

# 基于增强型8051单片机的音乐频谱显示器设计

广东省电子职业技术学校 吴永德 罗萍

**【摘要】**该系统采用增强型8051单片机STC12C5A60S2为主控制器，通过单片机内置的ADC对音频信号进行采样、量化，然后通过快速傅里叶变换运算，在频域计算出音频信号各个频率分量的功率，最后通过双基色LED单元板进行显示。该方案具有电路结构简洁，开发、生产成本低等优点。

**【关键词】**单片机，FFT，频谱显示

## 一、引言

本文介绍的音乐频谱显示器可对mp3、手机、计算机输出的音乐信号进行实时的频谱显示。系统采用增强型8051单片机STC12C5A60S2为主控制芯片，通过单片机内置的ADC对音频信号进行采样，把连续信号离散化，然后通过快速傅里叶变换(FFT)运算，在频域计算出音频信号各个频率分量的功率，最后通过双基色LED单元板进行显示。在显示的频率点不多的情况下，本系统比采用DSP或ARM作为主控制芯片的设计方案具有电路结构简洁，开发、生产成本低等优点。

## 二、系统设计

该系统由音频信号预处理电路、单片机STC12C5A60S2控制电路、LED频谱显示电路等部分组成。图1为系统整体设计原理框图。

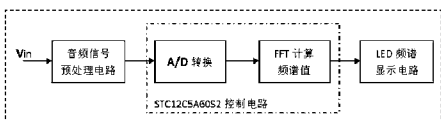


图1 系统整体设计原理框图

系统各组部分的功能：(1)音频信号预处理电路主要对输入的音频进行电压放大和电平提升。(2)单片机STC12C5A60S2控制电路采用内置的ADC对音频信号进行采样量化，然后对量化后的音频数据采用FFT算法计算其频谱值，再将各频谱值进行32级量化。(3)LED频谱显示电路在单片机的控制下，负责将FFT计算得到的音频信号在各个频点的大小进行直观显示。

### 1. 音频信号预处理电路

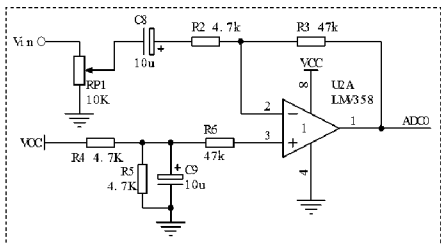


图2 音频信号预处理电路

音频信号预处理电路见图2所示，对输入的音频进行电压放大和电平提升。手机、计算机输出的音频信号Vin经过RP1进行电压调节后，经集成运放LMV358反相放大10倍( $A_v = -R_3/R_2 = -10$ )，提高系统的灵敏度。选用单电源供电的运放LMV358，一方面可以简化系统电源电路的设计，直接采用系统的+5V供电即可；另一方面其输出端静态电压为VCC/2，即2.5V。放大后的音频信号和这2.5V叠加后变为直流电压信号，满足后面单片机内置的ADC对输入电压量程的要求。另外，LMV358为轨到轨输出运放，它可在+5V单电源供电条件下仍具有较大的动态输出范围。

### 2. 单片机STC12C5A60S2控制电路

STC12C5A60S2单片机是宏晶科技生产的第一代单时钟/机器周期(1T)8051单片机，具有高速、低功耗及超强抗干扰等特点，指令代码完全兼容传统8051，但速度快8~12倍；内部集成MAX810专用复位电路，8路PWM，8路高速10位A/D转换(250K/S)等资源<sup>[1]</sup>。特别是它带硬件乘法/除法指令，使乘法指令执行时间从传统8051的48个晶振周期减少到4个晶振周期，使需要大量乘法运算的FFT运算速度得到大幅度提

高。在本系统中，STC12C5A60S2单片机负责完成对音频信号进行A/D变换，然后采用FFT算法计算音频信号频谱，并将计算结果输出到LED频谱显示电路。

#### (1) 音频信号的A/D变换

根据香农采样定理，一般采样频率至少应为所采样音频信号最高频率的2倍。由于人耳能够感受的频率为20Hz~20kHz，所以理论上采样频率最高取40kHz。本设计采用单片机STC12C5A60S2内置的ADC对音频信号进行采样、量化。STC12C5A60S2单片机的A/D转换口在P1口(P1.0~P1.7)，有8路10位的高速ADC，其输入电压量程为0~Vcc，转换速度可通过ADC\_CONTR特殊功能寄存器的SPEED1，SPEED0位进行控制，速度最快可设置为每90个时钟周期转换一次。在外接晶振为30MHz时，ADC的转换速度可达到330kHz，完全可满足对音频信号的采样需要。

#### (2) 音频信号频谱值的计算

我们采用快速傅里叶算法(FFT)来计算音频信号的频谱值。根据FFT运算规律，如ADC以fs的采样频率取N个采样点，经过FFT运算之后，就可以得到N个点的复数序列。通常为了方便进行FFT运算，通常N取2的整数次方： $N = 2^L$ (L为正整数)。这N个点的FFT结果，每一个点就对应着原始信号的一个频率点，即第n点所表示的频率为 $f = n \times f_s / N$ ， $n = 0, 1, \dots, (N-1)$ ；该点的模除以N/2就是对应该频率下原始信号的幅度(对于第1个点则是除以N)；该点的相位即是对应该频率下原始信号的相位。由于FFT结果的对称性，通常只使用FFT运算后的前N/2个点的数值。本系统每隔10ms采样一次128个点，经过FFT运算后将得到128个频率点。由于FFT结果的对称性，我们选取前64个点进行显示。

