



# Linux TWI 开发指南

版本号: 1.2  
发布日期: 2021.04.29

## 版本历史

版本号	日期	制/修订人	内容描述
1.0	2019.12.31	AWA1637	version 1.0
1.1	2021.04.10	XAA0193	1. 适用列表中增加了新的 IC; 2. 对 5.4 下的 dts 进行了更新
1.2	2021.04.29	XAA0193	根据评审意见再次进行修改



## 目 录

<b>1 前言</b>	<b>1</b>
1.1 文档简介	1
1.2 目标读者	1
1.3 适用范围	1
<b>2 模块介绍</b>	<b>2</b>
2.1 模块功能介绍	2
2.2 相关术语介绍	2
2.2.1 硬件术语	2
2.2.2 软件术语	2
2.3 模块配置介绍	3
2.3.1 device tree 默认配置	3
2.3.2 board.dts 板级配置	5
2.3.3 kernel menuconfig 配置	6
2.4 源码模块结构	9
2.5 驱动框架介绍	10
<b>3 模块接口说明</b>	<b>12</b>
3.1 i2c-core 接口	12
3.1.1 i2c_transfer()	12
3.1.2 i2c_master_recv()	12
3.1.3 i2c_master_send()	12
3.1.4 i2c_smbus_read_byte()	13
3.1.5 i2c_smbus_write_byte()	13
3.1.6 i2c_smbus_read_byte_data()	13
3.1.7 i2c_smbus_write_byte_data()	14
3.1.8 i2c_smbus_read_word_data()	14
3.1.9 i2c_smbus_write_word_data()	15
3.1.10 i2c_smbus_read_block_data()	15
3.1.11 i2c_smbus_write_block_data()	15
3.2 i2c 用户态调用接口	16
3.2.1 i2cdev_open()	16
3.2.2 i2cdev_read()	16
3.2.3 i2cdev_write()	17
3.2.4 i2cdev_ioctl()	17
<b>4 模块使用范例</b>	<b>18</b>
4.1 利用 i2c-core 接口读写 TWI 设备	18
4.2 利用用户态接口读写 TWI 设备	21
<b>5 FAQ</b>	<b>22</b>
5.1 调试方法	22

5.1.1	调试工具	22
5.1.1.1	i2c-tools 调试工具	22
5.1.2	调试节点	22
5.1.2.1	/sys/module/i2c_sunxi/parameters/transfer_debug	22
5.1.2.2	/sys/devices/soc.2/1c2ac00.twi.0/info	22
5.1.2.3	/sys/devices/soc.2/1c2ac00.twi/status	23
5.2	常见问题	23
5.2.1	TWI 数据未完全发送	23
5.2.2	TWI 起始信号无法发送	23
5.2.3	TWI 终止信号无法发送	24
5.2.4	TWI 传送超时	25



## 插 图

2-1 Device Driver . . . . .	7
2-2 I2C support . . . . .	7
2-3 I2C device interface . . . . .	8
2-4 2C HardWare Bus support . . . . .	8
2-5 SUNXI I2C controller . . . . .	9
2-6 TWI 模块结构框图 . . . . .	10



# 1 前言

## 1.1 文档简介

介绍 Sunxi 平台上 TWI 驱动接口与调试方法，为 TWI 模块开发提供参考。

## 1.2 目标读者

TWI 模块内核层以及应用层的开发、维护人员。

## 1.3 适用范围

表 1-1: 适用产品列表

内核版本	驱动文件
Linux-4.9	i2c-sunxi.c
Linux-5.4	i2c-sunxi.c

## 2 模块介绍

### 2.1 模块功能介绍

全志公司的 twi 总线兼容 i2c 总线协议，是一种简单、双向二线制同步串行总线。它只需要两根线即可在连接于总线上的器件之间传送信息。TWI 控制器支持的标准通信速率为 100kbps，最高通信速率可以达到 400kbps。全志的 twi 控制器支持一下功能：

- 支持主机模式和从机模式；
- 主机模式下支持 dma 传输；
- 主机模式下在多个主机的模式下支持总线仲裁；
- 主机模式下支持时钟同步，位和字节等待；
- 从机模式下支持地址检测中断；
- 支持 7bit 从机地址和 10bit 从机地址；
- 支持常规的 i2c 协议模式和自定义传输模式；

sunxi 平台支持多路 TWI，包含 TWI 与 S\_TWI。

### 2.2 相关术语介绍

#### 2.2.1 硬件术语

表 2-1: 硬件术语

相关术语	解释说明
TWI	Two Wire Interface, 全志平台兼容 I2C 标准协议的总线控制器

#### 2.2.2 软件术语

表 2-2: 软件术语

相关术语	解释说明
Sunxi	全志科技使用的 linux 开发平台
I2C_dapter	linux 内核中 I2C 总线适配器的抽象定义.IIC 总线的控制器，在物理上连接若干个 I2C 设备
I2C_algorithm	linux 内核中 I2C 总线通信的抽象定义。描述 I2C 总线适配器与 I2C 设备之间的通信方法
I2C Client	linux 内核中 I2C 设备的抽象定义
I2C Driver	linux 内核中 I2C 设备驱动的抽象定义

## 2.3 模块配置介绍

在不同的 Sunxi 硬件平台中，TWI 控制器的数目不同；但对于同一块板子上的每一个 TWI 控制器来说，模块配置类似，本小节展示 Sunxi 平台上的 TWI0 控制器配置（其他 TWI 控制器配置类似）。

### 2.3.1 device tree 默认配置

设备树中存在的是该类芯片所有平台的模块配置，设备树文件的路径为：{linux-ver}/arch/arm64（32 位平台为 arm）/boot/dts/sunxi(32 位系统无这目录)/xxxx.dtsi(CHIP 为研发代号，如 sun50iw10p1 等)，TWI 总线的设备树配置如下所示：

```

1 twi0: twi@0x05002000{
2     #address-cells = <1>;
3     #size-cells = <0>;
4     compatible = "allwinner,sun50i-twi";           //具体的设备，用于驱动和设备的绑定
5     device_type = "twi0";                         //设备节点名称，用于sys_config.fex匹配
6     reg = <0x0 0x05002000 0x0 0x400>;           //TWI0总线寄存器配置
7     interrupts = <GIC_SPI 6 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>; //TWI0总线中断号、中断类型
8     clocks = <&clk_twi0>;                         //设备使用的时钟
9     clock-frequency = <400000>;                  //TWI0控制器的时钟频率
10    pinctrl-names = "default", "sleep";          //TWI0控制器使用的Pin脚名称，其中default为正常通
        信时的引脚配置，sleep为睡眠时的引脚配置
11    pinctrl-0 = <&twi0_pins_a>;                  //TWI0控制器default时使用的pin脚配置
12    pinctrl-1 = <&twi0_pins_b>;                  //TWI0控制器sleep时使用的pin脚配置
13    twi_drv_used = <1>;                          //使用DMA传输数据
14    status = "disabled";                          //TWI0控制器是否使能
15 };

```

在 linux-5.4 中，TWI 的配置与 linux-4.9 内核配置有些不同，区别主要体现在 clock 和 dma 的配置上：

```

1 twi0: twi@0x05002000{
2     #address-cells = <1>;
3     #size-cells = <0>;
4     compatible = "allwinner,sun20i-twi";         //具体的设备，用于驱动和设备的绑定
5     device_type = "twi0";                         //设备节点名称，用于sys_config.fex匹配

