

文章编号: 2096-1618(2019)05-0487-04

# 基于 DSP 的语音啸叫处理系统

何 山, 王福增, 吴太武, 江青林  
(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**针对会议系统产生的啸叫,设计了一种基于 DSP 的语音啸叫处理系统。系统硬件选用了 DSP 芯片 TMS320VC5509A 作为处理核心,音频 Codec 芯片 TLV320AIC23 作为语音信号的输入/输出和模/数转换器件;数据的传输方式采用 DMA 控制方式,并结合乒乓缓存,其优点是无需 CPU 的干预,且 CPU 在等待 DMA 传输数据的过程中可以完成其他工作;系统采用自适应声反馈抑制方法对啸叫进行处理,该方法的原理是通过 LMS 算法调整陷波系数实现对啸叫的抑制。经过实验验证,系统可以实现语音信号的输入与输出,同时有效地抑制啸叫。

**关键词:**DSP;啸叫;DMA;乒乓缓存;自适应声反馈抑制;LMS

**中图分类号:**TB533

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.05.008

## 0 引言

在信息技术快速发展的今天,人们对语音信号的要求逐步提升。在会议系统中,经常会遇到语音信号不连续、不清晰或啸叫(声反馈)等问题,其中语音信号的质量高低决定了人们对信息的获取程度,而啸叫问题造成的影响更加严重。啸叫不仅会对人耳造成影响,还可能烧毁音响设备,所以处理好这两个问题非常重要。乒乓缓存在现代技术中常用于处理图像或者用于实时视频处理系统,它能够适应某些系统强大的运算能力和处理能力,在会议系统中使用“乒乓缓存策略”,可以很好地保证实时音频数据采集的连续性;现有抑制声反馈的技术中,常用方法有移频法和移相法、陷波器、频率均衡器和自适应滤波等,每种方法各有优劣,其中自适应声反馈抑制法较为先进,具有高速、低复杂度、易于实现的特点。

经过综合分析后,以 DSP 芯片 TMS320VC5509A (以下简称 C5509A)为核心,结合音频 Code 芯片 TLV320AIC23(以下简称 AIC23)给出具体的硬件设计,数据的处理过程采用 DMA 控制方式以及乒乓缓存,同时还介绍了一种自适应声反馈抑制算法,提升了会议系统中语音信号的质量。

## 1 系统硬件设计

C5509A<sup>[1]</sup>拥有片内外设 I<sup>2</sup>C,且拥有 3 个多通道缓存串口,即 McBSP。系统选用 McBSP 作为 AIC23 与 DSP 接收和发送语音数据的传输通道;此外

AIC23<sup>[2]</sup>的接口配置支持 I<sup>2</sup>C 模式,因此 AIC23 和 C5509A 的连接方式是将 C5509A 的一个 McBSP 以 I<sup>2</sup>C 接口方式与 AIC23 连接。图 1 为 C5509A 和 AIC23 的接口原理图<sup>[3]</sup>。

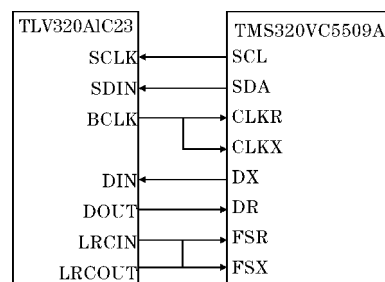


图1 TMS320VC5509A 和 TLV320AIC23 的硬件接口原理图

McBSP 的数据发送引脚 DX 和数据接收引脚 DR 分别与 AIC23 的数据输入引脚 DIN 和数据输出引脚 DOUT 连接,实现数据传输的功能;FSX 和 FSR 是 McBSP 的帧同步信号引脚,分别与 AIC23 的帧同步信号引脚 LRCIN 和 LRCOUT 相连接。SCLK 作为 AIC23 的控制端时钟,与 C5509A 的 I<sup>2</sup>C 模块的 SCL 引脚相连;SDIN 作为 AIC23 控制端口的数据输入引脚,与 I<sup>2</sup>C 模块的 SDA 相连;AIC23 的 BCLK 引脚与 C5509A 的收发时钟信号 CLKX 和 CLKR 相连,提供串行数据输入时钟。此外,系统通过 EMIF 接口与 SDRAM 芯片 HY57V641620 相连,通过设置相应的 EMIF 寄存器即可访问外部存储器,方便存储大量数据。图 2 为硬件系统接口流程图。语音信号通过麦克风输入到系统中,由 AIC23 将模拟信号转为数字信号,然后信号被送入 DSP 芯片中进行处理,最后再由 AIC23 将数字信号转为模拟信号送入扬声器中。

