

ROCKCHIP I2C 开发指南

文件标识: RK-KF-YF-026

发布版本: V2.2.0

日期: 2021-12-29

文件密级: ☐绝密 ☐秘密 ☐内部资料 ☒公开

免责声明

本文档按“现状”提供, 瑞芯微电子股份有限公司 (“本公司”, 下同) 不对本文档的任何陈述、信息和内容的准确性、可靠性、完整性、适销性、特定目的性和非侵权性提供任何明示或暗示的声明或保证。本文档仅作为使用指导的参考。

由于产品版本升级或其他原因, 本文档将可能在未经任何通知的情况下, 不定期进行更新或修改。

商标声明

“Rockchip”、“瑞芯微”、“瑞芯”均为本公司的注册商标, 归本公司所有。

本文档可能提及的其他所有注册商标或商标, 由其各自拥有者所有。

版权所有 © 2021 瑞芯微电子股份有限公司

超越合理使用范畴, 非经本公司书面许可, 任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部, 并不得以任何形式传播。

瑞芯微电子股份有限公司

Rockchip Electronics Co., Ltd.

地址: 福建省福州市铜盘路软件园A区18号

网址: www.rock-chips.com

客户服务电话: +86-4007-700-590

客户服务传真: +86-591-83951833

客户服务邮箱: fae@rock-chips.com

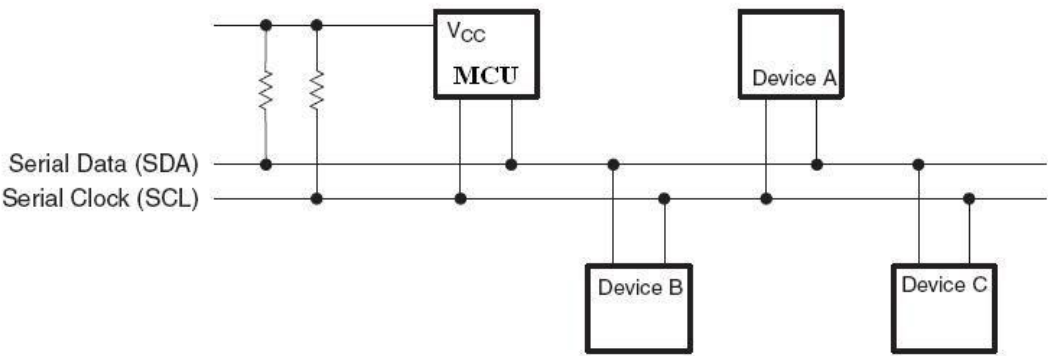
前言

ROCKCHIP 系列芯片为客户提供了标准 I2C 总线，方便客户实现对不同外接设备的控制和访问。I2C 总线控制器通过串行数据（SDA）线和串行时钟（SCL）线在连接到总线的器件间传递信息。每个器件都有一个唯一的地址识别（无论是微控制器——MCU、LCD 驱动器、存储器或键盘接口），而且都可以作为一个发送器或接收器（由器件的功能决定）。

Rockchip I2C 控制器支持下列功能：

- 兼容 I2C 与 SMBus 总线
- 仅支持主模式下的 I2C 总线
- 软件可编程时钟频率支持到 400kbps,部分芯片可高达 1000kbps
- 支持 7 位和 10 位寻址模式
- 一次中断或轮询至多 32 个字节的数据传输

下图为 I2C 总线的硬件连接方式，需要上拉电阻，改变上拉电阻大小可调节 I2C 总线的上拉强度。



I2C 总线连线图

ROCKCHIP I2C 在不同芯片，不同内核版本上的驱动不一样：i2c-rk3x.c 或者 i2c-rockchip.c(i2c-rockchip.c 驱动为 3.10 内核版本上使用)，I2C 可以跑的最高频率一般都是 1000K。

