

文章编号:1007-2780(2016)02-0185-08

基于 FPGA 的语音信号波形 VGA 显示方法

陶中幸*

(西北师范大学 物理与电子工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:在基于 FPGA 的语谱分析研究与设计中,需要将语音时域波形和语谱分析结果同时显示在 VGA 屏幕上,而采用一般方法只能在有限的 VGA 显示区域内显示局部波形,无法将完整的一段语音信号波形显示出来。针对这一问题,提出了一种适合 FPGA 实现的语音信号波形 VGA 显示方法。该方法通过分析语音信号的波形特点,以及显示中存在的波形放大、波形缩小两个问题,提出线性插值和保留极值的解决方法,并详细探讨了这两种方法的 FPGA 硬件实现结构。实验结果表明,该方法能够有效地对语音信号进行正确显示。

关键词:现场可编程门阵列;语音信号;波形缩放;波形显示方法;视频图形阵列

中图分类号:TN912.3;TN873 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163102.0185

FPGA-based speech signal waves displayed on VGA screen

TAO Zhong-xing*

(*College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University,
Lanzhou 730070, China*)

Abstract: The speech time-domain waveform and spectrogram analysis results displayed simultaneously on the VGA screen are required in the research and design of spectrogram based on FPGA, by general method, only parts of the waveforms can be displayed in the limited VGA display area, and failed to display complete speech signal waveform. To solve this problem, a method suitable to display VGA speech signal waveform based on FPGA implementation is presented in this paper. By analyzing the speech signal wave characteristic and the problems of waveform zooming in/out in the waveform display, we proposed the solution of linear interpolation and keep-extremum method, and discussed the FPGA implementation structure of the two methods in detail. Experiments show that speech signal can be displayed properly by the method.

Key words: field programmable gate array; speech signal; waveform zoom ; waveform display method; video graphics array

收稿日期:2015-04-14;修订日期:2015-05-18.
基金项目:国家自然科学基金(No. 61263036);西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(No. NWNLU-LKQN-14-21)
Supported by National Natural Science Foundation of China(No. 61263036);Northwest Normal University Youth Teacher's Research Ability Promotion Program(No. NWNLU-LKQN-14-21)
* 通信联系人,E-mail:newwaves@163.com

1 引言

模拟的语音信号通过模数转换器进行采样和量化,以更加直观的方式通过屏幕显示出来,这一简单的波形能够说明信号的很多特性,是现场测量系统中人机交互的重要部分。示波器就是一种很常见的可视化测量仪器,波形显示问题是其研究的重要课题,模拟示波器一般采用随机扫描方式显示波形,即电子枪发出的电子束沿着需要画线的路径移动,直接画出波形,但不利于显示复杂波形^[1],而目前应用较为广泛的数字示波器采用 TFT-LCD 液晶显示技术,支持国际通用显示标准,但显示波形需要设计具体的映射算法^[2]。随着上位机软件的发展,很多测量系统采用数据采集卡+上位机的方式,尤其是基于 LabVIEW 的虚拟仪器的迅速发展^[3],而此时的波形显示方法常常被制作成上位机软件中的控件,只需调用即可完成复杂波形的显示^[4-6]。

现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Arrays, FPGA)是一种可编程使用的信号处理器件,具有高集成度、并行流水处理等特点,在高速数据采集、信号处理等领域得到了迅速发展^[7-8]。本文在研究设计基于 FPGA 的语谱分析系统时^[9-10],首先对语音信号进行采集,然后经过一系列数字信号处理过程,最后将生成的语谱图进行 VGA 显示,在这个过程中通常需要将采集的语音信号进行显示,显示效果应与上位机显示效果相同,并具有缩放功能,即可通过选择按钮能够查看某一时间段信号,也能查看完整的信号,但由于采集信号的数据长度和 VGA 显示区域长度不一致,使得采用逐点对应的显示方法显示波形,即使是满屏也显示不了一个完整的波形。

