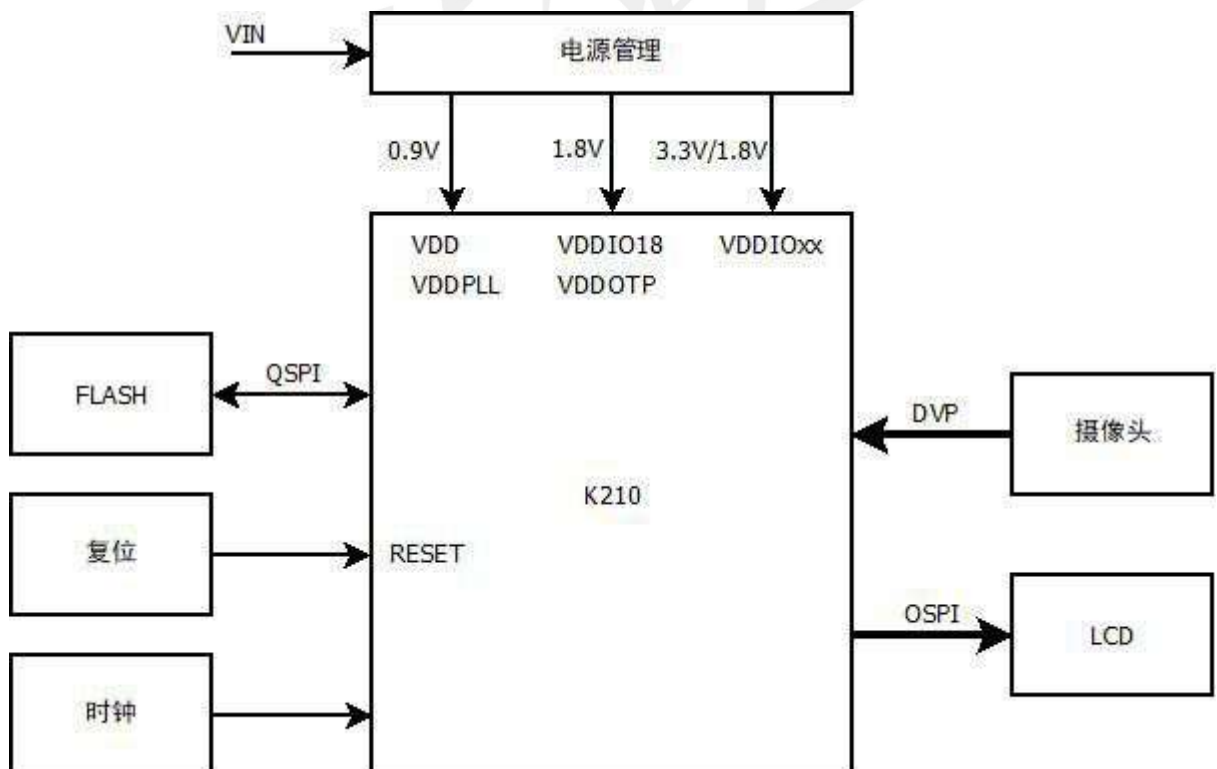
1.3 应用

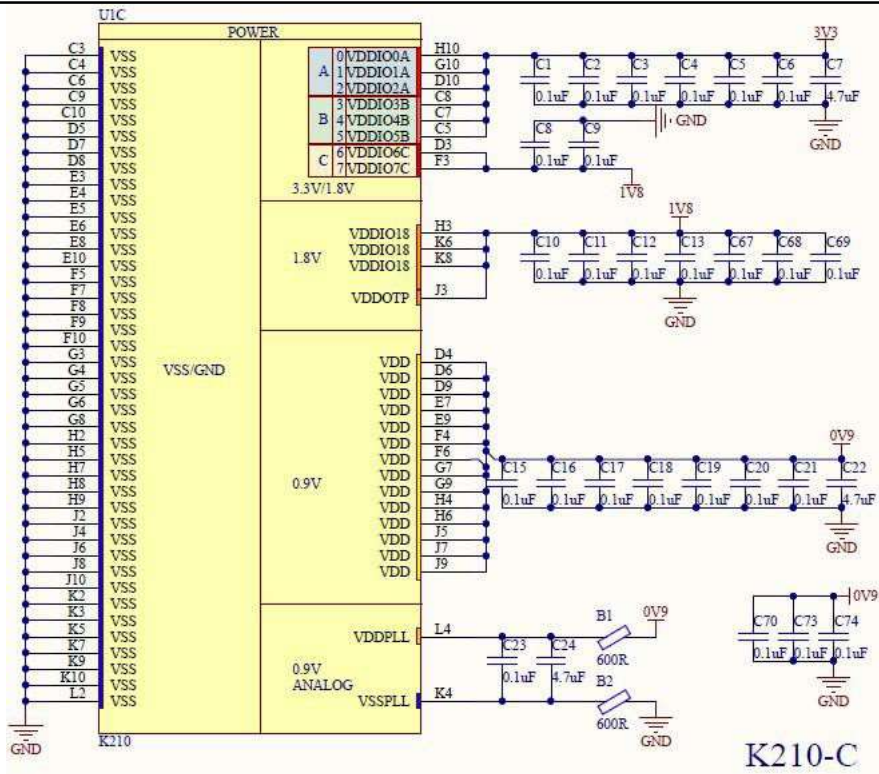
1.3.1 应用场景

K210可应用于人脸识别、图像识别场景和声源定位场景：

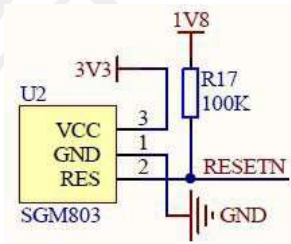
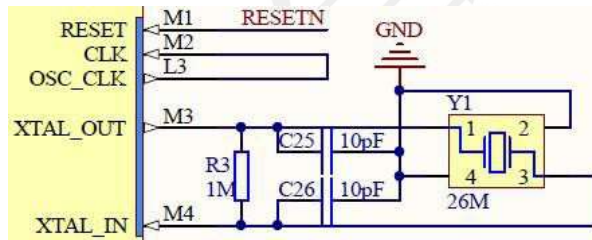
- 智能家居：智能门锁；
- 智慧楼宇
 - ✓ 人脸门禁识别
 - ✓ 无感门禁
- 智慧工厂：生产线包装袋计数
- 智慧抄表：图像识别抄表
- 智慧医疗【戴口罩场景】
- STEAM教育
- 等等