```



```

6     reg = <0x0 0x02502000 0x0 0x400>;           //TWI0总线寄存器配置
7     interrupts-extended= <&plic0 25 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>; //TWI0总线中断号、中断类型
8     clocks = <&ccu CLK_BUS_I2C0>;//twi控制器使用的时钟
9     resets = <&ccu RST_BUS_I2C0>;//twi控制器使用的reset时钟
10    clock-names = "bus";
11    clock-frequency = <400000>; //TWI0控制器的时钟频率
12    dmas = <&dma 43>, <&dma 43>;//TWI0控制器的dma通道号
13    dma-names = "tx", "rx";
14    status = "disabled";//TWI0控制器是否使能
15 };

```

为了在 TWI 总线驱动代码中区分每一个 TWI 控制器，需要在 Device Tree 中的 aliases 节点中为每一个 TWI 节点指定别名：

```

1     aliases {
2         soc_twi0 = &twi0;
3         soc_twi1 = &twi1;
4         soc_twi2 = &twi2;
5         soc_twi3 = &twi3;
6         ...
7     };

```

别名形式为字符串“twi”加连续编号的数字，在 TWI 总线驱动程序中可以通过 of\_alias\_get\_id() 函数获取对应 TWI 控制器的数字编号，从而区别每一个 TWI 控制器。

其中 twi0\_pins\_a, twi0\_pins\_b 为 TWI 的引脚配置的配置节点。

linux4.9 中该配置的路径为 arch/arm64 (32 位平台为 arm) /boot/dts/sunxi/xxxx-pinctrl.dtsi(CHIP 为研发代号，如 sun50iw10p1 等)，具体配置如下所示：

```

1     twi0_pins_a: twi0@0 {
2         allwinner,pins = "PD14", "PD15";           //TWI控制器使用的引脚
3         allwinner,pname = "twi0_scl", "twi0_sda"; //TWI控制器的引脚功能说明
4         allwinner,function = "twi0";             //引脚功能描述
5         allwinner,muxsel = <4>;                 //引脚复用功能配置
6         allwinner,drive = <0>;                   //io驱动能力
7         allwinner,pull = <0>;                     //内部电阻状态
8     };
9
10    twi0_pins_b: twi0@1 {
11        allwinner,pins = "PD14", "PD15";
12        allwinner,function = "io_disabled";
13        allwinner,muxsel = <7>;
14        allwinner,drive = <1>;
15        allwinner,pull = <0>;
16 };

```

linux-5.4 中该配置的路径为 arch/arm64 (32 位平台为 arm) /boot/dts/sunxi/xxxx.dtsi(CHIP 为研发代号，如 sun50iw10p1 等)，具体如下所示：

```

1     twi0_pins_a: twi0@0 {
2         pins = "PH0", "PH1";
3         function = "twi0";

```

```

4     drive-strength = <10>;
5 };
6
7 twi0_pins_b: twi0@1 {
8     pins = "PH0", "PH1";
9     function = "gpio_in";
10 };

```

另外 clk\_twi0 为时钟的配置。

在 linux-4.9 中，路径为 arch/arm64 (32 位平台为 arm) /boot/dts/sunxi/XXXX-clk.dtsi(CHIP 为研发代号，如 sun50iw10p1 等)，具体配置如下所示：

```

1 clk_twi0: twi0 {
2     #clock-cells = <0>;
3     compatible = "allwinner,periph-clock";
4     clock-output-names = "twi0"; //指定clock名称，用于匹配clock配置
5 };

```

在 linux-5.4 中，无需配置。

### 2.3.2 board.dts 板级配置

board.dts 用于保存每一个板级平台的设备信息（如 demo 板，perf1 板，ver1 板等等），里面的配置信息会覆盖上面的 device tree 默认配置信息。board.dts 的路径为 longan/device-config/chips/IC/configs/BOARD/board.dts,

在 linux-4.9 中，对应 board.dts 里面 TWI0 的具体配置如下：

```

1 twi0_pins_a: twi0@0 {
2     allwinner,pins = "PA0", "PA1";
3     allwinner,pname = "twi0_scl", "twi0_sda";
4     allwinner,function = "twi0";
5     allwinner,muxset = <4>;
6     allwinner,drive = <1>;
7     allwinner,pull = <0>;
8 };
9
10 twi0_pins_b: twi0@1 {
11     allwinner,pins = "PA0", "PA1";
12     allwinner,function = "io_disabled";
13     allwinner,muxsel = <7>;
14     allwinner,drive = <1>;
15     allwinner,pull = <0>;
16 };
17
18 twi0: twi0@x05002000{
19     clock-frequency = <400000>; //i2c时钟频率为400K
20     pinctrl-0 = <&twi0_pins_a>;
21     pinctrl-1 = <&twi0_pins_b>;
22     status = "okay"; //使能TWI0
23 };

```

在 linux-5.4 中，对应 board.dts 里面 TWI0 的具体配置如下：

```
1 &twi0 {
2     clock-frequency = <400000>;
3     pinctrl-0 = <&twi0_pins_a>;
4     pinctrl-1 = <&twi0_pins_b>;
5     pinctrl-names = "default", "sleep";
6     status = "disabled";
7
8     eeprom@50 {
9         compatible = "atmel,24c16";
10        reg = <0x50>;
11        status = "disabled";
12    };
13};
```

其中，TWI 速率由“clock-frequency”属性配置，最大支持 400K。

对于 TWI 设备，可以把设备节点填充作为 Device Tree 中相应 TWI 控制器的子节点。TWI 控制器驱动的 probe 函数透过 of\_i2c\_register\_devices()，自动展开作为其子节点的 TWI 设备。

对于 twi0 中引用的 pin 口，具体的配置如下：

```
twi0_pins_a: twi0@0 {
    pins = "PB10", "PB11"; /*sck sda*/
    function = "twi0";
    drive-strength = <10>;
};

twi0_pins_b: twi0@1 {
    pins = "PB10", "PB11";
    function = "gpio_in";
};
```

### 2.3.3 kernel menuconfig 配置

在 longan 中，linux-4.9 在命令行进入内核根目录 (/kernel/linux-4.9)，执行 make ARCH=arm64 menuconfig (32 位平台执行: make ARCH=arm menuconfig) 进入配置主界面，并按以下步骤操作 (linux-5.4 在根目录中执行 ./build.sh menuconfig)

