

滤波器设计与滤波器特性分析

PB16061024 陈进泽

2018 年 12 月 16 日

目录

1 实验目的	2
2 实验原理	2
3 实验内容	3
3.1 IIR 滤波器设计	3
3.1.1	3
3.1.2	4
3.1.3	4
3.2 FIR 滤波器设计	4
3.2.1	4
3.2.2	4
3.2.3	10
3.3 滤波器特性分析	10
3.3.1 高通	12
3.3.2 低通	12
3.3.3 带通	12
3.4 滤波器的实际运用	12
3.4.1	12
3.4.2	12
3.4.3	12
3.4.4	18
4 总结	18

1 实验目的

- 掌握 Matlab 下滤波器设计工具 (fdatool) 的使用方法
- 掌握 IIR 滤波器设计方法与 FIR 滤波器设计方法
- 了解 IIR 滤波器设计与 FIR 滤波器设计方法的差异
- 掌握滤波器特性分析的方法

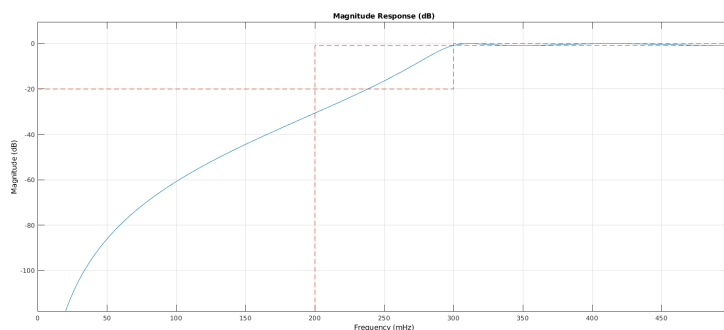


图 1: 幅频特性

- 了解 Matlab 中 sptool 工具的使用方法

2 实验原理

本实验基于 Matlab 工具箱 fdatool(filterDesigner) 与 sptool(signalAnalyzer) 完成

3 实验内容

3.1 IIR 滤波器设计