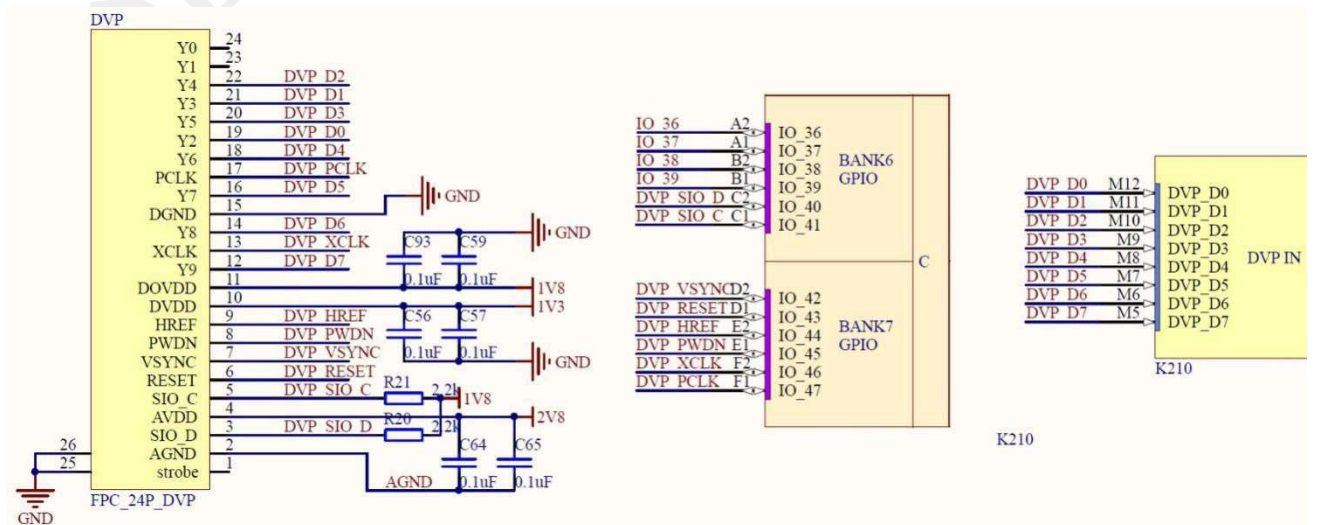
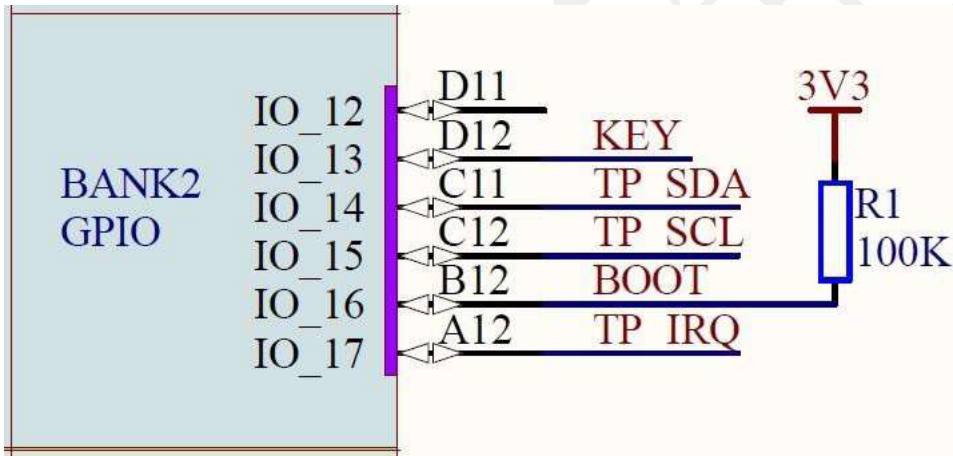
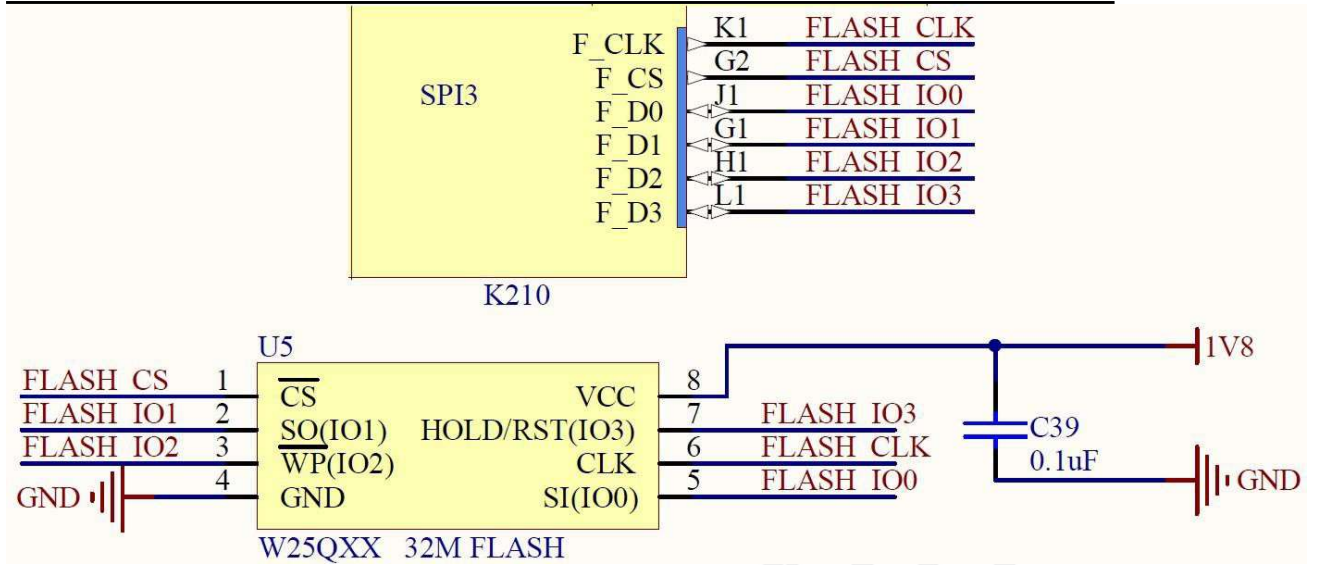
1.3.2 应用电路示例

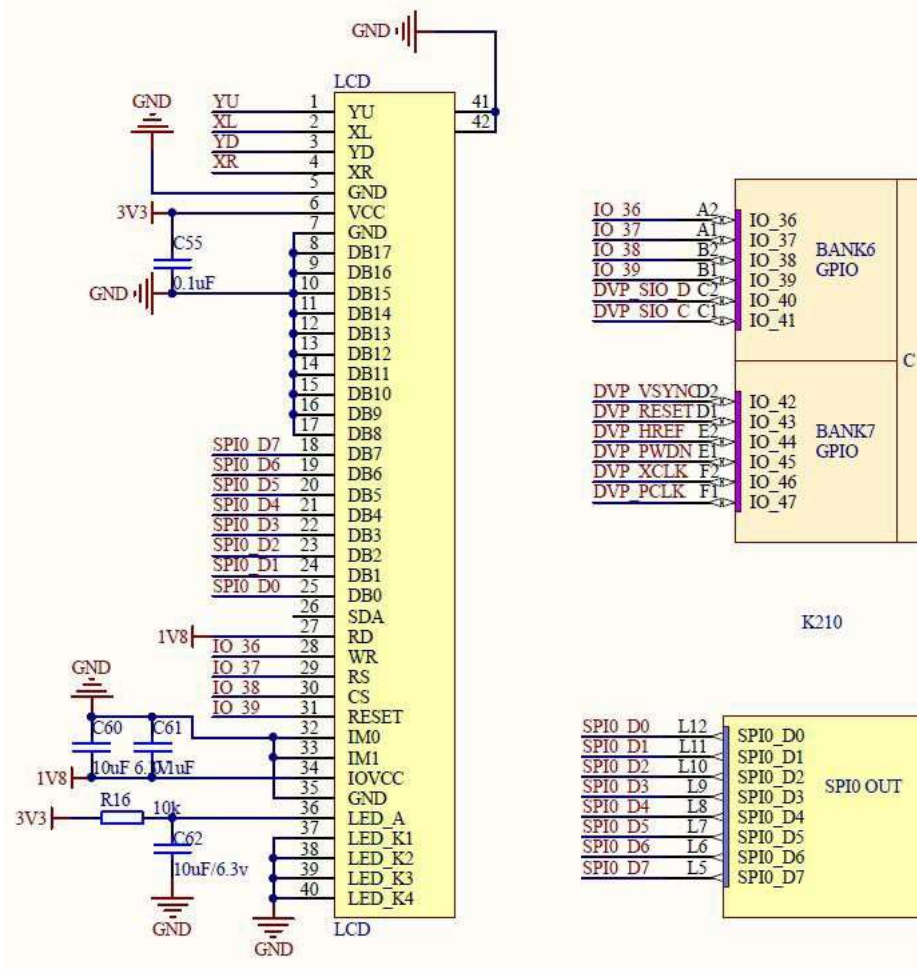




K210-C







1.3.3 推荐接入外设

| 芯片 | 外设 | 推荐型号 |
|--------|--------------|----------|
| K210芯片 | 摄像头 | OV7725 |
| | | GC0308 |
| | 电源单元 | TPS65266 |
| | | RY1303 |
| Wifi单元 | W600 【SPI接口】 | |