在 tina 中，可以直接在根目录里面执行 make kernel\_menuconfig 进入 menuconfig 配置界面。

- 1. 选择 Device Drivers 选项进入下一级配置，如下图所示：

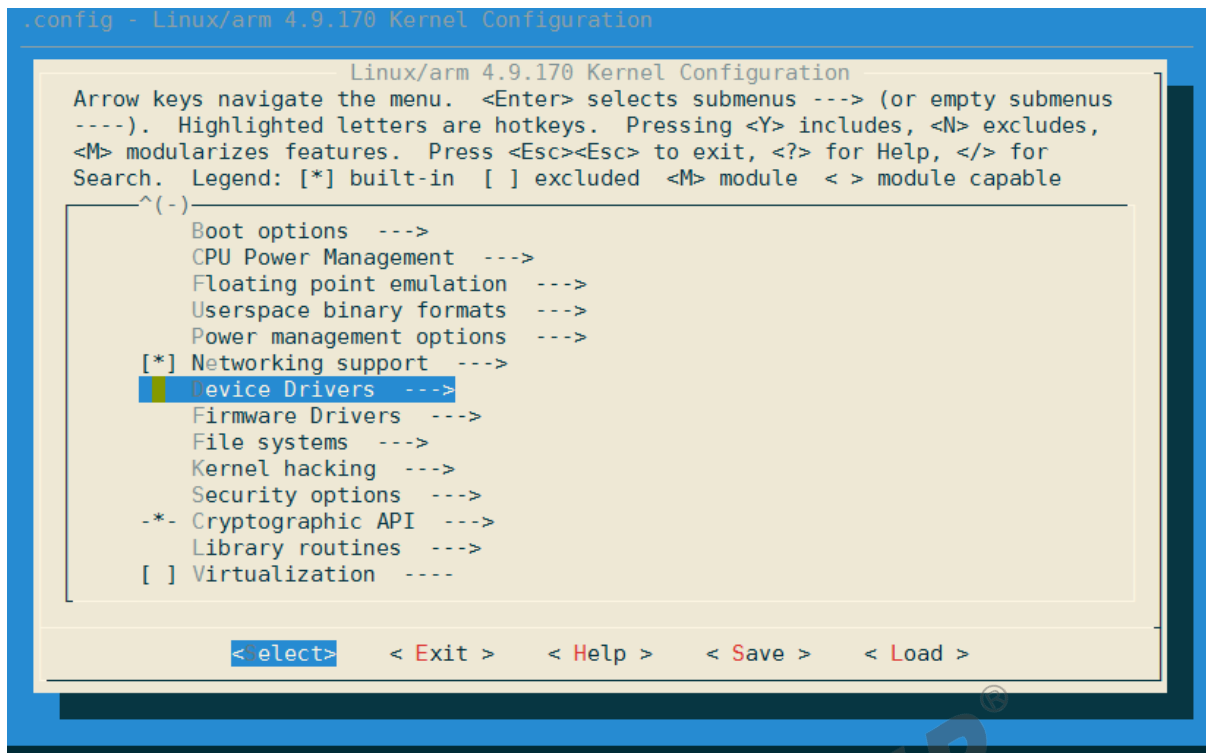


图 2-1: Device Driver

- 2. 选择 I2C support 选项，进入下一级配置，如下图所示：

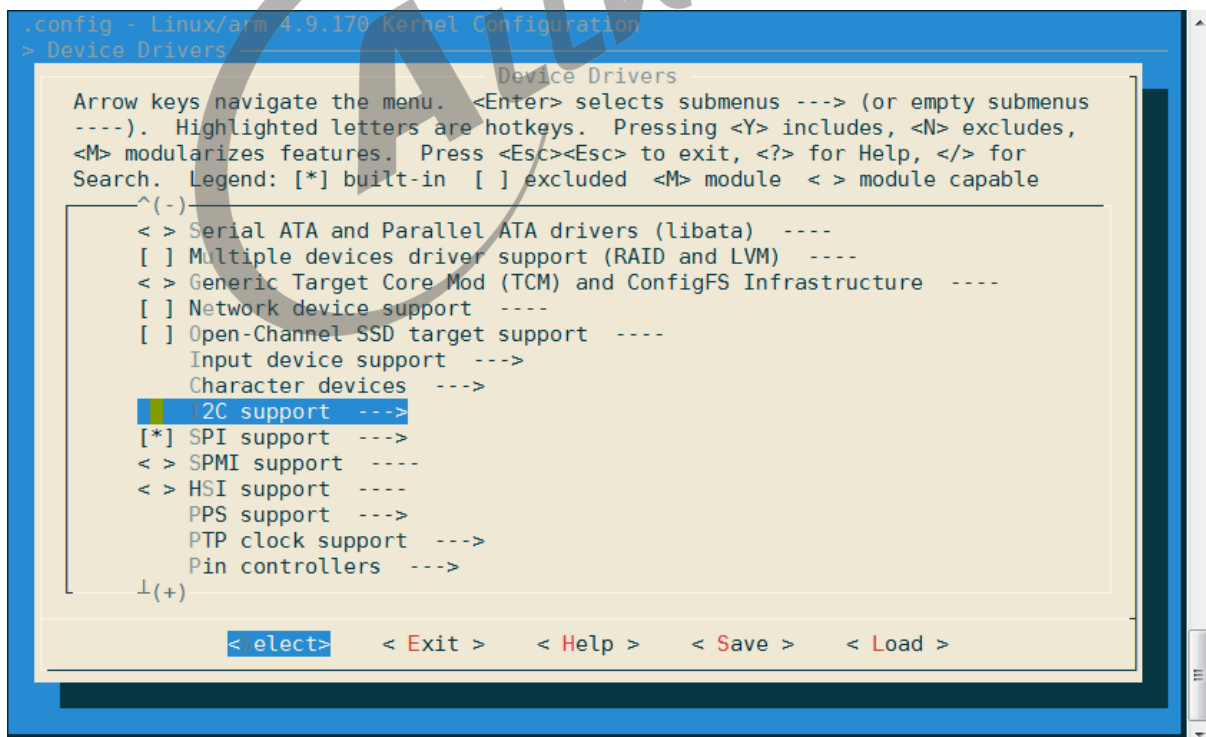


图 2-2: I2C support

- 3. 配置用户 I2C 接口，选择 I2C device interface，如下图所示：

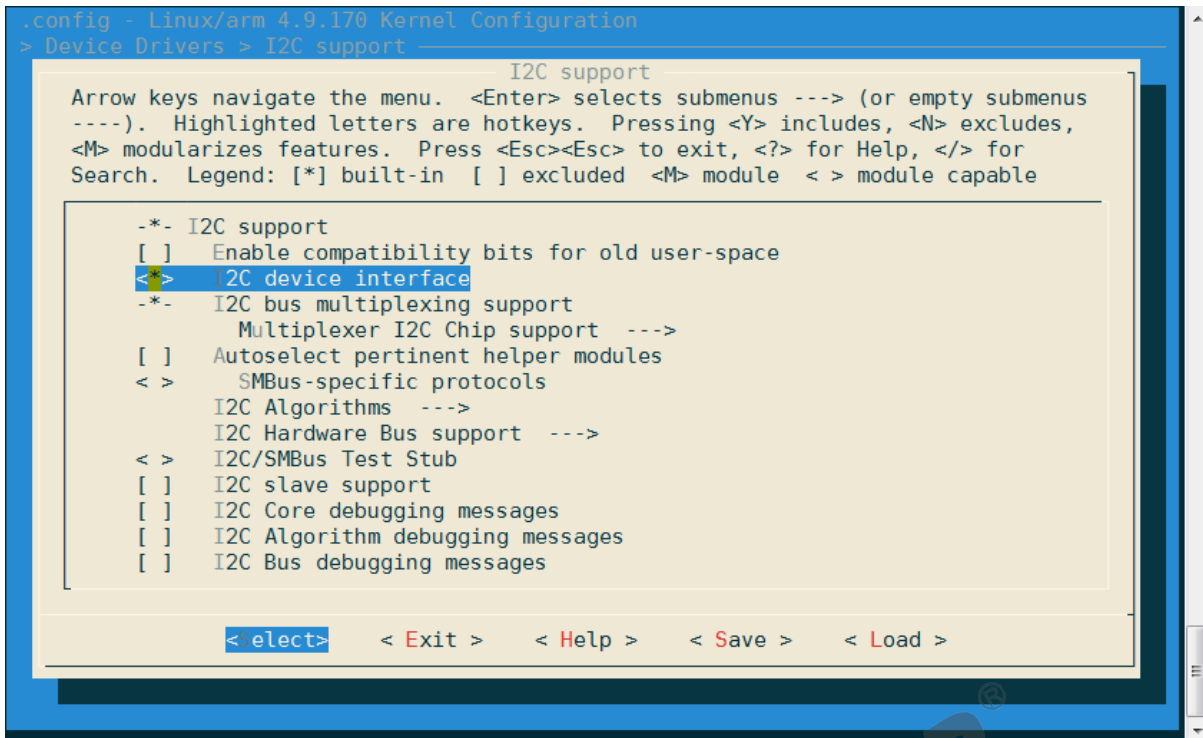


图 2-3: I2C device interface

- 4. 选择 I2C HardWare Bus support 选项，进入下一级配置，如下图所示：

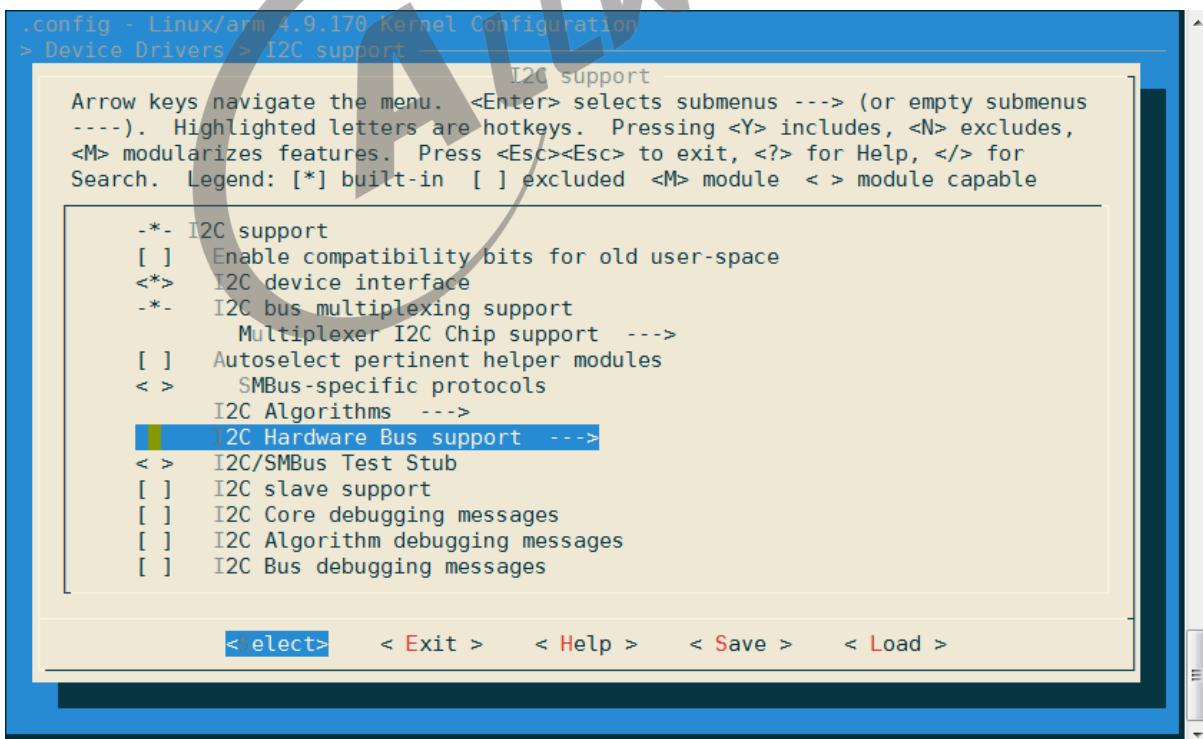


图 2-4: 2C HardWare Bus support

