调频广播用数字立体声编码器的数字内插处理*

詹柔莹** 徐国鼐

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室，通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】 介绍了采用DSP芯片TMS320C50及高速A/D芯片实现的调频广播用的数字调频立体声编码器及其结构。研究了数字内插器的实现方法，讨论了基于凯泽窗的半带滤波器的设计步骤。该数字化方案不仅改善了音质，提高了立体声通道隔离度，而且减少了运算量，便于工程实现，并给出了实验测试结果。

关 键 词 内插；调频立体声编码器；数字滤波；半带滤波器

中图分类号 TN713

传统的调频立体声编码器基本上是模拟信号编码器，实现结构复杂且成本高，而数字信号处理(DSP)技术简化了立体声编码器的设计，以标准的CD信号抽样率对声音信号进行抽样，利用数字信号处理算法，产生数字立体声复合信号。大部分信号处理由DSP编程完成，解决了传统立体声编码器使用模拟网络时所带来的两支路信号不一致的问题，使数字调频立体声编码器的性能仅取决于算法和DSP芯片的精度(字长)[1]。本文在给出数字调频立体声编码器的组成后，介绍了半带滤波器的实现方法，并给出测试结果。

1 数字调频立体声编码器

调频立体声复合输出信号的数学表达式为

$$(L+R)+(L-R)\cos\omega_s t+p\cos\frac{1}{2}\omega_s t \tag{1}$$

式中 $\omega_s=2\pi f_s$ 为副载波角频率，f_s=38 kHz；p 为导频幅度。

调频广播用的数字立体声编码器的组成如图1所示，图中虚线框内是数字信号处理部分，由DSP芯片TMS320C50实现。

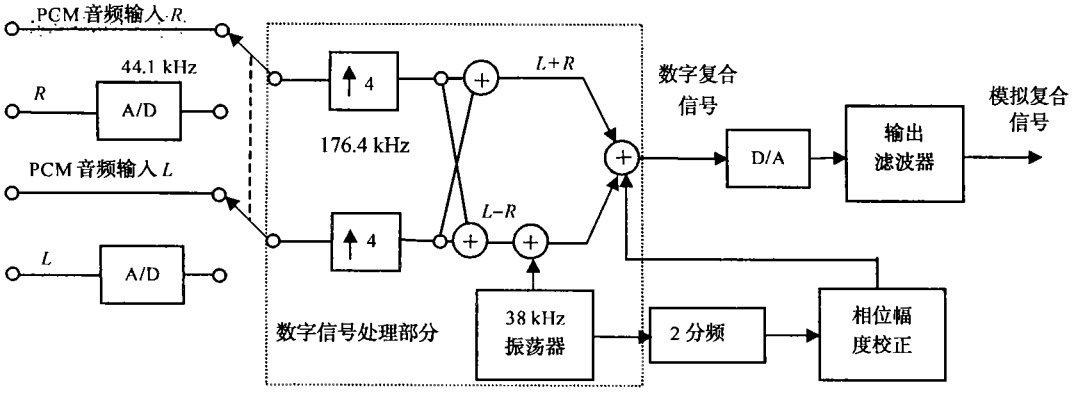

图1 数字调频立体声编码器框图

A/D转换器以与标准CD信号抽样率44.1 kHz相同的频率对模拟音频信号进行抽样，利用数字内插技术将抽样频率提高了4倍，即176.4 kHz，以利于系统低通滤波器设计，从而使通带波纹和相

1999年8月31日收稿
* 国防科工委预研基金资助项目
** 女 27岁 硕士 讲师

位失真较小，再利用数字信号处理算法来产生数字立体声合成信号，最后通过 D/A 和系统低通滤波器产生模拟立体声复合输出信号。

2 数字调频立体声编码器内插的实现

根据数字内插技术[2]，为了提高抽样率，必须设计一个适当的内插器和低通滤波器。在数字调频立体声编码器中，我们采用了半带滤波的方法实现内插，即用一个半带滤波器来等效内插器与低通滤波器的级联。

2.1 半带滤波器

由文献[3]可知，若 $H(\mathrm{e}^{2\pi jf})$ 关于 $F/4$ 奇对称，且偶次项系数为零，则可称为半带滤波器。半带滤波器具有以下特性：1) 半带滤波器是具有奇次节的滤波器，可以用来以 2 的倍数提高或减少抽样率；2) 由于半带滤波器的冲激响应的偶次项系数为零，与一般 FIR 滤波器相比，运算量可减少一半；3) 在通带和阻带内具有等波纹特性，即 $\delta_s=\delta_p$；4) 阻带截止频率 $f_s=(F/2)-f_p$，过渡带为 $\Delta F=(F/2)-2f_p$；5) 频率响应关于 $F/4$ 反对称，即 $H[(F/4)-1]=1-H[(F/4)-f]$，同时，当 $f=F/4$ 时，$H(\mathrm{e}^{\mathrm{j}2\pi fT})=H(\mathrm{e}^{\mathrm{j}\pi/2})=0.5$。