为此,提出了一种适合 FPGA 实现的语音信号波形 VGA 显示方法,通过分析语音信号波形特点和对比 VGA 显示区域横轴长度与显示数据长度,针对显示中存在的波形放大、波形缩小两个问题,提出线性插值和保留极值的解决方法,并详细的探讨了这两种方法的 FPGA 实现结构,最终实现了语音信号波形的缩放显示。

2 问题的描述

2.1 语谱分析原理

如图 1 所示,首先对语音信号进行采集,然后做短时傅里叶变换,并求出幅度谱,对连续的多帧信号的幅度谱进行存储,就会生成语谱幅度谱的灰度图像,这一幅灰度图像就是语音信号的语谱图^[9-10]。对于语谱图的显示界面常常采用图 1 中 VGA 界面所示,既能看到信号的时域波形,又能看到信号的语谱图。

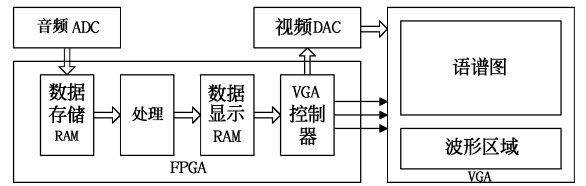


图 1 语谱分析系统
Fig. 1 Spectrogram analysis system

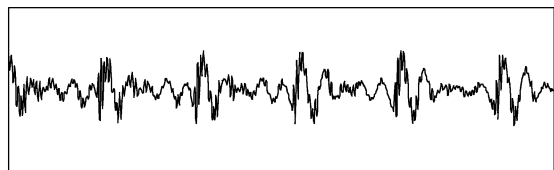
2.2 VGA 显示原理

VGA 是 IBM 公司在 1987 年随 PS/2 机一起推出的一种视频传输标准,采用逐行扫描方式,从屏幕的左上方开始扫描:从左至右,从上至下。每扫完一行图像,电子束回到屏幕的左边开始扫描下一行图像,直到扫描完整幅图像,回到屏幕左上方。每行结束时,用行同步信号进行行同步;扫描完所有行后用场同步信号进行场同步。在 VGA 接口协议中,不同的显示模式都有严格的工业标准,不同的分辨率或不同的刷新频率,其时序也不相同^[11]。本文设计的 VGA 控制器显示标准为 1 280×1 024@60 Hz,像素时钟为 108 MHz,由 FPGA 外接 100 MHz 晶振,使用其内部锁相环经倍频后得到。设计多个 FPGA 片内计数器,以计算出的各时序段时钟周期数为基准,产生不同宽度和周期的脉冲信号,并利用它们的逻辑组合产生视频 DAC 的控制信号和 VGA 接口的同步信号。

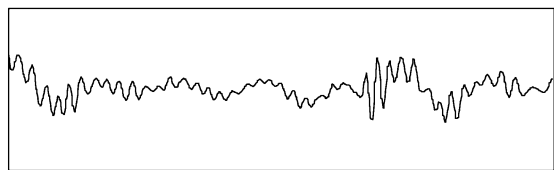
2.3 语音波形显示存在的问题

本文设计以 FPGA 为开发平台,通常实现 VGA 信号波形的显示方法有两种^[12],一种是对应逐点显示,另一种是矢量显示;第一种适合显示频率较低,且相邻点变化缓慢的信号波形,第二种适合显示任意信号波形,语音波形也不例外。但

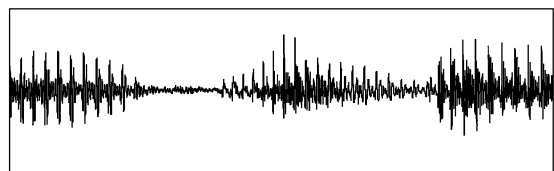
上述两种显示方法存在着不足:只对波形显示数据长度和VGA显示区域横轴像素点数一致的情况下,如图2(a)所示,做了详细的显示方法探讨,当波形显示数据长度与VGA显示区域横轴像素点数不相等时,存在以下两种情况:



(a)语音波形标准显示(显示数据长度等于VGA显示区域横轴长度)



(b)语音波形放大显示(显示数据长度等于VGA显示区域横轴长度)



(c)完整语音波形显示(显示数据长度等于VGA显示区域横轴长度)