- 5. 选择 SUNXI I2C controller 选项，可选择直接编译进内核，也可编译成模块。如下图所示

示：

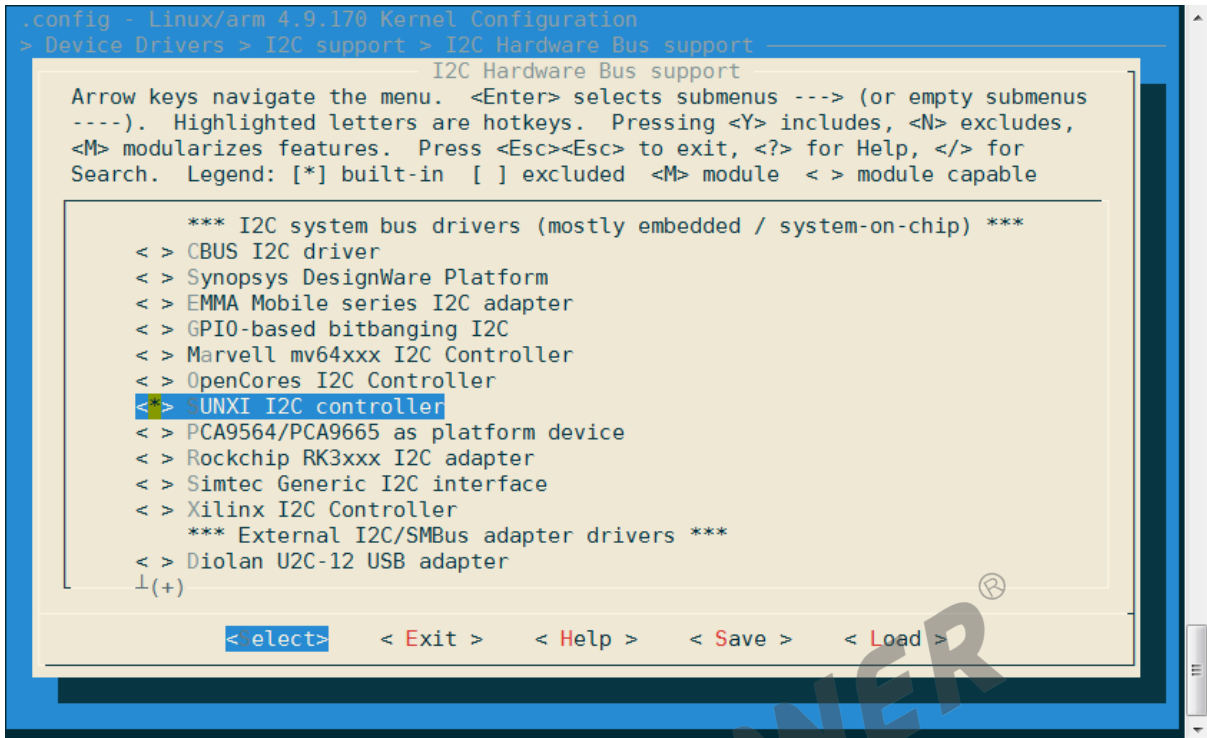


图 2-5: SUNXI I2C controller

## 2.4 源码模块结构

I2C 总线驱动的源代码位于内核在 `drivers/i2c/busses` 目录下：

```
kernel/linux-4.9/drivers/i2c/
├── busses
│   ├── i2c-sunxi.c           // Sunxi平台的I2C控制器驱动代码
│   ├── i2c-sunxi.h         // 为Sunxi平台的I2C控制器驱动定义了一些宏、数据结构
│   └── i2c-sunxi-test.c    // Sunxi平台的i2c设备测试代码,5.4下暂未适配
├── i2c-core.c              // I2C子系统核心文件,提供相关的接口函数
└── i2c-dev.c               // I2C子系统的设备相关文件,用以注册相关的设备文件,方便调试
```

