



# K210 技术规格书



KENDRYTE  
**勘智**  
嘉楠科技 版权©2019  
KENDRYTE.COM



# 关于本手册

本手册为用户提供 Kendryte 硬件技术规格简介。

## 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

## 免责声明

本文档中的信息，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。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 © 2018 嘉楠科技所有。保留所有权利。

# 目录

关于本手册	i
发布说明	i
免责声明	i
版权公告	i
第 1 章 概述	1
1.1 AI 解决方案	1
1.2 系统架构	3
第 2 章 引脚定义	4
2.1 引脚布局	5
2.2 引脚描述	5
2.3 电源分配	10
2.4 复位电路	11
2.5 特殊引脚	11
第 3 章 功能描述	12
3.1 中央处理器 (CPU)	12
3.2 神经网络处理器 (KPU)	13
3.3 音频处理器 (APU)	14
3.4 静态随机存取存储器 (SRAM)	15
3.5 系统控制器 (SYSCTL)	16
3.6 现场可编程 IO 阵列 (FPIOA/IOMUX)	16
3.7 一次性可编程存储器 (OTP)	16
3.8 高级加密加速器 (AES Accelerater)	17
3.9 数字视频接口 (DVP)	17

---

3.10	快速傅里叶变换加速器 (FFT Accelerator)	17
3.11	安全散列算法加速器 (SHA256 Accelerator)	17
3.12	通用异步收发传输器 (UART)	18
3.13	看门狗定时器 (WDT)	18
3.14	通用输入/输出接口 (GPIO)	19
3.15	直接内存存取控制器 (DMAC)	20
3.16	集成电路内置总线 (I <sup>2</sup> C)	20
3.17	串行外设接口 (SPI)	20
3.18	集成电路内置音频总线 (I <sup>2</sup> S)	21
3.19	定时器 (TIMER)	21
3.20	只读存储器 (ROM)	21
3.21	实时时钟 (RTC)	22
3.22	脉冲宽度调制器 (PWM)	22
第 4 章	电气特性	23
4.1	可编程驱动能力	23
第 5 章	封装信息	25

# 第 1 章

## 概述

Kendryte K210 是集成机器视觉与机器听觉能力的系统级芯片 (SoC)。使用台积电 (TSMC) 超低功耗的 28 纳米先进制程, 具有双核 64 位处理器, 拥有较好的功耗性能, 稳定性与可靠性。该方案力求零门槛开发, 可在最短时效部署于用户的产品中, 赋予产品人工智能。

Kendryte K210 定位于 AI 与 IoT 市场的 SoC, 同时是使用非常方便的 MCU。

Kendryte 中文含义为勘智, 而勘智取自勘物探智。这颗芯片主要应用领域为物联网领域, 在物联网领域进行开发, 因此为勘物; 这颗芯片主要提供的是人工智能解决方案, 在人工智能领域探索, 因此为探智。

- 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, 可高性能进行卷积神经网络运算
- TSMC 28nm 先进制程, 温度范围-40°C 到 125°C, 稳定可靠
- 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。