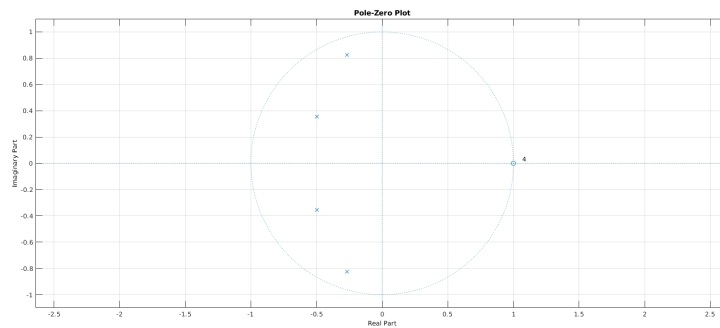
3.1.1

如图1, 为所设计滤波器幅频特性, 满足通带衰减 0.8dB, 阻带衰减 20dB 要求。其传递函数见 $H(z)$ 图2

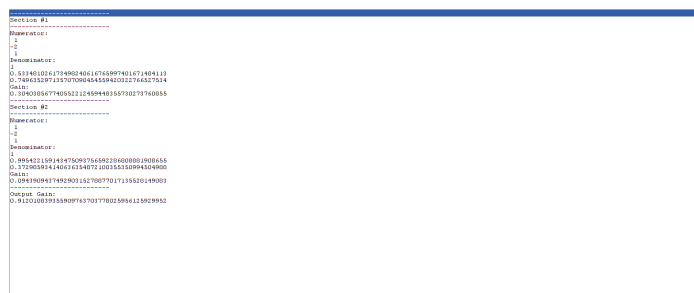
因使用符号表述在 matlab 上显示不直观, 这里采用零极点图与其系数来表达

3.1.2

如图3, 该幅频特性满足通带衰减 1dB, 阻带衰减 25dB 要求。传递函数 $H(z)$ 见图4



(a) pole-zero



(b) coefficients

图 2: $H(z)$

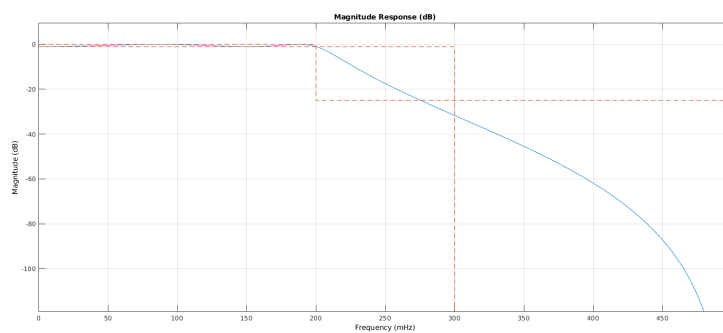
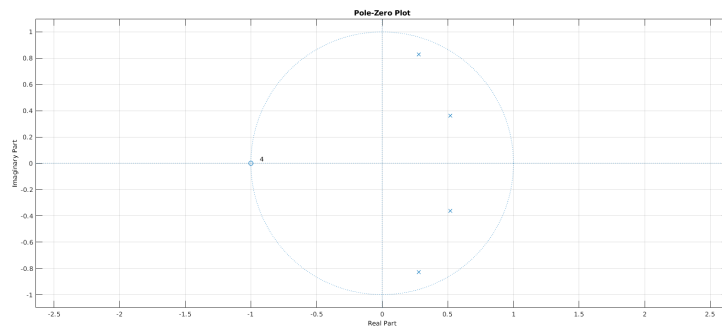
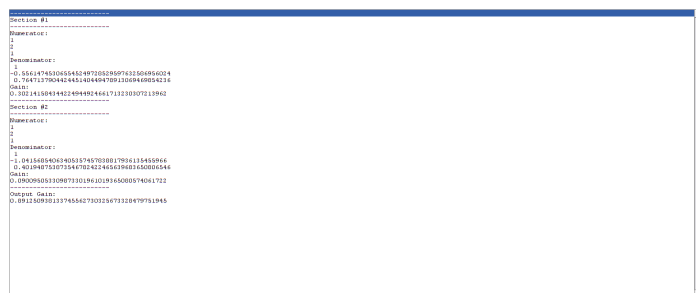


图 3: 幅频特性



(a) pole-zero



(b) coefficients

图 4: $H(z)$

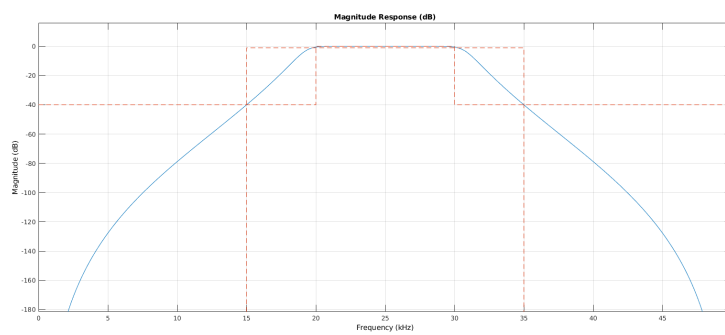
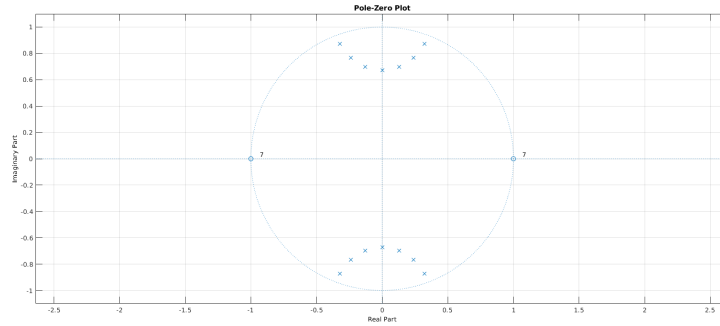
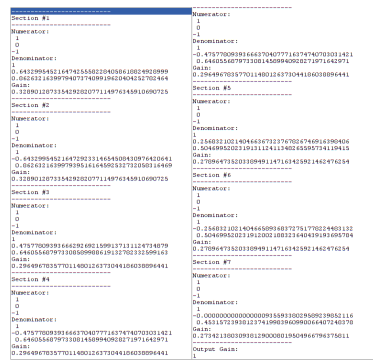


