

基于 Simulink 的音频混响器与噪声处理

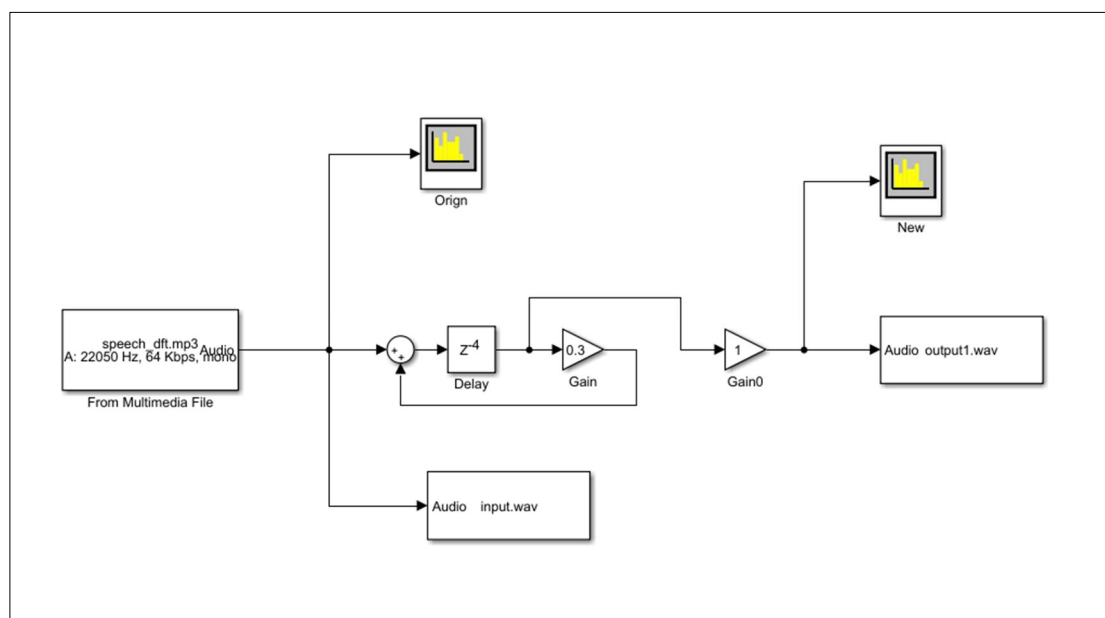
一、 实验描述

通过 Simulink 模拟音频混响器，输出均衡后的音频并且对比频谱图。对混响后的音频加噪滤波，分析对比信号的波形和频谱。

二、 测试环境

- Windows10 64 位 操作系统
- MATLAB R2019a

三、 测试步骤



从 Simulink 中读入音频，输出原音频的频谱图。将原音频做延迟衰减处理，将处理后的音频和原音频再重复延迟衰减处理，如此循环，将每次延迟后的音频输出，输出音频为混响音频，频谱为混响音频。

Delay 控制延迟的时间，Gain 控制每次衰减的大小（Gain 值始终在 0 和

1 之间, 不包括 0 和 1), 通过单一变量法, 测试这个变量对混响效果的影响。
用双线性变换法设计巴特沃斯低通滤波器

```
% digital low-pass technical index
Ft = fs / N; % sampling rate fs, number of samples
Fp = 3000 * 2 * Ft;
Fs = 3600 * Ft;
Wp = 2 * pi * Fp;
Ws = 2 * pi * Fs;
wp = Wp / fs;
ws = Ws / fs;
alpha_p = 1; % passband ripple
alpha_s = 10; % stopband ripple
```