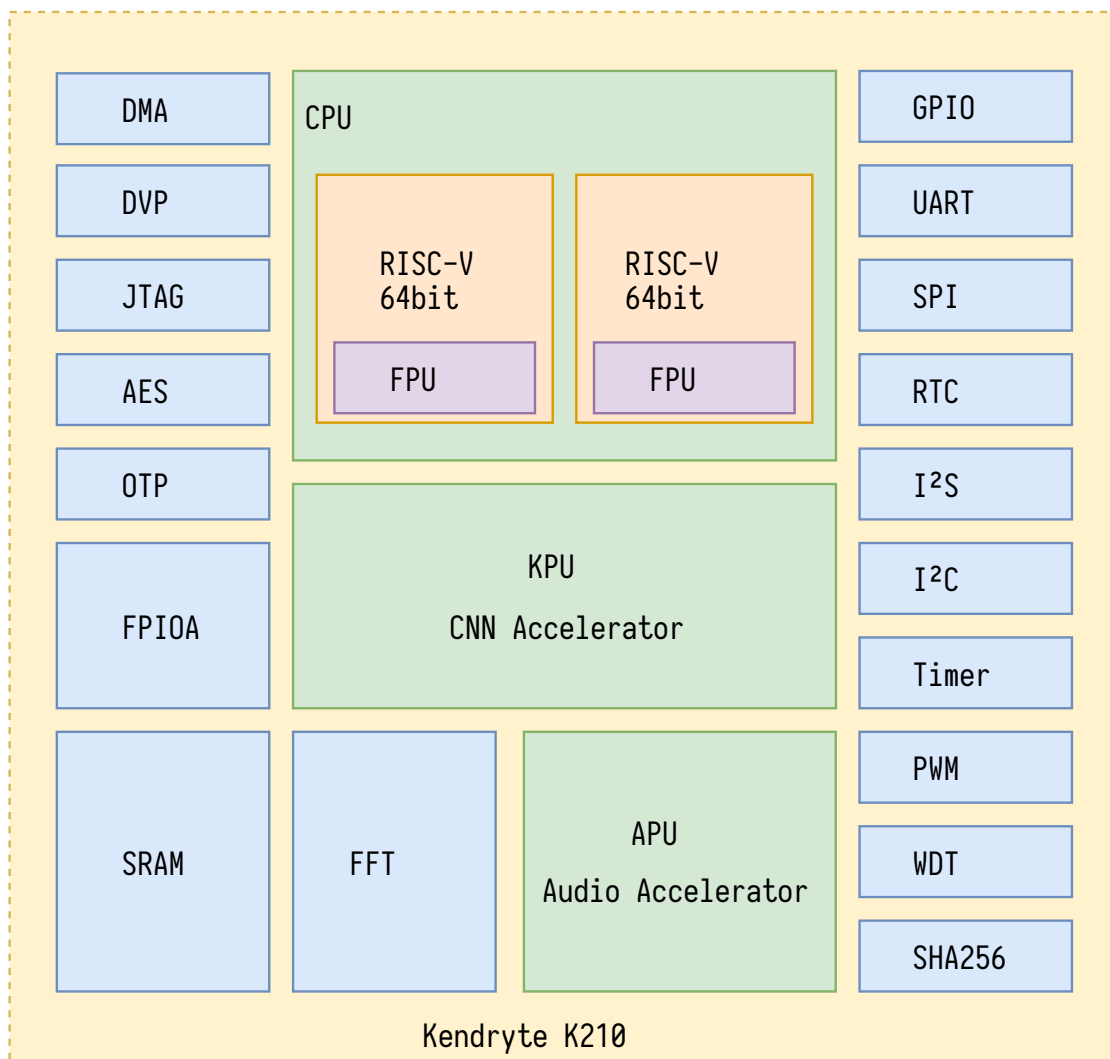
该芯片可以实现以下机器听觉能力：

- 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



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人工神经网络的 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、I<sup>2</sup>S、I<sup>2</sup>C、WDT、Timer 与 PWM，可满足海量应用场景。

