

基于 TMS320VC5509 的基音周期 实时检测系统的设计

·系统设计·

贾 亮, 危国腾, 赵鹏飞

(沈阳航空工业学院 电子信息工程学院, 辽宁 沈阳 110136)

【摘 要】 通过芯片 TMS320VC5509 和 TLV320AIC23 构建一个语音采集、数据处理的系统, 实现了实时提取基音周期。在处理算法上, 经过低通滤波之后对语音信号进行“三电平中心削波”处理, 最后作自相关运算获取基音周期。实验结果表明, 经过三电平中心削波能够很大程度地简化自相关函数的计算, 从而有效和快速地提取基音周期。

【关键词】 TLV320AIC23 芯片; 低通滤波; 三电平中心削波; 基音周期

【中图分类号】 TP391.4

【文献标识码】 A

Design of Pitch Period Real-time Detection System Based on TMS320VC5509

JIA Liang, WEI Guo-teng, ZHAO Peng-fei

(Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110136, China)

【Abstract】 TI's DSP chip TMS320VC5509 and codec chip TLV320AIC23 are used to build a voice acquisition and data processing system, which achieves real-time extraction of pitch. In the treatment algorithm, after low-pass filter on the voice signal and the three-level center clipping processing, the final auto-correlation function is used to get pitch. The experimental results show that the three-level center clipping can greatly simplify the calculation of auto-correlation function, so as to achieve effective and rapid extraction of pitch.

【Key words】 TLV320AIC23 chip; low-pass filter; three-level center clipping; pitch period

1 引言

基音周期是语音信号最重要的参数之一, 其描述了语音激励源的一个重要特征。基音周期信息在多个领域具有广泛的应用, 如: 语音识别、说话人识别、语音分析与综合以及低码率语音编码、发音系统疾病诊断、听觉残障者的语言知道等。传统的基音检测方法有自相关函数法、平均幅度差函数法、倒谱法^[1]等, 但通常效果不是很好。声道的共振峰特性会干扰基音周期的提取, 因而本系统在进行自相关计算之前先经过低通滤波消除共振峰的影响^[2], 然后经过三电平中心削波^[3], 将削波后的语音信号做短时自相关运算, 浊音信号的短时自相关函数在基音周期的整数倍位置上出现峰值, 检测峰值的位置就可提取基音周期值。将该算法移植到 TMS320VC5509 上, 可以实时检测基音周期。

2 算法分析

基音周期提取的流程如图 1 所示。

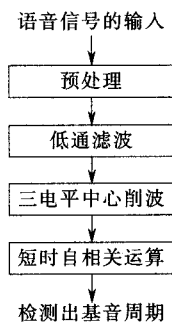


图 1 基音周期提取流程框图

2.1 预处理

预处理首先由芯片 TLV320AIC23 对语音信号进行采集, 经 A/D 转换将模拟语音信号转换成数字语音信号, 接下来就是对信号进行加窗(可以采用汉明窗)分帧和端点检测。

2.2 低通滤波

系统采用窗函数设计法来进行 FIR 滤波器的设

计。窗函数设计法的基本思想是选取某一适合的理想频率特性选择性滤波,然后将它的脉冲响应截断以得到一个线性和因果的 FIR 滤波器。在设计数字滤波器时,通常采用 MATLAB 来进行辅助设计和仿真。根据给定的滤波器技术指标,选择滤波器长度和窗函数,使滤波器具有最窄的主瓣和最小的旁瓣。

MATLAB 函数 *fir1* 可以用来设计加窗的有限冲激响应数字滤波器^[4]。*fir1* 函数用于设计常规的低通、高通、带通和带阻线性相位有限冲激响应滤波器。在系统中设计低通滤波器,调用命令为: $b=fir1(N,W_n,Window)$ 。其中, N 为滤波器的阶数,因此 $h(n)$ 的长度为 $N+1$; W_n 为归一化低通截止频率, $0 < W_n < 1$,这是以采样频率为基准频率的标称值,故 1 对应采样频率的一半; $Window$ 表示设计 FIR 滤波器所采用的窗函数类型,以列向量形式表示。向量 $Window$ 的长度必须为 $N+1$,若 $Window$ 缺省,则 *fir1* 默认使用汉明窗(Hamming),返回值 b 为设计的 FIR 滤波器系数。笔者根据要求设计一个 20 阶、截止频率为 900 Hz(采样频率为 8 kHz)的 FIR 低通滤波器,用来滤去高频谐波分量对语音信号的影响。则 3 dB 截止频率 $\omega_c=0.225\pi$, $W_n=0.225$, $N=19$,在 MATLAB 中调用设计低通滤波器的格式为: $b=fir1(19,0.225)$,设计中选择默认值。之所以将此滤波器的高端截止频率设置为 900 Hz,是因为既可以除去大部分共振峰的影响,又可以当基音频率为最高 450 Hz 时仍能保留其一二次谐波。