根据取样频率和取样点数, 设计出需求, 即 w_p , w_s , α_p , α_s 。

```
% analog low-pass technical index
T = 1;
omega_p = 2/T * tan(wp / 2); % omega_p: passband edge frequency
omega_s = 2/T * tan(ws / 2); % omega_s: stopband edge frequency

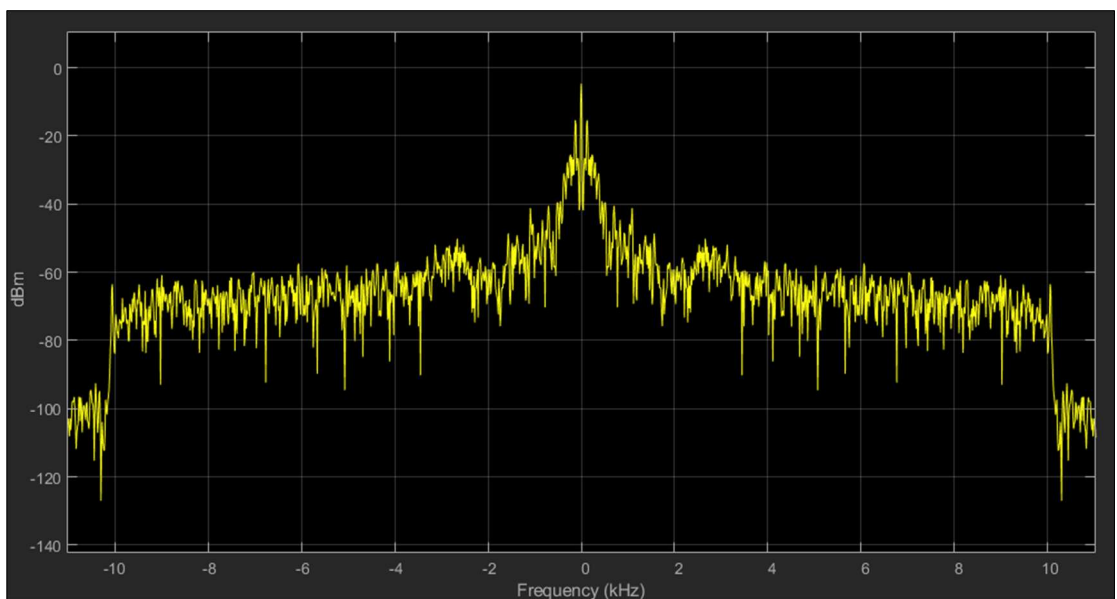
% design analog filter
[n_order, wc] = buttord(omega_p, omega_s, alpha_p, alpha_s, 's'); % calculate filter end N and 3dB final frequency wc
[B, A] = butter(n_order, wc, 's');

% convert to digital filter
[Bz, Az] = bilinear(B, A, 1/T);
```

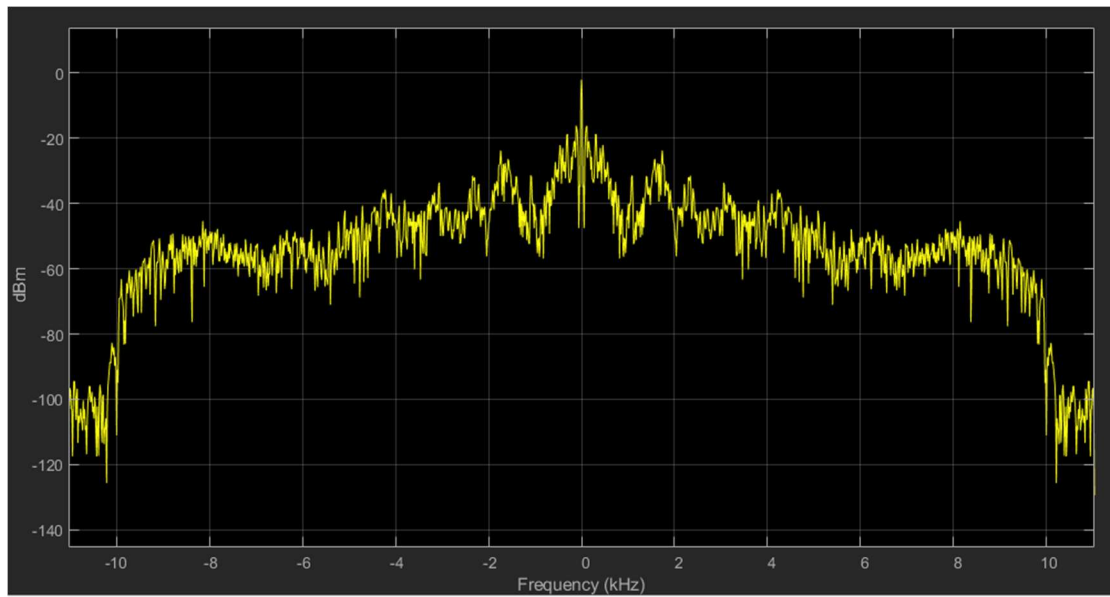
通过 w_p , w_s 算出 Ω_s 和 Ω_p , 再通过 Ω_s 和 Ω_p 计算出 N 的值和 Ω_c , 进而找到滤波器 $H(s)$, 再通过双线性变换法, 代入 T 找到数字滤波器