# 第 2 章

## 引脚定义

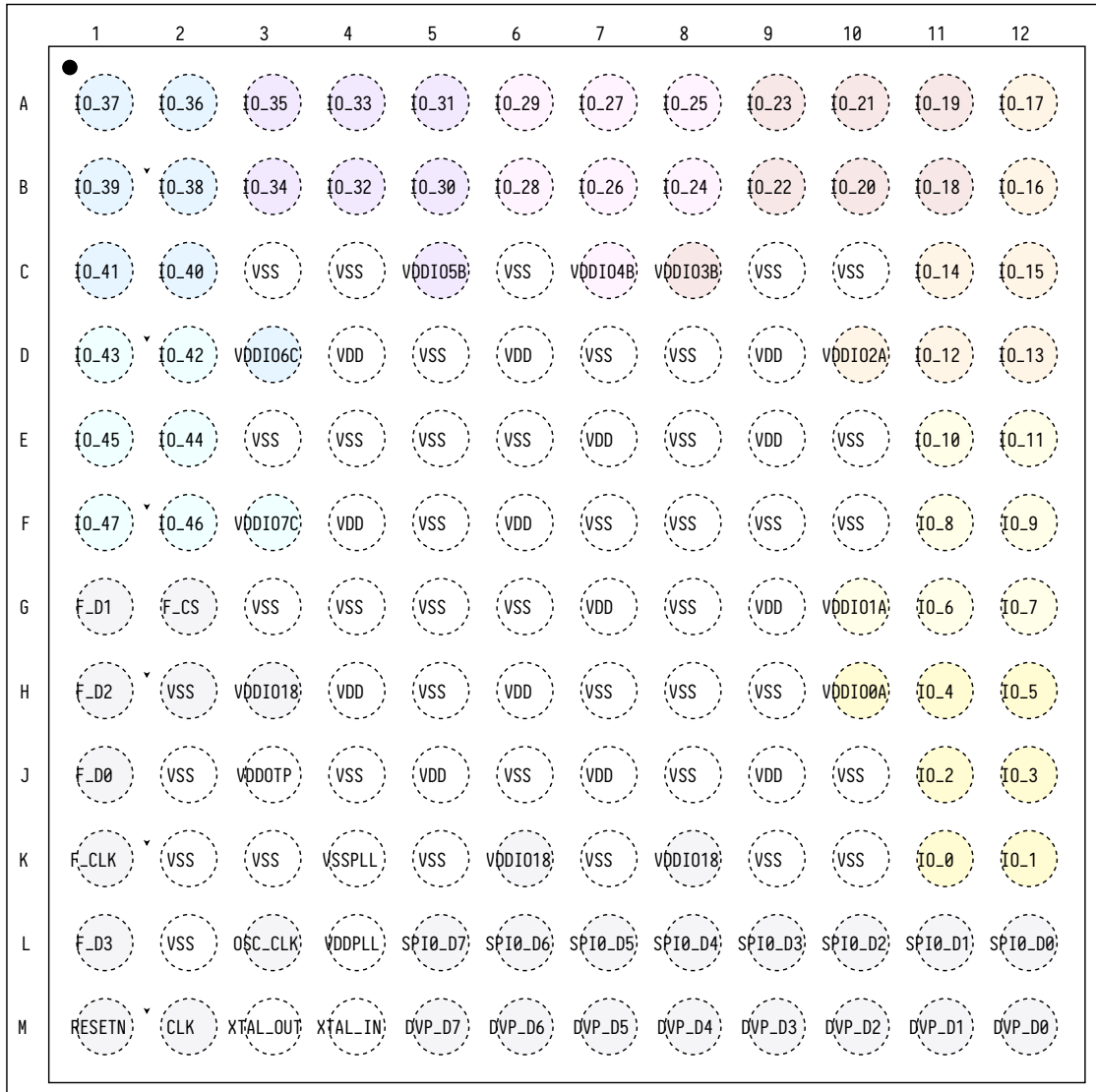
K210 使用精心设计的引脚布局，确保信号都在 BGA 外圈，以方便 PCB 工程师进行扇出与布线，提升电气性能，降低设计难度。

由于 K210 包含多种电源域的 I/O 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 I/O	低压 I/O	1.8	无特殊要求	VDDI018
OTP	OTP	1.8	无特殊要求	VDD0TP
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



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	VDDI05B	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 5, 组 B)	VDDI033
C6	VSS	S	接地	VSS
C7	VDDI04B	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 4, 组 B)	VDDI033
C8	VDDI03B	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 3, 组 B)	VDDI033
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)	GPIO6

编号	名称	类型	功能	复位后初始状态
C12	IO_15	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A)	GPIO7
D1	IO_43	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C)	GPIOHS27
D2	IO_42	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C)	GPIOHS26
D3	VDDI06C	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 6, 组 C)	VDDI033
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	VDDI02A	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 2, 组 A)	VDDI033
D11	IO_12	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A)	GPIO4
D12	IO_13	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 2, 组 A)	GPIO5
E1	IO_45	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C)	GPIOHS29
E2	IO_44	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C)	GPIOHS28
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 (电源域 1, 组 A)	GPIO2
E12	IO_11	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A)	GPIO3
F1	IO_47	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C)	GPIOHS31
F2	IO_46	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 7, 组 C)	GPIOHS30
F3	VDDI07C	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 7, 组 C)	VDDI033
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

编号	名称	类型	功能	复位后初始状态
F11	IO_8	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A)	GPIO0
F12	IO_9	I/O	可编程 IO 阵列 (FPIOA) 的多功能 IO (电源域 1, 组 A)	GPIO1
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	VDDI01A	S	3.3V/1.8V 电源, 为 FPIOA 多功能 IO 供电 (电源域 1, 组 A)	VDDI033
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	VDDI018	S	1.8V 电源, 为低压 GPIO 供电	VDDI018
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)	UARTHS_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)	UARTHS_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

