

基于 MATLAB 的频率采样法设计 FIR 滤波器 * Frequency Sampling Method for FIR Filter Design

龙 安, 陈 华 **
LONG An, CHEN Hua

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)
(School of Computer and Electronics and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要:在总结频率采样设计法的主要设计过程及其特定参数的设计范围给出过渡带采样值设计个数与目标阻带衰减值的关系基础上,利用 MATLAB 软件对 1 个 FIR 滤波器实例进行仿真设计,列出相关数据进行对比。结果表明,在采用频率采样法设计 FIR 滤波器时,适当选取过渡带采样点的采样值能在频率采样点数与过渡带频率采样点数选定的条件下得到阻带最小衰减的最大值。

关键词: FIR 滤波器 频率采样法 过渡带采样值 MATLAB

中图分类号: TN713+.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2011)01-0068-03

Abstract: Based on summarizing the main design process of the frequency sampling method design, the scope of designing the special parameter and illuminating the relationship between the designing number of sampling value of transition zone and attenuation calculation of objective stop-band, a simulation design of a FIR filter by MATLAB is investigated. The relevant data are listed and compared. Simulation results show that using frequency sampling method in FIR filter design, the maximum value of minimum stop-band attenuation, in condition that the number of frequency sampling points and the transition zone sampling points is chosen, will be obtained by selecting the appropriate sampling value of transition zone sampling points.

Key words: FIR, frequency sampling method, transition zone sampling value, MATLAB

数字信号处理作为一门极其重要的科学技术,在通信、语音、图像、自动控制等众多领域得到了广泛应用。FIR 滤波器以其特有的线性相位特性在数字信号处理中占有重要地位。现代 FIR 数字滤波器已经研发出多种实现方法。频率采样设计法属 FIR 滤波器设计法中的一种,该设计法可以设计任意形状频率响应特性的 FIR 滤波器。本文在总结频率采样法中过渡带采样值个数与目标阻带衰减值关系的基础上,利用 MATLAB 软件通过频率采样法实现了 FIR 数字滤波器的设计。

收稿日期: 2010-11-30

作者简介: 陈 华 (1958-), 男, 教授, 主要从事数字图像处理与光电成像技术方面的研究。

* 广西人才培养模式创新实验区建设项目(桂教高教[2008]20号), 广西大学高等教育教学改革工程“十一五”第三批立项项目(西大评估字[2007]13号)资助。

** 通讯作者。

1 频率采样法的 FIR 滤波器设计过程

针对频率采样法的 FIR 滤波器设计方式多种多样,但总的设计原则应遵循如下步骤:

(I) 制定目标滤波器的理想的或者期望的频率响应 $H(k)$ 、阻带最小衰减 α_s 和截止频率 ω_c 。

(II) 确定理想频率响应的采样点数 N 、过渡带采样点数 M 、通带中采样点数 BW , 过渡带频率采样值 $T_i (i=1, 2, \dots, M)$ 。其中,若已指定 ΔB , 则可根据下式对 N 进行确定:

$$N \geq (M+1)2\pi/\Delta B \quad (1)$$

而在未指定过渡带宽度 ΔB 时,可以参考文献[1]中的实验数据表进行设计;同时,在(II)步骤中,需要注意以下几个问题:

① 对于低通滤波器,在过渡带宽内每增加一个过渡带频率采样值,阻带衰减大约增加 20dB。

② 一般情况下,按照文献[1,2],可以参考表 1

对过渡带采样值个数进行确定。

表 1 过渡带采样值个数与目标阻带衰减值的关系

M	α_r (dB)
1	-40~-54
2	-65~-75
3	-85~-95
4	-105

③对于给定滤波器设计目标的过渡带频率采样值,可以由最佳过程来确定。一个有用的最佳化目标,是找出使阻带衰减最小的过渡带频率采样值 T_1, T_2, \dots, T_M 。用数学公式表示为:

$$\min_{(T_1, T_2, \dots, T_M)} [\max_{\omega \in \text{阻带}} |W\{H_D(\omega) - H(\omega)\}|] \quad (2)$$

其中 $H_D(\omega)$ 和 $H(\omega)$ 分别是滤波器理想频率响应和实际频率响应, W 为加权因子。在文献[1]中已经提供了一个(2)式意义下的最佳过渡带频率采样值表,该表已经被广泛使用,设计者可以进行参考。