产品版本

芯片名称	内核版本
所有芯片	所有版本

读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：

技术支持工程师

软件开发工程师

修订记录

版本号	作者	修改日期	修改说明
V1.0.0	吴达超	2018-06-08	初始版本
V2.0.0	吴达超	2019-11-14	支持Linux-4.19, 支持RK1808
V2.1.0	吴达超	2021-06-02	增加RK356X,RV1126,RV1109支持
V2.2.0	吴达超	2021-12-29	支持所有芯片，所有内核版本

目录

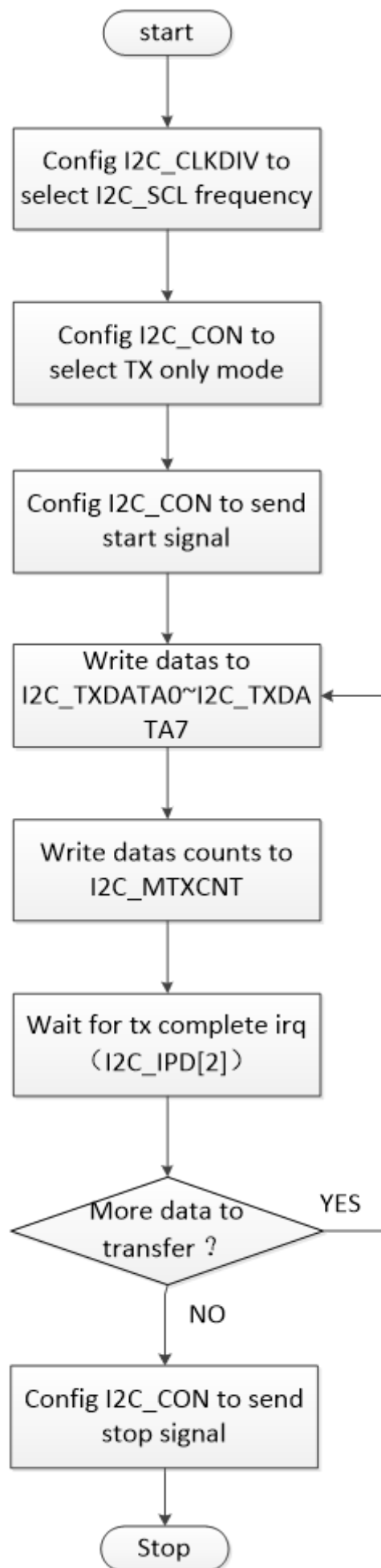
ROCKCHIP I2C 开发指南

1. I2C 流程
 - 1.1 Trasmint only mode(I2C_CON[1:0]=2'b00)
 - 1.2 Mix mode (I2C_CON[1:0]=2'b01 or I2C_CON[1:0]=2'b11)
 - 1.3 Receive only mode (I2C_CON[1:0]=2'b10)
2. I2C 驱动参数配置
 - 2.1 i2c-rk3x.c 配置
 - 2.2 i2c-rockchip.c 配置
3. I2C 使用
 - 3.1 Kernel space
 - 3.2 User space
4. I2C tools
5. GPIO 模拟 I2C
6. I2C 常见问题
 - 6.1 i2c-rk3x.c 驱动
 - 6.2 i2c-rockchip.c 驱动
 - 6.3 Debug 之 I2C 波形

