

基于 UCOSIII 系统的音频信号分析设计与实现

李 慧,胡永兵,姚梦茹

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室,安徽 合肥 230601)

摘 要:传统的音频信号分析设备功能全、精度高,但这些设备不但体积大、结构复杂、反应速度慢、适应范围窄,而且造价非常昂贵,影响了它在小型化系统中的应用。针对这些问题,设计以 STM32103 单片机为运算核心,采用 UCOSIII 嵌入式多任务操作系统。放大与滤波电路组成了前级电路。模拟信号经过前级电路后,通过 A/D 转换,录音到 SD 卡中,再使用 FFT 运算电路计算后,同时进行音频播放与频谱显示。硬件设计主要包括前级信号调理模块、STM32 音频转换模块、LCD 显示模块。在软件设计上,采用 UCOSIII 嵌入式多任务操作系统,实现多任务运行。通过 UCOSIII 系统实现对 20 kHz 以下音频信号的分析,支持播放与频谱显示同时进行。该设计具有体积小、反应速度快、成本低等优点。

关键词:音频信号;UCOSIII 系统;播放;STM32;频谱

中图分类号:TN919

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)07-0130-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.07.028

Design and Implementation of Audio Signal Analysis Based on UCOSIII System

LI Hui, HU Yong-bing, YAO Meng-ru

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing of Ministry of Education,
Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: The traditional audio signal analysis devices have full functions and high precision, but they are not only with large volume, complicated structure, slow reaction speed and narrow application range, also with the expensive cost, which affect its application in the miniaturization of system. For this, with STM32103 micro-controller as the operation core, we adopt UCOSIII embedded multitasking operating system. The front-end circuit is composed of amplifier circuit and filter circuit. The analog signal through the front-end circuit, and the A/D conversion, the tape to the SD card, then the calculation by FFT operation circuit, at the same time playback of audio and display spectrum. The hardware design includes the front-end signal conditioning module, STM32 audio conversion module and LCD display module. In the software design, by using the UCOSIII embedded multitasking operating system, the task is realized to run. The UCOSIII system is adopted to analyze the audio signal under 20 kHz, supporting playback and spectrum display simultaneously. This design has small volume, fast response speed and low cost.

Key words: audio signal; UCOSIII system; play; STM32; spectrum

0 引言

数字电视、多媒体通信、数字音频广播等对科技的发展产生了深远的影响,并且已经广泛地渗透到社会生活的各个方面。早期的音频分析仪器设备不但体积大、反应速度慢、结构复杂,而且造价非常昂贵,在某种程度上难以普及使用^[1-4]。随着电子技术的发展,嵌入式技术和超大规模集成芯片技术越来越成熟,同时对音频信号的分析也越来越精确。

针对传统方法在音频信号处理中的缺点,文中提出了一种对音频信号分析设计的方案。在硬件设计上,以 STM32F103ZET6 低功耗的 32 位单片机作为运算核心,结合 A/D 转换器、外部电路 LCD 显示模块和其他必需的外部电路。在软件设计上,使用了 UCOSIII 嵌入式多任务系统,实现多任务运行。其基本工作原理是对音频信号进行快速傅里叶变换,把时域信号转化为频域信号,通过 UCOSIII 系统,在录音播放的同时

收稿日期:2017-08-16

修回日期:2017-12-28

网络出版时间:2018-03-07

基金项目:国家自然科学基金(61272317)

作者简介:李 慧(1991-),女,硕士研究生,CCF 会员(77651G),研究方向为嵌入式系统应用与研究;胡永兵,讲师,研究方向为超精密运动控制/嵌入式系统应用与研究。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180307.1422.042.html>

显示频谱变化。其中模拟音频信号经过 A/D 转换前需要放大然后再滤波,这样能保证音频信号不失真、降低噪声干扰。

1 系统设计

模拟信号通过放大和滤波前级电路,经 A/D 转换、录音到 SD 卡,再经 STM32 进行 FFT 运算后播放信号,同时在液晶屏上显示频谱。单片机使用的是 32 位低功耗 STM32F103ZET6,该芯片具有 64 KB SRAM、2 个基本定时器、4 个通用定时器、3 个 12 位 ADC、1 个 12 位 DAC 等^[5-7]。系统框图如图 1 所示。