## 2.5 驱动框架介绍

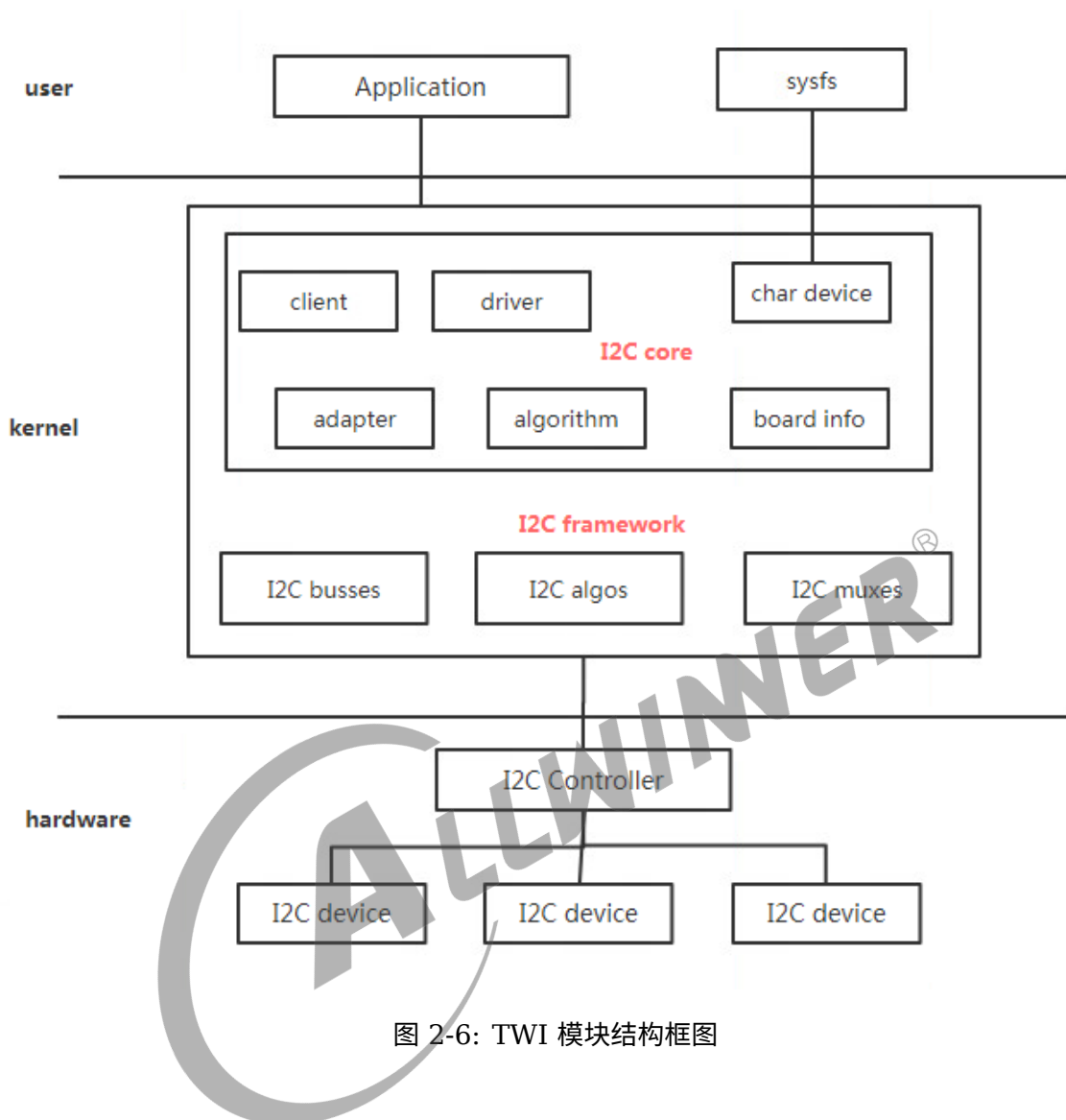


图 2-6: TWI 模块结构框图

Linux 中 I2C 体系结构上如图所示，图中用分割线分成了三个层次：1. 用户空间，包括所有使用 I2C 设备的应用程序；2. 内核，也就是驱动部分；3. 硬件，指实际物理设备，包括了 I2C 控制器和 I2C 外设。

其中，Linux 内核中的 I2C 驱动程序从逻辑上又可以分为 6 个部分：

1. I2C framework 提供一种“访问 I2C slave devices”的方法。由于这些 slave devices 由 I2C controller 控制，因而主要由 I2C controller 驱动实现这一目标。
2. 经过 I2C framework 的抽象，用户不用关心 I2C 总线的技术细节，只需要调用系统的接口，就可以与外部设备进行通信。正常情况下，外部设备是位于内核态的其它 driver（如触摸屏，摄像头等等）。I2C framework 也通过字符设备向用户空间提供类似的接口，用户空间程序可以通过该接口访问从设备信息。

3. 在 I2C framework 内部，有 I2C core、I2C busses、I2C algos 和 I2C muxes 四个模块。
4. I2C core 使用 I2C adapter 和 I2C algorithm 两个子模块抽象 I2C controller 的功能，使用 I2C client 和 I2C driver 抽象 I2C slave device 的功能（对应设备模型中的 device 和 device driver）。另外，基于 I2C 协议，通过 smbus 模块实现 SMBus（System Management Bus，系统管理总线）的功能。
5. I2C busses 是各个 I2C controller drivers 的集合，位于 drivers/i2c/busses/目录下，i2c-sunxi-test.c、i2c-sunxi.c、i2c-sunxi.h。
6. I2C algos 包含了一些通用的 I2C algorithm，所谓的 algorithm，是指 I2C 协议的通信方法，用于实现 I2C 的 read/write 指令，一般情况下，都是由硬件实现，不需要特别关注该目录。





## 3 模块接口说明

### 3.1 i2c-core 接口

#### 3.1.1 i2c\_transfer()

- 函数原型：int i2c\_transfer(struct i2c\_adapter \*adap, struct i2c\_msg \*msgs, int num)
- 作用：完成 I2C 总线和 I2C 设备之间的一定数目的 I2C message 交互。
- 参数：
  - adap：指向所属的 I2C 总线控制器；
  - msgs：i2c\_msg 类型的指针；
  - num：表示一次需要处理几个 I2C msg
- 返回：
  - >0：已经处理的 msg 个数；
  - <0：失败；

#### 3.1.2 i2c\_master\_recv()

- 函数原型：int i2c\_master\_recv(const struct i2c\_client \*client, char \*buf, int count)
- 作用：通过封装 i2c\_transfer() 完成一次 I2c 接收操作。
- 参数：
  - client：指向当前 I2C 设备的实例；
  - buf：用于保存接收到的数据缓存；
  - count：数据缓存 buf 的长度
- 返回：
  - >0：成功接收的字节数；
  - <0：失败；

#### 3.1.3 i2c\_master\_send()

- 函数原型：int i2c\_master\_send(const struct i2c\_client \*client, const char \*buf, int count)

- 作用：通过封装 `i2c_transfer()` 完成一次 I2c 发送操作。
- 参数：
  - `client`：指向当前 I2C 从设备的实例；
  - `buf`：要发送的数据；
  - `count`：要发送的数据长度
- 返回：
  - `>0`：成功发送的字节数；
  - `<0`：失败；

### 3.1.4 `i2c_smbus_read_byte()`

- 函数原型：`s32 i2c_smbus_read_byte(const struct i2c_client *client)`
- 作用：从 I2C 总线读取一个字节。（内部是通过 `i2c_transfer()` 实现，以下几个接口同。）
- 参数：
  - `client`：指向当前的 I2C 从设备
- 返回：
  - `>0`：读取到的数据；
  - `<0`：失败；