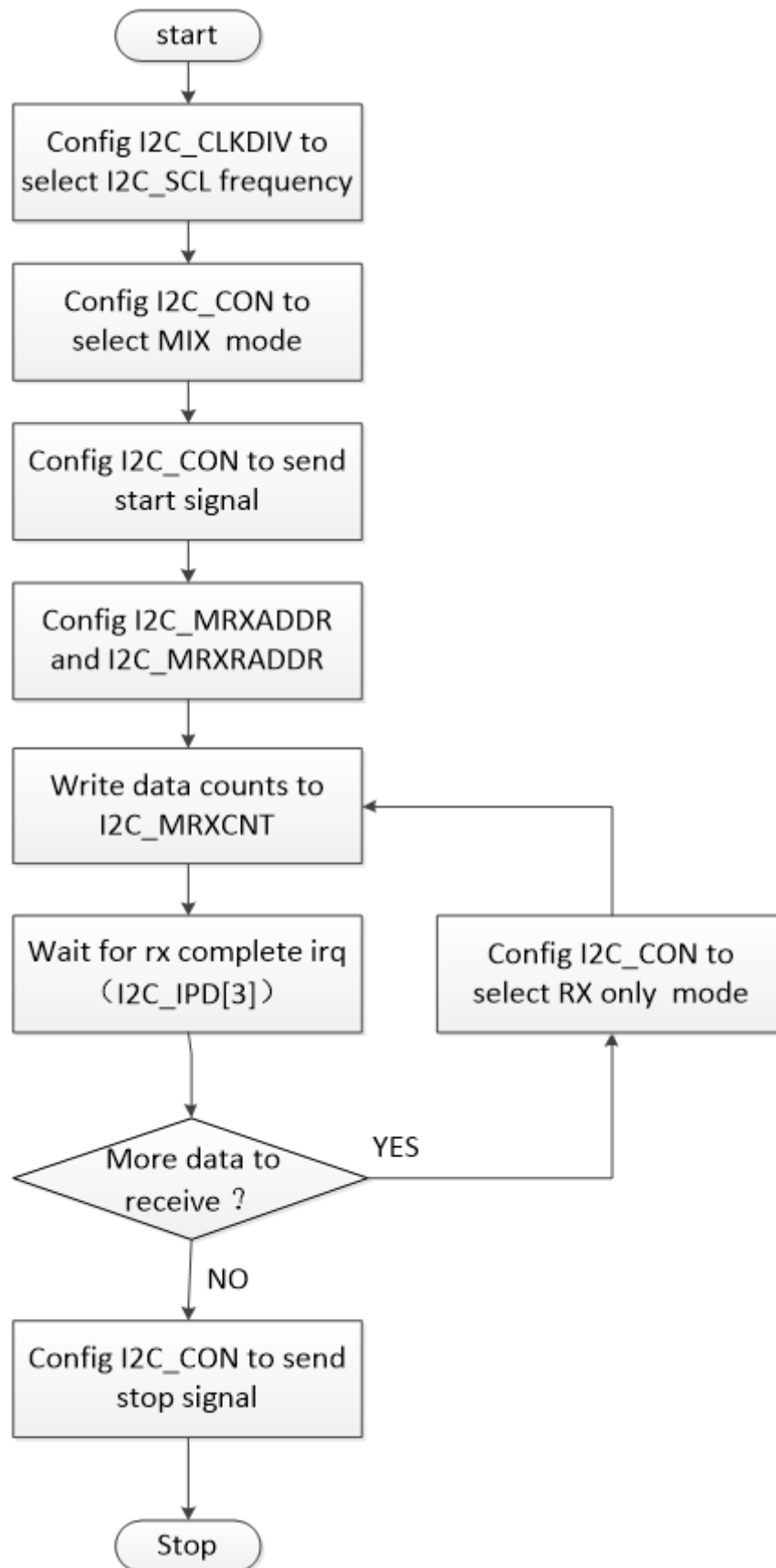
1. I2C 流程

I2C 的流程在两个驱动上大致是一样，写是单纯的 TX 模式 (I2C_CON[1:0]=2'b00)，而读一般使用 TRX 模式(I2C_CON[1:0]=2'b01)。下面的 I2C 控制器操作流程图是描述软件如何通过这个 I2C 控制器寄存器来配置和执行 I2C 任务。描述分为 3 部分,传输模式，混合模式和接收模式。