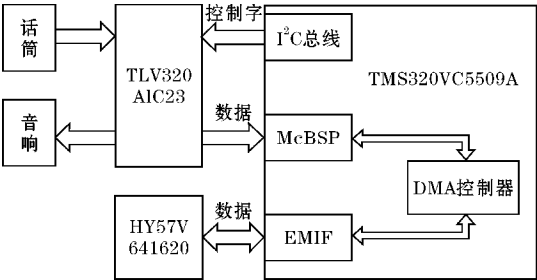


图2 硬件系统接口流程图

2 系统软件设计

2.1 系统初始化

系统初始化主要是对系统硬件的控制寄存器进行配置和DMA的配置。图3为系统初始化软件流程图。

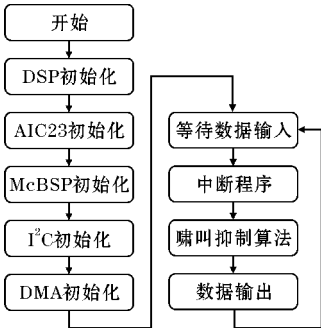


图3 系统初始化软件流程图

2.1.1 初始化配置

首先需要对AIC23内对应的寄存器进行配置。AIC23内部拥有11个配置寄存器,为了使AIC23工作在要求的状态下,需要对这些寄存器进行编程。本系统通过I²C接口来实现C5509A对AIC23工作参数的配置。I²C模式下的设备分为主设备和从设备,主设备作为发送方发送时钟信号,开始数据传输;从设备作为接收方,根据地址被主设备寻址,开始接收数据。I²C方式下的数据传输的时序如图4所示。图中的SDIN表示串行数据,SCLK表示串行时钟;当SCLK为高且SDIN处于下降沿时,表明数据传输开始;当SCLK为高且SDIN处于上升沿时,表明数据传输停止<sup>[4]</sup>。

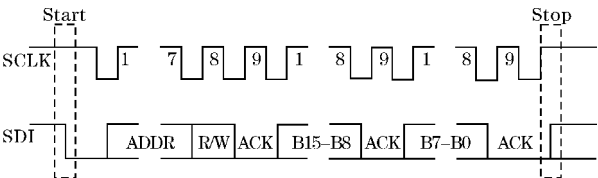


图4 I²C方式下的数据传输的时序

系统中,读写方向R/W为0,即C5509A作为主设备发送数据,AIC23作为从设备接收控制字;引脚CS接地,即表示AIC23作为从设备的地址是0011010。从图4可以看出,在I²C模式下,主设备写入从设备的数据分别是7 bit的寻址位、1 bit的读写方向位和16 bit的控制字。C5509A先将7 bit的从设备地址和1 bit的读写方向位传送到I²C总线上,在收到应答信号ACK后,主设备向从设备发送控制字(以1个字节为单位,每个控制字16 bit),而每发送1单位的控制字后都要返回1个应答信号ACK。图4中B15-B8表示AIC23映射寄存器的地址,B7-B0表示写入该寄存器的数据。

2.1.2 DMA配置

McBSP选用DMA控制方式<sup>[5]</sup>,实现系统中数据的传输。DMA传输方式的特点是无需CPU的参与,能够减轻CPU的负担并提高CPU的使用效率。