编号	名称	类型	功能	复位后初始状态
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	VDDIO18	S	1.8V 电源, 为低压 GPIO 供电	VDDIO18
K7	VSS	S	接地	VSS
K8	VDDIO18	S	1.8V 电源, 为低压 GPIO 供电	VDDIO18
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*)

编号	名称	类型	功能	复位后初始状态
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
O	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 <sup>*1</sup>	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	-

<sup>\*1</sup> 注意：组 A、B、C 之间的 I/O 电源相互不互联，电压可以不一致；相同组内的 I/O 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。

## 2.5 特殊引脚

I0\_16 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，I0\_0、I0\_1、I0\_2、I0\_3 为 JTAG 引脚。I0\_4、I0\_5 为 ISP 引脚。

# 第 3 章

## 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	IMAFDC	基于 RISC-V 64 位 IMAFDC (RV64GC)，胜任通用任务
浮点处理单元	双精度	具备乘法器、除法器与平方根运算器，支持单精度、双精度的浮点计算
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
- 支持 D 扩展，即双精度浮点扩展，CPU 内嵌的 FPU 支持双精度浮点硬件加速
- FPU 具备除法器，支持单精度、双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、双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

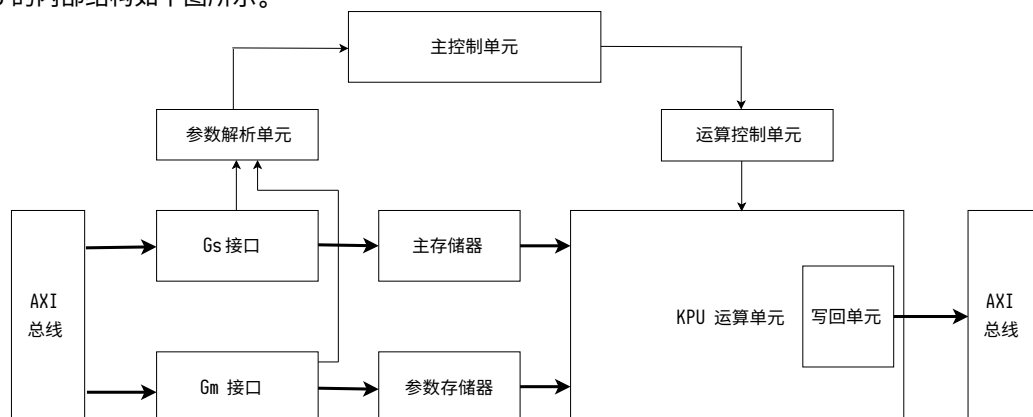
## 3.2 神经网络处理器 (KPU)

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，具体特性如下：

- 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、输入输出宽列高
- 支持两种卷积内核 1x1 和 3x3
- 支持任意形式的激活函数
- 实时工作时最大支持神经网络参数大小为 5.5MiB 到 5.9MiB
- 非实时工作时最大支持网络参数大小为 (Flash 容量-软件体积)

工况	最大定点模型大小 (MiB)	量化前浮点模型大小 (MiB)
实时 ( $\geq 30\text{fps}$ )	5.9	11.8
非实时 ( $< 10\text{fps}$ ) <sup>*1</sup>	与 Flash 容量相关 <sup>*2</sup>	与 Flash 容量相关

KPU 的内部结构如下图所示。



### 3.3 音频处理器 (APU)

APU 前处理模块负责语音方向扫描和语音数据输出的前置处理工作。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

<sup>\*1</sup> 非实时场合一般用于音频应用，这类应用一般不需要 33ms 内获得神经网络输出结果。

<sup>\*2</sup> 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。

### 3.4 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 一次性可编程存储器 (OTP)

OTP 是一次性可编程存储器单元，具体应用特性如下：

- 具有 128Kbit 的大容量存储空间
- 内部划分多个容量不同的 BLOCK，每个 BLOCK 对应一个写保护位，可以单独进行写保护操作
- 具有坏点修复功能
- 内部存储了 64 个 REGISTER\_ENABLE 标志位，可以作为控制某些 SoC 的硬件电路行为的开关
- 可以存储 128 位的 AES 加密和解密需要的 KEY，由硬件实现只写可信存储区