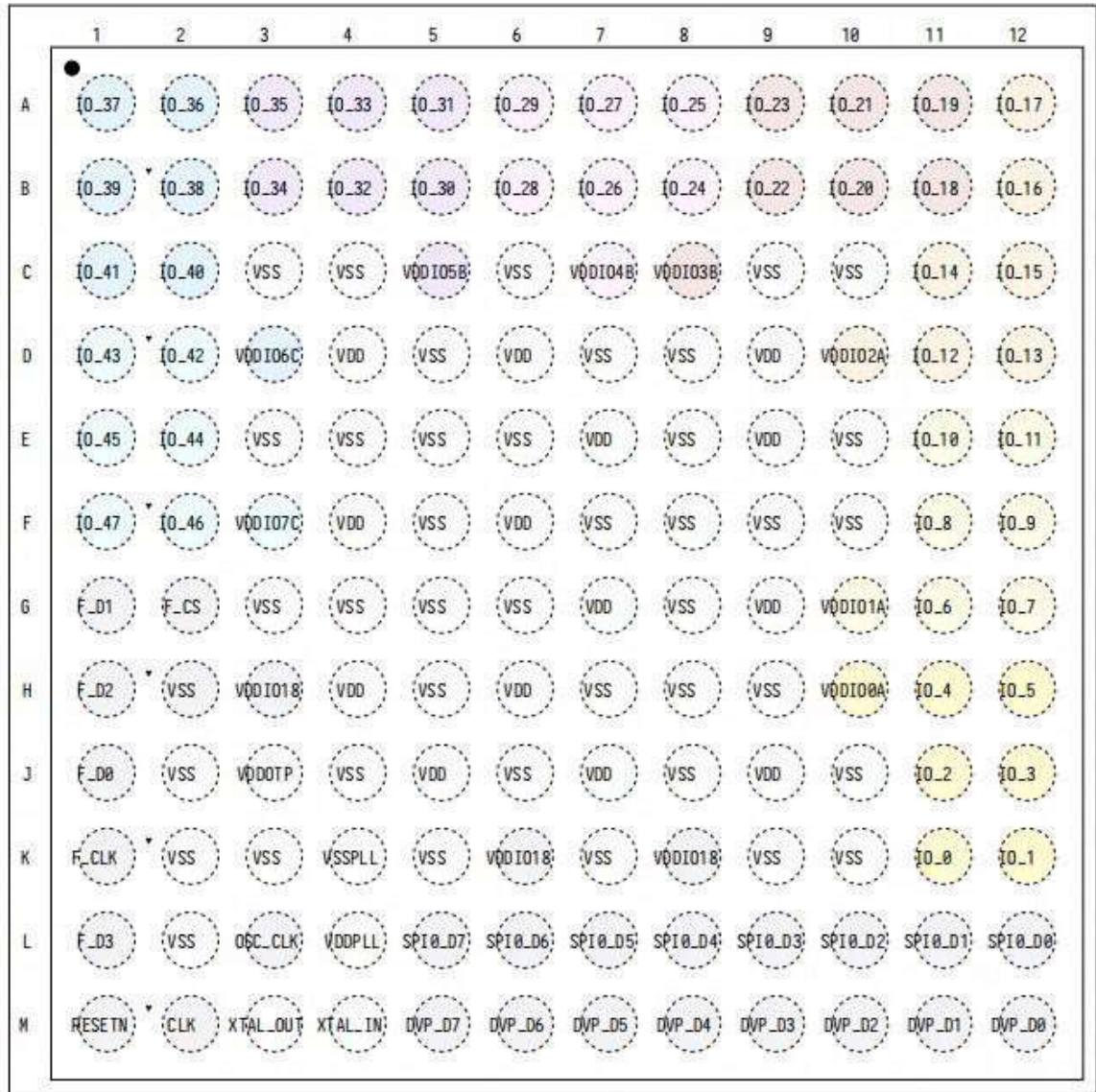
2 引脚定义

K210 使用精心设计的引脚布局，确保信号都在 BGA 外圈，以方便 PCB 工程师进行扇出与布线，提升电气性能，降低设计难度。由于 K210 包含多种电源域的 IO 信号，并且不同电源域可能会有不同的电压，以下将会对使用的

电源域进行列表说明：

| 电源域组 | 电源域 | 支持电压 (V) | 互联特性 | 电源名称 |
|-------|-------|-----------|------------|---------|
| A | 0 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI00A |
| A | 1 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI01A |
| A | 2 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI02A |
| B | 3 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI03B |
| B | 4 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI04B |
| B | 5 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI05B |
| C | 6 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI06C |
| C | 7 | 3.3 或 1.8 | 组内互联, 组间独立 | VDDI07C |
| 低压 IO | 低压 IO | 1.8 | 无特殊要求 | VDDI018 |
| OTP | OTP | 1.8 | 无特殊要求 | VDDOTP |
| PLL | PLL | 0.9 | 无特殊要求 | VDDPLL |
| 数字核心 | 数字核心 | 0.9 | 无特殊要求 | VDD |

2.1 引脚布局



图三 引脚布局图

注意：芯片的引脚定义如上图（顶视图，锡球朝向下方）。该芯片使用 BGA144 封装，正方形，每一边有 12 个引脚。芯片宽度为 8mm，长度为 8mm，高度为 0.953mm。

2.2 引脚描述

| 编号 | 名称 | 类型 | 功能 | 复位后初始状态 |
|----|-------|-----|--|----------|
| A1 | IO_37 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 6, 组 C) | GPIOHS21 |
| A2 | IO_36 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 6, 组 C) | GPIOHS20 |
| A3 | IO_35 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 5, 组 B) | GPIOHS19 |

| | | | | |
|-----|-------|-----|--|---------------|
| A4 | IO_33 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 5, 组 B) | GPIOHS17 |
| A5 | IO_31 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 5, 组 B) | GPIOHS15 |
| A6 | IO_29 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 4, 组 B) | GPIOHS13 |
| A7 | IO_27 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 4, 组 B) | GPIOHS11 |
| A8 | IO_25 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 4, 组 B) | GPIOHS9 |
| A9 | IO_23 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 3, 组 B) | GPIOHS7 |
| A10 | IO_21 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 3, 组 B) | GPIOHS5 |
| A11 | IO_19 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 3, 组 B) | GPIOHS3 |
| A12 | IO_17 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A) | GPIOHS1 |
| B1 | IO_39 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 6, 组 C) | GPIOHS23 |
| B2 | IO_38 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 6, 组 C) | GPIOHS22 |
| B3 | IO_34 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 5, 组 B) | GPIOHS18 |
| B4 | IO_32 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 5, 组 B) | GPIOHS16 |
| B5 | IO_30 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 5, 组 B) | GPIOHS14 |
| B6 | IO_28 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 4, 组 B) | GPIOHS12 |
| B7 | IO_26 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 4, 组 B) | GPIOHS10 |
| B8 | IO_24 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 4, 组 B) | GPIOHS8 |
| B9 | IO_22 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 3, 组 B) | GPIOHS6 |
| B10 | IO_20 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 3, 组 B) | GPIOHS4 |
| B11 | IO_18 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 3, 组 B) | GPIOHS2 |
| B12 | IO_16 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A) | GPIOHS0 (ISP) |
| C1 | IO_41 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 6, 组 C) | GPIOHS25 |
| C2 | IO_40 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 6, 组 C) | GPIOHS24 |
| C3 | VSS | S | 接地 | VSS |

| | | | | |
|-----|---------|-----|--|----------|
| C4 | VSS | S | 接地 | VSS |
| C5 | VDDIO5B | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 5, 组 B) | VDDIO33 |
| C6 | VSS | S | 接地 | VSS |
| C7 | VDDIO4B | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 4, 组 B) | VDDIO33 |
| C8 | VDDIO3B | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 3, 组 B) | VDDIO33 |
| C9 | VSS | S | 接地 | VSS |
| C10 | VSS | S | 接地 | VSS |
| C11 | IO_14 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A) | GPI06 |
| C12 | IO_15 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A) | GPI07 |
| D1 | IO_43 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C) | GPI0HS27 |
| D2 | IO_42 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C) | GPI0HS26 |
| D3 | VDDIO6C | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 6, 组 C) | VDDIO33 |
| D4 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| D5 | VSS | S | 接地 | VSS |
| D6 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| D7 | VSS | S | 接地 | VSS |
| D8 | VSS | S | 接地 | VSS |
| D9 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| D10 | VDDIO2A | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 2, 组 A) | VDDIO33 |
| D11 | IO_12 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A) | GPI04 |
| D12 | IO_13 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A) | GPI05 |
| E1 | IO_45 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C) | GPI0HS29 |
| E2 | IO_44 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C) | GPI0HS28 |
| E3 | VSS | S | 接地 | VSS |
| E4 | VSS | S | 接地 | VSS |
| E5 | VSS | S | 接地 | VSS |
| E6 | VSS | S | 接地 | VSS |
| E7 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| E8 | VSS | S | 接地 | VSS |
| E9 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| E10 | VSS | S | 接地 | VSS |
| E11 | IO_10 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电 | GPI02 |

