

基于STC单片机WAVE音乐播放器的设计与实现

刘 垣 李外云 赵嘉怡

(华东师范大学 信息科学与技术学院 上海 200241)

摘 要: 目前市场上便携式的WAVE播放器大部分基于32位处理器,其资源利用率较低,而且价格偏高。针对上述情况,文章充分利用8位STC15系列单片机的串行外围设备SPI接口和脉宽调制PWM输出等功能,结合开源的FatFS文件系统,完成对SD卡上存储的WAVE音频文件进行读取、DAC转换,然后通过有源低通滤波器,实现对WAVE音频文件的播放。实验结果表明本文设计的WAVE播放器不仅硬件电路简单、成本低廉,而且播放效果完全达到CD音质级别。

关键词: STC15单片机; WAVE播放; SD卡; Petit Fat文件系统

引言

随着电子技术的发展,数字音频应用系统在我们现实生活中随处可见,比如电梯、商场、电子玩具、报警器等。数字音频技术的基本原理和处理方法就是采用ADC(Analog-to-Digital Converter)模/数转化,对模拟的音频信号进行采样、量化、编码,然后转换成数字化的音频数据和文件进行保存。在播放时,再将数字化的音频数据经过DAC(Digital-to-Analog Converter)数/模转换,恢复到模拟信号形式由发生器件播放出来。目前市场上便携式的WAVE音乐播放器大部分基于32位处理器,其资源利用率较低,价格偏高。而本设计充分利用8位STC15系列单片机的PWM功能对WAVE文件的采样数据进行DA转化,方便地实现了WAVE音频文件的播放。

1 系统硬件

本系统采用STC15F2K60S2型号的单片机,以单片机为核心控制整个系统。利用单片机的SPI接口实现与SD卡物理接口的通信,完成SD卡上WAVE音频文件的读取,再将得到的采样数据通过单片机的PWM功能进行DA转换,经过低通滤波器实现模拟音频数据的输出。

1.1 系统硬件组成

本系统的组成框图如图1所示,硬件结构主要包括单片机最小系统^[1]、SD卡接口电路、按键电路、低通滤波电路和耳机接口几部分。其中单片机与SD卡的通信采用SPI接口方式,STC单片机为主机,SD卡为从机,STC单片机PCA模块输出的PWM信号通过低通滤波器最终连接到耳机接口;单片机的I/O口连接4×1独立按键,用于控制和选择音频数据文件的播放。

要实现WAVE音频文件的读取,并且实现高质量播放效果,SD卡接口电路和有源低通滤波电路是最为关键的两部分,下面将对其进行重点介绍。

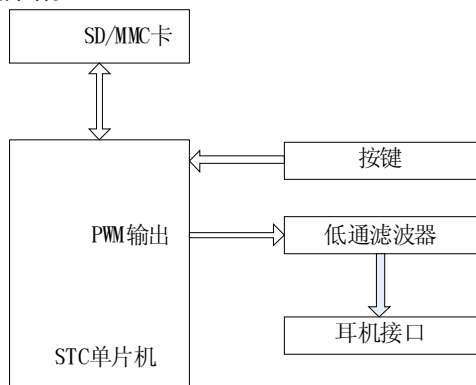


图1 系统硬件电路框图

1.1.1 SD卡接口电路

SD卡具体的接口电路如图2所示。SD卡规范^[2]规定了SD卡的工作电压为3.3V(2.7~3.6V),因此采用电源稳压芯片AMS1117-3.3将5V电源转换到3.3V供SD卡使用。电阻R4~R9组成了3个分压电路,用于将STC的5V引脚输出电压转换成3.3V。此时SD卡才可以正常工作。

硬件设计好之后还需要实现SD卡的接口驱动。接口驱动的实现是通过单片机的SPI总线编程。SPI总线是一个面向字节的全双工4线串行通信接口。SPI总线系统包括一个主机和一个从机,双方之间通过4根信号线相连,分别是:主机输出/从机输入(MOSI)、主机的数据传入从机的通道;主机输入/从机输出(MISO)、从机的数据传入主机的通道;同步时钟信号(SCLK)。同步时钟是由SPI主机产生的,并通过该信号传送给从机,主机与从机之间的数据接收和发