四、 测试结果

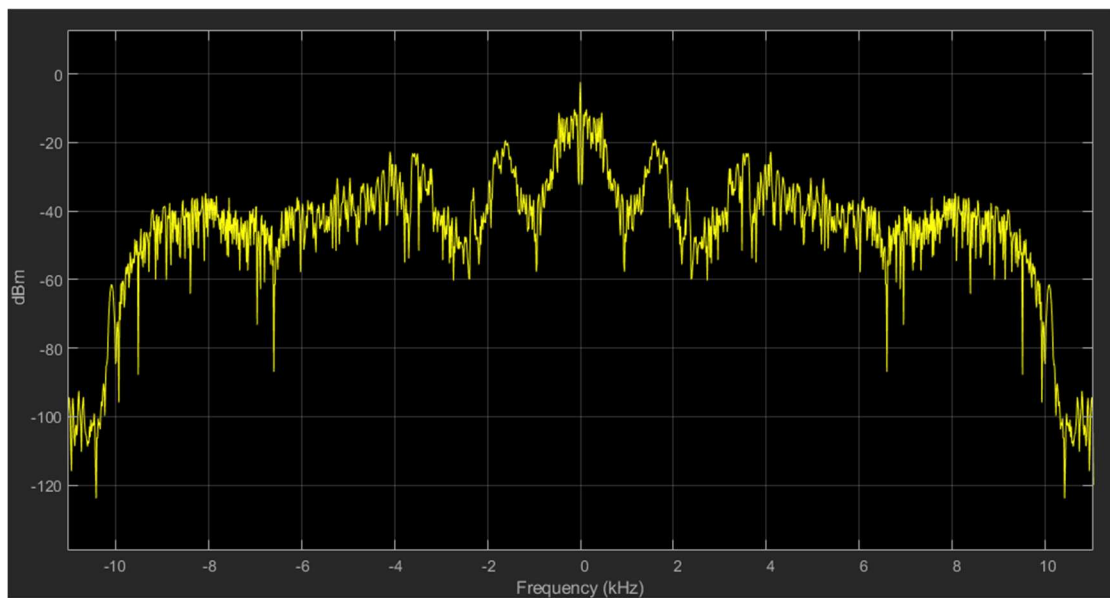
- 原始音频的频谱图:



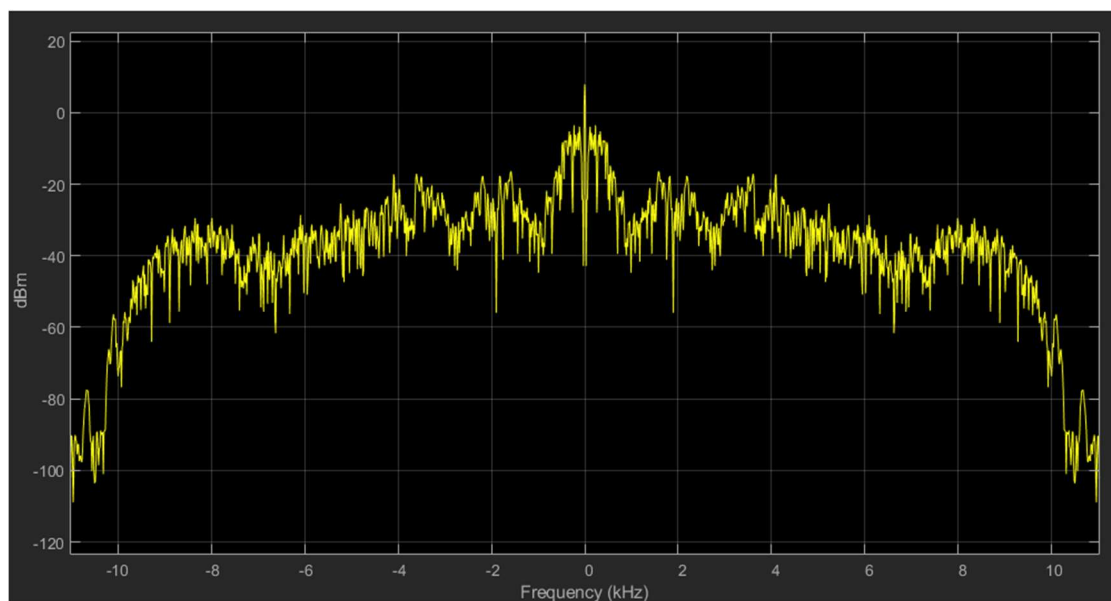
- Output1 输出图像 Delay 值为 4, Gain 值为 0.3



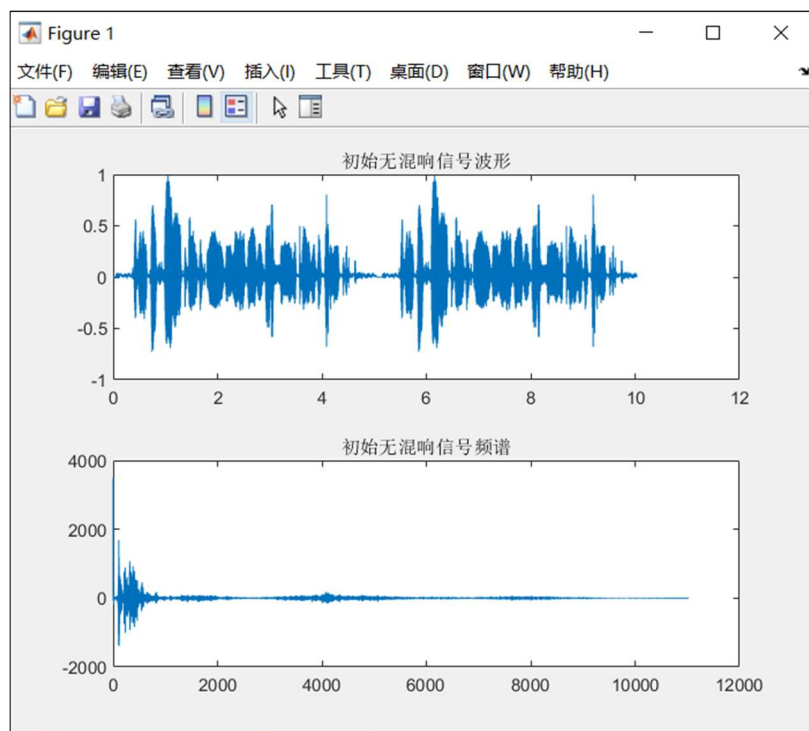
- Output2 输出图像 Delay 值为 8, Gain 值为 0.3



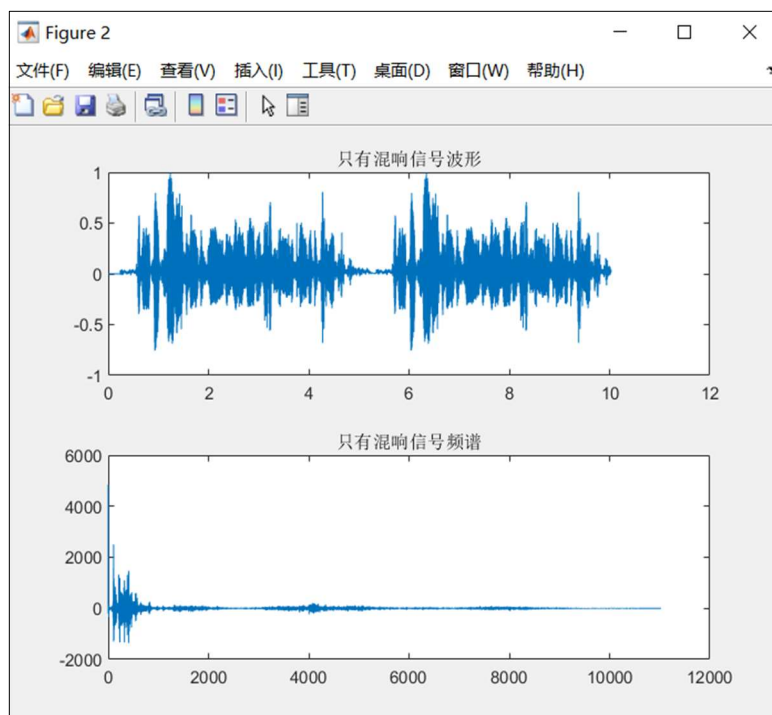
