

数字椭圆滤波器的 Matlab 设计与实现

王 靖¹, 李永全²

(1. 南京人口管理干部学院 江苏 南京 210042; 2. 长江大学(东校区) 电子信息学院 湖北 荆州 434023)

摘 要:介绍了数字椭圆型滤波器的基本理论和设计思想,给出了设计数字椭圆型滤波器的具体步骤,并通过一个带通滤波器为例来说明数字椭圆滤波器的 Matlab 具体实现过程,数字椭圆滤波器的设计非常简单、直观。最后对巴特沃斯、切比雪夫、椭圆函数 3 种滤波器的性能进行了比较。

关键词:数字椭圆滤波器; Matlab; 带通滤波器; 巴特沃斯滤波器

中图分类号: TP391.9

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X(2007)06-004-02

Design and Realization of Digital Elliptic Filter Based on Matlab

WANG Jing¹, LI Yongquan²

(1. Nanjing College for Population Programme Management, Nanjing, 210042, China;

2. College of Electron and Information, Yangtze University, Jingzhou, 434023, China)

Abstract: The thesis introduces the elementary theory and the design thoughts of digital ellipse filter, and how to design it. It takes band pass filter for example to express the realization of the digital ellipse filter through on Matlab. We can conclude that it is easy and direct viewing to design the digital ellipse filter. In the end, it compares the function of Butterworth filter, Chebyshev filter and ellipse filter.

Keywords: digital elliptic filter; Matlab; band pass filter; Butterworth filter

信号处理是科学研究和工程技术许多领域都需要进行的一个重要环节,传统上对信号的处理大都采用模拟系统(或电路)实现。随着人们对信号处理要求的日益提高,以及模拟信号处理中一些不可克服的缺点,对信号的许多处理转而采用数字的方法进行。近年来由于大规模集成电路和计算机技术的进步,信号的数字处理技术得到了飞速发展。数字信号处理系统无论在性能、可靠性、体积、耗电量、成本等诸多方面都比模拟信号处理系统优越得多,使得许多以往采用模拟信号处理的系统越来越多地被数字处理系统所代替,数字信号处理技术在通信、语音、图像、自动控制、雷达、军事、航空航天、医疗和家用电器等众多领域得到了广泛的应用。

在数字信号处理中,数字滤波器十分重要并已获得广泛应用,数字滤波器与模拟滤波器比较,具有精度高、稳定、体积小、重量轻、灵活、不要求阻抗匹配以及实现模拟滤波器无法实现的特殊滤波功能等优点。在各种滤波器中,椭圆滤波器具有其独特的优点。本文就数字椭圆滤波器的基本理论、设计思想以及在 Matlab 中的实现加以阐述。

1 数字椭圆滤波器的基本理论

常用数字滤波器的类型有巴特沃斯(Butterworth),切

比雪夫(Chebyshev)及椭圆型(考尔型)滤波器。在巴特沃斯和切比雪夫滤波器设计中,阻带衰减仍然是频率的单调减函数,如果使衰减在阻带上均匀分布,就有可能进一步改善滤波器的性能。而椭圆滤波器在通带和阻带内都是等波纹的逼近方式,是滤波器阶数 N 已给定的情况下的最好的逼近方式。对于同样的性能要求,他比巴特沃斯、切比雪夫滤波器所需用的阶数都低,而且他的过渡带比较窄。

对于模拟椭圆滤波器而言,其振幅平方函数为:

$$|H_a(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 R_N^2(\Omega, L)}$$

式中 $R_N(\Omega, L)$ 为雅可比椭圆函数; L 是一个表示波纹性质的参量。其特性曲线如图 1 所示。

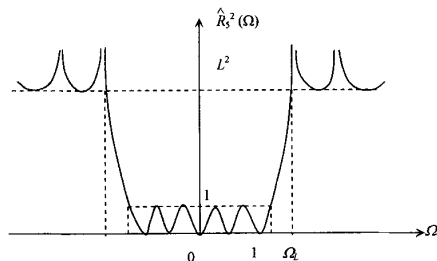


图 1 $N = 5$ 时 $R_N^2(\Omega, L)$ 的特性曲线

由图 1 可见,在归一化通带内 ($-1 \leq \Omega \leq 1$), $R_N^2(\Omega,$

L) 在(0, 1) 间振荡, 而超过 Ω_L 后, $R_s^2(\Omega, L)$ 在 (L^2, ∞) 间振荡. L 越大, Ω_L 也变大. 这一特点使滤波器同时在通带和阻带具有任意衰减量.

图 2 为典型 N 为奇数的椭圆滤波器的幅度特性, 当 $\Omega_c, \Omega_s, \epsilon$ 和 A 确定后, 阶次 N 即可确定, 进而可以设计出椭圆滤波器.