图 5: 幅频特性



(a) pole-zero



(b) coefficients

图 6: $H(z)$

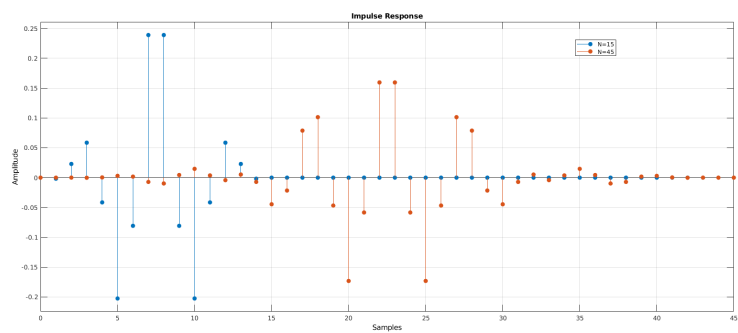
3.1.3

如图5, 该幅频特性满足通带衰减 1dB, 阻带衰减 40dB 要求。传递函数 $H(z)$ 见图6

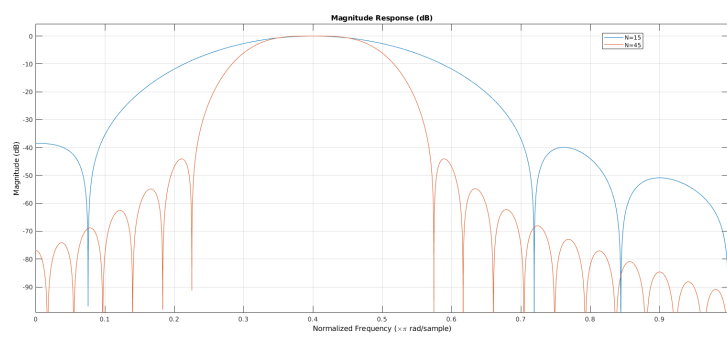
3.2 FIR 滤波器设计

3.2.1

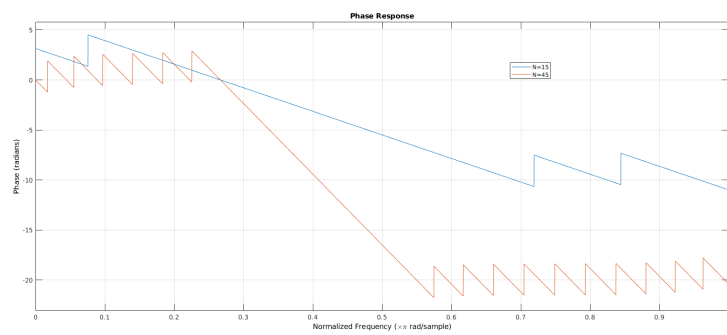
如图7, 分别表示以 hanning 窗设计的 FIR 滤波器 \square 激响应, 幅频及相频特性。可见, 幅频特性上随 N 的增加在保持通带的前提下幅频特性越来越陡, 且旁瓣幅值有所降低, 带通效应更好, 3dB 带宽 $N=45$ 略小, 但 20dB 带宽明显更大; 相频上两者均为线性相位, 但明显 N 越大斜率越大



(a) $h(n)$

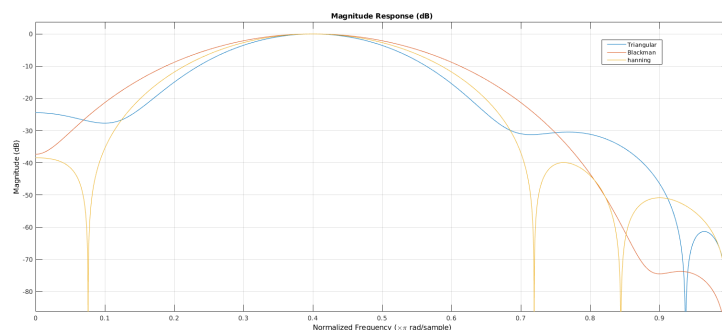


(b) 幅频特性

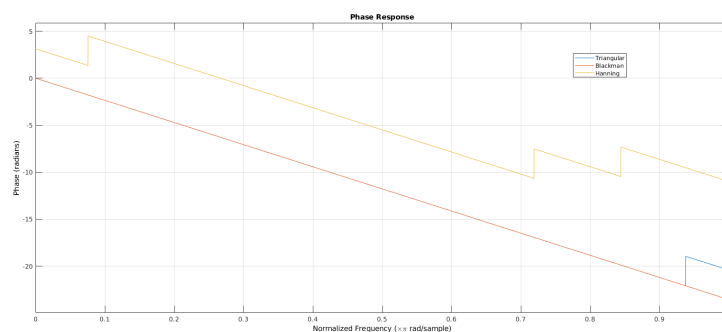


(c) 相频特性

图 7: $N=15,45$,hanning 窗



(a) 幅频



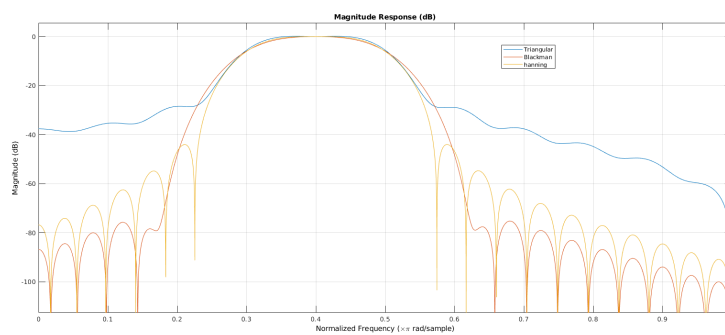
(b) 相频

图 8: $N=15$

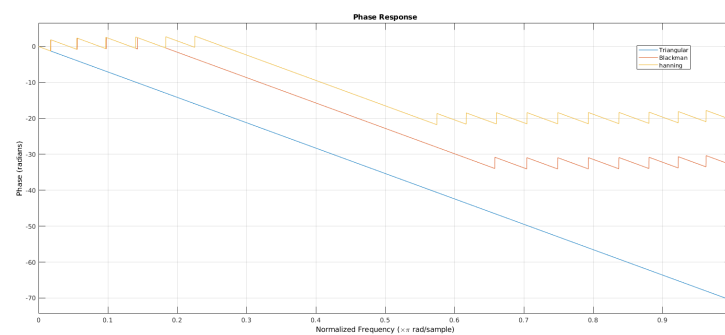
3.2.2

如图8与9, 表示采用矩窗与 Blackman 窗设计滤波器的对应结果。三者在相频特性上斜率一致, 初始相位不同, 但在幅频特性上明显 hanning 窗与矩窗带宽小于 Blackman 窗, 但阻带衰减明显 Blackman 窗优于 hanning 矩窗优于矩窗。在 $N=15$ 时矩窗 3dB 带宽最小, $N=45$ 时则不是特别明显。

