

基于 TMS320VC5501 DSP 的吉他 数字效果器的设计与实现

·产品设计·

关康信¹, 苏禹¹, 黎陟²

(1. 北京理工大学珠海学院, 广东 珠海 519085; 2. 得理乐器(珠海)有限公司, 广东 珠海 519000)

【摘要】介绍了基于 TI TMS320VC5501 DSP 的吉他效果器的设计与实现。硬件方面, 主要对 DSP, CODEC, MCU, 信号处理以及信号选通等模块电路进行了详细的分析; 软件方面, 主要对各种芯片的初始化和系统的工作流程进行了分析和设计。最后介绍了延迟和移相两种效果的算法。实验证明, 该效果器达到了预期目标, 取得了良好的数字效果。

【关键词】 DSP; 吉他数字效果器; 算法; CODEC

【中图分类号】 TB53

【文献标识码】 A

The Design and Realization of Guitar Effect Processor Based on TMS320VC5501 DSP

GUAN Kangxin¹, SU Yu¹, LI Zhi²

(1. Zhuhai Campus Beijing Institute of Technology, Zhuhai Guangdong 519085, China;

2. Medeli Musical Instrument (Zhuhai) Co., Ltd., Zhuhai Guangdong 519000, China)

【Abstract】 Compared with the traditional effector, the new type effector is quickly applied to various sound equipments with its intelligence, individuation, and hi-fi advantages. This thesis introduces a design of guitar digital effector which is based on TI TMS320VC5501 DSP. At first some hardware function models are discussed in details, which including the interface circuits of DSP, CODEC, MCU, signal processing circuits, and demultiplexer circuits. Then the initialization of all kinds of chips and the workflow of system are stated concretely. Finally the algorithm of delay and phase are analyzed in particular. The experiment shows that the effector reaches prospective target and obtains good results.

【Key words】 DSP; Guitar digital effector; Algorithm; CODEC

1 引言

目前, 中国自主研发和生产吉他效果器的厂商较少, 国产的效果器又多为模拟电路效果器, 起步比国外晚, 技术还不够成熟, 而且从事相关工作的人才缺乏, 待开发的空間很大; 在国外, 无论是硬件还是软件, 都有很成熟的技术和理论, 而且国外很多大学开设了与音频处理相关的专业, 不断地为这个领域输送人才。由于技术上的原因, 国内吉他效果器的市场大多被国外产品所垄断。随着科技的不断进步, 效果器引入了微处理器技术和数字音频处理技术。与模拟电路效果器相比, 数字效果器以其智能化、个性化、数字化等优点迅速应用到各种声音设备中, 深受广大音乐爱好者的青睐。如何让设计的吉他数字效果器打破国外产品的垄断局面, 如何提高数字效果器的可靠性和音质, 就成为

需要努力解决的问题。

2 系统的整体设计

系统方案设计不仅要综合考虑硬件、软件和算法之间的兼容关系, 而且还要考虑系统的稳定性、可靠性、实用性等技术要素。

2.1 系统的设计要求

(1) 采样率的大小直接决定音质的好坏, 在本设计中为了得到高质量的声音采样率设为 48 kHz, 这就要求系统的数字信号处理模块每秒钟至少能处理 48 000 个音频数据, 即系统的处理速度要高^[1];

(2) 为了人耳不能明显分辨出声音的延迟, 要求输入数据与输出数据的时间间隔不能超过 30 ms, 即要具有很高的实时性;

(3) 在模拟信号处理电路中, 需要高保真地对模

拟信号进行处理。同时,为方便声音对比需要设置原声直接输出通道和数字音通道;

(4) 稳定、高效的供电、合理地去耦与耦合处理。

2.2 系统的设计方案

系统以 TI TMS320VC5501 DSP 为核心,但可有两种工作模式选择:即单核模式和双核模式。

在单核模式中整个系统只有一块 DSP 处理芯片, DSP 需要分出一部分资源去处理人机交互的信息,由于 C5501 这款 DSP 没有 AD 转换功能,因此还需要增加一块 ADC 芯片。然而对于比较耗资源的效果算法而言单核模式往往就会显得捉襟见肘,并且在该模式下系统不易开发,发生故障时比较难排除。所以综合考虑后系统的设计采用双处理器模式,即 DSP+MCU 模式。在此模式中,首先需要选择带 ADC 功能的单片机,让其专门负责处理人机交互的信息,使 DSP 能用最大的资源去处理效果算法,提高了系统的实时性。其次双核模式分工明确,可以对 DSP 和单片机分开进行开发和调试。采用双核系统不仅能实现资源利用的最大化,而且容易开发并能很好地控制成本。