图2 语音波形显示3种情况

Fig. 2 Three cases of speech waveform display

情况一:如图2(b)所示,当波形显示数据长度小于VGA显示区域横轴像素点数时,即波形显示区域内只有若干个点。例如:假设显示区域横轴像素点为1 024,需要把小于1 024个数据点的波形显示出来,且要求波形美观体现细节。

情况二:如图2(c)所示,当波形显示数据长度大于VGA显示区域横轴像素点数时,即需要将多个数据点都要显示在波形显示区域内。例如:假设显示区域横轴像素点为1 024,需要将大于1 024个数据点的波形全部显示出来,要求波形美观且保持大致轮廓不变。

3 VGA波形显示方法

3.1 波形显示模型

对于波形的显示,可以利用行、场同步信号的计数器,在显示可视区间内按照波形区域的大小划定行和列的起始坐标和终止坐标,当扫描点在显示区域内时,根据扫描点在显示区中的相对坐标位置,计算得到当前要显示的像素点在数据存

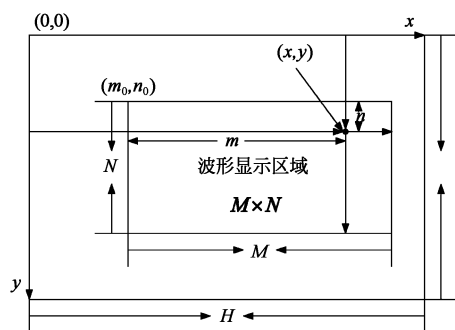


图3 显示布局示意

Fig. 3 Display layout diagram

储器中的地址,然后读取进行显示。

图3中, x 表示行计数器的计数值(行坐标), y 表示列计数器计数值(列坐标),显示的分辨率为 $H \times V$, (x, y) 为显示区域内的任意一像素点。波形显示区域的大小为 $M \times N$,起始点为 (m_0, n_0) , (m, n) 则为扫描点在波形显示区域中的相对坐标。当扫描点到达波形显示区域时,满足以下关系:

$$\begin{cases} m_0 \leq x \leq m_0 + M \\ n_0 \leq y \leq n_0 + N \end{cases}, \quad (1)$$

则有 $m = x - m_0$, $n = y - n_0$;此时,可以将 m 作为波形显示存储器的地址,取出波形数据进行显示,波形显示存储器的大小设置为 M ,而 N 直接决定了显示波形的幅度。为研究语音信号波形显示方法,本文只是针对语音信号波形显示方法,设计波形显示区域为上下两部分,大小都为 $1\,024 \times 512$ 。

3.1 波形显示方法

假设数据存储RAM中的数据为 $X(k)$,数据宽度为16 bit,长度为 L ,通常为2的幂次方,波形显示RAM中的数据为 $x(k)$,长度就是波形显示区域的横坐标像素点数 M ,需要显示的波形数据为 $X_t(k)$,长度为 l ,满足 $l \leq L$,补零调整后的显示波形数据为 $X_{t_0}(k)$,长度为 l_0 ,满足 $l \leq l_0 \leq L$ 。由此可有当 $l < M$ 时,即波形放大,当 $l > M$ 时,即波形缩小,当 $l = M$ 时,就是文献[12]中所探讨的问题。

3.1.1 波形放大

当 $l < M$ 时,问题的实质就是要对波形数据点之间进行插值。信号波形插值通常有线性插值、非线性插值和正弦插值等^[13],其中,线性插值是以直线连接实际采集的两个相邻点,计算方便

快速,非线性插值以幂级数多项式来拟合数据点,再根据多项式求得插值,效果较线性插值好,但计算量很大,正弦插值是对采样定理推出的内插公式的实际应用,对于正弦信号的插值效果很好。本文中针对语音信号,采用线性插值方法进行计算,具体波形展开步骤如下:

(1) 选择需要显示的信号波形数据段 $X_t(k)$, 存放在临时存储器中。为便于 FPGA 硬件处理,数据段长度 l 选为显示区域宽度 M 的 2 的幂次方分之一,不足时需要进行前后补零操作,调整后的显示波形数据为 $X_{t_0}(k)$, 长度满足 $l_0 = M/2^k$ 。