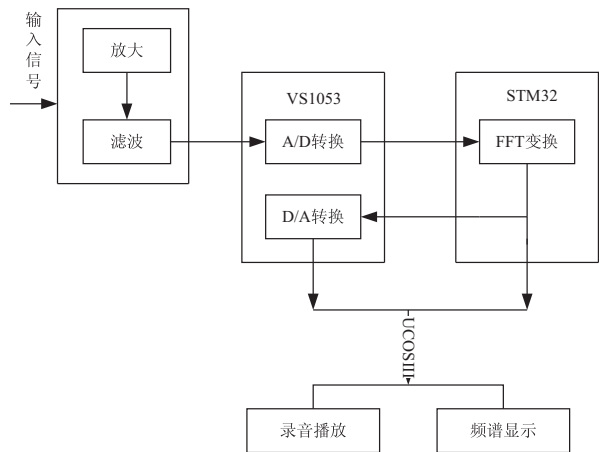


图 1 系统框图

1.1 前级信号调理电路设计

为了增加 AD 位数并使 A/D 量化范围内的量化精度最高而获得动态范围较大的输入信号,在 A/D 转换前需要处理输入的音频模拟信号。设计上要求 100 dB 的输入信号动态范围,幅度范围为 0.01 mV ~ 10 V。设定 ADC,500 mV 为芯片的最小输入信号峰值。由于输入信号的幅度最大为 10 V,设定 ADC $20\lg(10$

V/500 mV) 的动态输入范围,即为 26 dB,所以需要 62 400,8 000,400,200,1 这 5 路放大倍数固定的放大电路,使得输出信号的电压不超过 3.3 V。STM32103 常用电压为 3.3 V,其中内部 ADC 的电压也为 3.3 V,因此选择了 AD 公司生产的运放 AD8656 芯片,选择该芯片是因为放大小信号的增益和放大器输出主要参数的影响。该芯片的低压提供低噪声 10 KHz 时为 $2.7\text{ nV}/\text{Hz}^{1/2}$,280 MHz 的运放增益带宽,10 pA 的输入偏置电流,低失调电压最大为 $250\text{ }\mu\text{V}$ 。

1.2 抗混叠滤波器的设计

当采样频率满足大于等于最高频率的 2 倍时,可以不失真地恢复出原模拟信号。如果不满足上述采样定理的条件,即采样频率小于信号最高频率的 2 倍,或信号的实际最高频率超过了二分之一的采样频率,则在采样后的信号频谱上会发生频谱混叠现象。这时,即使使用理想的矩形低通滤波器也无法不失真地恢复出原模拟信号,因此这种失真现象称为频谱混叠失真。当确定采样频率后,就必须限制原模拟信号的上限频率,这样是为了防止产生频谱混叠失真。通常设计的音频信号的频率在 20 KHz 以下,因此,设置一个上限频率合适的低通滤波器在把信号送到 A/D 转换之前是为了进行抗混叠处理,防止采样的频率是高频信号的分量而产生频谱混叠从而影响给定的较低频率信号的幅值分析^[8-10]。由于巴特沃斯滤波器在性能方面没有明显的缺点,而且设计简单,对构成滤波器的元件的 Q 值没有明显的要求,为此设计了一个四阶巴特沃斯低通滤波器,截止频率为 20 KHz 的抗混叠滤波器。通常高阶滤波器可由多个低阶滤波器构成,所以在设计中,四阶的低通滤波器由两个二阶巴特沃斯低通滤波器构成,如图 2 所示。