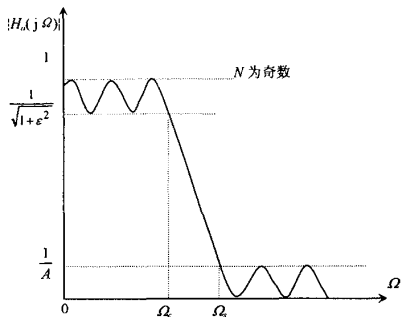


图 2 椭圆滤波器的幅度特性

由于模拟滤波器的设计方法非常成熟, 许多典型系统有成熟的公式、图表可以查阅, 便于设计; 因此设计数字滤波器的主要方法是: 首先设计一个合适的模拟滤波器, 然后将他“变换”成满足给定指标的数字滤波器. 设计椭圆数字滤波器的步骤:

- (1) 确定数字滤波器性能指标: $\omega_p, \omega_s, A_p, A_s$;
- (2) 将数字滤波器性能指标转换成相应的模拟滤波器性能指标;
- (3) 设计满足指标要求的模拟滤波器 $H_a(s)$;
- (4) 通过变换将模拟滤波器转换成数字滤波器.

2 数字椭圆滤波器的 Matlab 实现

Matlab 是 MathWorks 公司于 1984 年正式推出的一套集数值计算、符号运算及图形处理等强大功能于一体的科学计算语言. 作为强大的科学计算平台, 他几乎能够满足所有的计算需求. 他的应用范围涵盖了当今几乎所有的领域, 如电子、半导体制造、医学研究、航空航天、汽车制造、分子模型、影视制作、建筑等行业. Matlab 具有以下优势和特点: 友好的工作平台和编程环境, 简单易用的程序语言, 强大的科学计算及数据处理能力, 出色的图形处理功能, 应用广泛的模块集和工具箱, 实用的程序接口和发布平台, 模块化的设计和系统级的仿真. 随着 Matlab 的不断完善, 尤其是 Matlab 的信号处理工具箱 (Signal Processing Toolbox) 的推出, 如今 Matlab 已经成为数字信号处理 DSP (Digital Signal Processing) 应用中分析和仿真设计的主要工具.

Matlab 的信号处理工具箱提供了设计椭圆滤波器的函数: ellipord 函数和 ellip 函数. ellipord 函数的功能是求滤波器的阶数, 其调用格式: $[n, W_n] = \text{ellipord}(W_p, W_s,$

$R_p, R_s)$ 可以得到数字椭圆型滤波器的最小阶数 n 和截止频率 W_n , 并使滤波器在通带内 $(0, W_p)$ 的波纹系数小于通带最大衰减 R_p , 阻带内 $(W_s, 1)$ 的波纹系数大于阻带最小衰减 R_s . ellip 函数的功能是设计滤波器, 其调用格式:

$[b, a] = \text{ellip}(n, R_p, R_s, W_n)$, 利用 ellipord 函数得到的最小阶数 n 和截止频率 W_n , 可以设计低通、或带通滤波器 (当 $W_n = [W_1, W_2]$ 时).

$[b, a] = \text{ellip}(n, R_p, R_s, W_n', \text{ftype}')$, 利用 ellipord 函数得到的最小阶数 n 和截止频率 W_n , 可以设计高通 (当 $\text{ftype} = \text{high}$ 时)、或带阻滤波器 (当 $\text{ftype} = \text{stop}$, 且 $W_n = [W_1, W_2]$ 时).

例如: 设计一个带通椭圆数字滤波器, 通带为 100~250 Hz, 过渡带均为 50 Hz, 通带波纹小于 3 db, 阻带衰减为 30 db, 采样频率 $f_s = 1\ 000$ Hz. 其程序为:

```

fs = 1000;
Rp = 3; Rs = 30;
Wp = 2 * [100 250] / fs;
Ws = 2 * [50 250] / fs;
[n, Wn] = ellipord (Wp, Ws, Rp, Rs);
[b, a] = ellip(n, Rp, Rs, Wn);
freqz (b, a, 512, fs)

```

程序运行结果如图 3 所示.

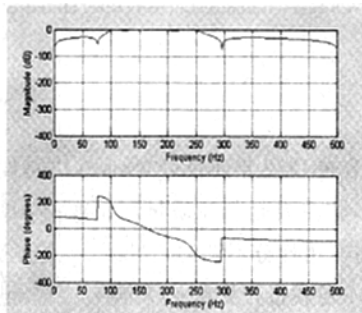


图 3 幅度及相位特性

对音频信号处理时, 在设计滤波器的阶数时, 如考虑用软件的方法实现, 由于实时性的要求, 滤波器阶数的设计不宜过高, 否则延迟较大. 另外也可通过改变采样率, 改变滤波器的阶数, 将通带频率范围和阻带边缘频率进一步调整等方法, 可将滤波器的设计性能进一步提高.