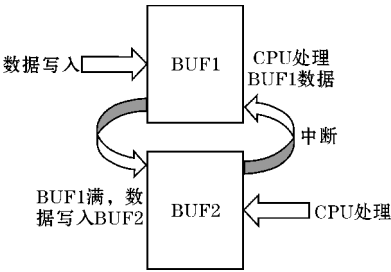


图5 乒乓缓存结构

系统对DMA的设置主要采用了乒乓缓存结构<sup>[6]</sup>,乒乓缓存结构的原理是通过两个相同的SDRAM以及对应的控制逻辑构成的输入/输出缓冲存储器,图5为其基本结构和原理。一个乒乓缓冲存储器包括:控制器、BUF1、BUF2三部分。将送入DSP的语音信号先存储在缓冲区BUF1里,当BUF1满之后再送给CPU进行处理,同时将McBSP0接收的语音数据送入缓冲区BUF2中,当BUF2接收满时会向CPU发出中断,DMA的中断程序会把BUF2中的数据送入CPU进行处理,同时DMA继续向BUF1中写入数据,等待CPU的处理,如此不断循环。需要注意的是会议系统应该保障语音的连续性,因此CPU的帧处理速度应该大于向缓冲区写入数据的速度。DMA的具体配置见文献<sup>[7]</sup>。

2.2 啸叫处理

啸叫处理的实质是利用滤波器对声反馈信号进行处理。在现有抑制声反馈的技术中,自适应声反馈抑制是一种有效的抑制声反馈的方法,其实质与陷波器<sup>[8]</sup>相同,都是对声反馈信号进行对应频点陷波。图6为自适应滤波器<sup>[9]</sup>,包含数字滤波器 $H(z)$ 和自适应算法2个部分。图6中 $d(n)$ 和 $e(n)$ 分别表示的是期望信号和误差信号, $y(n)$ 是自适应滤波器的输出信

号。自适应算法是根据  $e(n)$  调整滤波器系数,通过调整滤波器系数,使得任意时刻的误差信号  $e(n)$  的均方误差总是趋于最小,这时  $y(n)$  是最终所要的信号。文中采用了一种基于自适应 IIR 陷波器的声反馈抑制方法。<sup>[10]</sup>

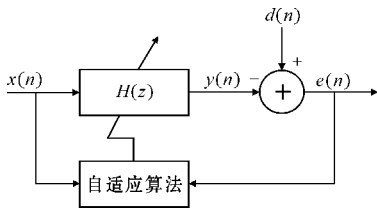


图 6 自适应滤波器

系统采用了二阶 IIR 陷波器的级联形式,其传递函数为

$$Y(z)=\frac{1+hz^{-1}+z^{-2}}{1+rhz^{-1}+r^2z^{-2}}\cdot X(z)\tag{1}$$

其中,  $X(z)$  表示陷波器的输入  $x(n)$  的  $z$  变换;  $Y(z)$  表示陷波器的输出  $y(n)$  的  $z$  变换;  $h$  表示陷波系数,陷波系数的初始值  $h(0)=0$ ; 参数  $r(0<r<1)$  为极点到原点的半径,陷波器的带宽随  $r$  的增大而变小,为了减少所需信号的失真,  $r$  被设置为 0.99。

$y(n)$  的定义为

$$y(n)=\theta(n)^T W\tag{2}$$

其中

$$\begin{cases} \theta(n)=[x(n) & x(n-1) & x(n-2) & y(n-1) & y(n-2)]^T \\ W=[1 & h & 1 & (-rh) & (-r^2)]^T \end{cases}\tag{3}$$

陷波系数  $h$  依照最速下降算法更新,为

$$\begin{cases} h(n+1)=h(n)-\mu\frac{\partial J(h)}{\partial r} \\ J(h)=E[|y(n)|^p] \end{cases}\tag{4}$$

系数  $\mu$  表示步长,步长参数的大小会对自适应滤波器的收敛速度产生影响。通过实验验证,系统的步长  $\mu$  取值为 0.001。对式 (4) 变换得到:

$$h(n+1)=h(n)-\mu\cdot\text{sgn}\{[\text{sgn } y(n)]\cdot g(n)\}\tag{5}$$

其中  $g(n)$  表示梯度信号:

$$\begin{cases} g(n)=\theta(n)^T \omega \\ \theta(n)=[x(n-1) & y(n-1)]^T \\ \omega=[1 & (-r)]^T \end{cases}\tag{6}$$