(2) 采用线性插值算法,计算两个相邻点之间的插值,最终生成长度为 M 的波形显示结果 $x(k)$, 并依次存进波形显示 RAM 中。

(3) 根据 VGA 显示时序,正确读取波形显示 RAM 中数据 $x(k)$, 进行显示。

3.1.2 波形缩小

当 $l > M$ 时,即需要将多个数据点都显示在波形显示区域内。简单做法是按照一定的规律均匀抽取部分点进行显示,这种方法具有随机性,波形数据丢失严重,尤其是波形中的极值点,在长段语音信号波形需要显示时,造成整体波形显示出的轮廓不正确,不能正确反映波形变化情况。

为更加逼真地显示出波形的整体轮廓,一种方法是:假设波形数据长度为 MT 点,即显示数据长度为显示区域横轴长度 M 的 T 倍,按照 $m, T+m, 2T+m, \dots, (M-1)T+m$ 的规律,其中 $m=0, 1, 2, \dots, T-1$, 依次存储在 T 个波形显示 RAM 中。当 VGA 扫描点到达波形显示区域内时,读取这 T 个波形显示 RAM 中的数据,然后采用文献[12]中的方法二,对每个波形显示 RAM 中的数据都进行显示,这样做的好处可以将整段波形的所有点都可以显示出来,缺点是需要的存储器资源较多,屏幕显示结果较乱。

另一种方法是:仔细观察图 1(c) 所示语音信号波形就可发现,当需要将整段波形都要显示出来时,波形细节变化情况无法看清,只有波形的大致轮廓。因此提出保留波形中的极大值和极小值,将非极大值和非极小值数据点丢失,以此来体现波形的变化情况。区别于第一种方法,本方法可以保留波形的轮廓,能够反映出波形的变化情况,且所需的存储器资源较少,非常适合波形压缩

显示。具体做法如下:

步骤一:选择需要显示的信号波形数据段 $X_t(k)$, 存放在临时存储器中。同理,为便于硬件处理,数据段长度 l 应选为显示区域宽度 M 的整数倍,不足时需进行前后补零操作,调整后的显示波形数据为 $X_{t_0}(k)$, 长度满足 $l_0 = T \cdot M$ 。此时的 T 表示需要压缩的倍数,即得出需要将 T 个点合并为一个点。

步骤二:从数据 RAM 中读取需要合并为一个点的 T 个所有数据点,并按照原存放顺序从小到大依次编号,构成数据 $X_{t_1}(k)$, 然后比较 $X_{t_1}(k)$ 中数据值的大小,得到最大值和最小值,此时 $X_{t_1}(k)$ 中的编号值不参与比较,但参与赋值。最后根据最大最小值的编号大小合并成新的数据 $x(k)$, 编号较小者 $x_h(k)$ 放在高位,较大者 $x_l(k)$ 放在低位。编号的主要目的是保留最大值和最小值在原数据存储器中的顺序,编号较小意味着排序较前,编号较大意味着排序较后。

步骤三:当 VGA 扫描点到达波形显示区域内部,计算得到当前扫描点的纵坐标值和横坐标值,根据横坐标值读取波形显示 RAM 中的 $x_h(k)$ 和 $x_l(k)$, 然后与纵坐标值相比较,如扫描点的纵坐标值处于 $x_h(k)$ 和 $x_l(k)$ 之间则显示,否则不予显示。即满足

$$x_h(k) \leq n \leq x_l(k) \text{ 或 } x_l(k) \leq n \leq x_h(k) .$$

与此同时,读取前一个像素点低位数据 $x_l(k-1)$, 与当前像素点高位数据 $x_h(k)$ 之间比较,当扫描点的纵坐标值在中间就显示,否则不予显示。即满足 $x_h(k) \leq n \leq x_l(k-1)$ 或 $x_l(k-1) \leq n \leq x_h(k)$ 。