整个系统的组成如图 1 所示。系统中 MCU 主要负责处理人机交互的控制, DSP 主要负责处理音频数据,在此把 MCU 设为主机, DSP 设为从机, MCU 引导 DSP 启动并根据人机交互的数据去控制 DSP 的运行, DSP 在 MCU 的控制下执行相应的算法。音频采集芯片 CODEC 主要负责对音频信号进行编码解码处理,并与 DSP 交换数据。多路选择器 CD4052 实现原音和数字音的通路选择。另外考虑某些算法(如 Delay)对存储空间的要求,给 DSP 扩展了一片 SDRAM,以方便存放音频数据^[2-4]。

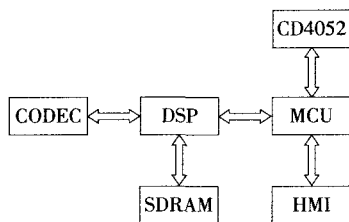


图 1 系统组成结构示意图

3 硬件系统的组成与设计

(1) TI TMS320VC5501 DSP

定点 DSP 专门针对通信设备、音乐效果器与便携式医疗设备而优化设计的,其主频最高可达到 300 MHz,可满足本设计对实时性的要求^[9]。另外,该芯片还提供了丰富的外设接口,方便对其进行扩展使用,且其功

耗很低(不到 200 mW)。DSP 与单片机的连接如图 2 所示, DSP 与单片机之间通过 HPI 接口进行通信。C5501 DSP 提供了一个 8 位并行的 HPI 接口,外部主机可通过它直接访问 DSP 片内的 DARAM。因为 C5501 DSP 的 CPU 是 16 位的,而它的 HPI 接口的数据线只有 8 位,当单片机与 DSP 传送数据时, HPI 接口先自动地将外部传来的连续 8 位数组合成 16 位数,然后再传送给 DSP 进行处理。

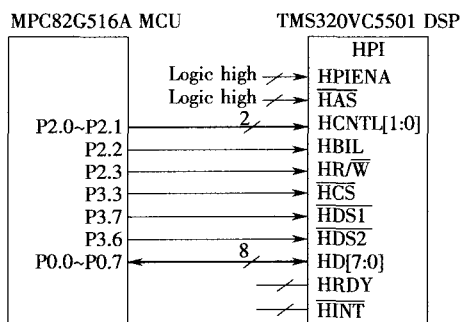


图 2 MCU 与 DSP 的连接

(2) MPC82G516A MCU

C5000 系列的 DSP 分别需要提供 3.3 V 和 1.26 V 的电压,从兼容和统一性上考虑,需选择一款工作电压在 3.3 V 的单片机。台湾 Megawin 公司的 MPC82G516A 单片机是一款基于 C51 内核的单片机,其片内有一个 10 位、8 通道逐次逼近式的模数转换器, 64 KB Flash 和 1 KB 的扩展 RAM。此外,它有两种工作电压模式:3.3 V 和 5 V,从而满足了本系统对电压的要求。

(3) TLV320AIC23B CODEC

CODEC 芯片的选择是决定本设计音质好坏的关键。该芯片是一款通用芯片,具有高精度的编码解码功能,支持 8~96 kHz 的采样频率,可以对数据进行 16, 20, 24, 32 位的采样,在此选取 16 位的采样位数。本系统采用 48 kHz 采样率,在 48 kHz 的采样率中,该芯片 ADC 的 SNR 为 90 dB, DAC 的 SNR 为 100 dB,完全能满足本设计高保真的音质要求,且支持 SPI 控制和 I²C 控制,及旁路输出功能和静音功能,只需正确配置内部 11 个功能寄存器就能使用。它的外围接口主要分为 3 类:配置接口主要是对 TLV320AIC23B 进行初始化;数据转换接口主要是对音频信号进行 AD 或 DA 的转换;数据通信接口主要是与 DSP 交换音频数据。系统中利用 DSP 的 McBSP 接口与 TLV320AIC23B 的数据通信接口连接, DSP 处理来自 CODEC 的数据,为了实时控制信号的传输,把 CODEC 设为主模式, DSP 设为

从模式。

(4) SDRAM

TI TMS320VC5501 提供了一个 EMIF 的接口,该接口可与外部存储器无缝连接。综合考虑对数据存取的实时要求和空间要求,给 DSP 扩展一块 1 M×16 的 EM636165TS-7G SDRAM 以存储算法数据,其存取时间为 7 ns,时钟频率可到 143 MHz,能过满足系统的空间要求和速度要求。