上述结果很好地体现了三种窗的特性。主瓣宽度上矩窗 $<$ hanning 窗 $<$ Blackman 窗, 旁瓣电平上矩窗 $>$ hanning 窗 $>$ Blackman 窗, 故 3dB 带宽应矩窗 $<$ hanning 窗 $<$ Blackman 窗, 阻带衰减则相反。但实际上 $N=45$ 时 hanning 窗明显优于矩窗, 这是因为矩窗的旁瓣电平过大, 在这时候甚至直接影响到了它的通带带宽。



(a) 幅频



(b) 相频

图 9: N=15

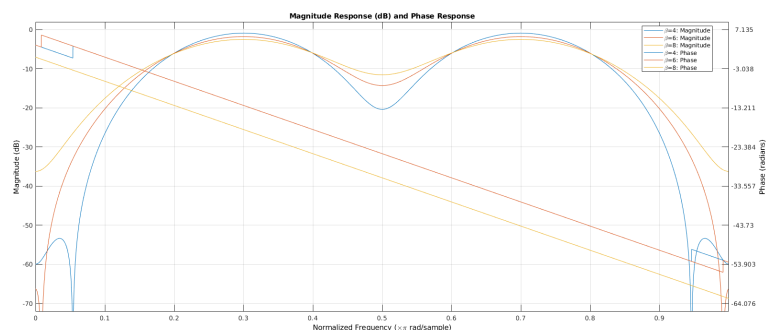


图 10: Kaiser 窗, $\beta = 4, 6, 8$

3.2.3

如图10, 为基于 Kaiser 窗设计的多通 FIR 滤波器。该多通滤波器设计方法如下:

1. 基于 $N=20$ 设计一带通滤波器, 通带频率为 $\omega_{p1} = 0.2\pi, \omega_{p2} = 0.8\pi$
2. 基于 $N=20$ 设计一带阻滤波器, 阻带频率为 $\omega_{s1} = 0.4\pi, \omega_{s2} = 0.6\pi$
3. 将上述两滤波器串联, 则得到需要的 $N=40$ 的 Kaiser 窗 FIR 多通滤波器

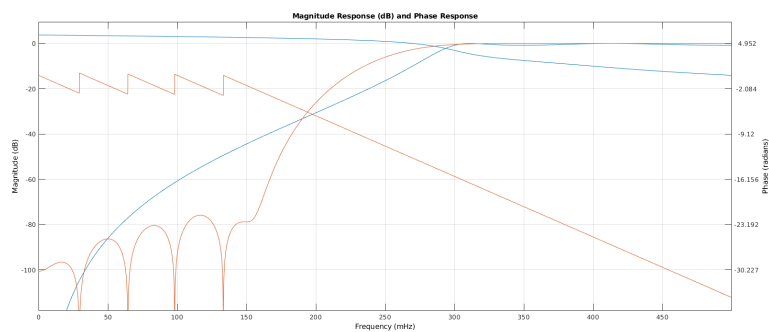
可看出随 β 值的增大, 幅频特性越缓, 但相频特性不受影响。这也与 β 值本身代表了频谱宽度有关。