2.2 用凯泽窗函数来实现半带滤波器

在实现半带滤波器时，目前有多种方法可以选择，如傅里叶级数法、汉宁窗函数法和凯泽窗函数法等。其中，凯泽窗函数法比较理想，且使用起来比较灵活，能够兼顾主瓣宽度和旁瓣峰值两项指标，即能使主瓣宽度尽可能地窄和旁瓣峰值尽可能地小。

设 A_p 为所设计的低通滤波器的最小通带衰减，A_s 为最小阻带衰减。A_p 和 A_s 分别用 dB 表示为

$$A_p=20\lg\frac{1+\delta_p}{1-\delta_p}\qquad A_s=-20\lg\delta_s \tag{2}$$

当已知 FIR 滤波器的设计要求，用凯泽窗设计此 FIR 滤波器时，其步骤如下：

1) 决定通带波纹 δ_p 和阻带波纹 δ_s。根据式(2)，可得

$$\delta=\min(\delta_p,\delta_s)\qquad \delta_s=10^{-0.05A_s}\qquad \delta_p=\frac{10^{0.05A_p}-1}{10^{0.05A_p}+1}$$

在本设计中，通带波纹等于阻带波纹，均等于 δ，即 $\delta_s=\delta_p=\delta$。

2) 利用式(2)计算 A_s，此时 $\delta_s=\delta$。

3) 从下面经验公式中确定 α 的值

$$\alpha=\begin{cases}0 & A_s\leqslant 21\\ 0.584\,2(A_s-2)^{0.4}+0.078\,86(A_s-21) & 21<A_s\leqslant 50\\ 0.110\,2(A_s-8.7) & A_s>50\end{cases}$$

4) 利用下式决定参数 D，从而得到滤波器的节数 N

$$N\geqslant\frac{FD}{\Delta F}+1\qquad D=\begin{cases}0.922\,2 & A_s\leqslant 21\\ \dfrac{A_s-7.95}{14.36} & A_s>21\end{cases}$$

式中　ΔF 为滤波器的过渡带。

5) 计算滤波器的冲激响应 $h_d(n)$

$$h_d(n)=\begin{cases}\left(\dfrac{2f_c}{F}\right)\dfrac{\sin(2\pi nf_c/F)}{2\pi nf_c/F} & n>0\\ \dfrac{2f_c}{F} & n=0\end{cases}$$

式中　$f_c=\dfrac{1}{2}(f_p+f_s)$。

3 实验结果

采用上述设计方案，我们研制成功了数字调频立体声编码器，其中半带滤波器和立体声合成算法由单片 TMS320C50 编程实现。若输入的 L 信号为 $\sin(2\,000\pi t)$，R 信号为 $\sin(800\pi t)$，该半带滤波器为单级 4 倍重采样滤波器[4]，即 L=4，滤波器抽头数 N=81，所达到的主要技术指标为：

通带波动： <0.1 dB　　阻带衰减：>80 dB

过渡带斜率：−140 dB/Oct　　动态范围： 80 dB

实时带宽： 256 kHz

本文所设计的数字滤波器的每个输出样本值仅仅需要 10 次乘法和 20 次加法。由此可见，由于算法先进、结构精良以及优化编程，这种 DSP 方案与纯硬件实现相比，滤波速率接近，但在功能、性能和集成度等方面前者远优于后者。另外，对数字调频立体声编码器进行了测试，测试结果表明其工作稳定，具有较高的通道隔离度。

4 结 论

本文研究了数字内插技术及其在数字调频立体声编码器中的应用。利用插值和 DSP 技术相结合，提出了用半带滤波器来实现抽样率提高的新方法，该方法计算量小，且能和立体声编码算法在同一 DSP 芯片中完成。本文方法不仅改善了立体声信号音质，且便于工程实现，故具有较大的应用价值。

参 考 文 献

1 Michael Antill, Eric Benjamin. 调频广播用数字立体声发生器. 世界广播电视, 1994,8(10):17~23

2 CroChiere Ronald E, Rabiner Lawrence R. Interpolation and decimation of digital signals – a tutorial review. Proceedings of The IEEE, 1981, 69(3): 300~331

3 Gardner Floyd M. Interpolation in digital modem-Part I:fundamentals. IEEE Trans Communication, 1993, 41(3): 501~507

4 林云松, 黄 勇, 肖先赐. 宽带数字正交技术及性能分析. 电子科技大学学报, 1999, 28(1): 20~23

Interpolating Process of Digital Stereo Encoder Applied in FM Broadcast

Zhan Rouying　　Xu Guonai

(State Key Lab. of Optical Fiber Transmission Systems, College of Communication and Information Eng., UEST of China　Chengdu　610054)

Abstract The digital stereo encoder applied in FM broadcast is accomplished with DSP chip TMS320C50 and high-speed A/D chip. The method of digital interpolator in digital FM stereo encoder is proposed. This paper also discusses the design of digital filter based on Kaise window in detail, which is used to increase the sampling rate. This method not only improves the acoustic quality and the isolation level among stereo channels, but reduces the computation. The measuring results are also given in this paper.

Key words interpolation; digital FM stereo encoder; digital filter; half-band Filter