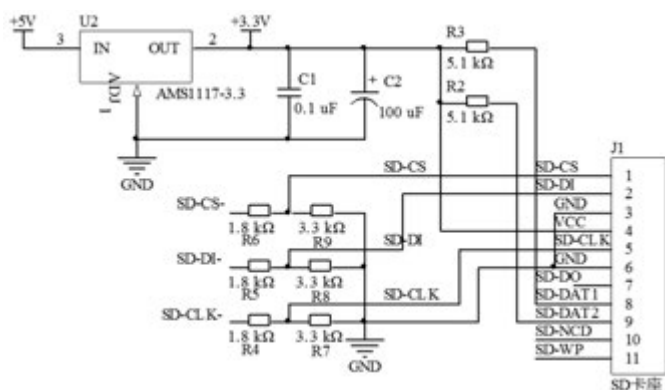


图2 SD卡接口电路原理图

送都以该同步时钟信号为基准进行,从机选择(SS),该信号由主机发出,从机只在该信号有效时响应SCLK的时钟信号开始通信。

SPI通信的本质是在同步时钟作用下进行串行移位,其通信的工作模式和时序在SPI总线规范^[3]中进行了详细的描述。根据SD卡总线时序^[4]并针对STC15F2K60S2型号单片机,本系统实现了以下几个驱动函数,分别为初始化函数、接收字节函数和发送字节函数。

1.1.2 有源低通滤波电路

有源低通滤波电路由集成运放和无源元件电阻和电容构成。它的功能是允许从零到某个截止频率的信号无衰减地通过,而对其他频率的信号有抑制作用。

本系统设计的有源低通滤波电路为二阶低通滤波电路^[5],其通带放大倍数与一阶电路相同,可由公式(1)得到。衰减斜率达每十倍频40dB。由于运放电路中的电阻不宜选择过大或过小,一般为几千欧至几十千欧较合适,因此低通滤波电路的电阻值 $R_1=14\text{K}\Omega$, $R_2=10\text{K}\Omega$,电容值 $C_1=1\text{nF}$, $C_2=1\text{nF}$ 。将电阻电容值带入公式(2)得到该有源低通滤波器的截止频率约为13kHz。为了减少输入偏置电流及其漂移对电路的影响,应使 $R_1+R_2=R_3/R_4$,这里取 $R_3=68\text{K}\Omega$, $R_4=39.8\text{K}\Omega$ 。将电阻 R_3 、 R_4 的阻值带入公式(1)可得到通带增益为1.58。

$$A=1+R_4/R_3 \quad (1)$$

$$f_c=1/2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2} \quad (2)$$

1.2 PWM方式DAC转换

PWM是脉冲宽度调制的简称。一个典型PWM的波形如图3所示,图中T是PWM波的周期, T_1 是高电平的宽度, V_{oc} 是高电平值。当该PWM信号通过一个低通滤波器后,可以得到其输出的平均电压为V,如公式(3)所示

$$V=V_{oc}\times T_1/T \quad (3)$$

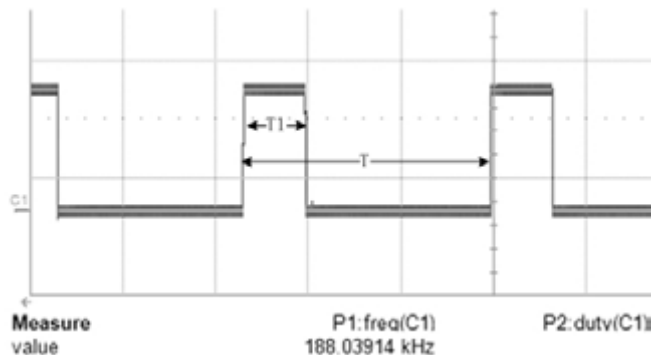


图3 PWM波形图

公式中 T_1/T 称为 PWM 波的占空比。控制 T_1 的宽度,即可改变 PWM 的占空比,得到不同的平均输出电压。因此,在实际应用中,常利用 PWM 波的输出实现 D/A 转换。

