

AN1202 ALIENTEK 摄像头模块使用

本应用文档(AN1202, 对应 ALIENTEK MINISTM32 扩展实验 20)将教大家如何在 ALIENTEK MiniSTM32 开发板上使用 ALIENTEK OV7670 摄像头模块。

本文档分为如下几部分:

- 1, OV7670 简介
- 2, 硬件连接
- 3, 软件实现
- 4, 验证

1、OV7670 简介

OV7670 是 OV (OmniVision) 公司生产的一颗 1/6 寸的 CMOS VGA 图像传感器。该传感器体积小、工作电压低, 提供单片 VGA 摄像头和影像处理器的所有功能。通过 SCCB 总线控制, 可以输出整帧、子采样、取窗口等方式的各种分辨率 8 位影像数据。该产品 VGA 图像最高达到 30 帧/秒。用户可以完全控制图像质量、数据格式和传输方式。所有图像处理功能过程包括伽玛曲线、白平衡、度、色度等都可以通过 SCCB 接口编程。OmniVision 图像传感器应用独有的传感器技术, 通过减少或消除光学或电子缺陷如固定图案噪声、拖尾、浮散等, 提高图像质量, 得到清晰的稳定的彩色图像。

OV7670 的特点有:

- 高灵敏度、低电压适合嵌入式应用
- 标准的 SCCB 接口, 兼容 IIC 接口
- 支持 RawRGB、RGB(GBR4:2:2, RGB565/RGB555/RGB444), YUV(4:2:2)和 YCbCr (4:2:2) 输出格式
- 支持 VGA、CIF, 和从 CIF 到 40*30 的各种尺寸输出
- 支持自动曝光控制、自动增益控制、自动白平衡、自动消除灯光条纹、自动黑电平校准等自动控制功能。同时支持色饱和度、色相、伽马、锐度等设置。
- 支持闪光灯
- 支持图像缩放

OV7670 的功能框图如图 1.1 所示:

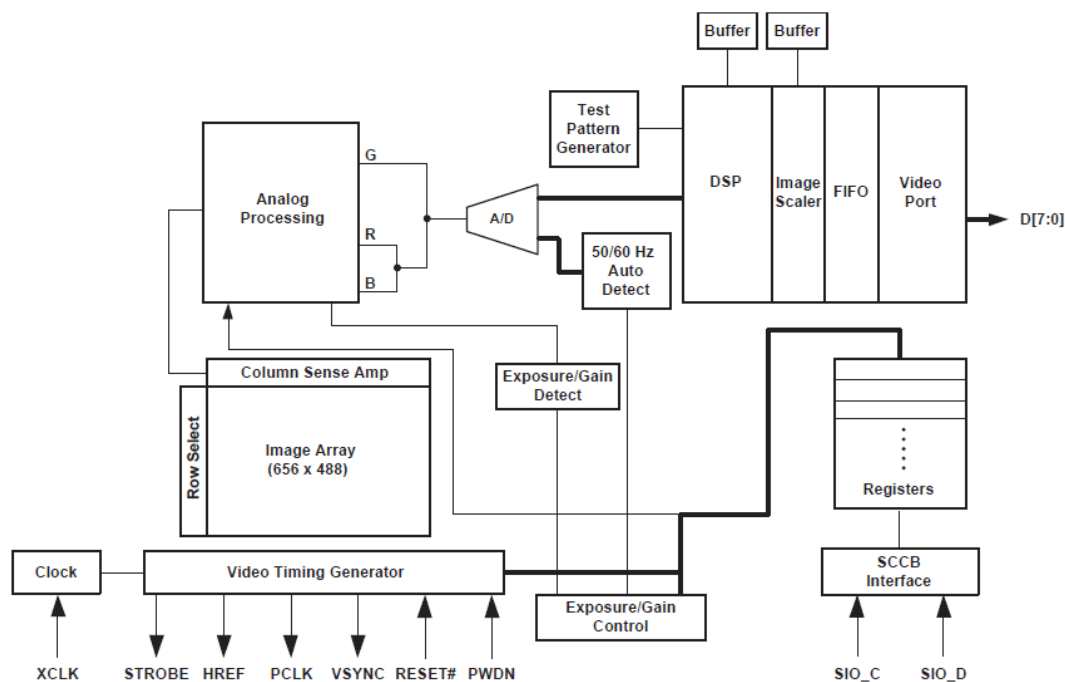


图 1.1 OV7670 功能框图

OV7670 传感器包括如下一些功能模块。

1.感光阵列 (Image Array)

OV7670 总共有 656*488 个像素，其中 640*480 个有效（即有效像素为 30W）。

2.时序发生器 (Video Timing Generator)

时序发生器具有的功能包括：阵列控制和帧率发生（7 种不同格式输出）、内部信号发生器和分布、帧率时序、自动曝光控制、输出外部时序（VSYNC、HREF/HSYNC 和 PCLK）。

3.模拟信号处理 (Analog Processing)

模拟信号处理所有模拟功能，并包括：自动增益（AGC）和自动白平衡（AWB）。

4.A/D 转换 (A/D)

原始的信号经过模拟处理器模块之后，分 G 和 BR 两路进入一个 10 位的 A/D 转换器，A/D 转换器工作在 12M 频率，与像素频率完全同步（转换的频率和帧率有关）。