### 3.8 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

### 3.9 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

### 3.10 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

### 3.11 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

## 3.12 通用异步收发传输器 (UART)

### 3.12.1 高速 UART :

高速 UART 为 UARTHS(UART0)

- 通信速率可达 5Mbps
- 8 字节发送和接收 FIFO
- 可编程式 THRE 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。

- 8 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式 RS485 模式。默认为 RS232 模式
- 可编程式 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

## 3.13 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

## 3.14 通用输入/输出接口 (GPIO)

### 3.14.1 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

### 3.14.2 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

### 3.15 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，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

### 3.16 集成电路内置总线 (I<sup>2</sup>C)

集成电路总线有 3 个 I<sup>2</sup>C 总线接口，根据用户的配置，总线接口可以用作 I<sup>2</sup>C MASTER 或 SLAVE 模式。I<sup>2</sup>C 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

### 3.17 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 (待测更新)
- SPI3 最高可支持 100MHz 时钟 (待测更新)
- 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
- SPI3 支持 XIP

### 3.18 集成电路内置音频总线 (I<sup>2</sup>S)

集成电路内置音频总线共有 3 个 (I<sup>2</sup>S0、I<sup>2</sup>S1、I<sup>2</sup>S2), 都是 MASTER 模式。其中 I<sup>2</sup>S0 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 I<sup>2</sup>S SCLK 的异步时钟
- 音频数据分辨率为 12, 16, 20, 24 和 32 位
- I<sup>2</sup>S0 发送 FIFO 深度为 64 字节, 接收为 8 字节, I<sup>2</sup>S1 和 I<sup>2</sup>S2 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

### 3.19 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

### 3.20 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

### 3.21 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

### 3.22 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\_CFG0\_REG 的 PWMTIMERx\_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

# 第 4 章

## 电气特性

参数项目	参数名称	最小值	典型值	最大值	单位
3.3V/1.8V I/O 供电电压	$V_{DD}$	-	3.3/1.8	-	V
1.8V 数字供电电压	$DV_{DD1.8V}$	-	1.8	-	V
1.8V 模拟供电电压	$AV_{DD1.8V}$	-	1.8	-	V
0.9V 核心供电电压	$V_{DD0.9V}$	-	0.9	-	V
3.3V I/O 供电电流	$I_{3.3V}$	1	-	-	mA
1.8V 数字供电电流	$I_{1.8V}$	1	-	-	mA
1.8V 模拟供电电流	$I_{1.8V}$	2	-	-	mA
0.9V 核心供电电流	$I_{0.9V}$	30	-	-	mA
3.3V/1.8V I/O 输入逻辑电平高	$V_{IH}$	$0.7 * V_{DD}$	-	-	V
3.3V/1.8V I/O 输入逻辑电平低	$V_{IL}$	-	-	$0.3 * V_{DD}$	V
I/O 输出逻辑电平高	$V_{OH}$	-	$V_{DD} - 0.3$	-	mV
I/O 输出逻辑电平低	$V_{OL}$	-	0.3	-	mV
I/O 输入漏电流	$I_{IL}$	-	TBD <sup>*1</sup>	-	nA
I/O 输入电容	$C_{PAD}$	-	TBD	-	pF
存储温度范围	$T_{STR}$	-40	25	150	°C
工作温度范围	$T_{OPR}$	-40	25	125	°C