依照上述自适应 IIR 陷波器,算法步骤如图 7 所示,仿真结果如图 8 和图 9 所示。

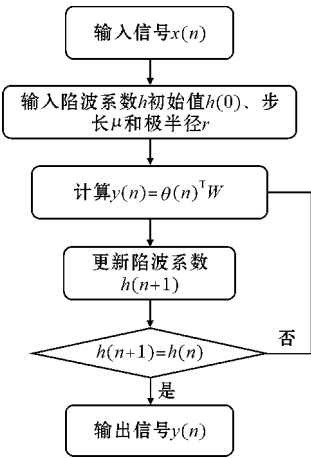
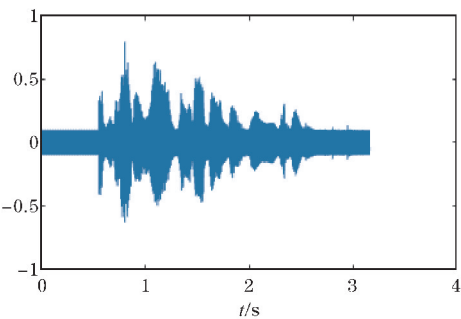
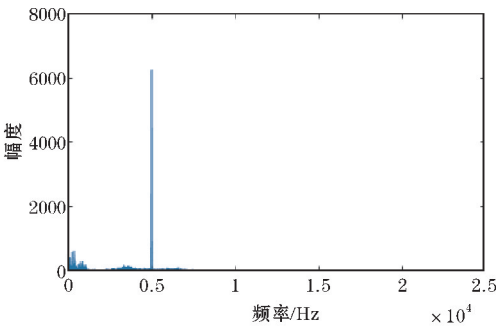


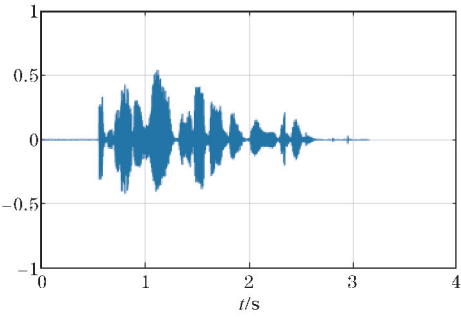
图 7 啸叫抑制算法流程



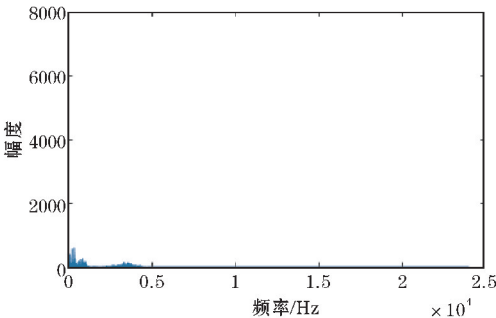
(a) 含有啸叫的原始信号



(b) 含有啸叫的原始信号频谱



(c) 啸叫处理后的信号



(d) 啸叫处理后的信号频谱

图 8 啸叫抑制算法仿真(一)