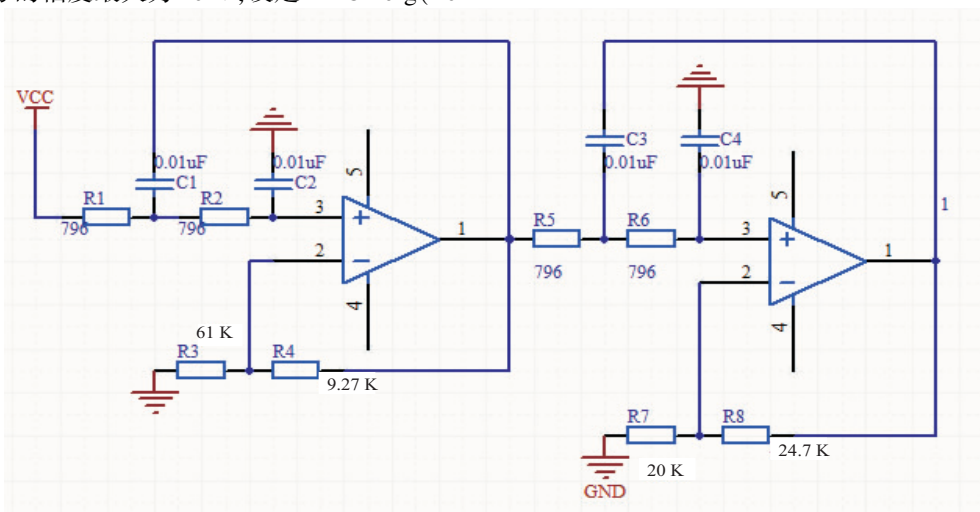


图 2 抗混叠滤波器的设计

1.3 音频解码芯片

采用 VS1053 解码芯片,该芯片有一个高性能的

DSP 处理核 VS_DSP、16 KB 的指令 RAM、0.5 KB 的数据 RAM,通过 SPI 控制,具有 8 个可用的 I/O 口和 1

个串口,芯片内部还带了一个可变采样的立体声 ADC,一个高性能立体声 DAC 及音频耳机放大器。模拟音频信号通过前级信号调理电路后,通过 SPI 口,芯片 VS1053 接收输入进来的音频模拟信号流,经过 A/D 转换将其编码成数字信号存储到 SD 卡。接着,经 D/A 转换解码后从左右通道输出音乐之前,SPI 口不停地向 VS1053 输入音频数据,再经过功放后被人们听到。其中需要系统配置来控制播放音频信号。首先,VS1053 需要恢复成原始状态,需要硬复位和软复位配置。接着,需要配置模式寄存器,时钟寄存器,音调、音量寄存器等相关寄存器,最后发送音频数据,播放音乐^[3]。

2 系统软件设计

2.1 uCOS 实时操作系统

严格要求正确的处理结果和及时处理过程的系统就称为实时系统。其中,硬实时和软实时是实时系统的两大类,大多数的实时系统是嵌入式的。这类系统是针对于航空航天、工控等对响应时间有严格要求的应用场合而产生的,在这些场合中,传统的 PC 及其相应的操作系统是无法胜任的。

由 Micrium 公司开发的 UCOSIII 系统是一种可裁剪、可固化、可剥夺的第三代微型实时操作系统,其中任务调度、任务通信、内存管理、中断管理、定时管理等是该系统的特性。在运行系统设备上,当程序执行时,首先会初始化系统任务管理所需要的各种链表等数据结构,其次,根据需要设计的应用程序来创建任务,最后由调度器管理各个任务,而中断可由操作系统使能和除能,若使能中断,则可以在其他任务运行时跳转到中断服务程序^[11-15]。由于 UCOSII 系统每个任务优先级的任务个数只能是一个而且不支持时间片轮转调度,所以该设计采用了 UCOSIII 系统。

2.2 软件设计和流程图

在软件设计上,使用了嵌入式 UCOSIII 实时操作

的多任务系统。任务就是死循环。该系统支持多任务操作,最大不超过 255 个任务,操作系统对这些任务进行调度管理。在任务根据优先级不断执行的过程中,CPU 的使用权在多个任务中不停变换,多任务管理实际上就是最大化利用了 CPU。软件设计编写了四个任务,即频谱显示任务,音频录音播放任务,LED0、LED1 任务,这些任务每一个都有自己的任务堆栈和优先级,其中频谱显示任务和音频播放任务的优先级是一样的。按照任务优先级,操作系统调度这四个任务。然后通过开始任务创建自己的任务,接着挂起开始任务。系统设计流程如图 3 所示。