| | | | | |
|-----|---------|-----|--|----------|
| | | | 源域 1, 组 A) | |
| E12 | IO_11 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A) | GPI03 |
| F1 | IO_47 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C) | GPI0HS31 |
| F2 | IO_46 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C) | GPI0HS30 |
| F3 | VDDIO7C | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 7, 组 C) | VDDIO33 |
| F4 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| F5 | VSS | S | 接地 | VSS |
| F6 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| F7 | VSS | S | 接地 | VSS |
| F8 | VSS | S | 接地 | VSS |
| F9 | VSS | S | 接地 | VSS |
| F10 | VSS | S | 接地 | VSS |
| F11 | IO_8 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A) | GPI00 |
| F12 | IO_9 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A) | GPI01 |
| G1 | F_D1 | I/O | SPI 专用 GPIO (支持电平为 1.8V, 不可切换) | F_D1 |
| G2 | F_CS | 0 | SPI 专用 GPIO (支持电平为 1.8V, 不可切换) | F_CS |
| G3 | VSS | S | 接地 | VSS |
| G4 | VSS | S | 接地 | VSS |
| G5 | VSS | S | 接地 | VSS |
| G6 | VSS | S | 接地 | VSS |
| G7 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| G8 | VSS | S | 接地 | VSS |
| G9 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| G10 | VDDIO1A | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 1, 组 A) | VDDIO33 |
| G11 | IO_6 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A) | (FLOAT*) |
| G12 | IO_7 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A) | (FLOAT*) |
| H1 | F_D2 | I/O | SPI 专用 GPIO (支持电平为 1.8V, 不可切换) | F_D2 |
| H2 | VSS | S | 接地 | VSS |
| H3 | VDDIO18 | S | 1.8V 电源, 为低压 GPIO 供电 | VDDIO18 |
| H4 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| H5 | VSS | S | 接地 | VSS |
| H6 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| H7 | VSS | S | 接地 | VSS |

| | | | | |
|-----|---------|-----|--|----------------|
| H8 | VSS | S | 接地 | VSS |
| H9 | VSS | S | 接地 | VSS |
| H10 | VDDI00A | S | 3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 0, 组 A) | VDDI033 |
| H11 | IO_4 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 0, 组 A) | UARTS_RX (ISP) |
| H12 | IO_5 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 0, 组 A) | UARTS_TX (ISP) |
| J1 | F_D0 | I/O | SPI 专用 GPIO (支持电平为 1.8V, 不可切换) | F_D0 |
| J2 | VSS | S | 接地 | VSS |
| J3 | VDDOTP | S | 1.8V 电源, 为一次性可编程存储器 (OTP) 供电 | VDDOTP |
| J4 | VSS | S | 接地 | VSS |
| J5 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| J6 | VSS | S | 接地 | VSS |
| J7 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| J8 | VSS | S | 接地 | VSS |
| J9 | VDD | S | 0.9V 电源, 为芯片数字核心供电 | VDD |
| J10 | VSS | S | 接地 | VSS |
| J11 | IO_2 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 0, 组 A) | JTAG_TMS |
| J12 | IO_3 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 0, 组 A) | JTAG_TDO |
| K1 | F_CLK | 0 | SPI 专用 GPIO (支持电平为 1.8V, 不可切换) | F_CLK |
| K2 | VSS | S | 接地 | VSS |
| K3 | VSS | S | 接地 | VSS |
| K4 | VSSPLL | S | 接模拟地, 锁相环 (PLL) 使用, 噪声敏感 | VSSPLL |
| K5 | VSS | S | 接地 | VSS |
| K6 | VDDI018 | S | 1.8V 电源, 为低压 GPIO 供电 | VDDI018 |
| K7 | VSS | S | 接地 | VSS |
| K8 | VDDI018 | S | 1.8V 电源, 为低压 GPIO 供电 | VDDI018 |
| K9 | VSS | S | 接地 | VSS |
| K10 | VSS | S | 接地 | VSS |
| K11 | IO_0 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 0, 组 A) | JTAG_TCLK |
| K12 | IO_1 | I/O | 可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 0, 组 A) | JTAG_TDI |
| L1 | F_D3 | I/O | SPI 专用 GPIO (支持电平为 1.8V, 不可切换) | F_D3 |
| L2 | VSS | S | 接地 | VSS |
| L3 | OSC_CLK | 0 | 有源振荡器输出, 时钟来源于外部晶体振荡器 | OSC_CLK |
| L4 | VDDPLL | S | 0.9V 模拟电源, 为锁相环 (PLL) 供电 | VDDPLL |

| | | | | |
|-----|----------|---|----------------------------|----------|
| L5 | SPI0_D7 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D7 输出 | (FLOAT*) |
| L6 | SPI0_D6 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D6 输出 | (FLOAT*) |
| L7 | SPI0_D5 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D5 输出 | (FLOAT*) |
| L8 | SPI0_D4 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D4 输出 | (FLOAT*) |
| L9 | SPI0_D3 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D3 输出 | (FLOAT*) |
| L10 | SPI0_D2 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D2 输出 | (FLOAT*) |
| L11 | SPI0_D1 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D1 输出 | (FLOAT*) |
| L12 | SPI0_D0 | 0 | 输出专用引脚, 用于 SPI0 D0 输出 | (FLOAT*) |
| M1 | RESET | I | 系统复位引脚, 低电平复位 | RESET |
| M2 | CLK | I | 系统时钟输入 | CLK |
| M3 | XTAL_OUT | 0 | 无源晶体振荡器输出脚。非失效安全, 禁止灌入有源信号 | XTAL_OUT |
| M4 | XTAL_IN | I | 无源晶体振荡器输入脚。非失效安全, 禁止灌入有源信号 | XTAL_IN |
| M5 | DVP_D7 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D7 输入 | (FLOAT*) |
| M6 | DVP_D6 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D6 输入 | (FLOAT*) |
| M7 | DVP_D5 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D5 输入 | (FLOAT*) |
| M8 | DVP_D4 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D4 输入 | (FLOAT*) |
| M9 | DVP_D3 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D3 输入 | (FLOAT*) |
| M10 | DVP_D2 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D2 输入 | (FLOAT*) |
| M11 | DVP_D1 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D1 输入 | (FLOAT*) |
| M12 | DVP_D0 | I | 输入专用引脚, 用于 DVP D0 输入 | (FLOAT*) |

含义说明表:

| 标识 | 含义 |
|----------|-------|
| (FLOAT*) | 无默认功能 |
| I | 输入 |
| 0 | 输出 |
| I/O | 输入/输出 |
| S | 电源 |

2.3 电源分配

| 电源域 | 电源名称 | 额定电压 (V) | 最大电流 (mA) |
|---------------|---------|--------------|-----------|
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI00A | 3.3 或 1.8V*1 | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI01A | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI02A | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI03B | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI04B | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI05B | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI06C | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 3.3V/1.8V | VDDI07C | 3.3 或 1.8V | 200 |
| I/O 1.8V | VDDI018 | 1.8 | 200 |
| OTP 1.8V | VDDOTP | 1.8 | 50 |
| Core 0.9V | VDD | 0.9 | 2000 |
| SoC | VSS | 0 | - |
| PLL 0.9V | VDDPLL | 0.9 | 15 |
| PLL | VSSPLL | 0 | - |

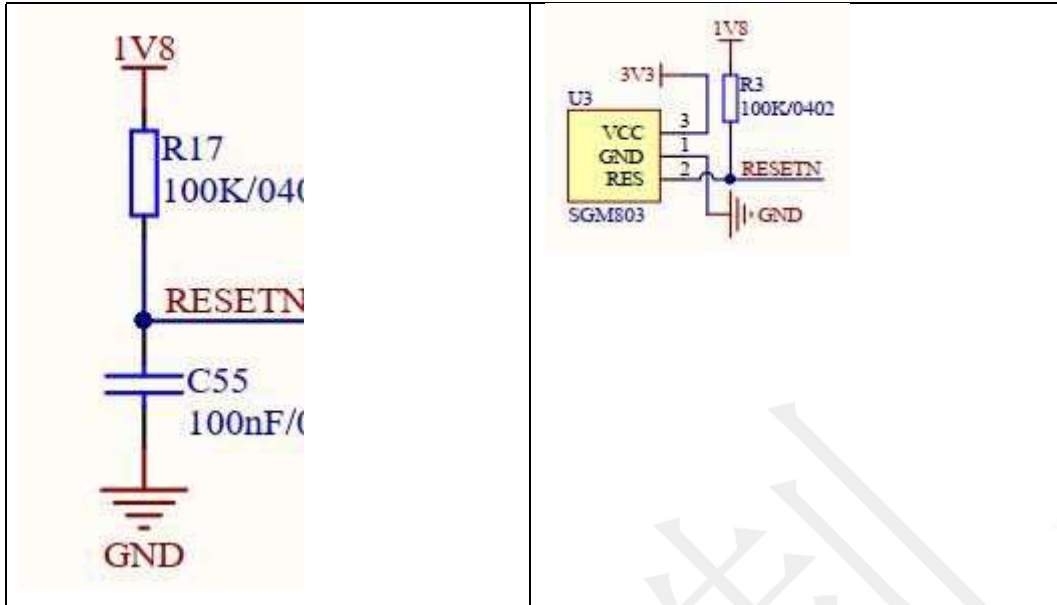
*1 注意：组 A、B、C 之间的 IO 电源相互不互联，电压可以不一致；相同组内的 IO 电源互联，电压一致。

