

# 基于 TMS320VC5509A 的校音器设计报告

测控二班

金煜童

3013202044

## 一、背景：

随着科技的日益进步,传统的单片机处理系统已经不能满足人们对高精度产品的要求,随着 dsp 的开发与发展,数字信号处理的高速、精确度使得数字化已经是一个不可抵挡的趋势, Dsp 芯片是专门为快速实现各种数字信号处理算法而设计的,具有特殊结构的微处理器"随着信息技术革命的深入和计算机技术的飞速发展,数字信号处理技术已经逐渐发展成为一门关键的技术学科。

校音器: 用于识别管弦乐器声音的基音频率和音高, 在交响乐的合奏中, 排练和演奏之前的校音十分关键, 如果没有校音或者校正不准, 乐队演奏时就会发出极不和谐的声音效果, 校音器在平时的音准练习中也是必不可少的, 传统的校音器使用单片机芯片, 体积较大, 计算速度和精度有很大的局限性, 随着时代的发展, dsp 的开发逐渐变成热门, 拥有快速的运算速度, 使得芯片可以快速进行傅里叶变换, 并且实现很高的精度, 正常人耳可以识别 5 个音分的音准偏差, 利用 dsp 校音器可以快速准确地判断音准高低, 实现乐手和指挥所需要的功能。

## 二、测量系统介绍

本校音器以 TMS320VC5509A 为主芯片, 以快速傅里叶变换 (FFT) 为核心算法, 检测仪整个系统主要由传声器 (麦克风) 接口、模数转换器、数字信号处理器 (DSP)、显示驱动和液晶显示屏 (LCD) 等模块组成, 系统结构如图所示。



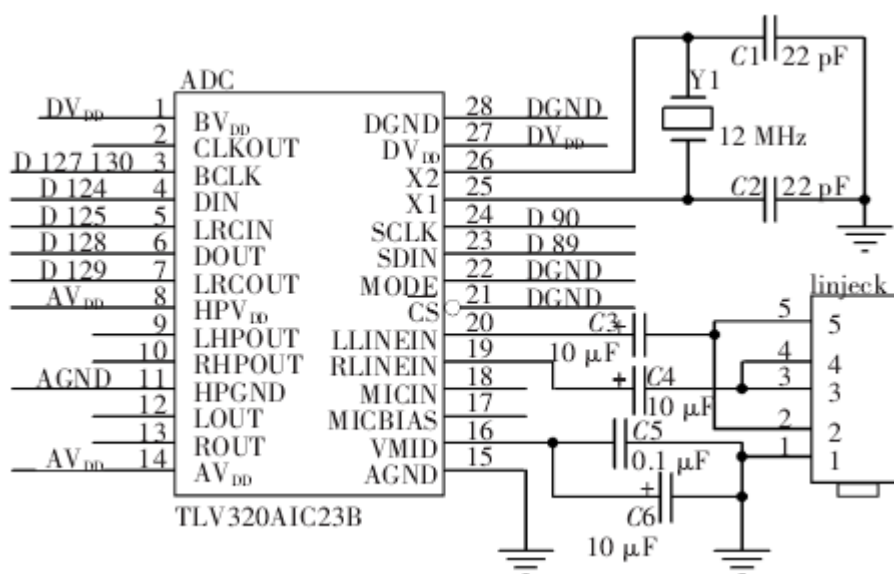
麦克风和模数转换器用于采集声音并转换成数字信号, DSP 对数字信号进行快速傅里叶变换, 得到振幅频谱数据、分析振幅频谱数据提取基音频率, 并转化为音高。显示驱动通过复杂可编程逻辑芯片 (CPLD) 完成, 并驱动 LCD 模块显示基音识别结果。

### 1、Dsp 模块

该校音器采用型号为 TMS320VC5509APGE 的 16 位定点 DSP 负责数字信号处理。该 DSP 芯片时钟频率可达 200 MHz，有 128 K×16 bit 片内 RAM。由于 DSP 内部存储器容量有限，因此需要使用 boot-loader 将程序烧写到外部 EEPROM 中。通过合理配置 GPIO 的电平，上电时 DSP 会自动将 EEPROM 中的程序载入片内运行，这样就可以使 DSP 脱离仿真器和电脑而独立运行。DSP 最小系统电路与单片机相似，注意 DSP 内核需要 1.8V 电源，外围数字芯片及数字高电平需要 3.3 V 电源，二者共用一个数字电路接地端。模拟电路也需要 3.3 V 供电电源和模拟电路接地端。虽然电压相同，但是数字和模拟电路要分开，数字地与模拟地之间用磁珠连接，以免干扰。

## 2、ADC 转换模块

为了提高音频识别效果，本文采用噪声低、拾音效果好的外接有源电容麦克风。麦克风频率响应为 30Hz~20 kHz，电源为 48V 幻象电源。模数转换器以音频编解码器 (CODEC) 芯片 TLV320AIC23 作为核心。该芯片有 Line 和 Mic 两种输入接口。如果录音设备功耗低，例如驻极体话筒，芯片上第 17 号管脚 MICBIAS 可为话筒提供偏置电压，大小为 3/4AVDD，用 Mic 接口接收信号。但这种话筒拾音性能差。为了降低输入噪声，提高拾音效果，本设计采用 Line 接口接收电容麦克风发送的音频模拟信号。