现在FFT算法已发展出多种形式，本系统采用按时间抽选(DIT)的基-2FFT算法，这种算法程序相对较简单，节省存储单元，运行效率较高，比较适合用单片机编程实现。DIT基-2FFT算法主要由倒位序运算和多级蝶形运算实现。

##### a. 倒位序运算的实现

DIT基-2FFT算法通常将原始数据序列倒位序存储，运算后的结果则按正常顺序输出。一般的数字信号处理的教材都介绍雷德(Rader)算法，通过“反向进位加法”将原始数据序列进行倒位序存储<sup>[2]</sup>。雷德算法的灵活性较大，但在本系统中，参与运算的数据点数只有128个，通过预先编制倒位序查询表，采用查表方式实现倒位序操作速度会更快。

##### b. 蝶形运算的实现

根据DIT基-2 FFT算法原理，N点FFT运算由 $\log_2 N$ 级，每级N/2个蝶形运算，共 $(N/2) \log_2 N$ 个蝶形运算构成。每个蝶形运算结构见图3所示<sup>[2]</sup>。

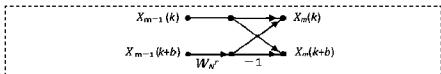


图3 按时间抽选蝶形运算结构

蝶形运算结构图中，m表示第m级的蝶形运算，k为蝶形运算第一节点所在行数，b为蝶形运算两节点距离， $b = 2^{m-1}$ ， $W_N^b$ 为旋转因子， $W_N^b = \cos(2\pi b/N) - j \sin(2\pi b/N)$ 。

每个蝶形结构完成下述基本迭代运算<sup>[2]</sup>：

$$X_m(k) = X_{m-1}(k) + X_{m-1}(k+b) W_N^b \quad (1)$$

$$X_m(k+b) = X_{m-1}(k) - X_{m-1}(k+b) W_N^b \quad (2)$$

设 $X = R + jI$ ，将式(1)转变为实部和虚部的表示形式，得到：由上面式(1)、式(2)可见，一个蝶形运算需要一次复数乘法 $X_{m-1}(k+b) W_N^b$ 及

两次复数加(减)法。在单片机系统中编程实现时，需把复数运算转变为实数运算。

$$R_m(k) = R_{m-1}(k) + R_{m-1}(k+b) \cos(2\pi b/N) + I_{m-1}(k+b) \sin(2\pi b/N) \quad (3)$$

$$I_m(k) = I_{m-1}(k) - R_{m-1}(k+b) \sin(2\pi b/N) + I_{m-1}(k+b) \cos(2\pi b/N) \quad (4)$$

同理，将式(2)转变为：

$$R_m(k+b) = R_{m-1}(k) - R_{m-1}(k+b) \cos(2\pi b/N) - I_{m-1}(k+b) \sin(2\pi b/N) \quad (5)$$

$$I_m(k+b) = I_{m-1}(k) + R_{m-1}(k+b) \sin(2\pi b/N) - I_{m-1}(k+b) \cos(2\pi b/N) \quad (6)$$

将sin、cos函数做成表格sin\_tab[128]、cos\_tab[128]，直接查表可提高运算速度。

程序流程图见图4所示。整个L级递推过程由三个for循环嵌套构成，外层的一个for循环控制L( $L = \log_2 N = \log_2 128 = 7$ )级的顺序运算；内层的两个for循环控制同一级(m相同)各蝶形结的运算，其中最内一层for循环控制同一种(即 $W_N^b$ 中的r相同)蝶形结的运算，而中间一层for循环则控制不同种(即 $W_N^b$ 中的r不同)蝶形结的运算。

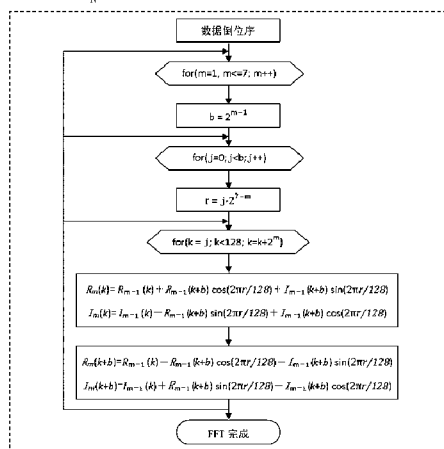


图4 DIT基-2 FFT程序流程图

### 3. 频谱值的显示

系统中采用64×32室内双基色LED单元板进行显示，每列显示音频信号的一个频率点，每列LED点亮的高度表示该频率点幅度的大小。该单元板由32块双基色8×8 LED模块组成，高4块，长8块；一般采用1/16扫描，行驱动采用8片4953，列驱动采用32片74HC595<sup>[3]</sup>。单元板两端分别预留级联接口，最初这种接口为20针插座，现在都改进为16针插座，一般称为08接口。但使用时要注意，不同厂家生产的LED单元板，其使能信号EN可能会不同，有些是低电平有效的，有些是高电平有效的。

### 三、结束语

本系统采用增强型8051单片机STC12C5A60S2实现音乐频谱显示，该方案硬件电路设计简单、成本低，并具有较高的实用价值。

### 参考文献

- [1] 宏晶科技 STC12C5A60S2系列单片机器件手册[M].2010.
- [2] 程佩青 数字信号处理教程(第二版)[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [3] 靳巍,等 基于51系列单片机的LED显示屏开关技术(第2版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011

### 作者简介:

吴永德(1980—)，男，讲师，从事电子技术专业教学及研究。  
罗萍(1979—)，女，讲师，从事计算机技术专业教学及研究。