STC15 系列单片机的 PCA 模块要想实现 PWM 模式需要设定相关的寄存器。主要的寄存器有 CMOD 定时/计数器工作模式寄存器、CCON 定时/计数器控制寄存器、CCAPM_n 比较/捕获模式控制寄存器,每个寄存器的具体定义可参考 STC15F2K60S2 的官方数据手册。要设置 PCA 模块的 PWM 模式,CCAPM_n 寄存器的 PWM_n 和 E-COM_n 位必须置位。PCA 模块的时钟源频率选择 11.2896MHz,产生的 PWM 频率为 44.1kHz,其计算公式为

$$f_{\text{pwm}} = S_{\text{clk}} / 256 \quad (4)$$

由于 PCA 模块产生的 PWM 频率是恒定的 44.1kHz,因此,播放 44.1kHz 的音频时,每个采样点播放一次。当播放 8kHz 的音频时,每个采样点则以 44.1kHz 的频率平均播放了 5.5 次,这样保证了 PWM 产生的高频噪声总在 44kHz 以上,使滤波后的模拟信号更加平滑,以获得更好的音频输出效果。

本设计为了读取不同采样频率的 WAVE 文件(包括 8K、22.1K、44.1K 三个频率),还需要一个定时器实现不同采样频率的播放。该定时器设置为 16 位自动重载模式,其中断间隔是可调整的。在开始读取准备播放的 WAVE 文件时,程序将读取该文件的采样频率参数,自动调整定时器 T0 的中断频率与其相同,并在中断服务程序中将下一个音频数据更换到 CCAP0H 和 CCAP0L 寄存器中,这样就保证了音频数据的同步播放。

2 系统软件设计

本系统软件设计主要包括三个部分,分别是文件系统移植、SD 卡操作命令、上层应用程序控制。

2.1 文件系统移植

PC 机上可以直接写入数据文件到 SD 卡,而嵌入式系统读取数据则必须通过建立文件系统来读取。本设计使用了一个免费的文件系统 PetitFatFS(PetitFATFileSystemModule)。它是一位日本嵌入式工程师编写的通用软件模块,它与 FAT 文件系统兼容。他的个人网站提供了用 C 语言编写的源代码以及在不同硬件平台上移植与使用的实例。

本系统设计移植了 AVR 版本的 PetitFatFS 文件系统到 STC15 单片机上,由于 PetitFatFS 文件系统是通用的,所以它不依赖于底层模块。底层 I/O 模块不是 PetitFatFS 文件系统的一部分,因此,底层读取物理存储介质的函数必须由用户编写。主要的函数有两个:第一个是 disk_initialize 函数,用于存储介质的初始化;第二个是 disk_readp 函数,用于读取 SD 卡的一个扇区,是磁盘操作的核心函数。

2.2 SD 卡操作命令

在建立了 SD 卡物理接口层 SPI 的基础上,仅仅可以实现简单的面向字节的数据通道。SD 卡规范制定了一组建立在 SPI 总线上的 SD 卡操作命令,通过发送不同的操作命令可以实现对 SD 卡的复位、初始化以及读写操作。其具体的命令格式和命令应答格式参考 SD 卡规范。

针对 SD 卡的操作命令时序,首先要对 SD 卡实施上电复位操作,复位操作时 SCLK 的时钟频率应该在 400kHz 以下。SD 卡在上电后默认采用 SDIO 接口方式,在 CS 高电平的情况下,先通过 SCLK 送 72 个以上的时钟信号到 SD 卡,等待 SD 卡内部工作电源稳定,以完成 SD 卡的时钟与 SCLK 的同步。然后拉低片选 CS,发送复位命令 CMD0,此时 SD 卡自动转换成 SPI 接口方式。STC 单片机开始接收 SD 卡的应答字,如果收到 0x01,表示 SD 卡上电复位成功。接着进行 SD 卡的初始化操作,需要使用 CMD55+ACMD41 两条命令,当单片机收到 0x00 的应答后,整个 SD 卡初始化工作完成。完成 SD 卡的初始化后,就可以通过 CMD 指令对 SD 卡进行读写操作了。