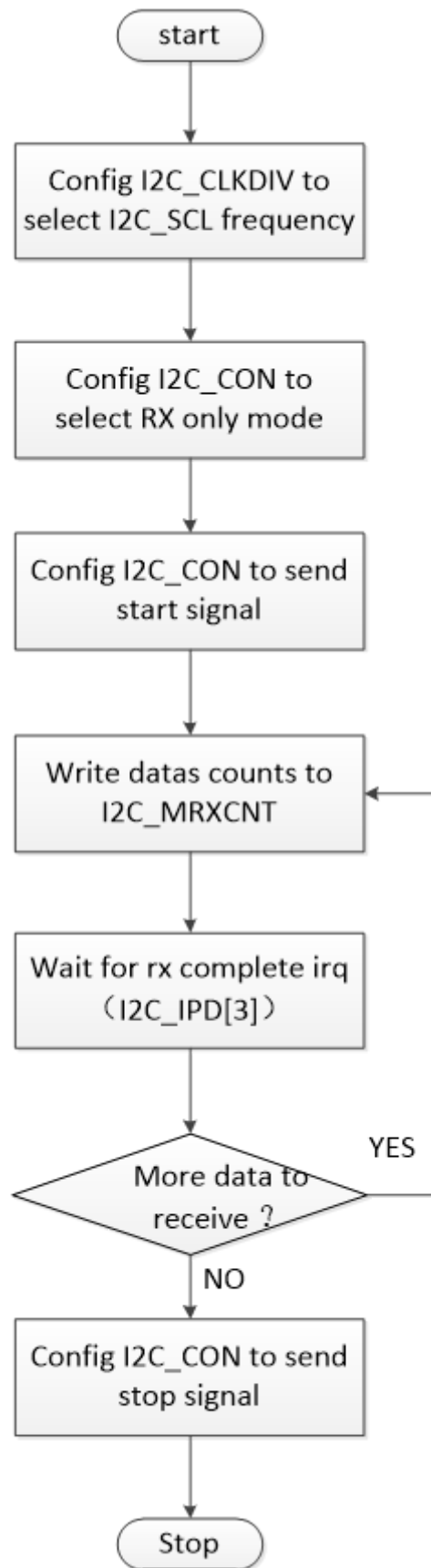
1.1 Trasmint only mode(I2C_CON[1:0]=2'b00)



1.2 Mix mode (I2C_CON[1:0]=2'b01 or I2C_CON[1:0]=2'b11)



1.3 Receive only mode (I2C_CON[1:0]=2'b10)



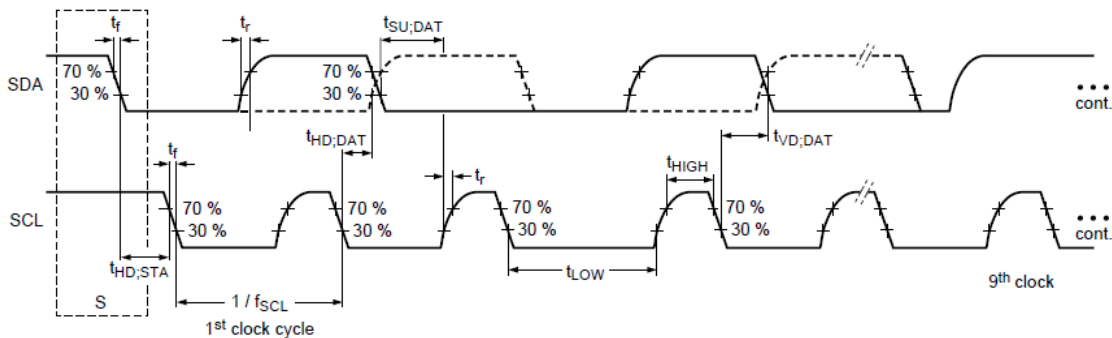
以上为 I2C 的主要流程，详细实现参考驱动代码。

2. I2C 驱动参数配置

I2C 的参数配置最主要就是 I2C 频率的配置，可配 I2C frequency 除了与芯片有关外，主要是由 I2C SCL rise time 决定的，因为 I2C 协议标准里面对上升沿和下降沿时间有规定要求特别是上升沿时间，如果超过了协议规定的最大值，则 I2C 通讯可能失败，下面是协议里面规定的最大最小值范围，下图表示了二者之间的关系：