除 A/D 转换器外，该模块还有以下三个功能：

- 黑电平校正 (BLC)
- U/V 通道延迟
- A/D 范围控制

A/D 范围乘积和 A/D 的范围控制共同设置 A/D 的范围和最大值，允许用户根据应用调整图片的亮度。

5.测试图案发生器 (Test Pattern Generator)

测试图案发生器功能包括：八色彩色条图案、渐变至黑白彩色条图案和输出脚移位“1”。

6.数字处理器 (DSP)

这个部分控制由原始信号插值到 RGB 信号的过程，并控制一些图像质量：

- 边缘锐化（二维高通滤波器）
- 颜色空间转换（原始信号到 RGB 或者 YUV/YCbYCr）
- RGB 色彩矩阵以消除串扰
- 色相和饱和度的控制
- 黑/白点补偿

- 降噪
- 镜头补偿
- 可编程的伽玛
- 十位到八位数据转换

7.缩放功能 (Image Scaler)

这个模块按照预先设置的要求输出数据格式，能将 YUV/RGB 信号从 VGA 缩小到 CIF 以下的任何尺寸。

8.数字视频接口 (Digital Video Port)

通过寄存器 COM2[1:0]，调节 IOL/IOH 的驱动电流，以适应用户的负载。

9.SCCB 接口 (SCCB Interface)

SCCB 接口控制图像传感器芯片的运行，详细使用方法参照光盘的《OmniVision Technologies Seril Camera Control Bus(SCCB) Specification》这个文档

10.LED 和闪光灯的输出控制 (LED and Strobe Flash Control Output)

OV7670 有闪光灯模式，可以控制外接闪光灯或闪光 LED 的工作。

OV7670 的寄存器通过 SCCB 时序访问并设置，SCCB 时序和 IIC 时序十分类似，这里我们不做介绍，请大家参考光盘的相关文档。

接下来我们介绍一下 OV7670 的图像数据输出格式。首先我们简单介绍几个定义：

VGA，即分辨率为 640*480 的输出模式；

QVGA，即分辨率为 320*240 的输出格式，也就是本文档我们需要用到的格式；

QQVGA，即分辨率为 160*120 的输出格式；

PCLK，即像素时钟，一个 PCLK 时钟，输出一个像素(或半个像素)。

VSYSNC，即帧同步信号。

HREF /HSYNC，即行同步信号。

OV7670 的图像数据输出（通过 D[7:0]）就是在 PCLK，VSYSNC 和 HREF/HSYNC 的控制下进行的。首先看看行输出时序，如图 1.2 所示：

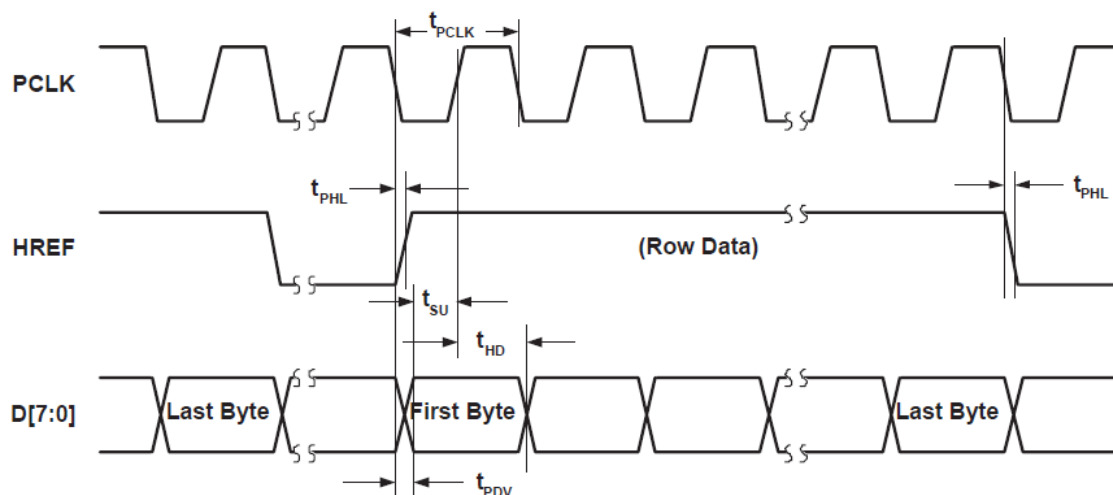


图 1.2 OV7670 行输出时序

从上图可以看出，图像数据在 HREF 为高的时候输出，当 HREF 变高后，每一个 PCLK 时钟，输出一个字节数据。比如我们采用 VGA 时序，RGB565 格式输出，每 2 个字节组成一个像素的颜色（高字节在前，低字节在后），这样每行输出总共有 640*2 个 PCLK 周期，输出 640*2 个字节。