2.4 复位电路

复位电路建议采用 1.8V 输出的 MCU 专用电源监控芯片，在上电、断电和欠压条件下保证稳定复位。

复位时间：上电稳定时间到时钟稳定时间大于10ms；

| RC复位 | 专用电源监控芯片复位 |
|--|------------|
| 电阻 R = 100 K Ω 电容 C = 100 nF | 推荐芯片SMG803 |



2.5 特殊引脚

IO₁₆ 用于 boot 模式选择，上电复位时，拉高进入 FLASH 启动，拉低进入 ISP 模式。复位后，IO₀、IO₁、IO₂、IO₃ 为 JTAG 引脚。IO₄、IO₅ 为 ISP 引脚。

3 功能描述

3.1 中央处理器 (CPU)

本芯片搭载基于 RISC-V ISA 的双核心 64 位的高性能低功耗 CPU，具备以下特性：

| 项目 | 内容 | 描述 |
|--------|--------|--------------------------------------|
| 核心数量 | 2 核心 | 双核对等，各个核心具备独立 FPU |
| 处理器位宽 | 64 位 | 64 位 CPU 位宽，为高性能算法计算提供位宽基础，计算带宽充足 |
| 标称频率 | 400MHz | 频率可调，可通过调整 PLL VCO 与分频进行变频 |
| 指令集扩展 | IMAFC | 基于 RISC-V 64 位 IMAFC (RV64GC)，胜任通用任务 |
| 浮点处理单元 | 单精度 | 具备乘法器、除法器与平方根运算器，支持单精度的浮点计算 |
| 平台中断管理 | PLIC | 支持高级中断管理，支持 64 个外部中断源路由到 2 个核心 |

| | | |
|---------|---------|---------------------------------------|
| 本地中断管理 | CLINT | 支持 CPU 内置定时器中断与跨核心中断 |
| 指令缓存 | 32KiB×2 | 核心 0 与核心 1 各具有 32 千字节的指令缓存，提升双核指令读取效能 |
| 数据缓存 | 32KiB×2 | 核心 0 与核心 1 各具有 32 千字节的数据缓存，提升双核数据读取效能 |
| 片上 SRAM | 8MiB | 共计 8 兆字节的片上 SRAM，详见 SRAM 章节 |

3.1.1 CPU 指令特点

- 强大的双核 64 位基于开放架构的处理器，具备丰富的社区资源支持；
- 支持 I 扩展，即基本整数指令集 (Base Integer Instruction Set) 扩展；
- 支持 M 扩展，即整数乘除扩展，可硬件加速实现高性能整数乘除；
- 支持 A 扩展，即原子操作扩展，可硬件实现软件与操作系统需要的原子操作；
- 支持 C 扩展，即压缩指令扩展，可通过编译器压缩指令实现更高的代码密度与运行效率；
- 支持不同特权等级，可分特权执行指令，更安全。

3.1.2 FPU 与浮点计算能力

- FPU 满足 IEEE754-2008 标准，计算流程以流水线方式进行，具备很强的运算能力；
- 核心 0 与核心 1 各具备独立 FPU，两个核心皆可胜任高性能硬件浮点计算；
- 支持 F 扩展，即单精度浮点扩展，CPU 内嵌的 FPU 支持单精度浮点硬件加速；
- FPU 具备除法器，支持单精度的浮点的硬件除法运算；
- FPU 具备平方根运算器，支持单精度的浮点的硬件平方根运算。

3.1.3 高级中断管理能力

该 RISC-V CPU 的 PLIC 控制器支持灵活的高级中断管理，可分 7 个优先级配置 64 个外部中断源，两个核心都可独立进行配置：

- 可对两个核心独立进行中断管理与中断路由控制；
- 支持软件中断，并且双核心可以相互触发跨核心中断；
- 支持 CPU 内置定时器中断，两个核心都可自由配置；
- 高级外部中断管理，支持 64 个外部中断源，每个中断源可配置 7 个优先级。

3.1.4 调试能力

- 支持性能监控指令，可统计指令执行周期；
- 具备用以调试的高速 UART 与 JTAG 接口；
- 支持 DEBUG 模式以及硬件断点。

3.1.5 存储系统

每个中央处理器的私有指令缓存和数据缓存配置为8路set associative 32 KiB缓存。监控核心具有双向集关联的4kib L1指令缓存。所有芯片上的内存结构都使用奇偶校验和/或 ECC 进行保护，并且RISC-V核心IP中的所有核心都具有物理内存保护 (PMP) 单元。

3.1.6 外部总线接口

中央处理器具有系统、内存和外设端口，可用于访问Core Complex地址空间。系统端口符合 TL-UH 规范，可用于访问高速离开核心的复杂设备。内存端口通过 TL-C 规范支持可缓存事务，并连接到主内存。外设端口支持TL-UL规范，通常连接到低速外设。还有一个TL-C总线接口，称为前端端口，它允许离开核心的复杂主机访问核心的复杂设备，如数据和指令紧密集成的存储器。

3.2 神经网络处理器 (KPU)

KPU是通用神经网络处理器，内置卷积、批归一化、激活、池化运算单元，可以对人脸或物体进行实时检测。主要功能特点如下：

- 支持主流训练框架按照特定限制规则训练出来的定点化模型；
- 对网络层数无直接限制，支持每层卷积神经网络参数单独配置，包括输

入输出通道数目、输入输出行宽列高；

- 支持两种卷积内核 1x1 和 3x3；

注意：Flash 大小可选择为：SPI NOR Flash (8MiB, 16MiB, 32MiB) , SPI NAND Flash (64MiB, 128MiB, 256MiB) , 用户可根据需要选择合适的 Flash.

3.3 音频处理器 (APU)

APU用来协助驱动软件完成语音方向检测和有效语音方向的原始语音数据的预处理工作。该模块可同时获取16个方向的声音数据，这些声音数据会被写入到APU内部的声音样点输出缓冲区中（总计有16个声音sample输出 buffers），驱动软件通过系统DMA将预处理后的数据搬运到系统内存中并进行后续的处理获取有效的语音方向。在获得有效语音方向的情况下，驱动软件可以配置APU内部的寄存器来选定有效方向的语音输出数据流，APU会将这个有效方向的语音数据流输出到其内部的一个语音输出数据缓冲内（由2个以乒乓方式工作的sample输出 buffers 构成），驱动软件可以通过系统 DMA 将数据从这个缓冲区搬移到系统内存中，并进行后续的语音数据处理。另外，APU模块内部还集成了一个可支持512点的时域到频域变换的FFT Unit。如果使能FFT变换功能，APU所获取的语音数据会输入到FFT内部进行时域到频域变换处理，然后再将数据从FFT内部的RAM通过系统DMA搬移到系统内存中。APU前处理模块的功能特性有：

- 可以支持最多8路音频输入数据流，即4路双声道；
- 可以支持多达16个方向的声源同时扫描预处理与波束形成；
- 可以支持一路有效的语音数据流输出；
- 内部音频信号处理精度达到16-位；
- 输入音频信号支持 12-位，16-位，24-位，32-位精度；
- 支持多路原始信号直接输出；
- 可以支持高达192K采样率的音频输入；
- 内置FFT变换单元，可对音频数据提供512点快速傅里叶变换；
- 利用系统DMAC将输出数据存储到SoC的系统内存中。

3.4 静态随机存取存储器 (SRAM)

SRAM包含两个部分，分别是6MiB的片上通用SRAM存储器与2MiB的

片上AI SRAM存储器，共计8MiB（1MiB为1兆字节）。其中，AI SRAM存储器是专为KPU分配的存储器。它们分布在连续的地址空间中，不仅可以通过经由CPU的缓存接口访问，而且可以通过非缓存接口直接访问。