### 3.1.5 `i2c_smbus_write_byte()`

- 函数原型：`s32 i2c_smbus_write_byte(const struct i2c_client *client, u8 value)`
- 作用：从 I2C 总线写入一个字节。
- 参数：
  - `client`：指向当前的 I2C 从设备；
  - `value`：要写入的数值
- 返回：
  - `0`：成功；
  - `<0`：失败；

### 3.1.6 `i2c_smbus_read_byte_data()`

- 函数原型：`s32 i2c_smbus_read_byte_data(const struct i2c_client *client, u8 command)`
- 作用：从 I2C 设备指定偏移处读取一个字节。

- 参数：
  - client: 指向当前的 I2C 从设备；
  - command: I2C 协议数据的第 0 字节命令码（即偏移值）；
- 返回：
  - >0: 读取到的数据；
  - <0: 失败；

### 3.1.7 i2c\_smbus\_write\_byte\_data()

- 函数原型: `s32 i2c_smbus_write_byte_data(const struct i2c_client *client, u8 command, u8 value)`
- 作用: 从 I2C 设备指定偏移处写入一个字节。
- 参数：
  - client: 指向当前的 I2C 从设备；
  - command: I2C 协议数据的第 0 字节命令码（即偏移值）；
  - value: 要写入的数值；
- 返回：
  - 0: 成功；
  - <0: 失败；

### 3.1.8 i2c\_smbus\_read\_word\_data()

- 函数原型: `s32 i2c_smbus_read_word_data(const struct i2c_client *client, u8 command)`
- 作用: 从 I2C 设备指定偏移处读取一个 word 数据（两个字节，适用于 I2C 设备寄存器是 16 位的情况）。
- 参数：
  - client: 指向当前的 I2C 从设备；
  - command: I2C 协议数据的第 0 字节命令码（即偏移值）；
- 返回：
  - >0: 读取到的数据；
  - <0: 失败；

### 3.1.9 i2c\_smbus\_write\_word\_data()

- 函数原型：s32 i2c\_smbus\_write\_word\_data(const struct i2c\_client \*client, u8 command, u16 value)
- 作用：从 I2C 设备指定偏移处写入一个 word 数据（两个字节）。
- 参数：
  - client：指向当前的 I2C 从设备；
  - command：I2C 协议数据的第 0 字节命令码（即偏移值）；
  - value：要写入的数值
- 返回：
  - 0：成功；
  - <0：失败；

### 3.1.10 i2c\_smbus\_read\_block\_data()

- 函数原型：s32 i2c\_smbus\_read\_block\_data(const struct i2c\_client \*client, u8 command, u8 \*values)
- 作用：从 I2C 设备指定偏移处读取一块数据。
- 参数：
  - client：指向当前的 I2C 从设备；
  - command：I2C 协议数据的第 0 字节命令码（即偏移值）；
  - values：用于保存读取到的数据；
- 返回：
  - >0：读取到的数据长度；
  - <0：失败；

### 3.1.11 i2c\_smbus\_write\_block\_data()

- 函数原型：s32 i2c\_smbus\_write\_block\_data(const struct i2c\_client \*client, u8 command, u8 length, const u8 \*values)
- 作用：从 I2C 设备指定偏移处写入一块数据（长度最大 32 字节）。
- 参数：
  - client：指向当前的 I2C 从设备；
  - command：I2C 协议数据的第 0 字节命令码（即偏移值）；
  - length：要写入的数据长度；
  - values：要写入的数据；
- 返回：

- 0: 成功;
- <0: 失败;

## 3.2 i2c 用户态调用接口

i2c 的操作在内核中是当做字符设备来操作的，可以通过利用文件读写接口（open, write, read, ioctl）等操作内核目录中的/dev/i2c-\* 文件来调用相关的接口，i2c 相关的操作定义在 i2c-dev.c 里面，本节将介绍比较重要的几个接口：

### 3.2.1 i2cdev\_open()

- 函数原型：static int i2cdev\_open(struct inode \*inode, struct file \*file)
- 作用：程序（C 语言等）使用 open(file) 时调用的函数。打开一个 i2c 设备，可以像文件读写的方式往 i2c 设备中读写数据
- 参数：
  - inode: inode 节点;
  - file: file 结构体;
- 返回：文件描述符

### 3.2.2 i2cdev\_read()

- 函数原型：static ssize\_t i2cdev\_read(struct file \*file, char \_\_user \*buf, size\_t count, loff\_t \*offset)
- 作用：程序（C 语言等）调用 read() 时调用的函数。像往文件里面读数据一样从 i2c 设备中读数据。底层调用 i2c\_xfer 传输数据
- 参数：
  - file: file 结构体;
  - buf, 写数据 buf;
  - offset, 文件偏移。
- 返回：
  - 非空：返回读取的字节数;
  - <0: 失败;

### 3.2.3 i2cdev\_write()

- 函数原型：static ssize\_t i2cdev\_write(struct file \*file, const char \_\_user \*buf, size\_t count, loff\_t \*offset)
- 作用：程序（C 语言等）调用 write() 时调用的函数。像往文件里面写数据一样往 i2c 设备中写数据。底层调用 i2c\_xfer 传输数据
- 参数：
  - file: file 结构体;
  - buf: 读数据 buf;
  - offset, 文件偏移。
- 返回：
  - 0: 成功;
  - <0: 失败;

### 3.2.4 i2cdev\_ioctl()

- 函数原型：static long i2cdev\_ioctl(struct file \*file, unsigned int cmd, unsigned long arg)
- 作用：程序（C 语言等）调用 ioctl() 时调用的函数。像对文件管理 i/o 一样对 i2c 设备管理。该功能比较强大，可以修改 i2c 设备的地址，往 i2 设备里面读写数据，使用 smbus 等等，详细的可以查阅该函数。
- 参数：
  - file: file 结构体;
  - cmd: 指令;
  - arg: 其他参数。
- 返回：
  - 0: 成功;
  - <0: 失败;