再看看帧时序（VGA 模式），如图 1.3 所示：

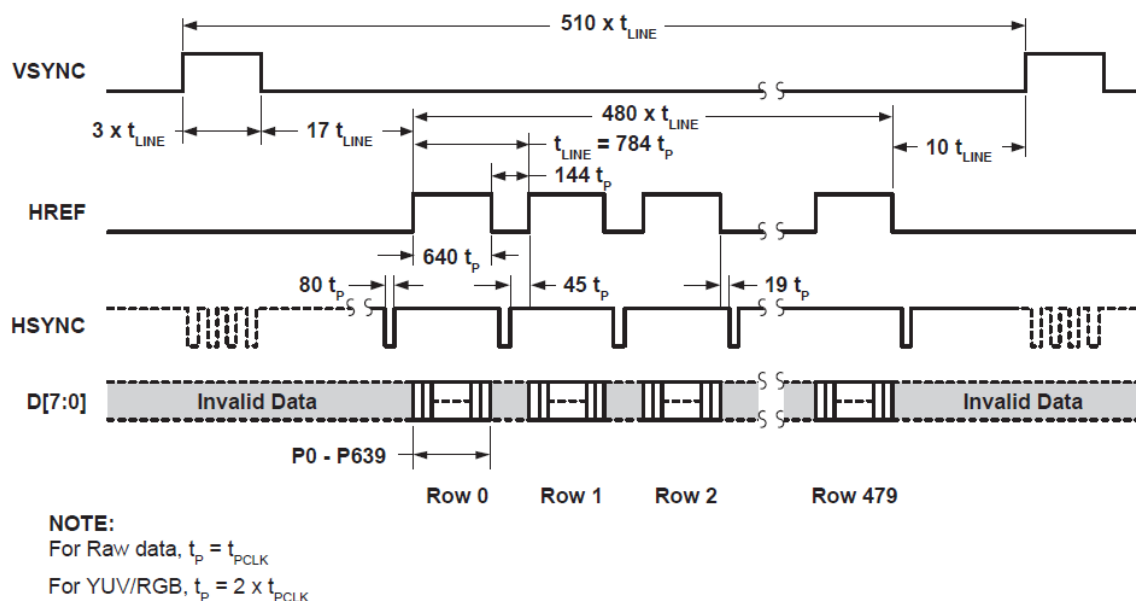


图 1.3 OV7670 帧时序

上图清楚的表示了 OV7670 在 VGA 模式下的数据输出，注意，图中的 HSYNC 和 HREF 其实是同一个引脚产生的信号，只是在不同场合下面，使用不同的信号方式，这里我们用到的是 HREF。

因为 OV7670 的像素时钟 (PCLK) 最高可达 24Mhz，我们用 STM32F103RBT6 的 IO 口直接抓取，是非常困难的，也十分占耗 CPU（可以通过降低 PCLK 输出频率，来实现 IO 口抓取，但是不推荐）。所以，这里我们并不是采取直接抓取来自 OV7670 的数据，而是通过 FIFO 读取，ALIENTEK OV7670 摄像头模块自带了一个 FIFO 芯片，用于暂存图像数据，有了这个芯片，我们就可以很方便的获取图像数据了，而不再需要单片机具有高速 IO，也不会耗费多少 CPU，可以说，只要是个单片机，都可以通过 ALIENTEK OV7670 摄像头模块实现拍照的功能。

接下来我们介绍一下 ALIENTEK OV7670 摄像头模块。该模块的外观如图 1.4:

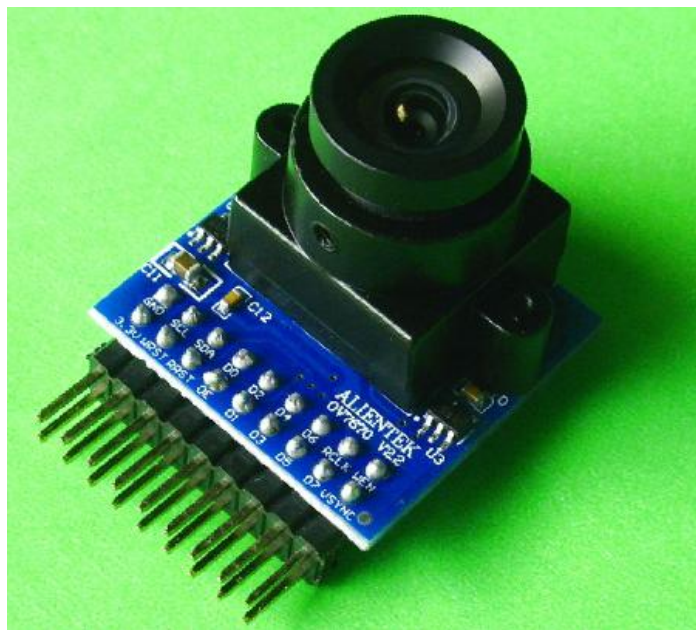


图 1.4 ALIENTEK OV7670 摄像头模块外观图

模块原理图如图 1.5 所示：

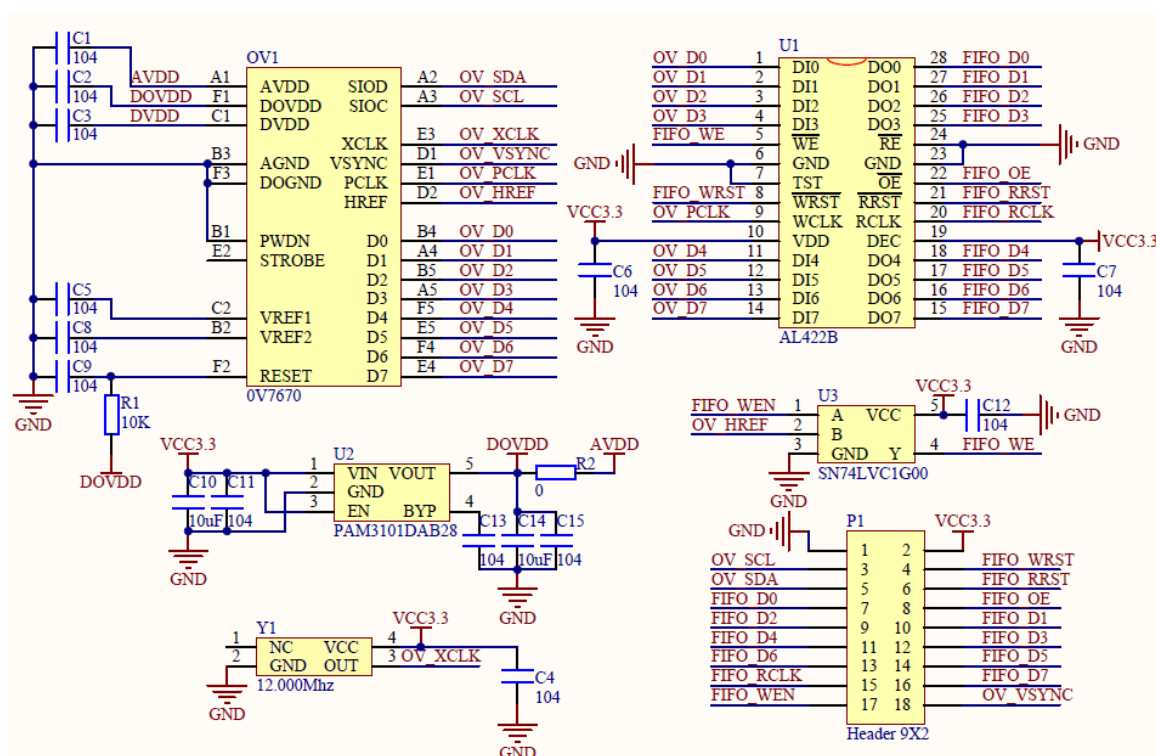


图 1.5 ALIENTEK OV7670 摄像头模块原理图

从上图可以看出，ALIENTEK OV7670 摄像头模块自带了有源晶振，用于产生 12M 时钟作为 OV7670 的 XCLK 输入。同时自带了稳压芯片，用于提供 OV7670 稳定的 2.8V 工作电压，并带有一个 FIFO 芯片（AL422B），该 FIFO 芯片的容量是 384K 字节，足够存储 2 帧 QVGA 的图像数据。模块通过一个 2*9 的双排排针（P1）与外部通信，与外部的通信信号如表 1.1 所示：

信号	作用描述	信号	作用描述
VCC3.3	模块供电脚，接 3.3V 电源	FIFO_WEN	FIFO 写使能
GND	模块地线	FIFO_WRST	FIFO 写指针复位
OV_SCL	SCCB 通信时钟信号	FIFO_RRST	FIFO 读指针复位
OV_SDA	SCCB 通信数据信号	FIFO_OE	FIFO 输出使能（片选）
FIFO_D[7:0]	FIFO 输出数据（8 位）	OV_VSYNC	OV7670 帧同步信号
FIFO_RCLK	读 FIFO 时钟		

表 1.1 OV7670 模块信号及其作用描述

下面我们来看看如何使用 ALIENTEK OV7670 摄像头模块（以 QVGA 模式，RGB565 格式为例）。对于该模块，我们只关心两点：1，如何存储图像数据；2，如何读取图像数据。

首先，我们来看如何存储图像数据。

ALIENTEK OV7670 摄像头模块存储图像数据的过程为：等待 OV7670 同步信号→FIFO 写指针复位→FIFO 写使能→等待第二个 OV7670 同步信号→FIFO 写禁止。通过以上 5 个步骤，我们就完成了 1 帧图像数据的存储。

接下来，我们来看看如何读取图像数据。

在存储完一帧图像以后，我们就可以开始读取图像数据了。读取过程为：FIFO 读指针复位→给 FIFO 读时钟（FIFO_RCLK）→读取第一个像素高字节→给 FIFO 读时钟→读取第一个像素低字节→给 FIFO 读时钟→读取第二个像素高字节→循环读取剩余像素→结束。

可以看出, ALIENTEK OV7670 摄像头模块数据的读取也是十分简单, 比如 QVGA 模式, RGB565 格式, 我们总共循环读取 $320 \times 240 \times 2$ 次, 就可以读取 1 帧图像数据, 把这些数据写入 LCD 模块, 我们就可以看到摄像头捕捉到的画面了。

OV7670 还可以对输出图像进行各种设置, 详见光盘《OV7670 中文数据手册 1.01》和《OV7670 software application note》这两个文档, 对 AL422B 的操作时序, 请大家参考 AL422B 的数据手册。

了解了 OV7670 模块的数据存储和读取, 我们就可以开始设计代码了, 这里, 我们用一个外部中断, 来捕捉帧同步信号 (VSYNC), 然后在中断里面启动 OV7670 模块的图像数据存储, 等待下一次 VSHNC 信号到来, 我们就关闭数据存储, 然后一帧数据就存储完成了, 在主函数里面就可以慢慢的将这一帧数据读出来, 放到 LCD 即可显示了, 同时开始第二帧数据的存储, 如此循环, 实现摄像头功能。

这里, 我们将使用摄像头模块的 QVGA 输出 (320×240), 刚好和 ALIENTEK MiniSTM32 开发板使用的 LCD 模块分辨率一样, 一帧输出就是一屏数据, 提高速度的同时也不浪费资源。注意: ALIENTEK OV7670 摄像头模块自带的 FIFO 是没办法缓存一帧的 VGA 图像的。

2、硬件连接

通过前面的介绍, 我们知道, ALIENTEK OV7670 摄像头模块与 MCU 连接需要 16 根信号线, 以及 2 根电源线。这 16 根信号线与 ALIENTEK MiniSTM32 开发板的连接关系如表 2.1 所示:

摄像头模块与开发板连接关系									
OV7670 摄像头模块	D0~D7	SCL	SDA	WRST	RCLK	RRST	OE	WEN	VSYNC
MiniSTM32 开发板	PB0~PB7	PC4	PC5	PA0	PA1	PA4	PA11	PA12	PA15

表 2.1 摄像头模块与开发板连接关系

从上表可以看出, 我们的 PB0~PB7 用与连接摄像头的数据线, 同时这几个 IO 口还连接了 LCD 模块, 也就是 PB0~PB7 由 LCD 和摄像头模块分时复用。其他信号线的连接, 就比较简单了, 我们用杜邦线一一连接即可。

最后, 我们连接摄像头模块的电源到开发板上即可。这里需要比较多的杜邦线 (总共 18 根), 大家得事先准备好。

3、软件实现

这里, 我们的软件在 ALIENTEK 扩展例程 19 的基础上进行修改, 先在 HARDWARE 文件夹下新建一个 OV7670 的文件夹。然后新建如下文件: ov7670.c、sccb.c、ov7670.h、sccb.h、ov7670cfg.h 等 5 个文件, 将他们保存在 OV7670 文件夹下, 并将这个文件夹加入头文件包含路径。

我们总共新增了 5 个文件, 代码比较多, 这里就不一一列出了, 仅挑两个重要的地方进行讲解。首先, 我们来看 ov7670.c 里面的 OV7670_Init 函数, 该函数代码如下:

```
u8 OV7670_Init(void)
{
    u8 temp;
    u16 i=0;
```

```

//设置 IO
RCC->APB2ENR|=1<<2;      //先使能外设 PORTA 时钟
RCC->APB2ENR|=1<<3;      //先使能外设 PORTB 时钟
GPIOA->CRL&=0XFFF0FF00;
GPIOA->CRL|=0X00030033;    //PA0/1/4 输出
GPIOA->ODR|=1<<4;
GPIOA->ODR|=3<<0;
GPIOA->CRH&=0X00F00FFF;
GPIOA->CRH|=0X83033000;    //PA15 输入、PA11/12/14 输出
GPIOA->ODR|=3<<14;
GPIOA->ODR|=3<<11;
JTAG_Set(SWD_ENABLE);
SCCB_Init();              //初始化 SCCB 的 IO 口
if(SCCB_WR_Reg(0x12,0x80))return 1;  //复位 SCCB
delay_ms(50);
//读取产品型号
temp=SCCB_RD_Reg(0x0b);
if(temp!=0x73)return 2;
temp=SCCB_RD_Reg(0x0a);
if(temp!=0x76)return 2;
//初始化序列
for(i=0;i<sizeof(ov7670_init_reg_tbl)/sizeof(ov7670_init_reg_tbl[0]);i++)
{
    SCCB_WR_Reg(ov7670_init_reg_tbl[i][0],ov7670_init_reg_tbl[i][1]);
    delay_ms(2);
}
return 0x00;  //ok
}

```

此部分代码先初始化 OV7670 相关的 IO 口（包括 SCCB_Init），然后最主要的是完成 OV7670 的寄存器序列初始化。OV7670 的寄存器特多（百几十个），配置特麻烦，幸好厂家有提供参考配置序列（详见《OV7670 software application note》），我们用到的配置序列，存放在 ov7670_init_reg_tbl 这个数组里面，该数组是一个 2 维数组，存储初始化序列寄存器及其对应的值，该数组存放在 ov7670cfg.h 里面。

接下来，我们看看 ov7670cfg.h 里面 ov7670_init_reg_tbl 的内容，ov7670cfg.h 文件的代码如下：

```

//初始化寄存器序列及其对应的值
const u8 ov7670_init_reg_tbl[][2]=
{
    //以下为 OV7670 QVGA RGB565 参数
    {0x3a, 0x04},//
    {0x40, 0x10},
    {0x12, 0x14},//QVGA,RGB 输出
    .....省略部分设置
    {0x6e, 0x11},//100

```

```
{0x6f, 0x9f},//0x9e for advance AWB
{0x55, 0x00},//亮度
{0x56, 0x40},//对比度
{0x57, 0x80},//0x40, change according to Jim's request
};
```

以上代码，我们省略了很多（全部贴出来太长了），我们大概了解下结构，每个条目的第一个字节为寄存器号（也就是寄存器地址），第二个字节为要设置的值，比如{0x3a, 0x04}，就表示在 0X03 地址，写入 0X04 这个值。

通过这么一长串（110 多个）寄存器的配置，我们就完成了 OV7670 的初始化，这里，我们配置 OV7670 工作在 QVGA 模式，RGB565 格式输出。在完成初始化之后，我们既可以开始读取 OV7670 的数据了。

OV7670 文件夹里面的其他代码我们就不逐个介绍了，请大家参考光盘扩展实验 20 的例程源码。

因为我们还用到了帧率（LCD 显示的帧率）统计和中断处理，所以我们还需要修改 timer.c、exti.c 及 exti.h 这几个文件。

在 timer.c 里面，我们修改 TIM3_IRQHandler 这个函数，用于统计帧率，修改代码如下：

```
u8 ov_frame=0;
void TIM3_IRQHandler(void)
{
    if(TIM3->SR&0X0001)//溢出中断
    {
        printf("frame:%dfps\r\n",ov_frame);
        ov_frame=0;
    }
    TIM3->SR&=~(1<<0);//清除中断标志位
}
```