## 3、显示驱动和液晶显示屏

显示驱动采用型号为 EPM240T100C5 的 CPLD 芯片，图形点阵液晶屏模块为 128×64 像素。DSP 使用 EMIF 接口与 CPLD 相互沟通，CPLD 芯片电路基本按器件手册布局，此处不再赘述。

## 4、软件部分

### (1) 确定 FFT 算法的参数

本系统使用 8kHz 采样率和 8192 点 FFT。科学音调记号法规定拉丁字母为音调，数字为八度区。钢琴音域由科学音调记号法表示为 A0 至 C8，一般乐器常用音域是 C1 至 B7，对应的频率范围是 32.70 Hz~3951Hz。交响乐队中，除了打击乐器，音高能超过钢琴的乐器不多，人类的歌喉很难逾越 3 kHz。

基于以上原因，该校音器测量范围设定在 32.70 Hz~4 kHz。根据抽样定理，本系统的抽样频率选择 8 kHz。C1 和 C#1 的频率分别为 32.70 Hz 和 34.65 Hz，二者的几何平均为 33.66

Hz，频谱分辨率最低要求为： $34.65 \text{ Hz} - 33.66 \text{ Hz} = 0.99 \text{ Hz}$

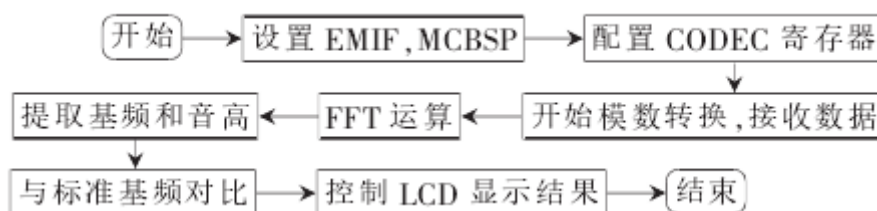
计算 FFT 采样点数如下：采样点数=采样率÷频谱分辨率= $8000 \div 0.99 = 8081$

如果采样点数为 8192，则频谱分辨率为： $8000 \div 8192 = 0.98 \text{ Hz}$

一个八度分成 12 个半音音程，十二平均律规定八度的音程（二倍频程）按频率等比例地分成 12 等份，两个相邻半音的频率大约为 1.05946 倍，音高越高则频率相差越大。因此，8192 点可以满足最低音高为 C1、最高音高为 B7 的识别要求。

## (2) DSP 算法实现

实现 dsp 算法可以分为五步：声明定义、ADC、FFT 计算、提取基音和 LCD 显示



## (3) 具体代码分析

```
void InitForFFT(int point) /* 旋转因子 */
// point 为 FFT 点数
{
float PI = 3.1415927;
float alpha ,delta ;
point >>= 1;
delta =PI/point;
alpha =0 ;
for (int i=0 ; i< point; i++ )
{
sint[i]=sin( alpha);
cost[i]=cos(alpha);
alpha + = delta;
}
}
/*倒位序, D_R 为数据的实部 */
void invert(float*D_R,int point)
{
int i , j , k , LH,pt2;
float T ;
LH =point>>=1 ;pt2 =point-1; j =LH;
```

```

for (i=1;i<pt2; i++) /*point FFT 点数 */
}
if ( i<j )
{ T=D_R [i];D_R [i]=D_R [j]; D_R [j]=T;}
k =LH ;
while ( j >=k) { j - =k ; k >>=1; }
j =j + k ;
}
}
/*FFT 运算 , D_I 为数据的虚部,ORDER 为阶数 */
void FFT(float *D_R ,float *D_I, int ORDER) {
int l,j, k,b ,p,L ;
float TR,Tl,temp;
for (L=1 ;L <=ORDER; L ++ )
{
b=1 << ( L - 1 ) ;
for (j =0 ;j < b ; j ++ )
{
p = (1 << (ORDER - L)) *j ;
for (k =j ; k < point; k =k + b + b) /* 蝶形运算单元 */
{
TR =D_R [k]; Tl =D_I [k]; temp =D_R [k + b];
D_R [k]=D_R [k] + D_R [k + b]*cos_t[p] + D_I [k + b]*sin_t[p] ;
D_I [k]=D_I [k] - D_R [k + b]*sin_t[p] + D_I [k + b]*cos_t[p] ;
D_R [k + b]=TR - D_R [k + b]*cos_t[p] - D_I [k + b]*sin_t[p] ;
D_I [k + b]=Tl + temp*sin_t[p] - D_I [k + b]*cos_t[p] ;
}
}
}
For(i=0; i< point;i+ )
{
/* 计算幅度谱 */
w [i]=sqrt ( D_R [i]*D_R [i]+ D_I [i]*D_I [i]);
}
}

```

### 三、不足之处及展望

通常乐器发出的声音中除了基波外，还有许多泛音，当泛音的振幅超过基频时，会对检测结果有一定干扰，所以，在滤波模块还需要进一步改进。

在交响乐队演奏大和声时，常常会出现几十个人同时演奏的情况，和声准确与否主要是根据指挥的耳朵来判断，如果可以改进装置，辨别出不同乐器的不同音高，从而达到不通过人耳就可以快速分辨哪种乐器的哪个声部不准，将极大提高排练的效率，从而颠覆传统的排练方式，这也是未来我们可以努力的方向之一。