3 三种滤波器的性能比较

在最常用的巴特沃斯、切比雪夫、椭圆函数 3 种滤波器中, 给出滤波器实现同样性能指标要求: 通带截止频率 ω_p 为 0.2π , 阻带截止频率 ω_s 为 0.3π , 通带最大衰减 $R_p = 1$ dB, 阻带最小衰减 $R_s = 15$ dB. 可以得出了以上 3 种滤波器实现同样性能指标所需的阶数及阻带衰减, 如表 1 所示. 由表 1 可见, 椭圆滤波器给出的设计阶数比前两种低, 而且频率特性较好, 过渡带较窄, 但是椭圆滤波器在通带上的非线性相位响应最明显. (下转第 8 页)

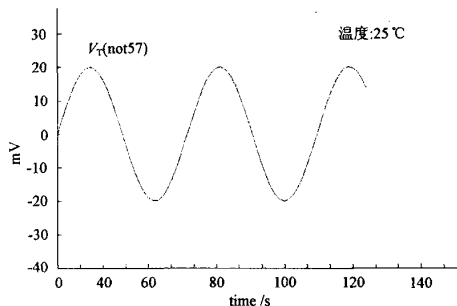


图4 当输入为 20 mV, 35 Hz 正弦波信号时的仿真图

3 结语

上面讨论了开关电容的基本概念,同时对二阶开关电容滤波器进行分析,然后结合一个实际的例子进行详细的讨论。实际例子中采用台积电(TSMC)公司的 tsmc024 (0.24 μm CMOS 工艺)进行设计,经过一系列的优化和仿真工作,得出了比较好的结果。

参考文献

[1] [美] 拉扎维. 模拟 CMOS 集成电路设计[M]. 陈贵灿, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2003.

作者简介 刘新女, 1980 年出生, 重庆邮电大学硕士研究生。研究方向为信号处理、电路设计。

(上接第 5 页)

如图 4 所示, 在给定阶数和通带、阻带衰减要求的前提下, 椭圆函数滤波器是最好的, 具有最窄的过渡带。巴特沃兹滤波器具有最平坦的通带, 但过渡带不够陡峭。契

表 1 三种滤波器的性能比较

原型	阶数	阻带衰减/dB
巴特沃斯	6	15
切比雪夫 I 型	4	25
椭圆函数	3	27

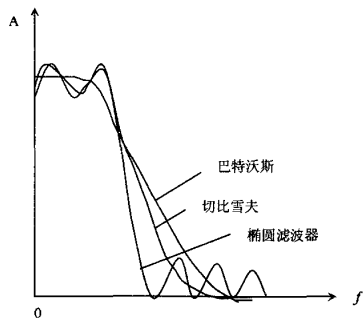


图4 三种滤波器的幅度特性

作者简介 王靖男, 1963 年出生, 硕士, 南京人口管理干部学院讲师。

[2] 宁华申. 开关电容滤波器的设计与应用[J]. 邵阳学院学报: 自然科学版, 2004, 1(1): 26 - 28.

[3] 张志恒, 刘爱中. 开关电容滤波器的设计与应用[J]. 电力学报, 2002, 17(1): 41 - 44.

[4] Ghausi M S, Laker K R. Modern Filter Design: Active RC and Switched Capacitor[M]. NJ: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1981.

[5] 姜黎, 李产. 开关电容阵列滤波器的设计[J]. 半导体学报, 1995, 16(5): 365 - 370.

[6] 张育才. 开关电容滤波器的设计研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 1995, 32(6): 671 - 676.

[7] 吴可, 沈永朝. 运算放大器的性能对开关电容滤波器的影响[J]. 微电子技术, 1994, 22(6): 1 - 11.

[8] Gregorian R, Martin K W, Temes G C. Switched Capacitor Circuit Design. Proc. IEEE, 1983, 71(8).

[9] 徐革道, 何柄友. 模拟电路基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 1989.

[10] 李远文, 胡箴. 有源滤波器设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1986.

[11] Auto SC, Nairn D G, Sedra A S. An Automated Switched Capacitor Ladder Filter Design Program, IEEE, 1988, 4(2): 5 - 8.

[12] Baher H. Microelectronic Switched Capacitor Filters. IEEE, 1991(1): 33 - 36.

比雪夫滤波器带内有起伏, 但过渡带比较陡峭。椭圆滤波器不仅通带内有起伏, 阻带内也有起伏, 而且过渡带陡峭。应根据实际的需要设计所需的滤波器特性, 笔者在音信号处理中采用了椭圆滤波器, 得到了令人满意的效果。

4 结语

数字滤波器的应用十分广泛, 利用 Matlab 语言, 很容易地设计出数字椭圆滤波器, 数字椭圆滤波器可以用较少的阶数获得很高的选择特性, 在相位要求不敏感场合, 如语音信号处理等, 适合用数字椭圆滤波器。在设计过程中可以对比滤波器特性, 随时更改参数, 以达到滤波器设计的最优化。

参考文献

[1] [美] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer. 数字信号处理[M]. 董士嘉, 杨耀增, 译. 北京: 科学出版社, 1983.

[2] 刘益成, 孙祥娥. 数字信号处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[3] 楼顺天, 李博菡. 基于 Matlab 的系统分析与设计信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.