这里，我们用到基本定时器 TIM3 来统计帧率，也就是 1 秒钟中断一次，打印 ov_frame 的值，ov_frame 用于统计 LCD 帧率。

在 exti.c 里面添加 EXTI8_Init 和 EXTI9_5_IRQHandler 函数，用于 OV7670 模块的 FIFO 写控制，exti.c 文件新增部分代码如下：

```
//中断服务函数
u8 ov_sta;
void EXTI15_10_IRQHandler(void)
{
    if(EXTI->PR&(1<<15))//是 15 线的中断
    {
        if(ov_sta<2)
        {
            if(ov_sta==0)
            {
                OV7670_WRST=0;    //复位写指针
                OV7670_WRST=1;
                OV7670_WREN=1;    //允许写入 FIFO
            }
        }
    }
}
```



```

        }else OV7670_WREN=0;    //禁止写入 FIFO
        ov_sta++;
    }
}
EXTI->PR=1<<15;    //清除 LINE15 上的中断标志位
}
//外部中断初始化程序
//初始化 PA15 为中断输入.
void EXTI15_Init(void)
{
    RCC->APB2ENR|=1<<2;        //使能 PORTA 时钟
    JTAG_Set(SWD_ENABLE);    //关闭 JTAG
    GPIOA->CRH&=0X0FFFFFFF; //PA15 设置成输入
    GPIOA->CRH|=0X80000000;
    GPIOA->ODR|=1<<15;        //PA15 上拉
    Ex_NVIC_Config(GPIO_A,15,FTIR);//下降沿触发
    MY_NVIC_Init(2,1,EXTI15_10_IRQChannel,2);//抢占 2, 子优先级 1, 组 2
}

```

因为 OV7670 的帧同步信号 (OV_VSYNC) 接在 PA15 上面, 所以这里配置 PA15 作为中端输入, 因为 STM32 的外部中断 10~15 共用一个中端服务函数 (EXTI9_5_IRQHandler), 所以在该函数里面, 我们需要先判断中断是不是来自中断线 15 的, 然后再做处理。

中断处理部分很简单, 通过一个 ov_sta 来控制 OV7670 模块的 FIFO 写操作。当 ov_sta=0 的时候, 表示 FIFO 存储的数据已经被成功读取了 (ov_sta 在读完 FIFO 数据的时候被清零), 然后只要 OV_VSYNC 信号到来, 我们就先复位一下写指针, 然后 ov_sta=1, 标志着写指针已经复位, 目前正在往 FIFO 里面写数据。再等下一个 OV_VSYNC 到来, 也就表明一帧数据已经存储完毕了, 此时我们设置 OV7670_WREN 为 0, 禁止再往 OV7670 写入数据, 此时 ov_sta 自增为 2。其他程序, 只要读到 ov_sta 为 2, 就表示一帧数据已经准备好了, 可以读出, 在读完数据之后, 程序设置 ov_sta 为 0, 则开启下一轮 FIFO 数据存储。

再在 exti.h 里面添加 EXTI15_Init 函数的定义, 就完成对 exti.c 和 exti.h 的修改了。

最后, 打开 test.c 文件, 修改代码如下:

```

extern u8 ov_sta;    //在 exti.c 里面定义
extern u8 ov_frame;    //在 timer.c 里面定义
//更新 LCD 显示
void camera_refresh(void)
{
    u32 j;
    u16 color;
    if(ov_sta==2)
    {
        LCD_Scan_Dir(U2D_L2R);    //从上到下,从左到右
        LCD_SetCursor(0x00,0x0000); //设置光标位置
        LCD_WriteRAM_Prepare();    //开始写入 GRAM
        OV7670_CS=0;
        OV7670_RRST=0;            //开始复位读指针
    }
}

```

```
OV7670_RCK=0;
OV7670_RCK=1;
OV7670_RCK=0;
OV7670_RRST=1;           //复位读指针结束
OV7670_RCK=1;
for(j=0;j<76800;j++)
{
    GPIOB->CRL=0X88888888;
    OV7670_RCK=0;
    color=OV7670_DATA;    //读数据
    OV7670_RCK=1;
    color<<=8;
    OV7670_RCK=0;
    color|=OV7670_DATA;   //读数据
    OV7670_RCK=1;
    GPIOB->CRL=0X33333333;
    LCD_WR_DATA(color);
}
OV7670_CS=1;
OV7670_RCK=0;
OV7670_RCK=1;
EXTI->PR=1<<15;          //清除 LINE8 上的中断标志位
ov_sta=0;                 //开始下一次采集
ov_frame++;
LCD_Scan_Dir(DFT_SCAN_DIR); //恢复默认扫描方向
}
}
int main(void)
{
    u8 i;
    Stm32_Clock_Init(9);   //系统时钟设置
    uart_init(72,9600);    //串口初始化为 9600
    delay_init(72);        //延时初始化
    OV7670_Init();
    LED_Init();            //初始化与 LED 连接的硬件接口
    LCD_Init();            //初始化 LCD
    if(lcddev.id==0X6804) //强制设置屏幕分辨率为 320*240.以支持 3.5 寸大屏
    {
        lcddev.width=240;
        lcddev.height=320;
    }
    usmart_dev.init(72);   //初始化 USMART
    POINT_COLOR=RED;       //设置字体为红色
    LCD_ShowString(60,50,200,200,16,"Mini STM32");
```

```

LCD_ShowString(60,70,200,200,16,"OV7670 TEST");
LCD_ShowString(60,90,200,200,16,"ATOM@ALIENTEK");
LCD_ShowString(60,110,200,200,16,"2012/10/31");
LCD_ShowString(60,130,200,200,16,"Use USMART To Set!");
LCD_ShowString(60,150,200,200,16,"OV7670 Init...");
while(OV7670_Init())//初始化 OV7670
{
    LCD_ShowString(60,150,200,200,16,"OV7670 Error!!");
    delay_ms(200);
    LCD_Fill(60,230,239,246,WHITE);
    delay_ms(200);
}
LCD_ShowString(60,150,200,200,16,"OV7670 Init OK");
delay_ms(1500);
Timerx_Init(10000,7199);           //TIM3,10Khz 计数频率,1 秒钟中断
EXTI15_Init();                     //使能定时器捕获
OV7670_Window_Set(10,174,240,320); //设置窗口
OV7670_CS=0;
while(1)
{
    camera_refresh();           //更新显示
    if(i!=ov_frame)             //DS0 闪烁.
    {
        i=ov_frame;
        LED0=!LED0;
    }
}
}