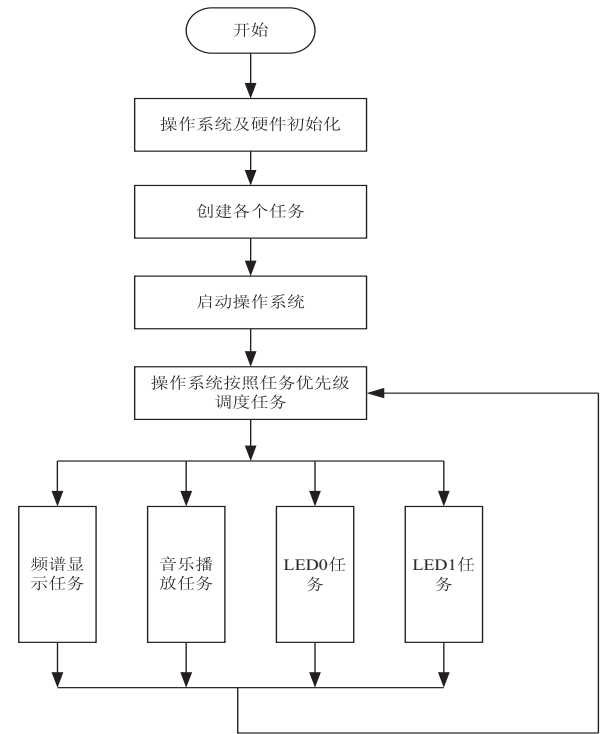


图 3 系统设计流程

2.3 uC/OS-III 的移植

嵌入式 UCOSIII 操作系统的移植就是指能使 UCOSIII 在微控制器或者某个微处理器上运行。UCOSIII 的移植^[16]步骤如图 4 所示。

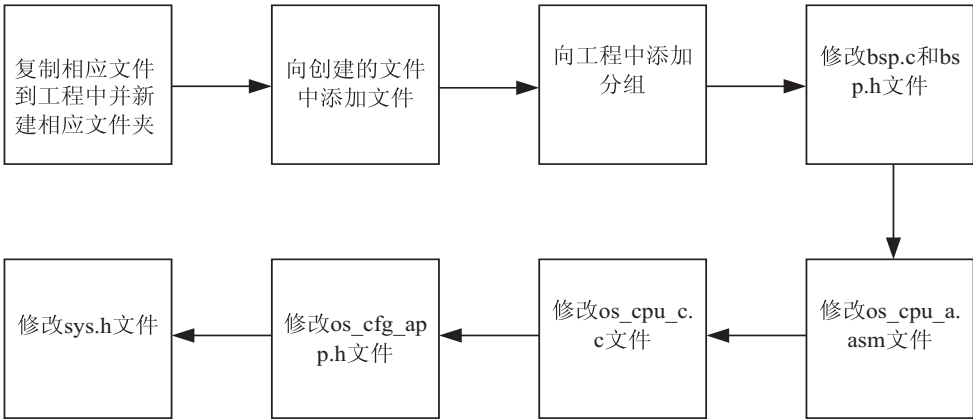


图 4 移植步骤

3 测试结果

将编译后的代码下载到 STM32103 开发板中,结果显示 LED0 开始闪烁,灭的时间比亮的时间长,设置灭 500 ms,亮 200 ms;LED1 均匀闪烁。接着,打开串口调试,接收到操作系统发送的数据,float_num 的值在增加,每次增加 0.01,这和程序中设置的每次增加 0.01 相符,说明 UCOSIII 移植成功。通过软件编写,程序调试下载的结果:LED0 与 LED1 任务中每间隔 200 ms DS0 亮一次,间隔 500 ms DS1 亮一次,接着 DS0 和 DS1 同时亮,依次循环。