本系统设计涉及到 SD 卡扇区的读操作,针对单块扇区数据的读操作,实现以下几步操作是必要的:

- ▶ 提高 SPI 的时钟频率,但不超过 25MHz;
- ▶ 单片机发送 CMD17 读数据命令;
- ▶ SD 卡回应应答字 0x00;
- ▶ 单片机接收读数据起始令牌 0xFE;
- ▶ 接收 512 个数据;
- ▶ 接收 2 字节 CRC 校验字。

2.3 主函数控制

关于主函数部分,包括了 STC15 单片机定时器与 PCA 模块的初始化、中断处理函数、按键控制、音频 wav 的解析和音频数据的读

取与播放。

如图 4 所示为主程序和中断服务程序的流程图,程序运行过程如下:

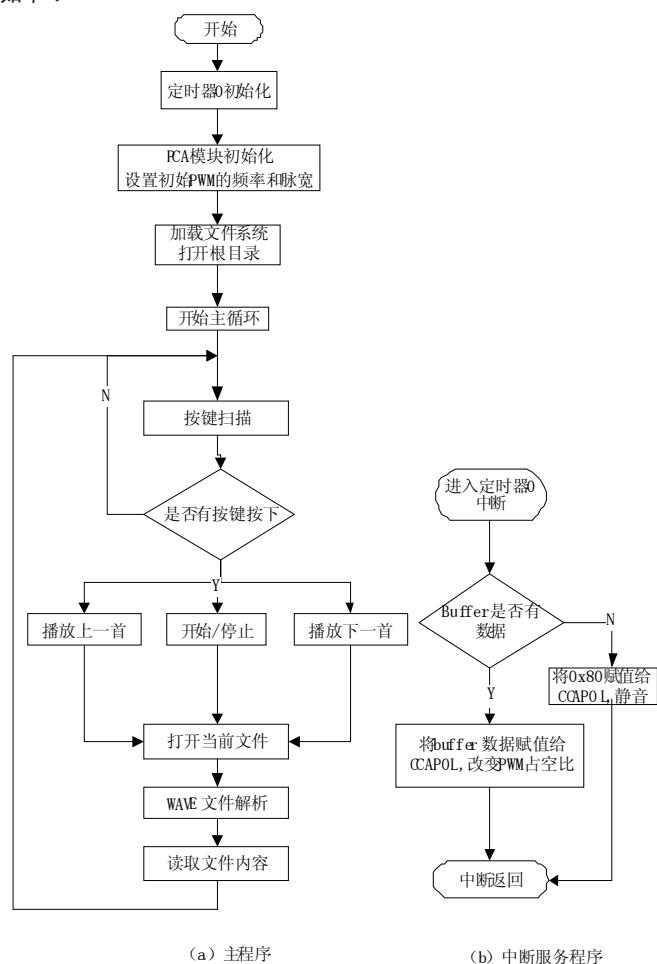


图 4 主程序和中断服务程序流程图

3 系统测试及结论

通过 Keil 开发环境对程序进行编译和链接,将生成的 hex 文件下载到目标硬件平台运行。通过测试发现,该系统能完成 8K、22.1K、44.1K 三个采样频率 WAVE 文件的播放,播放效果可以达到 CD 音质。相比于 32 位微处理器该 WAVE 音乐播放器硬件电路简单,成本低廉,具有很大的实用参考价值。

参考文献

- [1]李全利.单片机原理及应用技术[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [2]童诗白,华成英.模拟电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [3]Elm-chan.PetitFATFileSystemModule[EB/OL].(2014-06-10)[2015-01-04]http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html.
- [4]STC15F2K60S2MCUUser'smanual[EB/OL].(2014-07-02)[2015-01-04]<http://www.stcmcu.com/datasheet/stc/STC-AD-PDF/STC15.pdf>
- [5]马潮.AVR 单片机嵌入式系统原理与应用实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.