④一般情况下,过渡带不同采样点数 M 下采样值的取值,通常在表 2 所示范围。

表 2 过渡带频率采样值取值范围

M	T_r
1	$0.250 < T_1 < 0.450$
2	$0.450 < T_1 < 0.650, 0.040 < T_2 < 0.150$
3	$0.550 < T_1 < 0.750, 0.100 < T_2 < 0.300, 0.003 < T < 0.035$

⑤选择 N 时,应尽量使 N 值保持在区间[15, 256]^[1,3]。

(Ⅲ)用合适的公式计算滤波器的冲激响应。

此外,在完成上述(I)~(Ⅲ)步骤后,可以根据实验需要参考文献[4],应用混合遗传算法 GA 来设计文献[1]中的实验数据表中未列出的滤波器类型,以实现对所设计的 FIR 滤波器类型的完善。

2 基于 MATLAB 频率采样法设计 FIR 滤波器

采用 MATLAB 软件设计一个通带截止频率 $\omega_c = \pi/4$ rad,过渡带宽度 $\Delta B = \pi/32$ rad,阻带最小衰减 $\alpha_r = 60$ dB 的低通滤波器。

首先,根据所给阻带最小衰减值确定过渡带频率采样值个数为 $M = 2$ 。

其次,由于已给定过渡带宽度 ΔB ,则根据式(1)计算出所需频率采样点个数 N ,为确保所设计滤波器冲激响应具有正对称特性,应使 N 为奇数,计算得到实际 N 值为 193。关键程序语句如下:

$N = (M + 1) * 2 * \pi / B$; %根据(1)式估算采样点数

$N = N + \text{mod}(N + 1, 2)$; %确保相应 $h(n)$ 长度为奇数

求出 N 值后,随即确定相应的通带采样点数和阻带采样点数,关键程序语句如下:

$N_p = \text{fix}(\omega_c / (2 * \pi / N))$; % $N_p + 1$ 为通带 $[0, \omega_c]$ 上的采样点数

$N_s = N - 2 * N_p - 1$; % N_s 为阻带 $[\omega_c, 2 * \pi - \omega_c]$ 上的采样点数

最后,考虑到过渡带内包含 2 个频率采样值,故将其中 1 个值(设为 T_1)放在原来通带的末采样点位置,另一个(设为 T_2)占用阻带的首采样点位置。

已知幅频特性 $H(\omega)$ 应为复数向量,包含正负值。而实际上通常靠改变线性相位特性来补偿以使相应的幅频特性为正值,即将包含正负号的幅频特性 $H(\omega)$ 默认为仅为正值的 $|H(\omega)|$ 。由于在线性相位滤波器中,强调了相位的线性,不允许随便增减相位,为了与默认为正值的幅频特性 $|H(\omega)|$ 形成区别,故定义符幅特性 $A(\omega)$ 表示包含正负号的幅频特性 $H(\omega)$,则构造相应的符号序列如下^[5]:

$A_k = [\text{ones}(1, N_p), T_1, T_2, \text{zeros}(1, N_s - 2), T_2, T_1, \text{ones}(1, N_p - 1)]$;

再次,完成相位采样向量和频域采样向量等参数的构造,并计算 IDFT,求出冲激响应函数,关键程序如下:

$\theta = -\pi * (N - 1) * [0 : N - 1] / N$; % 相位采样向量 $\theta(k)$

$H_k = A_k * \exp(j * \theta)$; % 构造频域采样向量 $H(k)$

$h_n = \text{real}(\text{ifft}(H_k))$; % $h(n) = \text{IDFT}[H(k)]$

参照文献[1]中过渡带频率采样值 T_1, T_2 的取值范围,将表 3 中列出的 T_1, T_2 值代入所设计滤波器进行计算,得到相应的阻带最小衰减 α_r (α_r 的绝对值越大则所设计滤波器的阻带衰减特性越好),其中 α_p 为通带最大衰减。 $T_1 = 0.59, T_2 = 0.11$ 时的幅频特性如图 1 所示。

表 3 代入数据计算得到的结果

T_1	T_2	α_p (dB)	α_r (dB)
0.59	0.11	4.25	68.53
0.60	0.11	4.10	62.10
0.58	0.11	4.41	62.14
0.59	0.10	4.23	60.20
0.59	0.12	4.27	61.08