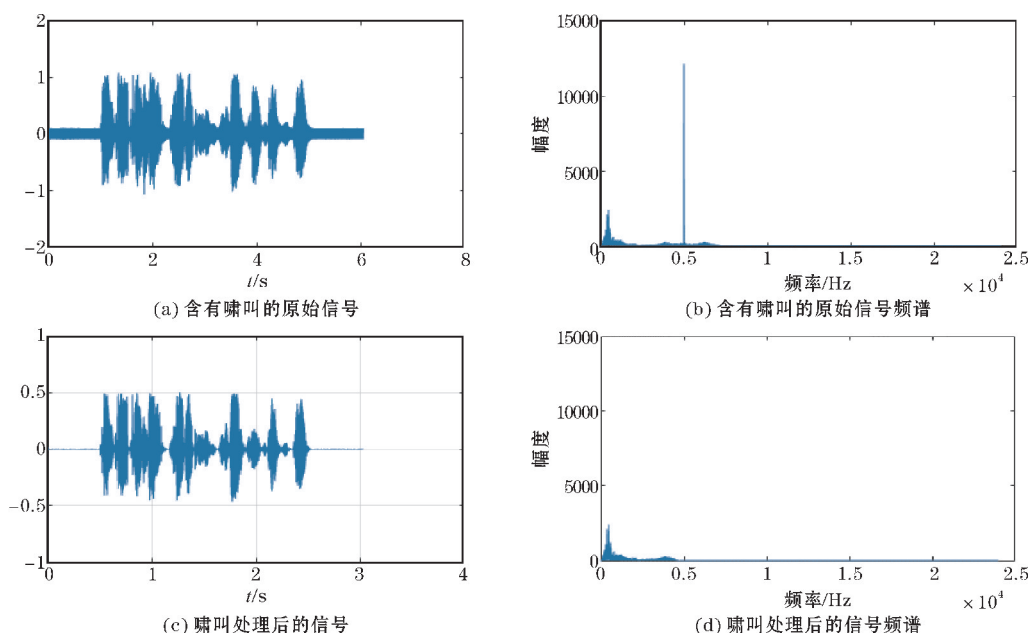


图9 啸叫抑制算法仿真(二)

### 3 结束语

阐述了一种基于 DSP 的语音啸叫处理系统的设计方案。系统的硬件以 DSP 芯片 TMS320VC5509A 为处理核心,结合音频 Code 芯片 TLV320AIC23 的 A/D、D/A 性能,实现了会议系统的硬件设计基础;系统的数据传输为 DMA 控制方式,对 DMA 的设置采用了乒乓缓存结构,提升了语音信号的处理速度和质量;同时还介绍了一种自适应声反馈抑制的方法,即 LMS 最小均方算法,该算法任意给定滤波器系数一个初始值,通过不断调整陷波器系数,使其最后达到或逼近最优解,具有低复杂度、易于实现等特点。通过实践验证,系统可以完成预期的功能。

### 参考文献:

- [1] TMS320VC5509A Fixed-Point Digital Signal Processor Data Manual [M]. Dallas: Texas Instruments, 2008.
- [2] TLV320AIC23 Data Manual [M]. Dallas: Texas Instruments, 2004.
- [3] 王军敏, 薛亚许. 基于 TMS320VC5509 和 TLV320 AIC23 的语音通信系统设计[J]. 平顶山学院学报, 2012, 27(5): 41-44.
- [4] 严国萍, 徐敬忠. TMS320VC5402 与 TLV320 AIC23 在数字音效系统中的接口设计[J]. 电声技术, 2007, 31(2): 38-41.
- [5] 姜卫, 白卫江. TMS320C55x 性能及 DMA 的使用[J]. 现代电子技术, 2007(18): 50-52.
- [6] 李武深, 迟泽英. 高速 DSP 图像处理系统中的乒乓缓存结构研究[J]. 光电子技术与信息, 2015, 18(3): 76-79.
- [7] 王洪武. 基于 DSP 和 USB2.0 接口的高速实时信号采集系统技术[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [8] 郝国莉, 方元. 采用改进陷波器的声反馈抑制[J]. 电子测量术, 2012, 35(3): 65-68.
- [9] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现[M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 1997: 608-619.
- [10] 刘杰, 官洪运, 蒋静学. 基于自适应 IIR 陷波器的声反馈抑制方法[J]. 电声技术, 2011, 35(9): 52-53.

## Voice Howling Processing System based on DSP

HE Shan, WANG Fuzeng, WU Taiwu, JIANG Qinglin

(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** A voice howling processing system based on DSP is designed in this paper. DSP chip TMS320VC5509A is selected as the processing core, and audio Codec chip TLV320AIC23 is used as the input/output and analog/digital conversion device of voice signal. The data transmission mode adopts the DMA control mode and combines the ping-pong buffer. The advantage is that no CPU intervention is required, and the CPU can perform other work while waiting for the DMA to transfer data. The system adopts the adaptive acoustic feedback suppression method to deal with the noise. The principle of this method is to realize the noise suppression by adjusting the notch coefficient through the LMS algorithm. Experimental results show that the system can realize the input and output of speech signal and effectively suppress the noise.

**Keywords:** DSP; howling; DMA; ping-pong buffer; adaptive acoustic feedback suppression; LMS