SRAM 映射分布：

| 模块名称 | 映射类型 | 开始地址 | 结束地址 | 空间大小 |
|------------|--------|------------|--------------|----------|
| 通用SRAM存储器 | 经CPU缓存 | 0x80000000 | 0x805FFFFFFF | 0x600000 |
| AI SRAM存储器 | 经CPU缓存 | 0x80600000 | 0x807FFFFFFF | 0x200000 |
| 通用SRAM存储器 | 非CPU缓存 | 0x40000000 | 0x405FFFFFFF | 0x600000 |
| AI SRAM存储器 | 非CPU缓存 | 0x40600000 | 0x407FFFFFFF | 0x200000 |

3.4.1 通用 SRAM 存储器

通用SRAM存储器在芯片正常工作的任意时刻都可以访问。该存储器分为两个 Bank，分别为MEM0与MEM1，并且DMA控制器可同时操作不同Bank。

通用 SRAM 存储器地址空间：

| 模块名称 | 映射类型 | 开始地址 | 结束地址 | 空间大小 |
|------|--------|------------|--------------|----------|
| MEM0 | 经CPU缓存 | 0x80000000 | 0x803FFFFFFF | 0x400000 |
| MEM1 | 经CPU缓存 | 0x80400000 | 0x805FFFFFFF | 0x200000 |
| MEM0 | 非CPU缓存 | 0x40000000 | 0x403FFFFFFF | 0x400000 |
| MEM1 | 非CPU缓存 | 0x40400000 | 0x405FFFFFFF | 0x200000 |

3.4.2 AI SRAM 存储器

AI SRAM 存储器仅在以下条件都满足时才可访问：

- PLL1 已使能，时钟系统配置正确；
- KPU 没有在进行神经网络计算。

AI SRAM 存储器地址空间：

| 模块名称 | 映射类型 | 开始地址 | 结束地址 | 空间大小 |
|-------------|----------|------------|--------------|----------|
| AI SRAM 存储器 | 经 CPU 缓存 | 0x80600000 | 0x807FFFFFFF | 0x200000 |
| AI SRAM 存储器 | 非 CPU 缓存 | 0x40600000 | 0x407FFFFFFF | 0x200000 |

3.5 系统控制器 (SYSCTL)

控制芯片的时钟，复位和系统控制寄存器：

- 配置 PLL 的频率；
- 配置时钟选择；
- 配置外设时钟的分频比；
- 控制时钟使能；
- 控制模块复位；
- 选择DMA握手信号。

3.6 现场可编程 IO 阵列 (FPIOA/IOMUX)

FPIOA允许用户将255个内部功能映射到芯片外围的48个自由 IO 上：

- 支持IO的可编程功能选择；
- 支持IO输出的 8 种驱动能力选择；
- 支持IO的内部上拉电阻选择；
- 支持IO的内部下拉电阻选择；
- 支持IO输入的内部施密特触发器设置；
- 支持IO输出的斜率控制；
- 支持内部输入逻辑的电平设置。

3.7 高级加密加速器 (AES Accelerater)

AES 加速器是用来加密和解密的模块，具体性能如下：

- 支持 ECB, CBC, GCM 三种加密方式；
- 支持 128 位, 192 位, 256 位三种长度的 KEY；
- KEY 可以通过软件配置，受到硬件电路保护；
- 支持 DMA 传输。

3.8 数字视频接口 (DVP)

DVP是摄像头接口模块，特性如下：

- 支持DVP接口的摄像头；
- 支持SCCB协议配置摄像头寄存器；
- 最大支持640X480及以下分辨率，每帧大小可配置；
- 支持YUV422和RGB565格式的图像输入；
- 支持图像同时输出到KPU和显示屏；
- 输出到KPU的格式可选RGB888，或YUV422输入时的Y分量；
- 输出到显示屏的格式为RGB565；
- 检测到一帧开始或一帧图像传输完成时可向CPU发送中断。

3.9 快速傅里叶变换加速器 (FFT Accelerater)

FFT加速器是用硬件的方式来实现 FFT 的基 2 时分运算。

- 支持多种运算长度，即支持64点、128点、256点以及512点运算；
- 支持两种运算模式，即FFT以及IFFT运算；
- 支持可配的输入数据位宽，即支持32位及64位输入；
- 支持可配的输入数据排列方式，即支持虚部、实部交替，纯实部以及实部、虚部分离三种数据排列方式；
- 支持DMA传输。

3.10 安全散列算法加速器 (SHA256 Accelerater)

SHA256 加速器是用来计算 SHA-256 的计算单元：

- 支持 SHA-256 的计算；
- 支持输入数据的 DMA 传输。

3.11 通用异步收发传输器 (UART)

UART是一种以字符为导向的通用数据链，可以实现设备间的通信。异步传输的意思是不需要在发送数据上添加时钟信息。这也要求发送端和接收端的速率、停止位、奇偶校验位等都要相同，通信才能成功。一个典型的 UART 帧开始于一个起始位，紧接着是有效数据，然后是奇偶校验位（可有可无），最后是停止位。UART 控制器支持多种字符长度和停止位。另外，控制器还支持硬件流控和 DMA，可以实现数据的高速无缝传输。开发者可以使用多个UART端口，同时又能保证很少的软件开销。

嵌入式应用通常要求一个简单的并且占用系统资源少的方法来传输数据。通用异步收发传输器（UART）即可以满足这些要求，它能够灵活地与外部设备进行全双工数据交换。芯片中有 3 个 UART 控制器可供使用，并且兼容不同的UART设备。另外，UART还可以用作红外数据交换（IrDA）或RS-485调制解调器。

3.12.1 高速 UART

高速 UART 为 UARTH5 (UART0)

- 通信速率可达 5Mbps;
- 16 字节发送和接收 FIFO;
- 可编程式 THREE 中断;
- 不支持硬件流控制或其他调制解调器控制信号，或同步串行数据转换器。

3.12.2 通用UART

通用UART为UART1、UART2 和UART3，支持异步通信（RS232和RS485和IRDA，通信速率可达到5Mbps。UART支持CTS和RTS 信号的硬件管理以及软件流控（XON和XOFF）。3 个接口均可被DMA访问或者CPU直接访问。

- 16字节发送和接收FIFO;
- 异步时钟支持;
 - ✓ 为了应对CPU对于数据同步的对波特率的要求，UART可以单独配置数据时钟. 全双工模式能保证两个时钟域中数据的同步;
- RS485接口支持;

- ✓ UART可以配置为软件可编程RS485模式。默认为RS232模式；
- 可编程THRE中断；
- ✓ 用THRE中断模式来提升串口性能。当THRE模式和FIFO模式被选择之后，如果FIFO中少于阈值便触发THRE中断。

3.12 看门狗定时器 (WDT)

WDT是APB的一种从外设，并且也是“同步化硬件组件设计”的组成部分。具有两个WDT，分别为WDT0、WDT1 看门狗定时器主要包含模块有：

- 一个 APB 从接口；
- 一个当前计数器同步的寄存器模块；
- 一个随着计数器递减的中断/系统重置模块和逻辑控制电路；
- 一个同步时钟域来为异步时钟同步做支持；

看门狗定时器支持如下设置：

- APB 总线宽度可配置为 8、16 和 32 位；
- 时钟计数器从某一个设定的值递减到 0 来指示时间的计时终止；
- 可选择的外部时钟使能信号，用于控制计数器的计数速率；
- 一个时钟超时 WDT 可以执行以下任务：
 - ✓ 产生一个系统复位信号；
 - ✓ 首先产生一个中断，即使该位是否已经被中断服务清除，其次它会产生一个系统复位信号。
- 占空比可编程调节；
- 可编程和硬件设定计数器起始值；
- 计数器重新计时保护；
- 暂停模式，仅当使能外部暂停信号时；
- WDT 偶然禁用保护；
- 测试模式，用来进行计数器功能测试（递减操作）；
- 外部异步时钟支持。当该项功能启用时，将会产生时钟中断和系统重置信号，即使 APB 总线时钟关闭的情况下。

3.13 通用输入/输出接口 (GPIO)

3.13.1 高速GPIO

高速GPIO为GPIOHS，共32个。具有如下特点：

- 可配置输入输出信号；
- 每个IO具有独立中断源；
- 中断支持边沿触发和电平触发；
- 每个IO可以分配到FPIOA上48个管脚之一；
- 可配置上下拉，或者高阻。