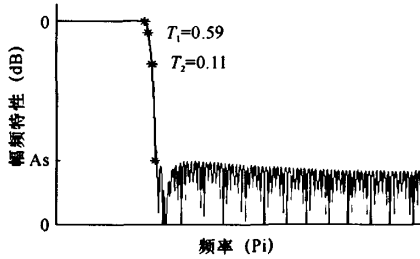


图1 $T_1 = 0.59, T_2 = 0.11, \alpha_s = 68.53\text{dB}$ 时的幅频特性

由表3计算结果可见,在 α_p 相近的情况下,采用不同的过渡带频率采样值,都能达到60dB以上的阻带最小衰减,而在 $T_1 = 0.59, T_2 = 0.11$ 时阻带最小衰减达到最大绝对值 $\alpha_s = 68.53\text{dB}$,与文献[1]中叙述的频率采样法过渡带采样参数 T_1, T_2 对所设计滤波器的幅频特性的影响表现一致,即适当选取 T_1, T_2 值,则能在频率采样点个数 N 、过渡带频率采样点个数 M 一定的情况下得到阻带最小衰减 α_s 的最大值。

而对于设计过程第三步中对滤波器冲激响应的计算,即计算 $h(n)$,除采用IDFT外,也可采用fir2函数进行计算,其程序语句为:

$$hn = \text{fir2}(N-1, F, H)$$

矢量 F 指定范围在0和1之间的归一化频率点,矢量 H 具体指定了由 F 指定的频率点的期望的幅度响应。该函数的具体使用方式可以参照文献[6]。

3 结束语

频率采样法是一种有效的FIR滤波器设计方

法,利用频率采样法可以设计任意频率响应特性的数字滤波器。我们针对该方法的设计特性,对其设计过程进行了总结并论述了特定参数的设计范围,并在MATLAB环境下,完成了一个FIR滤波器设计与仿真过程。仿真结果表明适当选取过渡带采样点的采样值,能在频率采样点个数 N 、过渡带频率采样点个数 M 一定的情况下得到阻带最小衰减 α_s 的最大值。

参考文献:

- [1] Rabiner L R, Gold B, McGonegal C A. An approach to the approximation problem for nonrecursive digital filters[J]. Audio Electroacoustics, 1970, 18: 83-106.
- [2] 丁玉美, 陶永红. 数字信号处理: 原理、实现及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] Martin M A. Digital filters for data processing[M]. Missile and Space Div General Electric Co Tech Information Series Rept, 1962: 62-SD484.
- [4] Harris S P, Ifeachor E C. Automatic design of frequency sampling filters by hybrid Genetic Algorithm Techniques[J]. Signal Processing, 1998, 46(12): 3304-14.
- [5] 陈怀琛. 数字信号处理教程: MATLAB 释义与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [6] Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W Jervis. 数字信号处理实践方法[M]. 第2版. 罗鹏飞, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [7] Crochiere R E, Rabiner L R. Interpolation and decimation of digital signals—a tutorial review[J]. Proc IEEE, 1981, 69(3): 300-31.

(责任编辑: 邓大玉)

(上接第67页)

承载力特征值设计要求为190kPa。根据试验结果可知, CFG桩复合地基承载力达到了设计要求^[5]。

4 结束语

在岩溶地区, 基岩面起伏, 局部地段软弱土层发育(主要在溶沟、溶槽等部位), 利用细桩径CFG桩处理地基, 能充分利用桩间土天然地基承载力组成复合地基, 在桩体无钢筋的情况下, 复合地基承受垂直和水平荷载的能力大大加强^[6]。桂林某高层建筑局部软弱地层地基处理的设计、施工和检测成果表明, 细桩径CFG桩适用于高层建筑复合地基加固处理, 采用高粘结强度复合地基是一种有效的地基处理方法, 它具有强度高、造价低、工艺简单、适用性强、工期短等特点, 在场地狭小, 不宜大面积开挖以

及地下水埋深较浅时具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 李掠京, 化建新. CFG桩复合地基问题[J]. 岩土工程技术, 2004, 18(6): 271-274.
- [2] 郑俊杰. 地基处理技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004.
- [3] 徐至钧, 王曙光. 水泥粉煤灰碎石桩复合地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] JGJ 79-2002, J 220-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [5] 张玉池. 桂林市某高楼复合地基静载荷试验检测报告[P]. 桂林: 桂林矿产地质研究院工程勘察院, 2006.
- [6] 莫健, 杨秋华. CFG桩在岩溶地区的应用[J]. 山西建筑, 2005(19): 91-92.

(责任编辑: 尹 闯)