3.3 滤波器特性分析

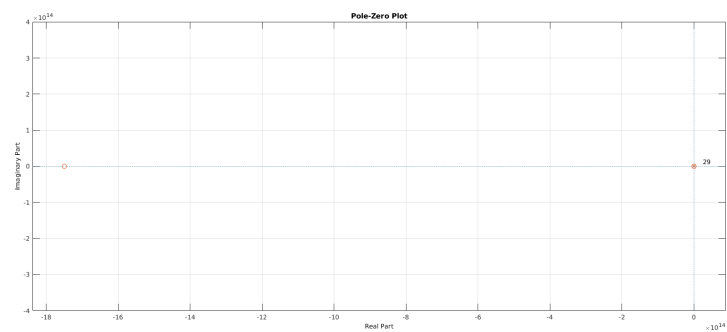
所有设计均满足通带, 阻带, 衰减等要求

3.3.1 高通

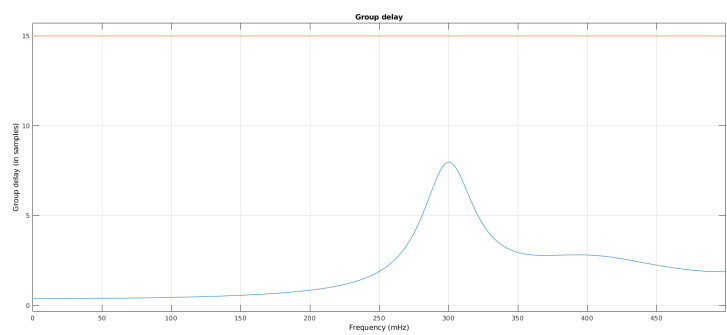
如图11, 可见幅频特性上 IIR 明显好与 FIR, 相频上 FIR 具有良好的线性; 零极点图上因 FIR 滤波器零点过大使得 IIR 体现不明显, 具体图像参见2, 主要产生原因为 FIR 滤波器阶数过大。因为 FIR 的线性相位特性, 其在群延迟与相位延迟处均体现了良好的线性, 而不具有现行相位特性的 IIR 滤波器就没有对应性质了。



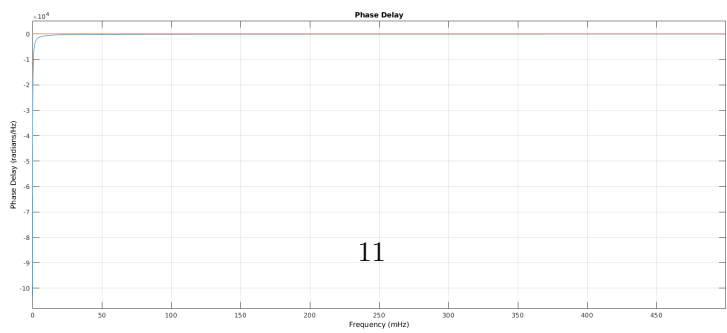
(a) 幅频 & 相频



(b) 零极点



(c) 群延迟



(d) 相位延迟

图 11: 高通

3.3.2 低通

如图12, 为低通滤波器的设计情况, 分析同上。

3.3.3 带通

如图13, 为带通滤波器的设计情况。零极点图很明显地显示出了 FIR 滤波器不具有极点的特性, 因此其很稳定, 可直接设置在单位圆上表示对特定几个频率或者频率区间进行滤波。

3.4 滤波器的实际运用

图14为所有信号叠加后效果

3.4.1

如图15, 加噪声方标准差为 0.1, 蓝色信号为未加噪信号,, 噪声均匀地分布在整个频谱上。

3.4.2

如图16, 该滤波器可实现对低于 100Hz 频率的频谱成分的保留

3.4.3

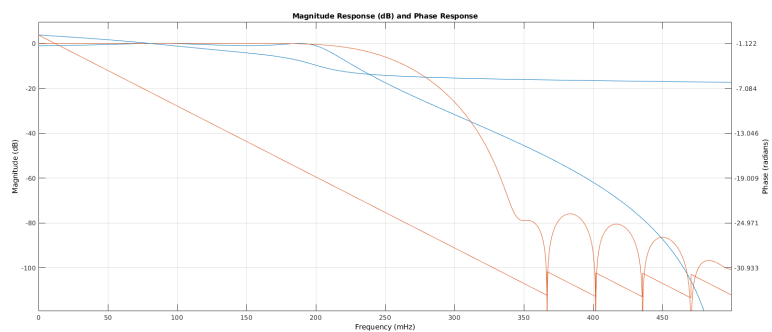
如图18, 滤波后信号频谱中 200Hz 被抑制了, 留下的是 50Hz 成分与直流成分

3.4.4

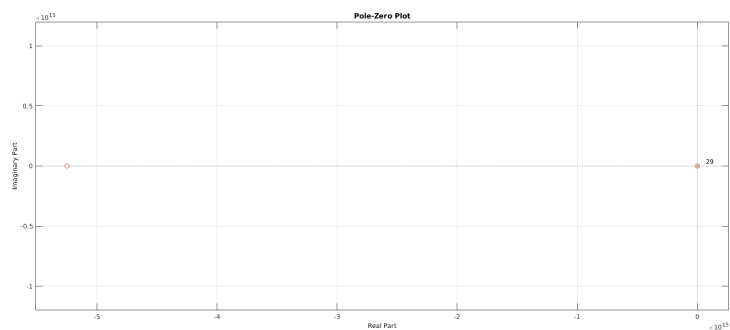
所生成滤波器为一通带频率为 100Hz 的高通滤波器。经滤波保留了原信号中的 200Hz 成分

4 总结

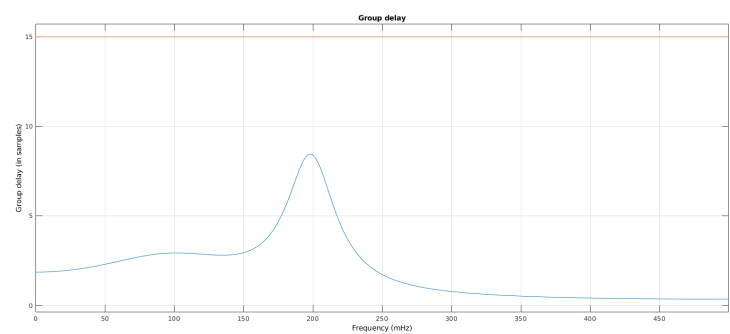
该实验根据不同需求设计了对应的 IIR&FIR 滤波器, 通过对 fvtool 的使用掌握了滤波器的设计方法, 并了解了两者的差异与优缺点。具体来说 IIR 滤波器具有较好的幅频特性且较容易设计, 但其相频一般是非线性的,