4 FPGA 实现结构

对于波形放大,需要进行线性插值,其 FPGA 实现结构可通过简单的加法和移位操作可以实现。图 4 所示为典型的四倍线性插值 FPGA 实现结构,只要协调好前后存储器之间的时序,重点设计有符号数的加法和移位操作,就能很好的地实现。多倍线性插值可通过增加加法和移位操作,并协调读取、运算、存储之间时序的方法实现,结构与图 4 类似。

波形缩小的 FPGA 实现方法如图 5 所示,首先将 T 个数据依次读出并编号,第一个读出的数

据编号为 0,第二个为 1,依次进行编号,然后存放在寄存器中,其中寄存器前 10 在寄存器中,其中

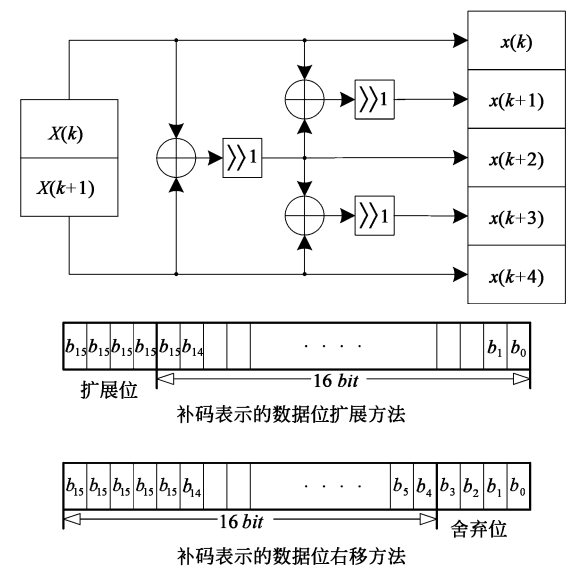


图 4 四倍线性插值的 FPGA 实现

Fig. 4 Implementation of linear interpolation with FPGA

寄存器前 10 数据,共计 26 位,这样做也是串行转并行的关键。然后每两个寄存器为一组比较大小,进行全并行处理,保存较大者及其编号,较小者及其编号,如果只有一个数据时,将此数据直接写入后一级寄存器中,一级流水处理结束,接下来再对所有较大者两两比较,较小者两两比较,保存较大者及其编号,较小者及其编号,二级流水处理结束。按照上述规律依次进行比较,最终获得 T 个数据中的最大值及其编号,最小值及其编号。为避免波形显示时多次读取存储器,将最大最小值合并为一个数据存放在显示存储器中,合并根据两个数据的编号进行,其中编号较小者存放在高 16 位,编号较大者存放在低 16 位,舍弃最大最小值的编号。波形显示存储器调用 FPGA 内部嵌入式 RAM,数据宽度为 32 bit。在设计中还需要注意的是语音信号波形数据用二进制补码表示,对有符号数的大小进行比较要巧妙设计,本设计采用统一加上一个固定值,使其全部数据均为正数再进行比较。