3.13.2 通用 GPIO

通用GPIO共8个，具有如下特点：

- 8个IO 使用一个中断源；
- 可配置输入输出信号；
- 可配置触发IO总中断，边沿触发和电平触发；
- 每个IO可以分配到FPIOA上48个管脚之一；
- 可配置上下拉，或者高阻。

3.14 直接内存存取控制器 (DMAC)

DMAC 具有高度可配置化，高度可编程，在总线模式下传输数据具有高效率，DMAC控制器具有多主机、多频道等特点。DMAC具有如下特点：

- 内存-内存，内存-外设，外设-内存，外设-外设的 DMA 传输；
- 具有独立的核心，主接口和从接口独立时钟；
- 当所有外设不活动时主接口可以关闭其时钟来省电；
- 多达八个通道，每路通道都有源和目的地对；
- 每个通道数据传输数据时每个时刻只能有一个方向传输，不同通道则不受影响；
- 输入管脚可以动态选择大小端制式；
- 通道锁支持，支持内部通道仲裁，根据数据传输的优先级来使用主接口总线的特权；
- DMAC 状态输出，空闲/忙指示；
- DMA 传输分配成传输中，被中断，传输完成等传输等级。

3.15 集成电路内置总线 (I²C)

集成电路总线有 3 个 I²C 总线接口，根据用户的配置，总线接口可以用作 I²C MASTER 或 SLAVE 模式。I²C 接口支持：

- 标准模式 (0到100Kb/s)；
- 快速模式 (<= 400Kb/s)；
- 7-位/10-位寻址模式；
- 批量传输模式；
- 中断或轮询模式操作。

3.16 串行外设接口 (SPI)

串行外设接口有4组SPI接口，其中SPI0、SPI1、SPI3 只能工作在MASTER模式，SPI2只能工作在SLAVE模式，他们有如下特性：

- 支持 1/2/4/8 线全双工模式；

- SPI0、SPI1、SPI2 可支持 25MHz 时钟；
- SPI3最高可支持80MHz 时钟；
- 支持32位宽、32BYTE深的 FIFO；
- 独立屏蔽中断 - 主机冲突，发送FIFO溢出，发送FIFO空，接收FIFO满，接收FIFO下溢，接收FIFO溢出中断都可以被屏蔽独立；
- 支持DMA功能；
- 支持双沿的DDR传输模式；

3.17 集成电路内置音频总线 (I²S)

集成电路内置音频总线共有 3 个 (I²S0、I²S1、I²S2)，都是 MASTER 模式。其中 I²S0 支持可配置连接语音处理模块，实现语音增强和声源定向的功能。下面是一些共有的特性：

- 总线宽度可配置为8, 16, 和32位；
- 每个接口最多支持4个立体声通道；
- 由于发送器和接收器的独立性，所以支持全双工通讯；
- APB 总线和I²S SCLK的异步时钟；
- 音频数据分辨率为12, 16, 20, 24 和 32 位；
- I²S0发送FIFO深度为64字节, 接收为8字节, I²S1 和 I²S2 的发送和接收 FIFO深度都为8字节；
- 支持 DMA 传输；
- 可编程FIFO阈值。

3.18 定时器 (TIMER)

系统有 3 个 TIMER 模块，它们有如下特性：

- 32 位计数器宽度；
- 可配置的向上 / 向下时基计数器：增加或减少；
- 时钟独立可配；
- 每个中断的可配置极性；
- 单个或组合中断输出标志可配置；

- 每个定时器有读/写一致性寄存器；
- 定时器切换输出，每当定时器计数器重新加载时切换；
- 定时器切换输出的脉冲宽度调制（PWM），0%到100%占空比。

3.19 只读存储器（ROM）

AXI ROM 负责从SPI FLASH中拷贝程序至芯片的SRAM中。

- 支持固件AES-128-CBC解密；
- 支持UOP模式烧写FLASH的程序；
- 支持固件SHA256完整性校验防篡改；
- 支持OTP中禁用掉UOP模式，SHA256校验，AES解密；
- 支持进入TURBO模式，可以使得启动时芯片及其外设以较高频率运行。

3.20 实时时钟（RTC）

RTC 是用来计时的单元，在设置时间后具备计时功能：

- 可使用外部高频晶振进行计时；
- 可配置外部晶振频率与分频；
- 支持万年历配置，可配置的项目包含世纪、年、月、日、时、分、秒与星期；
- 可按秒进行计时，并查询当前时刻；
- 支持设置一组闹钟，可配置的项目包含年、月、日、时、分、秒，闹钟到达时触发中断；
- 中断可配置，支持每日、每时、每分、每秒触发中断；
- 可读出小于 1 秒的计数器计数值，最小刻度单位为外部晶振的单个周期；
- 上电/复位后数据清零。

3.21 脉冲宽度调制器（PWM）

PWM 用于控制脉冲输出的占空比。用户可配置 PWM 定时器模块的以下功

能:

- 通过指定 PWM 定时器频率或周期来控制事件发生的频率;
- 配置特定 PWM 定时器与其他 PWM 定时器或模块同步;
- 使 PWM 定时器与其他 PWM 定时器或模块同相;
- 设置定时器计数模式: 递增, 递减, 或递增递减循环计数模式;
- 使用预分频器更改 PWM 定时器时钟 (PT_clk) 的速率。每个定时器都有自己的预分频器, 通过寄存器 PWM_TIMER0_CFGO_REG 的 PWM_TIMERx_PRESCALE 配置。PWM 定时器根据该寄存器的设置以较慢的速度递增或递减。

4 电气特性

| 符号 | 参数 | 最小 | 典型 | 最大 | 单位 |
|-----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----|
| DV _{DD} 1.8V | 1.8V 数字供电电压 | 1.62 | 1.8 | 1.98 | V |
| DV _{DD} 3.3V | 3.3V 数字供电电压 | 2.97 | 3.3 | 3.63 | V |
| AV _{DD} 1.8V | 1.8V 模拟供电电压 | 1.62 | 1.8 | 1.98 | V |
| V _{DD} 0.9V | 0.9V 核心供电电压 | 0.81 | 0.9 | 0.99 | V |
| V _{IH} | 3.3V/1.8V IO 输入逻辑电平高 | 0.7 * DV _{DD} | - | - | V |
| V _{IL} | 3.3V/1.8V IO 输入逻辑电平低 | - | - | 0.3 * DV _{DD} | V |
| V _{OH} | IO 输出逻辑电平高 | - | DV _{DD} - 0.3 | - | mV |
| V _{OL} | IO 输出逻辑电平低 | - | -0.3 | - | mV |
| T _{STR} | 存储温度范围 | -40 | 25 | 150 | °C |
| T _A | 工作环境温度范围 | TBD | 25 | TBD | °C |
| T _J | 工作结温范围 | -40 | 25 | 125 | °C |

4.1 可编程驱动能力

低电平输出电流

| DS[3:0] | Min (mA) | Typ (mA) | Max (mA) |
|---------|----------|----------|----------|
| 0000 | 3.2 | 5.4 | 8.3 |
| 0001 | 4.7 | 8.0 | 12.3 |
| 0010 | 6.3 | 10.7 | 16.4 |

| | | | |
|------|------|------|------|
| 0011 | 7.8 | 13.2 | 20.2 |
| 0100 | 9.4 | 15.9 | 24.2 |
| 0101 | 10.9 | 18.4 | 28.1 |
| 0110 | 12.4 | 20.9 | 31.8 |
| 0111 | 13.9 | 23.4 | 35.5 |

高电平输出电流

| DS[3:0] | Min(mA) | Typ(mA) | Max(mA) |
|---------|---------|---------|---------|
| 0000 | 5.0 | 7.6 | 11.2 |
| 0001 | 7.5 | 11.4 | 16.8 |
| 0010 | 10.0 | 15.2 | 22.3 |
| 0011 | 12.4 | 18.9 | 27.8 |
| 0100 | 14.9 | 22.6 | 33.3 |
| 0101 | 17.4 | 26.3 | 38.7 |
| 0110 | 19.8 | 30.0 | 44.1 |
| 0111 | 22.3 | 33.7 | 49.5 |