Symbol	Parameter	Standard-mode		Fast-mode		Fast-mode Plus		unit
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	
fSCL	SCL clock frequency		100		400		1000	KHZ
Tr	rise time of both SDA and SCL signals		1000	20	300		120	ns
Tf	fall time of both SDA and SCL signals		300	20× (VDD/5.5V)	300	20× (VDD/5.5V)	300	ns

上升沿 Tr 和下降沿 Tf，需要用示波器测量，参考下面示图：



I2C 的驱动 i2c-rk3x.c 与 i2c-rockchip.c 两个配置方式是不一样的，区别如下：

2.1 i2c-rk3x.c 配置

i2c-rk3x.c 驱动的配置都在 DTS，参考文件 Documentation/devicetree/bindings/i2c/i2c-rk3x.txt。重点说明其中配置项，i2c-scl-rising-time-ns，i2c-scl-falling-time-ns：

- clock-frequency：默认 frequency 为 100k 可不配置，其它 I2C 频率需要配置，最大可配置频率由 i2c-scl-rising-time-ns 决定；例如配置 400k，clock-frequency=<400000>。
- i2c-scl-rising-time-ns：SCL 上升沿时间由硬件决定，改变上拉电阻可调节该时间，需通过示波器量测，参考上图；例如测得 SCL 上升沿 365ns，i2c-scl-rising-time-ns=<365>。（默认可以不配置，但必须保证当前的上升沿时间不能超过所配置频率下的 I2C 标准所定义的最大上升沿时间）
- i2c-scl-falling-time-ns：SCL 下降沿时间，一般不变，等同于 i2c-sda-falling-time-ns。（默认也可以不配置）

```
&i2c1 {
    status = "okay";
    i2c-scl-rising-time-ns = <265>;
    i2c-scl-falling-time-ns = <11>;
    clock-frequency = <400000>;

    es8316: es8316@10 {
        #sound-dai-cells = <0>;
        compatible = "everest,es8316";
        reg = <0x10>;
        clocks = <&cru SCLK_I2S_8CH_OUT>;
        clock-names = "mclk";
        spk-con-gpio = <&gpio0 11 GPIO_ACTIVE_HIGH>;
        hp-det-gpio = <&gpio4 28 GPIO_ACTIVE_LOW>;
    };
};
```


2.2 i2c-rockchip.c 配置

i2c-rockchip.c 驱动仍然遵循 I2C frequency 与 SCL 上升沿的约束关系，能否用更高的频率取决于 i2c-scl-rising-time-ns；I2C 频率在代码上面配置，直接配置 i2c_msg 结构体上的 scl_rate 成员，默认 frequency 仍为 100k，例如下面的 200K 配置配置：

```
struct i2c_msg xfer_msg;

xfer_msg[0].addr = client->addr;
xfer_msg[0].len = num;
xfer_msg[0].flags = client->flags;
xfer_msg[0].buf = buf;
xfer_msg[0].scl_rate = 200 * 1000; /* 200K i2c clock frequency */
```

3. I2C 使用

对于 I2C 的使用说明在 Documentation/i2c/ 有比较详细的，查阅，下面重点提下读写部分：

3.1 Kernel space

Rockchip I2C 的读写通信都是使用的是 linux 的标准接口，请参考 kernel 下面的 Documentation/i2c/writing-clients 文档说明，里面的 Sending and receiving 部分有系统的介绍。

3.2 User space

通常, I2C 设备由内核驱动程序控制。但也可以从用户态访问总线上的所有设备，通过 “/dev/i2c-%d” 接口来访问，kernel 下面的 Documentation/i2c/dev-interface 文档有详细说明与示例。