2.3 三电平削波

计算自相关函数的运算量很大,原因是计算机进行大量的乘法运算非常费时。尽管近年来随着数字信号处理器的广泛使用,实时地计算自相关函数已经不是问题,但在基音检测中仍然有一些减少短时自相关运算的有效方法。例如采用三电平中心削波的方法^[5],其削波函数为

$$y(n)=C[x(n)]=\begin{cases} 1, & x(n)>C_L \\ 0, & |x(n)|\leq C_L \\ -1, & x(n)<-C_L \end{cases} \quad (1)$$

式中, C_L 为削波电平,通常 C_L 的值取为该段语音最大采样值的 68%; $x(n)$ 为经过预处理后的语音信号; $y(n)$ 为削波后的信号。因为削波后的信号的取值只有 -1,0,1 这 3 种情况,因而不需要作乘法运算而只需要简单的组合逻辑即可,也就为处理语音信号的实时、快捷提供了坚实的基础。采用三电平中心削波的另一个原因是可以减小共振峰周期性对基音周期性的影响。语音信号的低幅度部分包含大量的共振峰信息,而高幅度

部分包含大量的基音信息,经过中心削波后只保留了超过削波电平的部份,其结果是削去了许多和声道响应有关的波动。中心削波后的语音通过自相关函数,这样在基音周期位置呈现大而尖的峰值,而其余的次要峰值幅度都很小。

2.4 短时自相关运算

获取基音周期的最后一步是进行自相关函数运算,假设信号具有周期性,则其自相关函数也是同周期的周期函数。而浊音语音信号近似于一个准周期信号,一般认为在 10~30 ms 内语音信号特性基本上是不变的,也就是说在短时范围内,可以认为浊音信号也具有周期性。定义语音信号 $x_n(m)$ 的短时自相关函数^[6] $R_n(k)$ 的计算式为

$$R_n(k)=\sum_{m=0}^{N-1-k} x_n(m)x_n(m+k), \quad 0 < k \leq K \quad (2)$$

式中, K 是最大函数的延迟点数。

短时自相关函数具有一个很重要的性质:如果 $x_n(m)$ 是周期的(设周期为 N_p),则自相关函数是同周期的周期函数,即 $R_n(k)=R_n(k+N_p)$ 。如果有一个浊音语音信号,周期为 N_p ,则在取样 $0, \pm N_p, \pm 2N_p, \dots$ 处,其自相关函数 $R_n(k)$ 具有明显的峰值且呈周期分布,而笔者需要的结果就是检测出 $R_n(k)$ 峰值的位置,一旦知道 $R_n(k)$ 峰值的位置后,基音周期也就提取完毕。

3 系统的 DSP 实现

系统中采用的高速 TMS320VC5509, TMS320VC55X 是 TI 公司 C5000 DSP 系列中最新的一代产品^[7]。C5000 系列的主要特点是低功耗^[8],非常适合在音频处理方面的应用。同时它能快速地完成语音信号的运算、基音周期的检测。而 AIC23 是 TI 公司最新推出的一款高性能、集成有模拟功能的立体声音 CODEC。该器件中 A/D 和 D/A 变换器采用具有集成采样数字内插滤波器的技术,字传输字长可为 16 bit, 20 bit, 24 bit 和 32 bit, 采样率为 8~96 kHz^[9]。它能以数字和模拟电压运行,这些电压与 TMS320VC5509DSP 的 I/O 电压是兼容的,能实现与 C5509DSP 的 MCBSP 端口的无缝连接,使系统设计更加简单。图 2 是 AIC23 与 VC5509 接口示意图。

AIC23 与 VC5509 的接口有 2 个:(1) 控制接口:通过该接口对 AIC23 的控制寄存器编程,来设置 AIC23 的工作参数;(2) 数据接口:用于传输 AIC23 的 A/D 和 D/A 数据。

其中,AIC23 的控制接口又有 2 种工作模式,即 3 线制(MODE 引脚接高电平,对应 SPI 模式)SPI 和 2 线

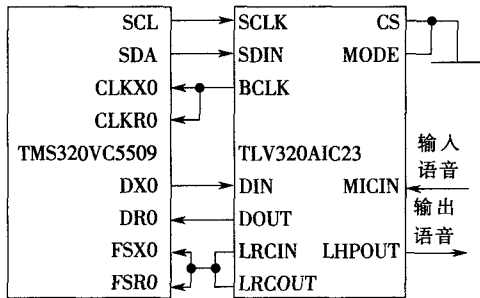


图 2 TMS320VC5509 与 TLV320AIC23 的连接示意图

制(MODE 引脚接低电平,对应 2 线模式)^[10],本系统是通过 2 线模式将配置命令发送到 AIC23,配置完成后 AIC23 开始工作^[11],系统流程如图 3 所示。