4.2 时钟频率特性

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Unit |
|--------|-----------|------------|-----|-----|------|
| fHCLK | AHB 时钟频率 | — | — | 400 | MHz |
| fAPB0 | APB0 时钟频率 | — | — | 200 | MHz |
| fAPB1 | APB1 时钟频率 | — | — | 200 | MHz |
| fAPB2 | APB2 时钟频率 | — | — | 200 | MHz |

4.3 场景功耗特性

4.3.1 人脸检测场景

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|--------|-----------|---|---------|---------|---------|------|
| Power | 单核（运行模式） | VDDIO33=1.809, VDDIO18=VDDOTP=1.803, HCLK= 400MHz, AI_CLOKCK=300MHz, 60 fps | 461.485 | 465.058 | 476.780 | mW |

4.3.2 声音定位场景

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|--------|-----------|---|---------|---------|---------|------|
| Power | 单核（运行模式） | VDDIO33=1.809, VDDIO18=VDDOTP=1.803, HCLK= 400MHz | 237.440 | 254.902 | 256.583 | mW |

4.4 EMC 特性

4.4.1 ESD特性

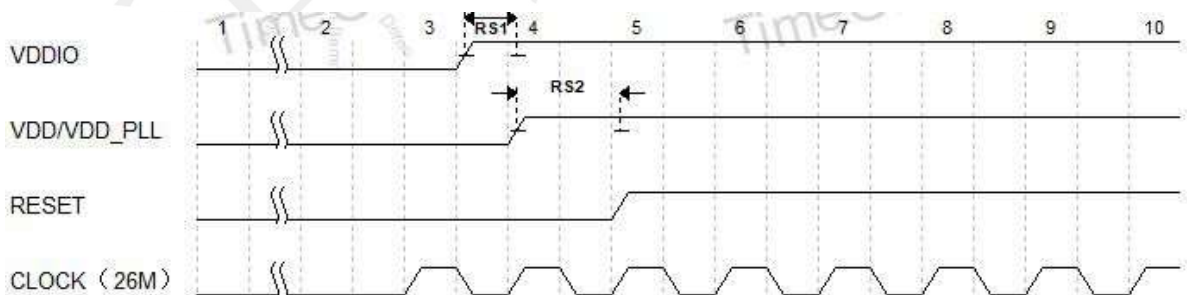
| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|-----------|------------------------------|------------|-----|-----|------|------|
| VESD(HBM) | 静电放电电压 (human body model) | TA=25 °C | — | — | 1000 | V |
| VESD(CDM) | 静电放电电压 (charge device model) | TA=25 °C | — | — | 500 | V |

4.4.2 Latch-up特性

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|--------|----------------------|------------|-----|-----|------|------|
| LU | I-trigger | TA=25 °C; | — | — | ±100 | mA |
| | Vsupply over voltage | | — | — | 5 | V |

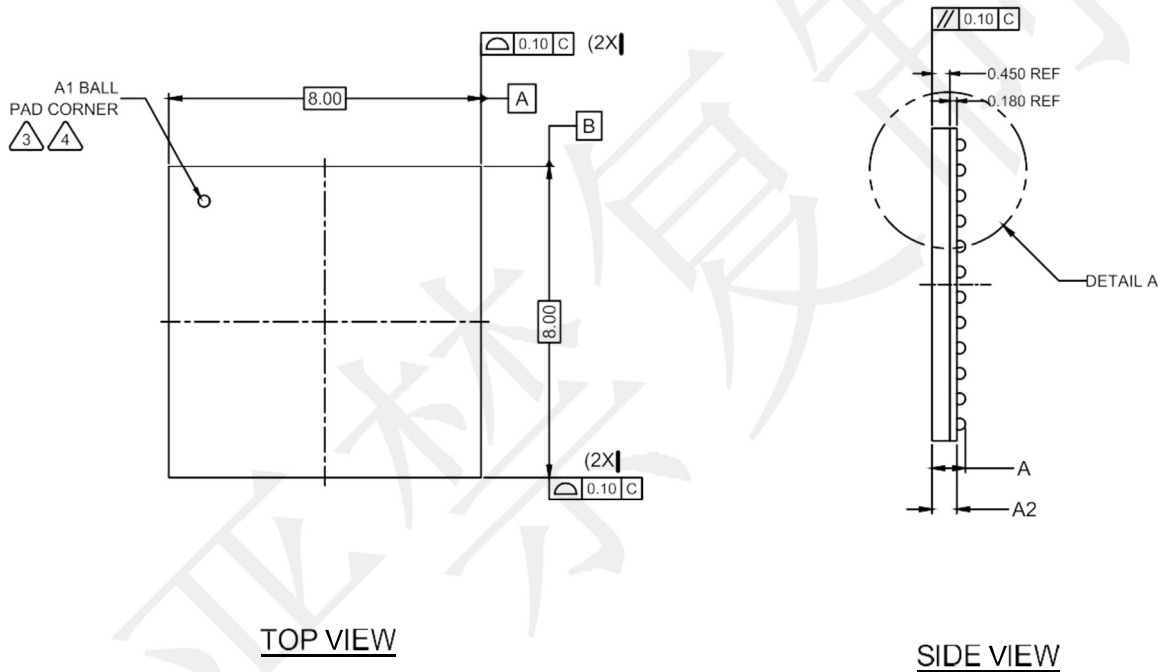
4.5 上/下电顺序

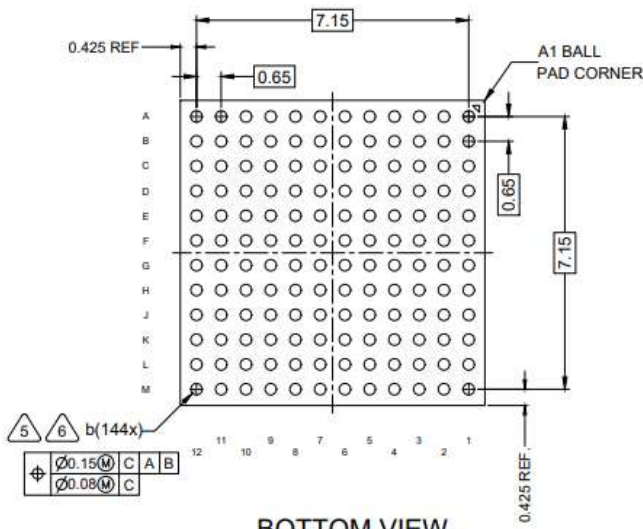
- 推荐：I0先上电，core后上电；
- 可接受：I0、Core同时上电；
- 不建议：Core先上电，I0后上电。
- 下电要求模拟先下电，数字后下电。



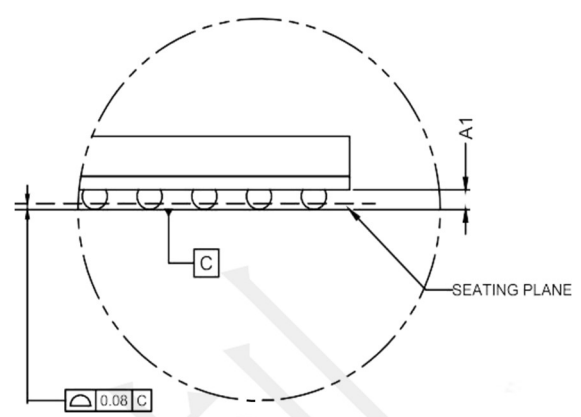
5 封装信息

芯片使用的封装为 BGA144，每边 12 个球，长宽高 $8 \times 8 \times 0.953\text{mm}$ (BGA144C65P12X12_800X800X95)。该芯片使用 Flip-chip 技术使得芯片获得最佳的电气特性和散热能力。





BOTTOM VIEW



DETAIL A
ROTATED 90°

| DIMENSION | MINIMUM | NOMINAL | MAXIMUM |
|--------------------|---------|---------|---------|
| A | 0.783 | 0.853 | 0.923 |
| A1 | 0.173 | 0.223 | 0.273 |
| A2 | 0.580 | 0.630 | 0.680 |
| b | 0.250 | 0.300 | 0.350 |
| NUMBER OF BALL 144 | | | |

! UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
DIMENSIONS ARE IN MILIMETERS.

| TOLERANCES ARE: | | PACKAGE OUTLINE DRAWING |
|-----------------|--------|--------------------------|
| DECIMALS | ANGLES | fcVFBGA 8.00mm X 8.00mm, |
| X.X ±0.1 | | 0.65mm PITCH, 144LD |
| X.XX ±0.05 | ±1° | |
| X.XXX ±0.050 | | |