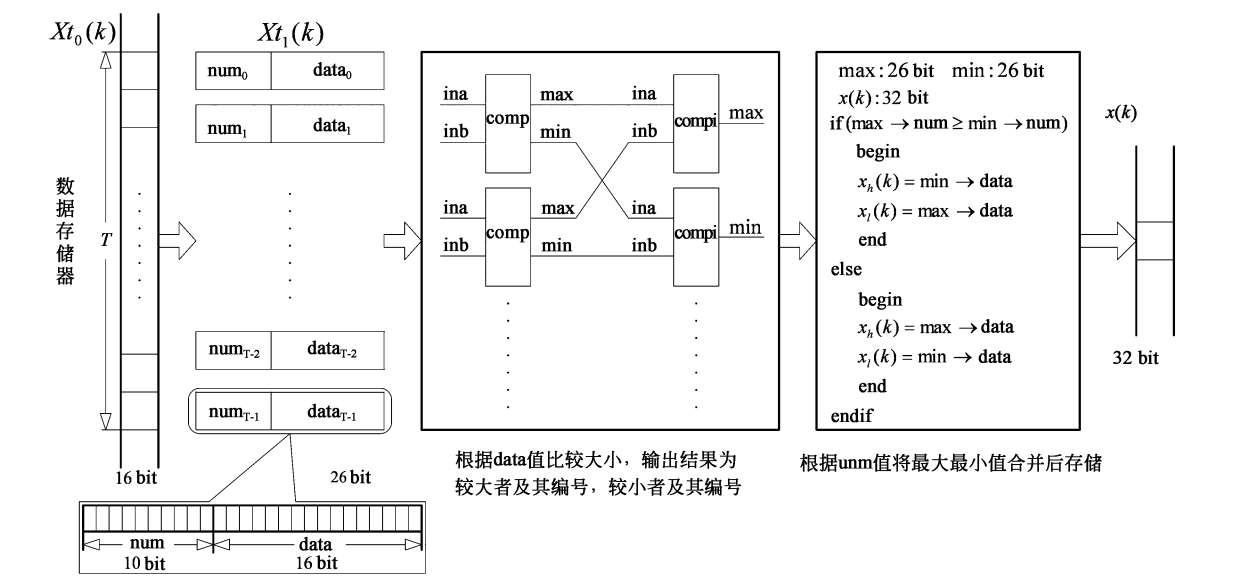


图 5 FPGA 实现波形缩小方法

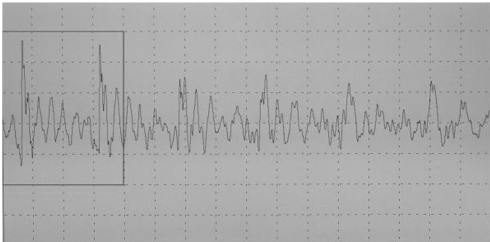
Fig. 5 Implementation of waveform zoom-in by FPGA

5 实验结果分析

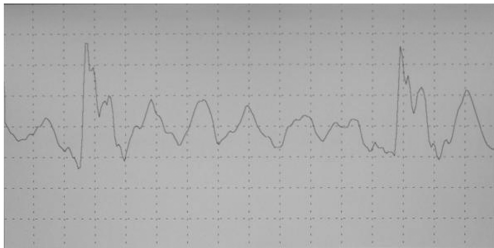
实验平台选用 Stratix II DSP Development Board 开发套件^[14],核心 FPGA 处理芯片型号为

EP2S180F1020-3,开发软件主要是 Quartus II 11.0,采用 Verilog HDL 硬件描述语言编程实现;VGA 显示器为 lenovo ThinkVision L1710A 17 寸标准屏;使用 Canon PC1620 相机拍摄显示结果,与 Matlab 显示结果进行对比。

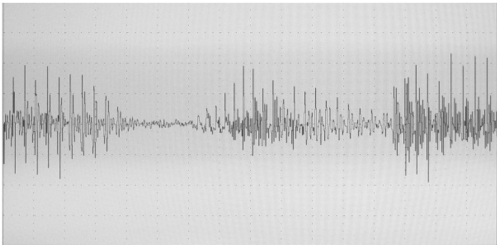
实验中对一段语音信号进行显示。图 6 中 (a)图是显示的数据长度等于显示区域宽度时, VGA 显示的波形;图(b)显示的波形是对图(a)中红色方框内的波形进行 4 倍插值后的显示结果,波形显示光滑,没有明显的台阶式波形,效果



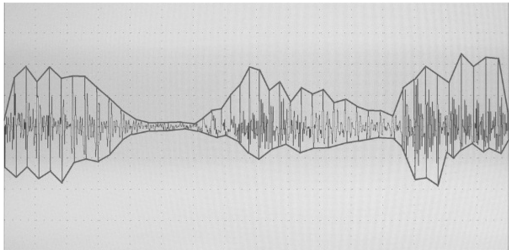
(a) VGA 正常显示波形
(a) Normal waveform display on VGA



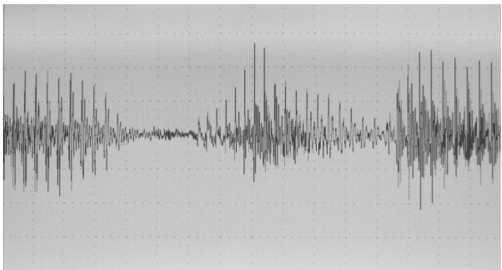
(b)图(a)中红色区域波形放大
(b) Red area waveform zoom-in