## 4 模块使用范例

### 4.1 利用 i2c-core 接口读写 TWI 设备

在内核源码中有现成的 i2c 设备驱动实例：tina/lichee/kernel/linux-5.4/drivers/misc/eeprom/at24.c，这是一个 EEPROM 的 I2C 设备驱动，为了验证 I2C 总线驱动，所以其中通过 sysfs 节点实现读写访问。下面对这个文件的一些关键点进行展示介绍：

```
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/of_device.h>
#include <linux/slab.h>
#include <linux/delay.h>
#include <linux/mutex.h>
#include <linux/mod_devicetable.h>
#include <linux/bitops.h>
#include <linux/jiffies.h>
#include <linux/property.h>
#include <linux/acpi.h>
#include <linux/i2c.h>
#include <linux/nvmem-provider.h>
#include <linux/regmap.h>
#include <linux/pm_runtime.h>
#include <linux/gpio/consumer.h>

#define EEPROM_ATTR(_name) \
{ \
    .attr = { .name = #_name, .mode = 0444 }, \
    .show = _name##_show, \
}

struct i2c_client *this_client;

static const struct i2c_device_id at24_ids[] = {
    { "24c16", 0 },
    { /* END OF LIST */ }
};
MODULE_DEVICE_TABLE(i2c, at24_ids);

static int eeprom_i2c_rxdata(char *rxdata, int length)
{
    int ret;

    struct i2c_msg msgs[] = {
        {
            .addr = this_client->addr,
            .flags = 0,
            .len = 1,
        }
    }
}
```

```
        .buf    = &rxdata[0],
    },
    {
        .addr   = this_client->addr,
        .flags  = I2C_M_RD,
        .len    = length,
        .buf    = &rxdata[1],
    },
};

ret = i2c_transfer(this_client->adapter, msgs, 2);
if (ret < 0)
    pr_info("%s i2c read eeprom error: %d\n", __func__, ret);

return ret;
}

static int eeprom_i2c_txdata(char *txdata, int length)
{
    int ret;

    struct i2c_msg msg[] = {
        {
            .addr   = this_client->addr,
            .flags  = 0,
            .len    = length,
            .buf    = txdata,
        },
    };

    ret = i2c_transfer(this_client->adapter, msg, 1);
    if (ret < 0)
        pr_err("%s i2c write eeprom error: %d\n", __func__, ret);

    return 0;
}

static ssize_t read_show(struct kobject *kobj, struct kobj_attribute *attr,
                        char *buf)
{
    int i;
    u8 rxdata[4];
    rxdata[0] = 0x1;
    eeprom_i2c_rxdata(rxdata, 3);

    for(i=0;i<4;i++)
        printk("rxdata[%d]: 0x%x\n", i, rxdata[i]);

    return sprintf(buf, "%s\n", "read end!");
}

static ssize_t write_show(struct kobject *kobj, struct kobj_attribute *attr,
                          char *buf)
{
    int i;
    static u8 txdata[4] = {0x1, 0xAA, 0xBB, 0xCC};

    for(i=0;i<4;i++)
        printk("txdata[%d]: 0x%x\n", i, txdata[i]);
}
```



```
    eeprom_i2c_txdata(txdata,4);

    txdata[1]++;
    txdata[2]++;
    txdata[3]++;

    return sprintf(buf, "%s\n", "write end!");
}

static struct kobj_attribute read  = EEPROM_ATTR(read);
static struct kobj_attribute write = EEPROM_ATTR(write);

static const struct attribute *test_attrs[] = {
    &read.attr,
    &write.attr,
    NULL,
};

static int at24_probe(struct i2c_client *client, const struct i2c_device_id *id)
{
    int err;
    this_client = client;
    printk("1..at24_probe \n");
    err = sysfs_create_files(&client->dev.kobj, test_attrs);
    printk("2..at24_probe \n");
    if(err){
        printk("sysfs_create_files failed\n");
    }
    printk("3..at24_probe \n");
    return 0;
}

static int at24_remove(struct i2c_client *client)
{
    return 0;
}

static struct i2c_driver at24_driver = {
    .driver = {
        .name = "at24",
        .owner = THIS_MODULE,
    },
    .probe = at24_probe,
    .remove = at24_remove,
    .id_table = at24_ids,
};

static int __init at24_init(void)
{
    printk("%s    %d\n", __func__, __LINE__);

    return i2c_add_driver(&at24_driver);
}
module_init(at24_init);

static void __exit at24_exit(void)
{
    printk("%s()%d - \n", __func__, __LINE__);
}
```

```
    i2c_del_driver(&at24_driver);
}
module_exit(at24_exit);
```

## 4.2 利用用户态接口读写 TWI 设备

如果配置了 i2c devices interface, 可以直接利用文件读写函数来操作 I2C 设备。下面这个程序直接读取 /dev/i2c-\* 来读写 i2c 设备:

```
#include <sys/ioctl.h>
#include <fcntl.h>
#include <linux/i2c-dev.h>
#include <linux/i2c.h>
#define CHIP "/dev/i2c-1"
#define CHIP_ADDR 0x50
int main()
{
    unsigned char rddata;
    unsigned char rdaddr[2] = {0, 0}; /* 将要读取的数据在芯片中的偏移量 */
    unsigned char wrbuf[3] = {0, 0, 0x3c}; /* 要写的的数据, 头两字节为偏移量 */
    printf("hello, this is i2c tester\n");
    int fd = open(CHIP, O_RDWR);
    if (fd < 0)
    {
        printf("open \"CHIP\"failed\n");
        goto exit;
    }
    if (ioctl(fd, I2C_SLAVE_FORCE, CHIP_ADDR) < 0)
    { /* 设置芯片地址 */
        printf("ioctl:set slave address failed\n");
        goto close;
    }
    printf("input a char you want to write to E2PROM\n");
    wrbuf[2] = getchar();
    printf("write return:%d, write data:%x\n", write(fd, wrbuf, 3), wrbuf[2]);
    sleep(1);
    printf("write address return: %d\n",write(fd, rdaddr, 2)); /* 读取之前首先设置读取的偏移量 */
    printf("read data return:%d\n", read(fd, &rddata, 1));
    printf("rddata: %c\n", rddata);
    close(fd);
    exit:
    return 0;
}
```

## 5 FAQ

### 5.1 调试方法

#### 5.1.1 调试工具

##### 5.1.1.1 i2c-tools 调试工具

i2c-tools 是一个开源工具，专门用来调试 I2C 设备。可以用 i2c-tools 来获取 i2c 设备的相关信息（默认集成在内核里面），并且读写相关的 i2c 设备的数据。i2c-tools 主要是通过读写/dev/i2c-\* 文件获取 I2C 设备，所以需要在 kernel/linux-4.9 的 menuconfig 里面把 I2C 的 device interface 节点打开，具体的 i2c-tools 使用方法如下

```
i2cdetect -l //获取i2c设备信息
i2cdump -y i2c-number i2c-reg //把相关的i2c设备数据dump出来，如i2cdump -y 1 0x50
i2cget -y i2c-number i2c-reg data_rege //读取i2c设备某个地址的数据，如i2cget -y 1 0x50 1
i2cset -y i2c-number i2c-reg data_rege data //往i2c设备某个地址写数据，如i2cset -y 1 0x50 1 1
```

#### 5.1.2 调试节点

##### 5.1.2.1 /sys/module/i2c\_sunxi/parameters/transfer\_debug

此节点文件的功能是打开某个 TWI 通道通信过程的调试信息。缺省值是-1，不会打印任何通道的通信调试信息。

打开通道 x 通信过程调试信息的方法：

```
echo x > /sys/module/i2c_sunxi/parameters/transfer_debug
```

关闭通信过程调试信息的方法：

```
echo -1 > /sys/module/i2c_sunxi/parameters/transfer_debug
```

##### 5.1.2.2 /sys/devices/soc.2/1c2ac00.twi.0/info

此节点文件可以打印出当前 TWI 通道的一些硬件资源信息。

```
cat /sys/devices/soc.2/1c2ac00.twi.0/info
```

### 5.1.2.3 /sys/devices/soc.2/1c2ac00.twi/status

此节点文件可以打印出当前 TWI 通道的一些运行状态信息，包括控制器的各寄存器值。

```
cat /sys/devices/soc.2/1c2ac00.twi/status
```

## 5.2 常见问题

### 5.2.1 TWI 数据未完全发送

**问题现象：**incomplete xfer。具体的 log 如下所示：

```
[ 1658.926643] sunxi_i2c_do_xfer()1936 - [i2c0] incomplete xfer (status: 0x20, dev addr: 0x50)
[ 1658.926643] sunxi_i2c_do_xfer()1936 - [i2c0] incomplete xfer (status: 0x48, dev addr: 0x50)
```

**问题分析：**此错误表示主控已经发送了数据（status 值为 0x20 时，表示发送了 SLAVE ADDR + WRITE；status 值为 0x48 时，表示发送了 SLAVE ADDR + READ），但是设备没有回 ACK，这表明设备无响应，应该检查是否未接设备、接触不良、设备损坏和上电时序不正确的设备未就绪等问题。