### 4.1 可编程驱动能力

#### 低电平输出电流

<sup>\*1</sup> 该数据的测试正在进行中，将在该文档未来版本中补充

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

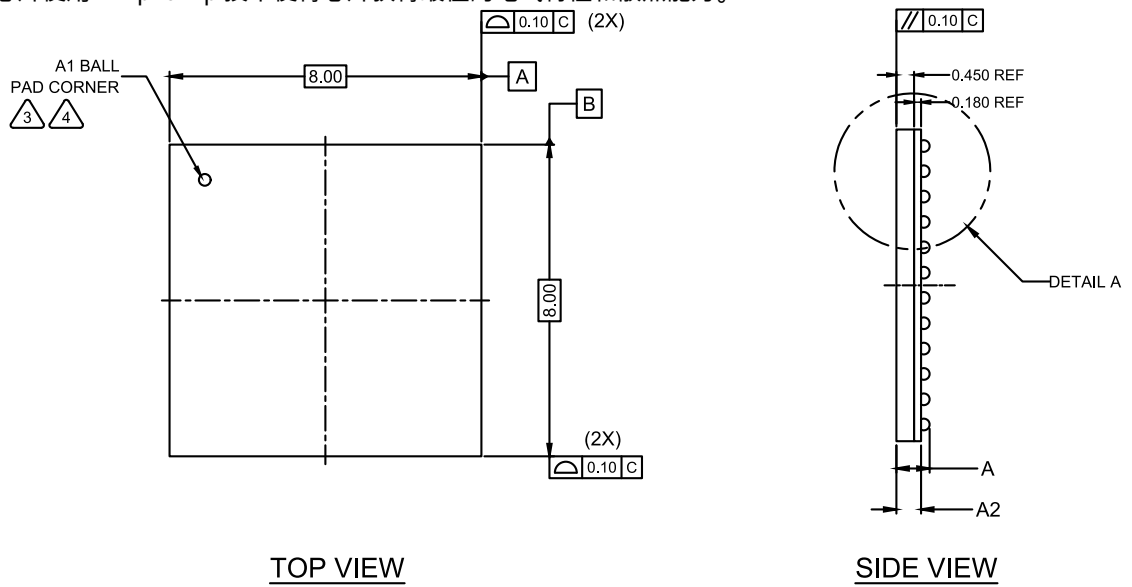
**高电平输出电流**

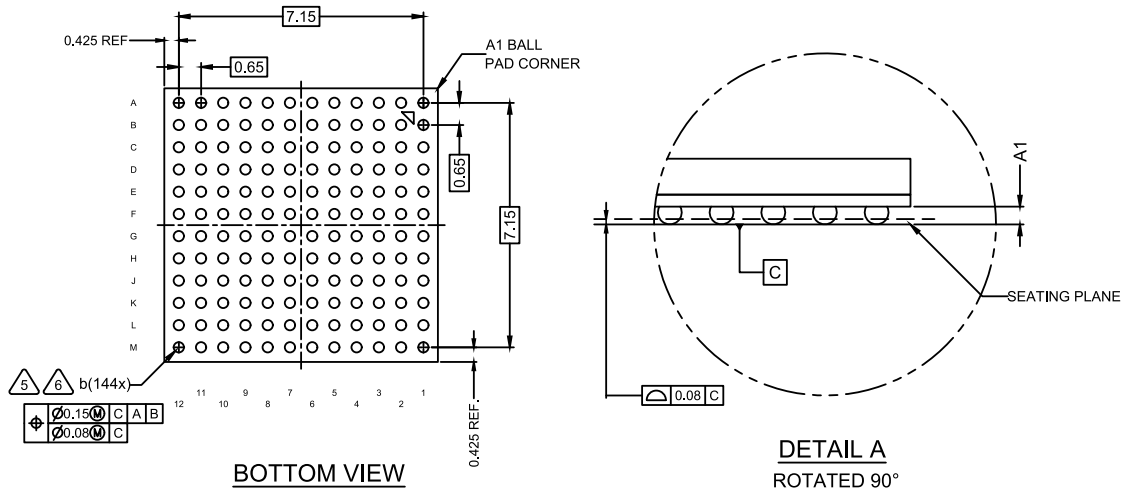
DS[3:0]	Min(mA)	Typ(mA)	Max(mA)
0000	5.0	7.6	11.2
0001	7.5	11.4	16.8
0010	10.0	15.2	22.3
0011	12.4	18.9	27.8
0100	14.9	22.6	33.3
0101	17.4	26.3	38.7
0110	19.8	30.0	44.1
0111	22.3	33.7	49.5

# 第 5 章

## 封装信息

该芯片使用的封装为 BGA144, 每边 12 个球, 长宽高为  $8 \times 8 \times 0.953\text{mm}$  (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。





DIMENSION	MINIMUM	NOMINAL	MAXIMUM
A	0.753	0.853	0.953
A1	0.163	0.223	0.283
A2	0.550	0.630	0.710
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		