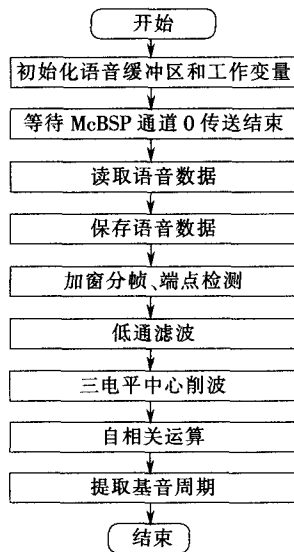


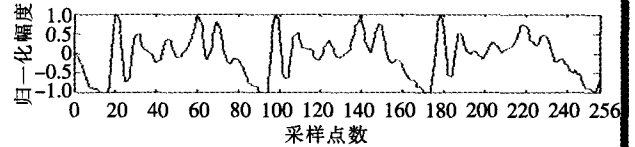
图 3 系统流程图

AIC23 通过其中的 AD 转换采集输入的语音信号,每采集完一个信号后,将数据发送到 VC5509 的 McBSP 接口上,VC5509 可以读取到语音数据,每个数据为 16 位无符号整数,左右通道各有一个数值。随后对数字语音信号进行加窗分帧、端点检测、滤波、三电平中心削波,最后作自相关运算完成基音周期的提取。

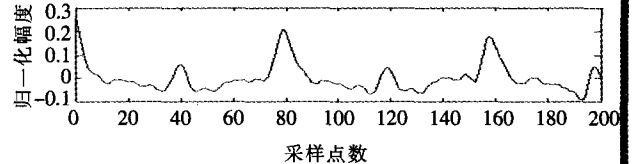
4 实验结果

图 4 所示为一男音“好”的基音检测结果。图 4(a)所示为数字语音信号在代码集成开发环境(Code Composer Studio, CCS)界面中显示的原始语音波形信号。系统以 8 kHz 的采样频率进行采样,一帧信号含有 256 个采样点,所以这段语音的长度为 32 ms,而基音周期的范围为 3~25 ms。因此,这段语音信号包含了一个以上的基音周期,可以用于基音分析。这段语音信号呈现准周期性,但由于受噪声等因素的影

响,周期性并不明显。从图中,可以大约估计基音的周期为 80 个采样点,基音周期为 10 ms。图 4(b)则是经过自相关函数后得出的波形图。可以看出,在采样点值 80 处有最大峰值,也就完成了基音周期的提取。



(a) 语音信号波形图



(b) 自相关函数波形图

图 4 男音“好”的基音检测结果

5 结语

笔者通过芯片 TMS320VC5509 和芯片 TLV320AIC23 完成了基音周期的检测。系统因为采用了三电平中心削波算法,减少了大量的乘法运算,提高了系统的实时性。实验结果表明,该系统具有实时、可靠、鲁棒性强、准确率高的特点。在实际应用中,如语音识别、说话人识别等中,基音周期是一个很重要的语音参数,只有准确地提取基音周期,才能为进一步的语音处理打下坚实的基础。

参考文献

- [1] 胡航. 语音信号处理[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002:104-112.
- [2] 徐向美, 黄乡生. 基于 DSP 的语音信号 FIR 滤波系统的实现[J]. 电子元器件应用, 2008,10(5): 51-52.
- [3] 吴汝明, 辛小霞, 李惠欢. 基于三电平中心削波自相关分析的钢琴音准测量[J]. 计算机工程与应用, 2006,42(18):207-209.
- [4] MITRA S K. 数字信号处理实验指导书(MATLAB 版)[M]. 孙洪,余翔宇,译.北京:电子工业出版社,2005:105-111.
- [5] 韩纪庆,张磊,郑铁然. 语音信号处理[M]. 北京:清华大学出版社,2005: 86-88.
- [6] 赵力. 语音信号处理[M].北京:机械工业出版社,2003:38-40.
- [7] 汪春梅, 孙洪波. TMS320C55x DSP 原理及应用[M]. 2 版.北京:电子工业出版社, 2008:16-20.
- [8] LIN Qi, ZHANG Yong-hong, BAI Jing. Development of portable ECG monitor on low-cost DSP[J]. Springer

(下转第 62 页)