**问题排查步骤：**

- 步骤 1：通过设备树里面的配置信息，核对引脚配置是否正确。每组 TWI 都有好几组引脚配置。
- 步骤 2：更换 TWI 总线下的设备为 at24c16，用 i2ctools 读写 at24c16 看看是否成功，成功则表明总线工作正常；
- 步骤 3：排查设备是否可以正常工作以及设备与 I2C 之间的硬件接口是否完好；
- 步骤 4：详细了解当前需要操作的设备的初始化方法，工作时序，使用方法，排查因初始化设备不正确导致通讯失败；
- 步骤 5：用示波器检查 TWI 引脚输出波形，查看波形是否匹配。

### 5.2.2 TWI 起始信号无法发送

**问题现象：**START can't sendout!。具体的 log 如下所示：

```
sunxi_i2c_do_xfer()1865 - [i2c1] START can't sendout!
```

**问题分析：**此错误表示 TWI 无法发送起始信号，一般跟 TWI 总线的引脚配置以及时钟配置有关。应该检查引脚配置是否正确，时钟配置是否正确，引脚是否存在上拉电阻等等。

#### 问题排查步骤：

- 步骤 1：重新启动内核，通过查看 log，分析 TWI 是否成功初始化，如若存在引脚配置问题，应核对引脚信息是否正确
- 步骤 2：根据原理图，查看 TWI-SCK 和 TWI-SDA 是否经过合适的上拉电阻接到 3.3v 电压；
- 步骤 3：用万用表量 SDA 与 SCL 初始电压，看电压是否在 3.3V 附近（断开此 TWI 控制器所有外设硬件连接与软件通讯进程）；
- 步骤 4：核查引脚配置以及 clk 配置是否进行正确设置；
- 步骤 5：测试 PIN 的功能是否正常，利用寄存器读写的方式，将 PIN 功能直接设为 INPUT 功能（echo [reg] [val] > /sys/class/sunxi\_dump/write），然后将 PIN 上拉和接地改变 PIN 状态，读 PIN 的状态（echo [reg,reg] > /sys/class/sunxi\_dump/dump;cat dump），看是否匹配。
- 步骤 6：测试 CLK 的功能是否正常，利用寄存器读写的方式，将 TWI 的 CLK gating 等打开，（echo [reg] [val] > /sys/class/sunxi\_dump/write），然后读取相应 TWI 的寄存器信息，读 TWI 寄存器的数据（echo [reg] ,[len]> /sys/class/sunxi\_dump/dump），查看寄存器数据是否正常。

### 5.2.3 TWI 终止信号无法发送

**问题现象：**STOP can't sendout。具体的 log 如下所示：

```
twi_stop()511 - [i2c4] STOP can't sendout!  
sunxi_i2c_core_process()1726 - [i2c4] STOP failed!
```

**问题分析：**此错误表示 TWI 无法发送终止信号，一般跟 TWI 总线的引脚配置。应该检查引脚配置是否正确，引脚电压是否稳定等等。

#### 问题排查步骤：

- 步骤 1：根据原理图，查看 TWI-SCK 和 TWI-SDA 是否经过合适的上拉电阻接到 3.3v 电压；
- 步骤 2：用万用表量 SDA 与 SCL 初始电压，看电压是否在 3.3V 附近（断开此 TWI 控制器所有外设硬件连接与软件通讯进程）；
- 步骤 3：测试 PIN 的功能是否正常，利用寄存器读写的方式，将 PIN 功能直接设为 INPUT 功能（echo [reg] [val] > /sys/class/sunxi\_dump/write），然后将 PIN 上拉和接地改变 PIN 状态，读 PIN 的状态（echo [reg,reg] > /sys/class/sunxi\_dump/dump;cat dump），看是否匹配；

- 步骤 4: 查看设备树配置，把其他用到 SCK/SDA 引脚的节点关闭，重新测试 I2C 通信功能。

## 5.2.4 TWI 传送超时

**问题现象：** xfer timeout。具体的 log 如下所示：

```
[123.681219] sunxi_i2c_do_xfer()1914 - [i2c3] xfer timeout (dev addr:0x50)
```

**问题分析：** 此错误表示主控已经发送完起始信号，但是在与设备通信的过程中无法正常完成数据发送与接收，导致最终没有发出终止信号来结束 I2C 传输，导致的传输超时问题。应该检查引脚配置是否正常，CLK 配置是否正常，TWI 寄存器数据是否正常，是否有其他设备干扰，中断是否正常等问题。

**问题排查步骤：**

- 步骤 1: 核实 TWI 控制器配置是否正确；
- 步骤 2: 根据原理图，查看 TWI-SCK 和 TWI-SDA 是否经过合适的上拉电阻接到 3.3v 电压；
- 步骤 3: 用万用表量 SDA 与 SCL 初始电压，看电压是否在 3.3V 附近（断开此 TWI 控制器所有外设硬件连接与软件通讯进程）；
- 步骤 4: 关闭其他 TWI 设备，重新进行烧录测试 TWI 功能是否正常；
- 步骤 4: 测试 PIN 的功能是否正常，利用寄存器读写的方式，将 PIN 功能直接设为 INPUT 功能（echo [reg] [val] > /sys/class/sunxi\_dump/write），然后将 PIN 上拉和接地改变 PIN 状态，读 PIN 的状态（echo [reg,reg] > /sys/class/sunxi\_dump/dump;cat dump），看是否匹配；
- 步骤 5: 测试 CLK 的功能是否正常，利用寄存器读写的方式，将 TWI 的 CLK gating 等打开，（echo [reg] [val] > /sys/class/sunxi\_dump/write），然后读取相应 TWI 的寄存器信息，读 TWI 寄存器的数据（echo [reg] ,[len]> /sys/class/sunxi\_dump/dump），查看寄存器数据是否正常；
- 步骤 7: 根据相关的 LOG 跟踪 TWI 代码执行流程，分析报错原因。


## 著作权声明

版权所有 © 2021 珠海全志科技股份有限公司。保留一切权利。

本文档及内容受著作权法保护，其著作权由珠海全志科技股份有限公司（“全志”）拥有并保留一切权利。

本文档是全志的原创作品和版权财产，未经全志书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制、修改、发表或传播本文档内容的部分或全部，且不得以任何形式传播。

## 商标声明

、 **全志科技** （不完全列举）均为珠海全志科技股份有限公司的商标或者注册商标。在本文档描述的产品中出现的其它商标，产品名称，和服务名称，均由其各自所有人拥有。

## 免责声明

您购买的产品、服务或特性应受您与珠海全志科技股份有限公司（“全志”）之间签署的商业合同和条款的约束。本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您所购买或使用的范围内。使用前请认真阅读合同条款和相关说明，并严格遵循本文档的使用说明。您将自行承担任何不当使用行为（包括但不限于如超压，超频，超温使用）造成的不利后果，全志概不负责。

本文档作为使用指导仅供参考。由于产品版本升级或其他原因，本文档内容有可能修改，如有变更，恕不另行通知。全志尽全力在本文档中提供准确的信息，但并不确保内容完全没有错误，因使用本文档而发生损害（包括但不限于间接的、偶然的、特殊的损失）或发生侵犯第三方权利事件，全志概不负责。本文档中的所有陈述、信息和建议并不构成任何明示或暗示的保证或承诺。

本文档未以明示或暗示或其他方式授予全志的任何专利或知识产权。在您实施方案或使用产品的过程中，可能需要获得第三方的权利许可。请您自行向第三方权利人获取相关的许可。全志不承担也不代为支付任何关于获取第三方许可的许可费或版税（专利税）。全志不对您所使用的第三方许可技术做出任何保证、赔偿或承担其他义务。