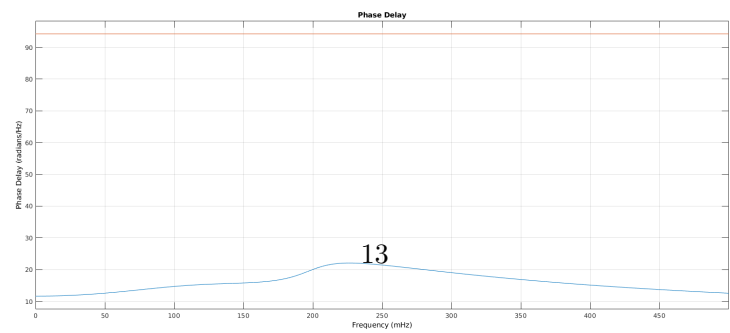
(a) 幅频 & 相频



(b) 零极点

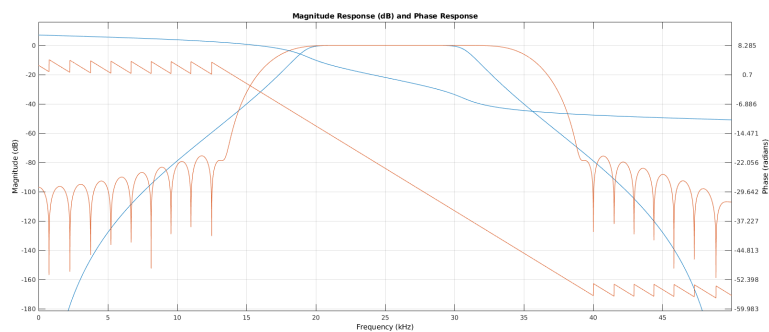


(c) 群延迟

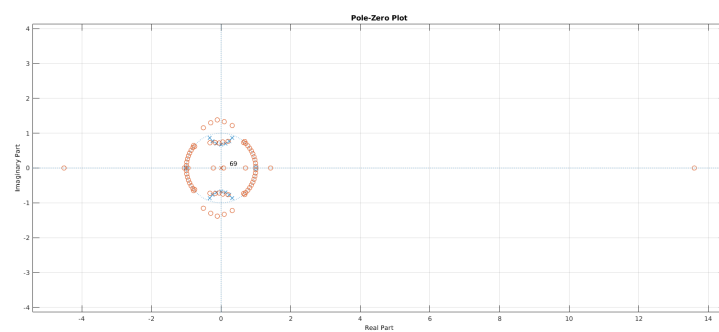


(d) 相位延迟

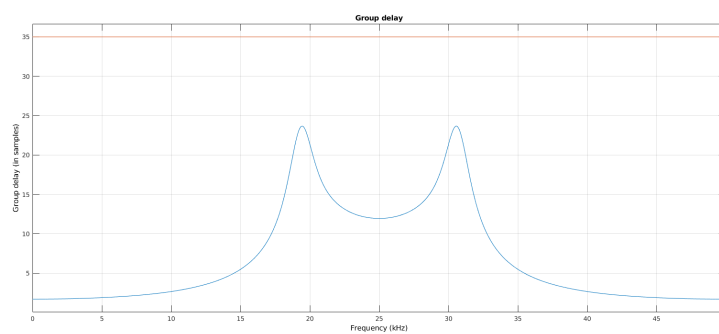
图 12: 低通



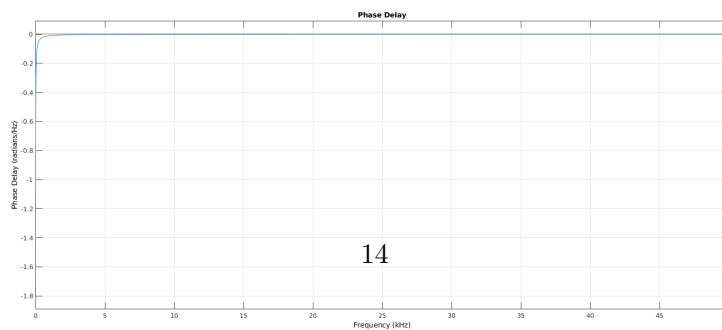