帧作频谱幅度的谐波重构,作傅里叶反变换,对各帧在时域作叠加从而得到了在巴克域上和原始语音信号几乎完全相同的语音信号(图4)。表1列出了各种方法处理后的语音信噪比。

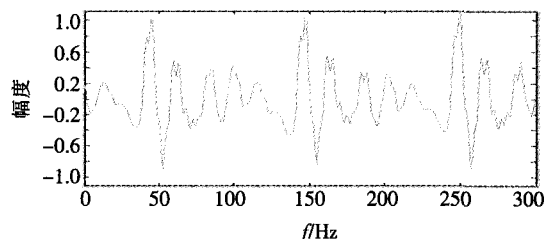


图4 谱估计后谐波重构的语音片段

表1 各种增强处理后的信噪比 dB

带噪语音	文献[5]	卡尔曼滤波	TLS-ESPRIT
-5	0.8	0.7	1.1
0	2.6	2.3	2.9
5	7.5	7.4	7.9
10	13.4	13.2	14.2

5 结束语

应用 TLS-ESPRIT 算法对语音信号进行谱估计,用估计的语音谐波信号的频率、幅度、相位信息重构语音,得到了在巴克域上与原始语音几乎相同的语音信号。该方法不需要知道噪声的空间分布,且计算量小。合成后的语音较好地解决了帧与帧残留噪声的影响,提高了语音信号的信噪比,并使语音有较好的自然度。

参考文献

- [1] LI F, VACCARO R J. Performance degradation of DoA estimators due to unknown noise fields[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1991, 39(11): 2436-2449.
- [2] 吴云韬.非平稳、色噪声环境下的参数估计方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2003.
- [3] EPHRAIM Y, TREES H L V. A signal subspace approach for speech enhancement[J]. IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, 1995, 3(7): 251-261.
- [4] HU Yi, LOIZOU P C. A subspace approach for enhancing speech corrupted by colored noise [C]//Proceedings of IEEE Intconf. Acoust. Speech Signal Processing, Orlando: IEEE Press, 2002.
- [5] DENDRINOS M, BAKAMMLIS S, GARAYANNIS G. Speech enhancement from noise: a regenerative approach [J]. Speech Communication, 1991, 10(2): 45-57.
- [6] JENSEN S H, HANSEN P C, HANSEN N S D, et al. Reduction of broad-band noise in speech by truncated qsvd[J]. IEEE Trans. on Speech Audio Processing, 1995, 3(6): 439-448.
- [7] MCAULAY R J, QUATIERI T F. Speech analysis-synthesis based on a sinusoidal representation[J]. IEEE Trans. on Acoust. Speech Signal Processing, 1986, 34: 744-754.
- [8] PAULRAJ A, ROY R H, KAILATH T. Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques-Esprit[C] // Proceedings of the 19th Asilomar Conf. on Circuits, Systems, and Computers. [S.L.]: IEEE Press, 1985, 1: 83-89.
- [9] ROY R H, KAILATH T. Total least-squares esprit[C]// Proceedings of the 21th Asilomar Conf. on Circuits, Systems, and Computers. [S.L.]: IEEE Press, 1987: 297-301.
- [10] ROY R, KAILATH T. ESPRIT estimation of signal parameter via rational invariance techniques [J]. IEEE Trans. on Acoustics, Speech, Signal Processing, 1989, 37(7): 984-995.
- [11] GOLUB G H, VANLOAN C F. An analysis of the total least squares problem [J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1980, 17(6): 883-893.
- [12] 王永良. 空间谱估计理论与算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

作者简介

邹大勇, 讲师, 主要研究方向为信号处理;
王永灿, 工程师, 主要研究方向为有线电视网络;
赵建军, 本科, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为电力系统自动化及计算机应用。

[责任编辑] 闫雯雯

[收稿日期] 2009-11-29

(上接第58页)

Science, 2007, 14(6): 4058-4060.

- [9] Texas Instruments. Stereo audio CODEC, 8 to 96 kHz, with integrated headphone amplifier TLV320AIC23 data manual [EB/OL]. (2001-06-01) [2009-10-23]. <http://www.ti.com>.
- [10] 苑毅, 黄珍. 基于 DSP 的语音信号的采集压缩与数据传输[J]. 通信技术, 2008, 10(41): 122-123.
- [11] 刘旺东, 贺水燕. 用 DSP 实现实时信号采集与处理[J]. 湘潭师范学院学报: 自然科学版, 2002, 24(3): 61-63.

作者简介

贾亮, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为信号处理;
危国腾, 硕士研究生, 主要研究方向为信号与信息处理;
赵鹏飞, 硕士研究生, 主要研究方向为信号与信息处理。

[责任编辑] 闫雯雯

[收稿日期] 2009-11-21