音频模拟信号先经过放大与滤波前级电路,之后通过 A/D 转换,经 STM32 使用 FFT 算法,录音到 SD 卡中,利用 UCOSIII 嵌入式多任务操作系统,在同一优先级音频播放与频谱显示同时发生,其实验结果如图 5 所示。

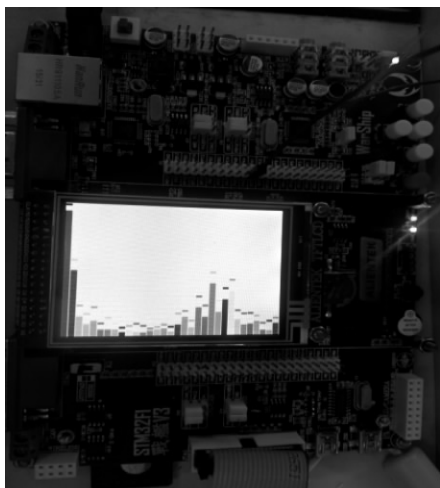


图 5 频谱显示

4 结束语

采用了多任务内核的实时嵌入式 UCOSIII 系统,由于该系统对多任务进行调度使得系统代码量有效减少,系统的实时性也有很大提高,实现了 CPU 资源利用的最大化。在这个过程中,增强了应用程序开发系统的模块化,实现了复杂的实时应用。同时,UCOSIII 嵌入式多任务系统运行稳定,实现多任务在同一优先级下发生。当然该设计还有不足之处,在后续的研究中将进一步完善。

参考文献:

- [1] 陈 坚,盛庆华,毛礼建,等. 基于 STM32 的音频信号分析仪的设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置,2016(3):19-21.
- [2] 于西宗. 基于 STM32 单片机音频系统设计与研究[D]. 青岛:青岛大学,2013.
- [3] 田 谔,王宏伟,其木苏荣. 基于 STM32F429 的音频信号发生器[J]. 微型机与应用,2014,33(24):87-90.
- [4] HAN Zhiyan, WANG Jian. Dynamic feature extraction for speech signal based on formant curve and MUSIC[C]//29th Chinese control and decision conference. Chongqing, China: IEEE,2017:403-407.
- [5] 满 莎,杨恢先,彭 友,等. 基于 ARM9 的嵌入式无线智能家居网关设计[J]. 计算机应用,2010,30(9):2541-2544.
- [6] 吕俊亚. 一种基于单片机的温度控制系统设计与实现[J]. 计算机仿真,2012,29(7):230-233.
- [7] 靳小强,王建斌,李建增,等. 基于 STM32 与 FPGA 的导波激励源设计[J]. 计算机技术与发展,2013,23(7):211-213.
- [8] 郭红玉. 一种抗混叠滤波器的设计[J]. 电子设计工程,2015,23(3):110-112.
- [9] 汪丽娜. 音频信号采集系统中数字滤波器的研究与设计[D]. 兰州:兰州交通大学,2014.
- [10] 金 燕,王 明,葛远香. 基于 FPGA 的抗混叠 FIR 数字滤波器的设计与实现[J]. 浙江工业大学学报,2010,38(2):192-196.
- [11] LABROSSE J L. UC/OS-III: the real-time kernel[M]. America: Micrium Press,2011.
- [12] ANH T N B, TAN Sulin. Real-time operating system for small micro-controller[J]. IEEE Micro,2009,29(5):30-45.
- [13] RABINER L R, SCHAFFER R W. Theory and applications of digital speech processing[M]. America: Prentice Hall,2016:20-24.
- [14] 何康华,雷阳阳. 基于 uCOS-III 的教育机器人系统设计[J]. 电子测量技术,2016,39(10):114-118.
- [15] 王 蕾. 嵌入式火控软件时间性能测试[J]. 计算机技术与发展,2014,24(3):250-252.
- [16] 陈立强,吴祖堂,刘 瑜. 嵌入式操作系统在 TMS-320F28335 平台上的移植[J]. 计算机技术与发展,2013,23(6):7-11.