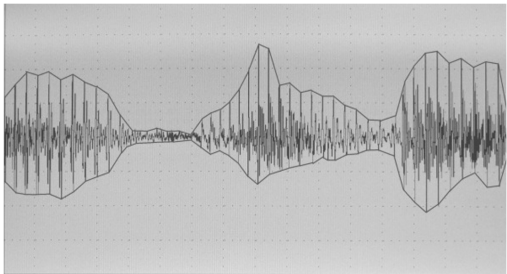
(c)均匀抽取方法显示波形
(c) Waveform display using uniform extraction method



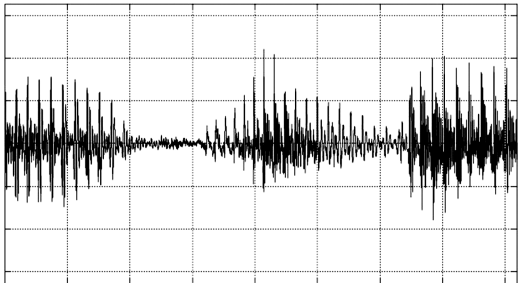
(d)描绘图(c)波形轮廓
(d) Outline of Figure (c) waves



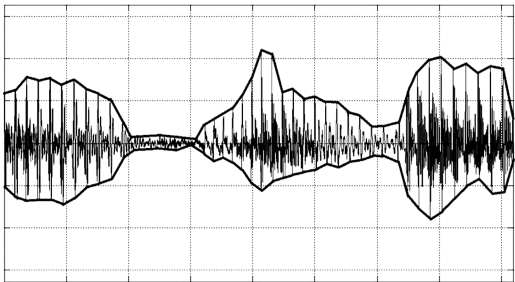
(e)本文方法显示波形
(e) Waveform display based on this paper



(f)描绘图(e)波形轮廓
(f) Outline of Figure (e) waves



(g)采用 Matlab 显示波形
(g) Waveform display based on Matlab



(h)描绘图(g)波形轮廓
(h) Outline of Figure (g) waves

图 6 实验结果
Fig. 6 Experimental results

明显;图(c)是对波形采用均匀抽取数据点的方法进行压缩显示,图(d)描述图(c)显示波形的波形轮廓;图(e)为采用本文方法进行压缩显示结果,图(f)是对图(e)中波形的轮廓进行刻画;图(g)是采用 Matlab 对同一段语音信号的显示效果,图(h)是将 Matlab 显示的波形轮廓进行强调;对比图(d),图(f)和图(h)中红线描绘的波形变化轮廓,可以发现:采用均匀取点显示方法对波形进行压缩显示,由于不能确保每次都能抽取到波形的峰值,因此不能保留波形的大致轮廓,使得最终显示效果和实际波形不符,不能很好地反映出波形的变化情况。采用本文提出的保留局部极值的方法,由于可以很好地保留波形的极值点,从而使得显示效果和实际信号波形接近,能够反映出波形的变化情况。

6 结 论

在研究基于 FPGA 的语音信号语谱分析系统时,需将语音时域波形和语谱分析结果同时显示在 VGA 屏幕上,以便更加直观地显示语音信号的特征,但由于语音信号的非线性特点,通常都需要将完整的一段波形显示出来,而采用文章[12]中的方法无法满足显示要求。因此,提出了线性插值方法和保留极值的方法,并详细地探讨了两种方法的 FPGA 硬件实现结构,解决了波形数据长度与 VGA 显示区域横轴长度不一致的问题,实验结果进一步表明,本文提出的方法能够对语音信号进行直观正确显示,达到了美化波形显示的效果,满足了系统要求。

参 考 文 献:

- [1] 葛霁光,封洲燕.兼具两种扫描制的显示器[J].浙江大学学报(自然科学版),1991,25(2):182-187.
GE J G, FENG Z Y. Display with two scanning methods [J]. *Journal of Zhejiang University (Natural Science)*, 1991, 25(2): 182-187. (in Chinese)
- [2] 俞伟华. TFT-LCD 液晶显示技术及其应用[J]. 自动化仪表, 2001, 22(12): 25-28.
YU W H. TFT-LCD Liquid crystal display technology and its application [J]. *Process Automation Instrumentation*, 2001, 22(12): 25-28. (in Chinese)
- [3] 陈敏,汤晓安.虚拟仪器软件 LabVIEW 与数据采集[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(4): 501-503.
CHEN M, TANG X A. Virtual instrument software-LabVIEW and data acquisition[J]. *Mini-Micro Systems*, 2001, 22(4): 501-503. (in Chinese)
- [4] 郭林娜,林辉,方鹏.测控系统中实时曲线的绘制[J]. 测控技术, 2006, 25(5): 63-66.
GUO L N, LIN H, FANG P. Curve drawing in measurement and control system[J]. *Measurement & Control Technology*, 2006, 25(5): 63-66. (in Chinese)
- [5] 寇光杰,武玉强.基于 VC++ 线程的动态数据曲线的绘制方法[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(5): 178-180.
KOU G J, WU Y Q. A method of plotting dynamic data curve based on the thread of VC++ [J]. *Application Research of Computers*, 2004, 21(5): 178-180. (in Chinese)
- [6] 吴建飞,程明霄.嵌入式 Linux 图形系统实时采样曲线绘制的实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(19): 259-261.
WU J F, CHENG M X. Implementation of real-time curve plotting under embedded Linux graphic system[J]. *Computer Engineering*, 2007, 33(19): 259-261. (in Chinese)
- [7] 杨海钢,孙嘉斌,王慰. FPGA 器件设计技术发展综述[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(3): 714-727.
YANG H G, SUN J B, WANG W. An overview to FPGA device design technologies [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(3): 714-727. (in Chinese)
- [8] 邵磊,倪明.基于 FPGA 的高速数据采集系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2011, 37(19): 221-223.
SHAO L, NI M. Design and implementation of high speed data acquisition system based on FPGA [J]. *Computer Engineering*, 2011, 37(19): 221-223. (in Chinese)
- [9] 孙红英,杨鸿武,陶中幸.语谱分析的 FPGA 实现[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(5): 1238-1242.
SUN H Y, YANG H W, TAO Z X. Realization of spectrogram analysis with FPGA [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(5): 1238-1242. (in Chinese)

- [10] 陶中幸,裴东,王全州,等. 基于现场可编程门阵列的语谱图显示与增强[J]. 计算机应用, 2011, 31(7): 1995-1997, 2000.
- TAO Z X, PEI D, WANG Q Z, *et al.* Display and enhancement of spectrogram based on field programmable gate array [J]. *Journal of Computer Applications*, 2011, 31(7): 1995-1997, 2000. (in Chinese)
- [11] 刘威,石彦杰,高博. 基于 FPGA 的 VGA 显示模式识别[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(4): 152-155.
- LIU W, SHI Y J, GAO B. FPGA-based VGA display mode recognition [J]. *Computer Engineering & Science*, 2008, 30(4): 152-155. (in Chinese)
- [12] 胡建革,宋海声,陶中幸,等. 基于 FPGA 的 VGA 波形显示方法研究[J]. 微型机与应用, 2011, 30(16): 39-42.
- HU J G, SONG H S, TAO Z X, *et al.* Research of VGA waves display method based on FPGA [J]. *Microcomputer & Its Applications*, 2011, 30(16): 39-42. (in Chinese)
- [13] 茹畅,童乃文,郑建. 在波形显示中的内插技术[J]. 电子测量与仪器学报, 1991, 5(4): 14-20, 62.
- RU C, TONG N W, ZHENG J. The interpolation technique in the waveform display [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 1991, 5(4): 14-20, 62. (in Chinese)
- [14] Stratix II EP2S180 DSP development board reference manual[S]. San Jose: Altera Corporation, 2005.

作者简介:陶中幸(1986—),男,甘肃白银人,硕士,助教,研究方向为数字信号处理及其 FPGA 实现。E-mail:newwaves@163.com