```

此部分代码除了 `mian` 函数，还有一个 `camera_refresh` 函数，该函数用于将摄像头模块 FIFO 的数据读出，并显示在 LCD 上面。`main` 函数则比较简单，我们就不细说了。

这里，我们可以通过 USMART 来设置和调节摄像头的参数，我们在 `usmart_config.h` 里面修改 `usmart_nametab` 的内容如下：

```

struct _m_usmart_nametab usmart_nametab[]=
{
    #if USMART_USE_WRFUNS==1    //如果使能了读写操作
        (void*)read_addr,"u32 read_addr(u32 addr)",
        (void*)write_addr,"void write_addr(u32 addr,u32 val)",
    #endif
    (void*)delay_ms,"void delay_ms(u16 nms)",
    (void*)delay_us,"void delay_us(u32 nus)",
    (void*)SCCB_WR_Reg,"u8 SCCB_WR_Reg(u8 reg,u8 data)",
    (void*)SCCB_RD_Reg,"u8 SCCB_RD_Reg(u8 reg)",
    (void*)OV7670_Light_Mode,"void OV7670_Light_Mode(u8 mode)",
    (void*)OV7670_Color_Saturation,"void OV7670_Color_Saturation(u8 sat)",

```

```
(void*)OV7670_Brightness,"void OV7670_Brightness(u8 bright)",  
(void*)OV7670_Contrast,"void OV7670_Contrast(u8 contrast)",  
(void*)OV7670_Special_Effects,"void OV7670_Special_Effects(u8 eft)",  
};
```

这样，我们就可以通过 USMART 设置摄像头的灯光模式、色饱和度、亮度、对比度和特效等。另外，我们还可以通过 SCCB_WR_Reg 和 SCCB_RD_Reg 这两个函数，来修改和读取 OV7670 的各项设置，轻松实现摄像头的调试。

4、验证

在代码编译成功之后，我们通过下载代码到 ALIENTEK MiniSTM32 开发板上，在摄像头模块初始化成功之后，即可得到摄像头拍摄到的画面，如图 4.1 所示：