(5) 电源模块

为了减少干扰,系统中的数字电路模块和模拟电路模块分开供电。

(6) 模拟信号信号处理电路

模拟信号处理电路是音频信号的前级处理,如果设计不好,系统就会出现明显的底噪甚至全噪声。系统中主要通过 TL072 运算放大器来解决信号放大和阻抗匹配两个问题。

(7) 信号选通模块

系统中并存原声信号和处理后的信号,根据设计要求,需通过 HMI 实现两路信号实时切换,因此选用了一块四路选择器 CD4052 芯片,该芯片直接由单片机控制。当选择原音信号时,单片机会选通原音这一通路,并发一条指令给 DSP,让 DSP 停止发送数据;当选择数字音时,单片机会关闭原声这一通路,并发一条指令给 DSP,让其继续发送数据。

4 软件的设计与实现

系统软件设计主要包括:系统初始化、控制程序和算法程序。在双核模式下,单片机是负责采集人机界面的数据采集,DSP 负责算法处理,单片机初始化完成后,开始对 DSP,CD4052 和其他电路复位,并通过 HPI 引导方式去引导 DSP 启动,系统复位成功后,单片机开始采集和处理人机交互电路的数据,然后传送到 DSP 片内 DARAM 0x60~0x4000 的空间里,DSP 通过从相应的空间里读取数据来确定当前的运行状态。

4.1 系统的初始化

系统初始化主要是对 MCU,DSP,SDRAM,CODEC 等芯片的初始化。

4.2 系统的工作流程

MCU 和 DSP 工作流程的设计如图 3 所示。

4.3 音频效果算法的设计与实现

效果算法是本系统设计的最终目标,它依托系统硬件和系统程序来实现。从信号处理的原理来说,效果算法处理大致有 3 种途径:调频(如镶边、混响、合唱

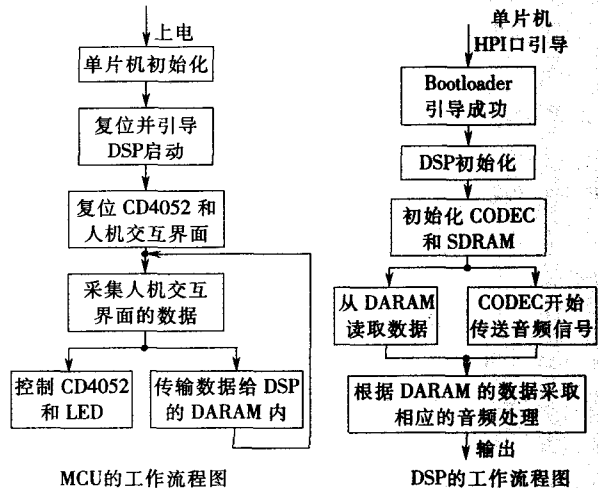


图3 MCU和DSP的工作流程

等);调幅(如震音、失真等);调相(如移相)^[6]。在效果算法的设计中,先借助 Matlab 平台对算法进行仿真,仿真实正确后通过 CCS 平台把该算法移植到 DSP 中,主要涉及的基本算法有延迟、震音、颤音、合唱、镶边、移相等^[7-8]。

(1) 延迟效果算法

延迟效果能够在声音播放间隔一定时间后,再次播放同样的声音,以产生拖延和重复感。将输入信号录制到内存中,经过一段时间间隔后,将其读出并与原声叠加输出,从内存中读出的一部分信号被反馈到输入端,使之再次进入延迟循环。该效果是实现镶边、合唱、颤音、移相等其他效果的基础,其算法原理图如图 4 所示^[9]。Delay 效果有 3 个调节参数:延迟线、反馈和 mix。延迟线决定了原声与反射声之间的时间间隔;反馈决定了从输出端返回到输入端信号量的大小;mix 用来调节原声与延迟声音之间的平衡关系。

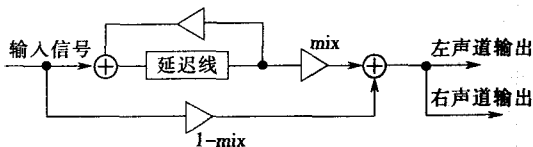


图4 延迟算法原理图

(2) 移相效果算法

它是将经移相处理的声音与原声混合迭加在一起,由于两个声音存在时间差(相位差),迭加后会在某些地方相加形成峰点,在某些地方互相抵消形成谷点。在设计中利用两个二阶全通滤波器去对信号进行移相