4. I2C tools

I2C tool 是一个开源工具，需自行下载进行交叉编译，代码下载地址：

<https://www.kernel.org/pub/software/utils/i2c-tools/>

或者

<git clone git://git.kernel.org/pub/scm/utils/i2c-tools/i2c-tools.git>

编译后会生成 i2cdetect, i2cdump, i2cset, i2cget 等工具，可以直接在命令行上调试使用：

- i2cdetect – 用来列举 I2C bus 和上面所有的设备
- i2cdump – 显示 i2c 设备所有 register 的值
- i2cget – 读取 i2c 设备某个 register 的值
- i2cset – 写入 i2c 设备某个 register 的值

I2C tool 都是开源的，编译与使用请参考里面的 README 与帮助说明。

5. GPIO 模拟 I2C

I2C 用 GPIO 模拟，内核已经有实现，请参考文档：

Documentation/devicetree/bindings/i2c/i2c-gpio.txt

下面是使用的例子，dts 下配置 I2C 节点。

```
i2c@4 {
    compatible = "i2c-gpio";
    gpios = <&gpio5 9 GPIO_ACTIVE_HIGH>, /* sda */
           <&gpio5 8 GPIO_ACTIVE_HIGH>; /* scl */
    i2c-gpio,delay-us = <2>;          /* ~100 kHz */
    #address-cells = <1>;
    #size-cells = <0>;
    pinctrl-names = "default";
    pinctrl-0 = <&i2c4_gpio>;
    status = "okay";

    gt9xx: gt9xx@14 {
        compatible = "goodix,gt9xx";
        reg = <0x14>;
        touch-gpio = <&gpio5 11 IRQ_TYPE_LEVEL_LOW>;
        reset-gpio = <&gpio5 10 GPIO_ACTIVE_HIGH>;
        max-x = <1200>;
        max-y = <1900>;
        tp-size = <911>;
        tp-supply = <&vcc_tp>;
        status = "okay";
    };
};
```

一般不推荐使用 GPIO，效率不高。

6. I2C 常见问题

因为我们有二个 i2c 驱动，所以仍然分两部分：

6.1 i2c-rk3x.c 驱动

如果调用 I2C 传输接口返回值为 -6(-ENXIO)时候，表示为 NACK 错误，即对方设备无应答响应，这种情况一般为外设的问题，常见的有以下几种情况：

- I2C 地址错误；
- I2C slave 设备处于不正常工作状态，比如没有上电，错误的上电时序以及设备异常等；
- I2C 时序不符合 slave 设备所要求也会产生 NACK 信号，比如 slave 设备需要的是 stop 信号,而不是 repeat start 信号的时候；
- I2C 总线受外部干扰导致的，用示波器测量可以看到是一个 ACK 波形。

当出现 I2C 的 log: "timeout, ipd: 0x00, state: 1"时，此时 I2C 控制器工作异常，无法产生中断状态，start 时序无法发出，有以下几种可能：

- I2C SCL 或者 SDA Pin 脚 iomux 错误;
- I2C 的上拉电压不对, 如电压不够或者上拉电源没有等;
- I2C Pin 脚被外设拉住, 电压不对;
- I2C 时钟未开, 或者时钟源太小;
- I2C 同时配置了 CON_START 和 CON_STOP 位。

当出现 I2C 的 log: "timeout, ipd: 0x10, state: 1"时, 此时 I2C 控制器工作正常, 但是 cpu 无法响应 I2C 中断, 此时可能 cpu0 被阻塞了 (一般 I2C 中断都在 cpu0 上面, 通过 cat /proc/interrupts 可以查看), 或者可能是 I2C 中断位被关闭了。

当出现 I2C 的 log 类似: "timeout, ipd: 0x80, state: 1"时, 看到 ipd 为 0x80 打印, 可以说明当前 SCL 被 slave 拉住, 要判断被哪个 slave 拉住:

- 一是排除法, 适用于外设不多的情况, 而且复现概率高;
- 二是需要修改硬件, 在 SCL 总线上串入电阻, 通过电阻两端产生的压差来确定, 电压更低的那端外设为拉低的 slave, 电阻的选取以不影响 I2C 传输且可以看出压差为标准, 一般上拉电阻的 1/20 以上都可以, 如果是 host 拉低也可以看出。另外在此基础上通过示波器来抓取波形更加直观, 比较不同 slave 和 host 的低电平大小, 与最后出问题时的低电平大小比较, 相等的就是拉低总线的“元凶”。

常见的情况是 sda 被拉低, 证明是谁拉低的, 同样参考上面 “SCL 被拉低” 的方法两种。

6.2 i2c-rockchip.c 驱动

如果调用 I2C 传输接口返回值为 -11(-EAGAIN)时候, 表示为 NACK 错误, 即对方设备无应答响应, 这种情况一般为外设的问题, 常见的有以下几种情况:

- I2C 地址错误;
- I2C slave 设备处于不正常工作状态, 比如没有上电, 错误的上电时序以及设备异常等;
- I2C 时序不符合 slave 设备所要求也会产生 NACK 信号, 比如 slave 设备需要的是 stop 信号, 而不是 repeat start 信号的时候;
- I2C 总线受外部干扰导致的, 用示波器测量可以看到是一个 ACK 波形。

当出现 I2C 的 log: "timeout, ipd: 0x00, state: 1"时, 此时 I2C 控制器工作异常, 无法产生中断状态, start 时序无法发出, 有以下几种可能:

- I2C SCL 或者 SDA Pin 脚 iomux 错误;
- I2C 的上拉电压不对, 如电压不够或者上拉电源没有等;
- I2C Pin 脚被外设拉住, 电压不对;
- I2C 时钟未开, 或者时钟源太小;
- I2C 同时配置了 CON_START 和 CON_STOP 位。

当出现 I2C 的 log: "timeout, ipd: 0x10, state: 1"时, 此时 I2C 控制器工作正常, 但是 cpu 无法响应 I2C 中断, 此时可能 cpu0 被阻塞了 (一般 I2C 中断都在 cpu0 上面, 通过 cat /proc/interrupts 可以查看), 或者可能是 I2C 中断位被关闭了。

当出现 I2C 的 log 类似: "timeout, ipd: 0x80, state: 1"时, 看到 ipd 为 0x80 打印, 或者看到 "scl was hold by slave" 的打印, 可以说明当前 SCL 被 slave 拉住, 要判断被哪个 slave 拉住:

一是排除法, 适用于外设不多的情况, 而且复现概率高;

二是需要修改硬件, 在 SCL 总线上串入电阻, 通过电阻两端产生的压差来确定, 电压更低的那端外设为拉低的 slave, 电阻的选取以不影响 I2C 传输且可以看出压差为标准, 一般上拉电阻的 1/20 以上都可以, 如果是 host 拉低也可以看出。另外在此基础上通过示波器来抓取波形更加直观, 比较不同 slave 和 host 的低电平大小, 与最后出问题时的低电平大小比较, 相等的就是拉低总线的“元凶”。

常见的情况是 SDA 被拉低, 证明是谁拉低的, 同样参考上面 “scl was hold by slave” 的方法两种。

当出现 log “i2c is not in idle(state = ×)”的 log 时，表示 I2C 总线至少一个为低，解决办法参考上面：

- “state=1”表示 SDA 为低；
- “state=2”表示 SCL 为低；
- “state=3”表示 SCL 和 SDA 都为低。

6.3 Debug 之 I2C 波形

如果遇到的 I2C 问题以上情况都不是，最好的办法是抓取 I2C 出错时候的波形，通过波形来分析 I2C 问题，I2C 的波形非常有用，大部分的问题都能分析出来；可以在出错的地方让 cpu 卡住（比如 while(1) 等），不发起新的 I2C 任务，最后抓到的波形应该就是出错的波形，如果需要过滤还可以加入设备 I2C 地址的判断条件等。