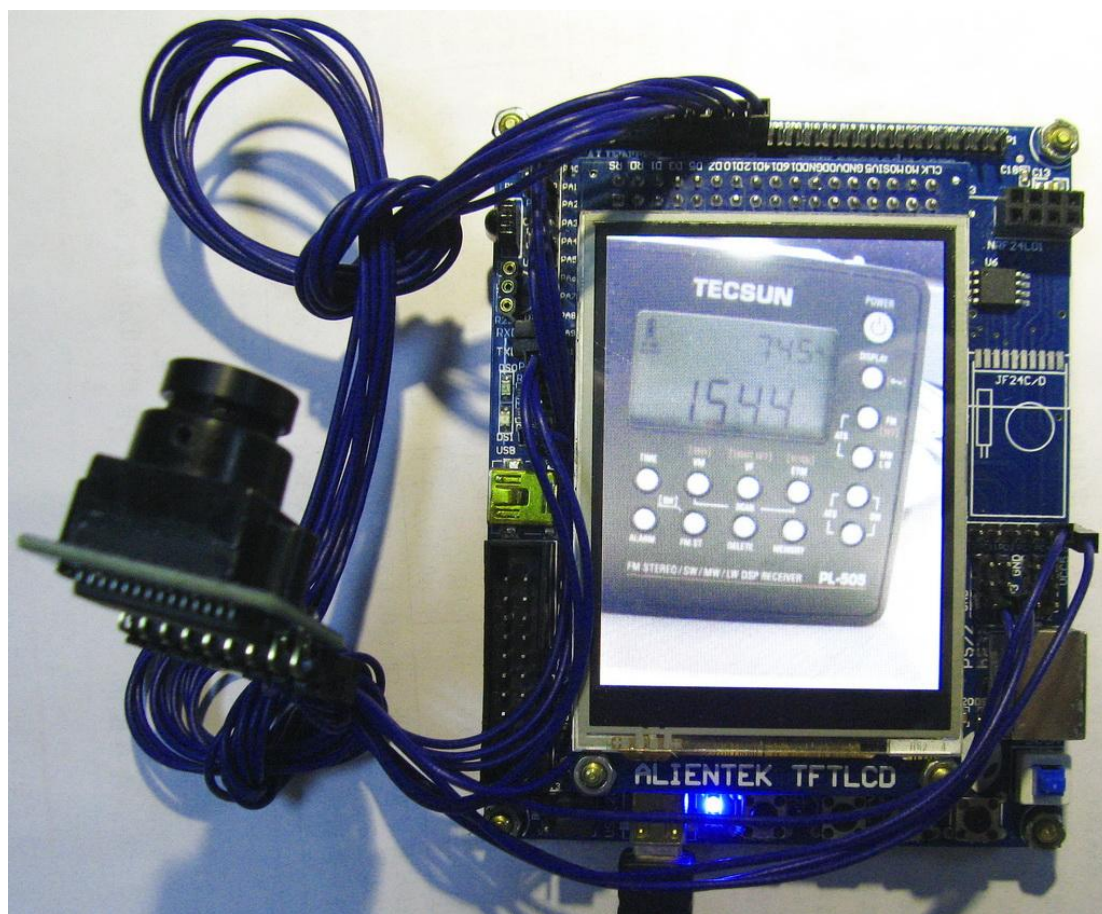


图 4.1 实验效果

此时，我们打开串口（9600 波特率），就可以从串口看到当前 LCD 的帧率，同时我们可以通过 USMART 调用相关函数来设置摄像头模块的不同模式，并且可以单独的设置和读取 OV7670 的各个寄存器，实现对摄像头模块的调试，如图 4.2 所示：

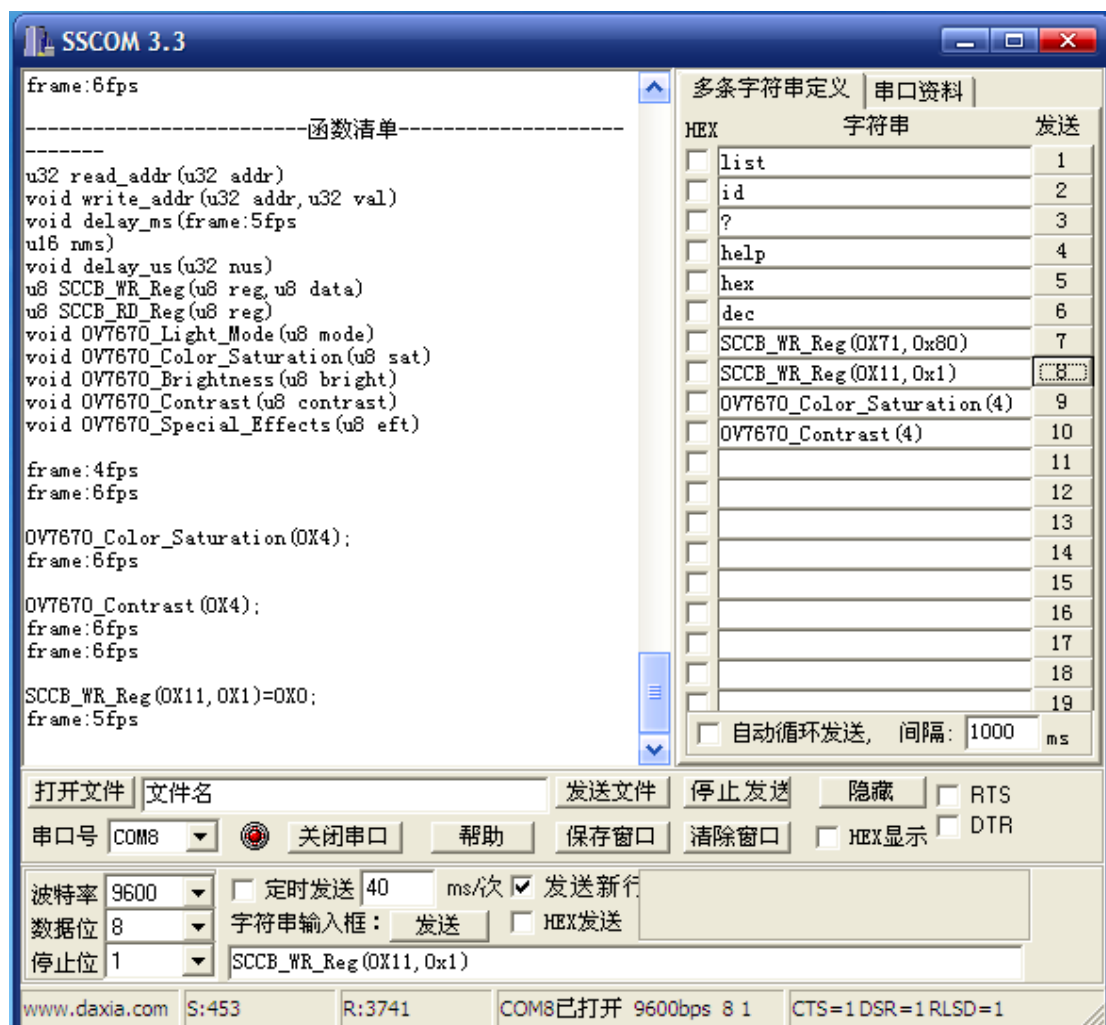


图 4.2 USART 调试 OV7670

从上图还可以看出，LCD 显示帧率为 6 帧左右，则可以推断 OV7670 的输出帧率则至少是 $3 \times 6 = 18$ 帧以上（实际是 30 帧）。

正点原子@ALIENTEK
2012-10-31