处理,并利用三角波去调制这两个全通滤波器的中心频率,再把原信号和经移相处理的信号叠加,其算法原理图如图5所示。该算法有两个调节参数 Rate 和 Depth, Rate 是改变全通滤波器的中心频率的移动速度;Depth 是改变全通滤波器的中心频率的移动范围。

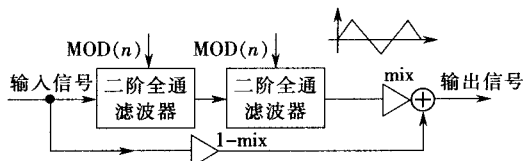


图5 移相算法原理图

(3) 算法调试

算法调试在 CCS 仿真的状态下借助电吉他和音箱实现,通过把在 CCS 仿真下的声音与在 Matlab 仿真下的声音进行对比,来确定各种算法编写是否正确,以及各项参数的设定是否正确,是否产生失真现象等。

5 结束语

主要设计与实现了基于 TI C5501 DSP 为核心的吉他数字效果器,提出了双核控制的模式,并介绍了系统的硬件设计和软件流程,详细分析并实现了延迟、震音、颤音、合唱、镶边、移相等效果。实验表明,该系统正常工作,各种效果算法正确,其音色和音质都达到了预期效果,并可以应用于其他声音处理设备中,具有广阔

的市场前景。

参考文献

- [1] 胡丽琴,王金英,张菊香. 硬件效果器和软件效果器[J]. 音响技术,2008(1):57-60.
- [2] 游林儒,李慧,方昌始. 基于 DSP 的数字效果器的研究[J]. 电子技术应用,2004,30(1):71-73.
- [3] 王彬生,刘梅锋. 基于 DSP 的语音采集与回音效果的系统实现[J]. 电子元器件应用,2007,9(10):36-38.
- [4] 曹晓琳,吴平,丁铁夫. 基于 DSP 的语音处理系统设计[J]. 仪器仪表学报,2005,26(8):583-584.
- [5] 赵洪亮. TMS320C55X DSP 应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [6] ORFANIDIS S J. 信号处理导论[M]. 北京:清华大学出版社,1998,210-300.
- [7] 周忠诚,王春明. 数字音频制作技艺[M]. 杭州:浙江大学出版社,2008:1-95.
- [8] 林志琦,逢林,刘涛. 音频数字音效器的算法[J]. 电声技术,2008,32(5):62-65.
- [9] 王桂清. 混响效果的处理方式[J]. 电声技术,2001(10):48.

作者简介

关康信,本科,主要研究方向为自动化专业;

苏禹,博士,讲师,自动化教研室主任,主要研究方向为自动控制及相关技术;

黎陟,硕士,算法工程师,主要研究音频算法。

[责任编辑] 史丽丽

[收稿日期] 2010-08-10

(上接第 21 页)

相等,装入同样容积的、已经调整好的箱体内,就不需要再调整。当然,一批扬声器不可能 EBP 都一样,根据经验只要与设计的样品误差在 $f_s \pm 5\%$ 和 $EBP \pm 3\%$ 以内,这批扬声器度可以满足要求,不需要再调整开口箱。

3 总体安装应注意的问题

问题七:为什么设计无误,音箱的低音并不好?

笔者回答:还是一个声漏问题。总体安装需注意以下 4 个方面:

(1) 凡是与箱体接触的元器件(扬声器、接线盒、提手等)与箱体之间都需要垫一层衬垫,衬垫的材料要软而有弹性,如橡胶、软发泡塑料膜、吹塑纸等,也可以用不干胶条、橡皮泥。作用有两个:一是防止这些元器件与箱体碰撞产生机械声;二是消除它们之间的缝隙造成的声漏。

(2) 分频器要固定在箱体内,防止产生异常声。

(3) 网板或扬声器布框与箱体之间也需要有防振措施。

(4) 如果接线盒上的接线插座有孔的话(如用传声器插座)要选择封闭的座子。或者在传声器插座的孔内,塞上合适的塞子,防止声漏。

有许多音箱设计及箱体制作都没有问题,问题往往出在总装上。任何很细小的缝隙或者一个直径几毫米的小孔就会产生声漏。要记住一点:漏掉的就是低频。

开口箱装配完成后,用音频信号在额定功率对音箱进行全频扫描,细听有无异常声,主要是某些元器件安装不牢固,还有少数箱体胶合不良。找出产生异常声的原因,加以排除。

(未完待续)

[责任编辑] 闫雯雯

[收稿日期] 2010-06-30