(a) 幅频 & 相频



(b) 零极点



(c) 群延迟



(d) 相位延迟

图 13: 带通

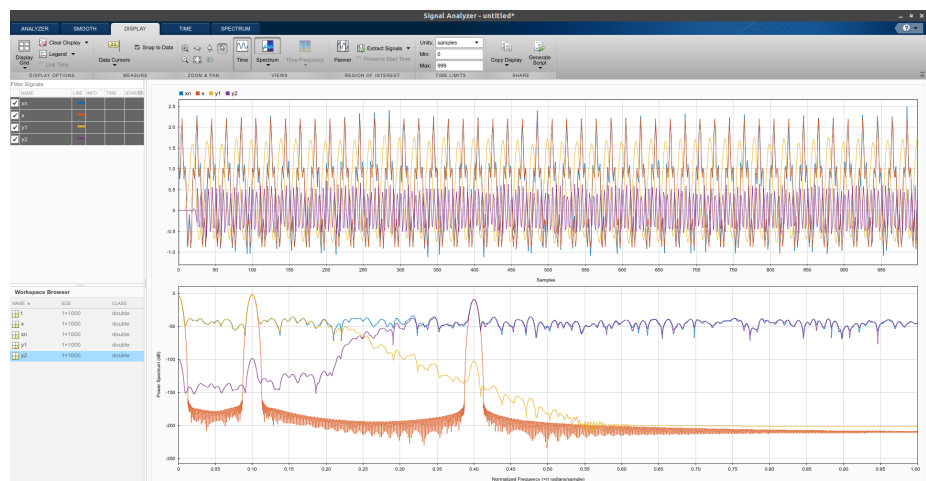


图 14: 最终效果图

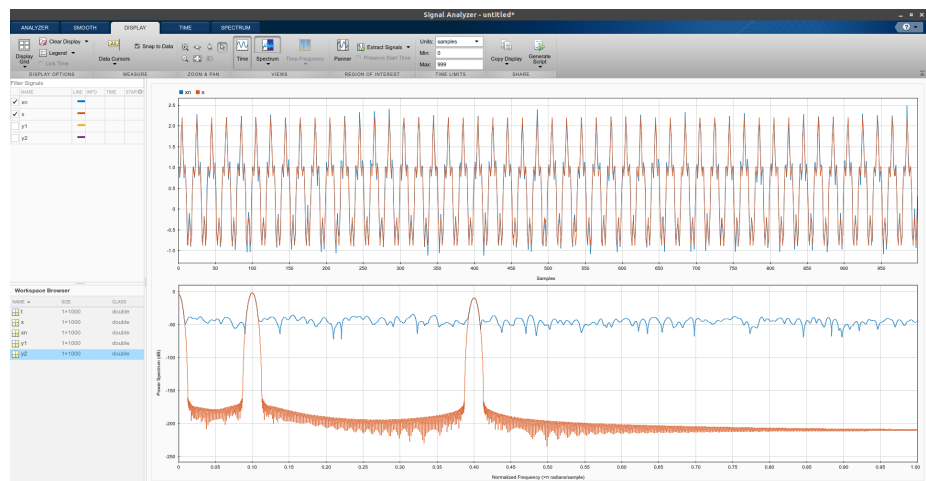
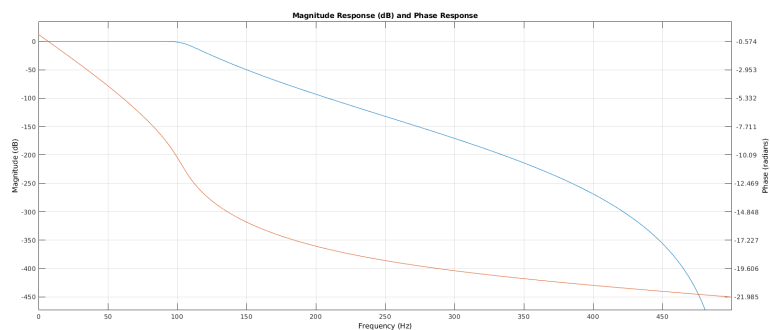
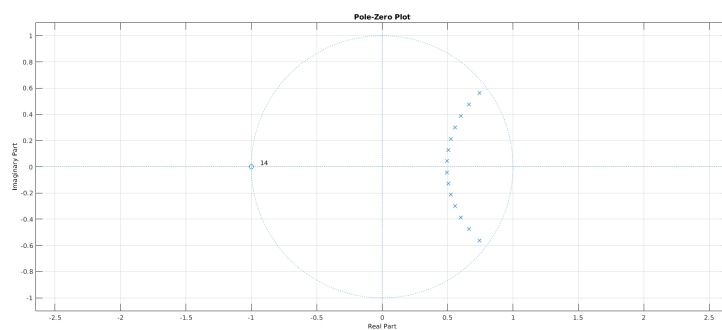


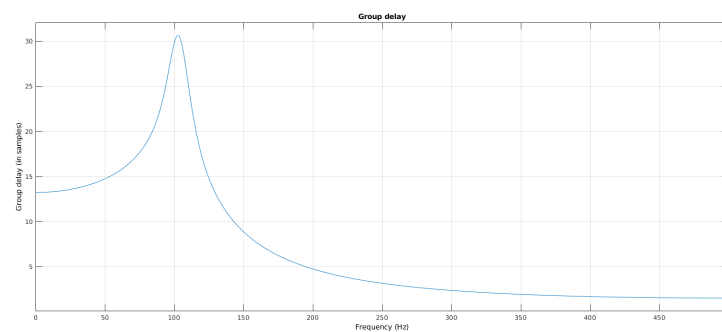
图 15: $x(n)$



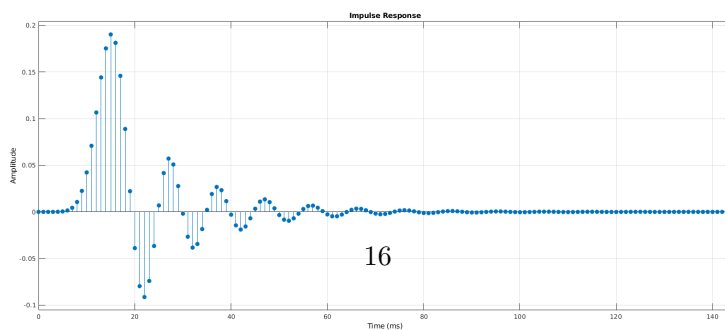
(a) 幅频 & 相频



(b) 零极点



(c) 群延时



(d) 脉冲响应

图 16: 滤波器特性

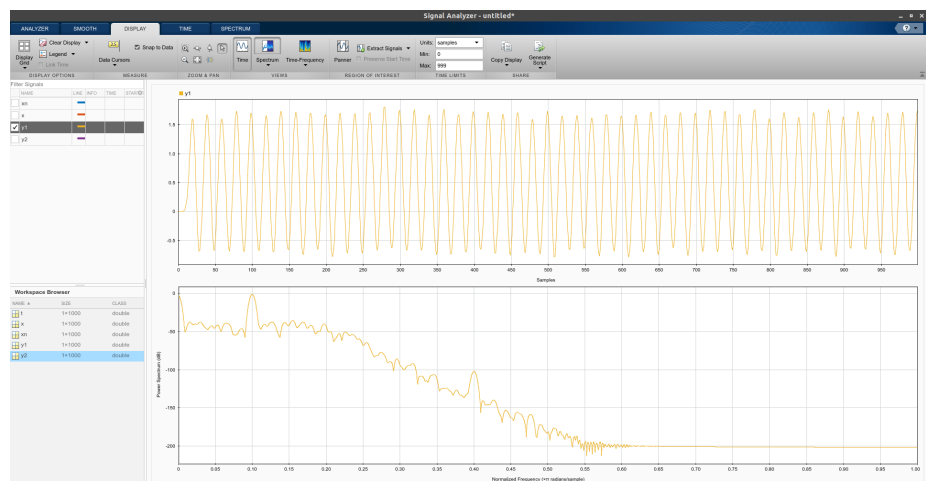


图 17: 滤波 1

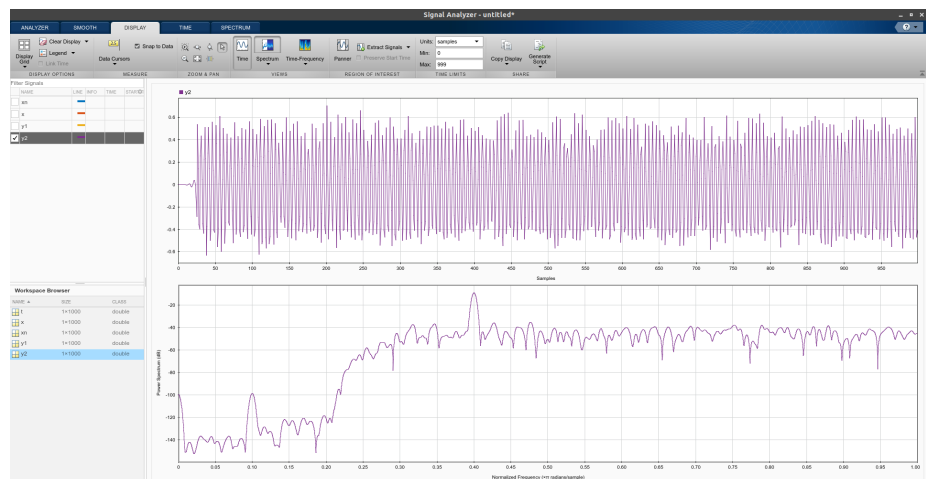


图 18: 滤波 2

且若极点位置过于靠近单位原由于舍入误差有可能出现系统不稳定的结果;FIR 滤波器具有线性相位特性,用于信号传输时不同频率分量可以以相同时延传输,没有系统可能性,但其设计参数较多,且幅频特性相较于 IIR 滤波器一般更差。在实现方面由于 FIR 滤波器实现的是一卷积操作,可以较快输出结果,而 IIR 就没有这样的优点。