- Output3 输出图像 Delay 值为 4, Gain 值为 0.8



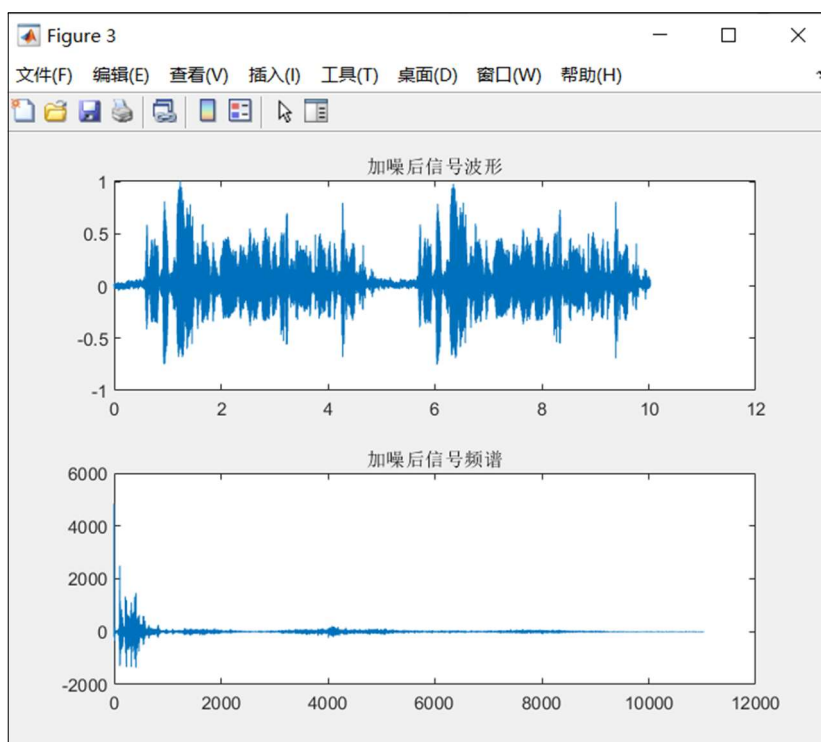
- 初始无混响信号波形和频谱



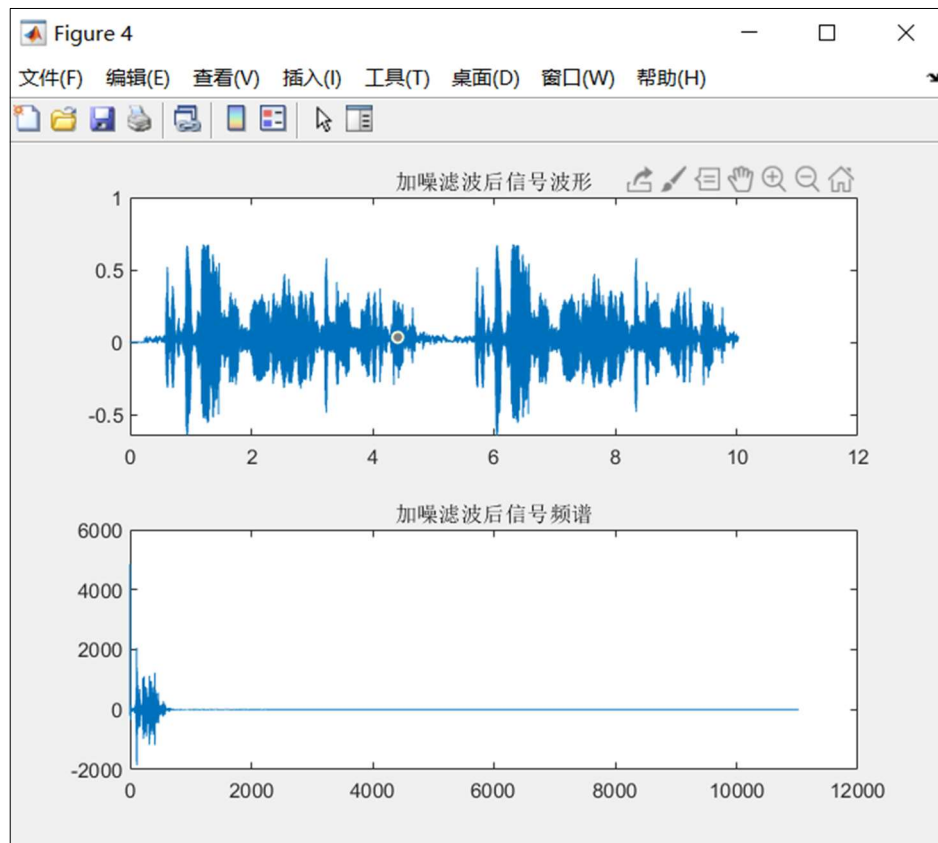
- 只有混响信号波形和频谱



- 加噪后信号波形和频谱

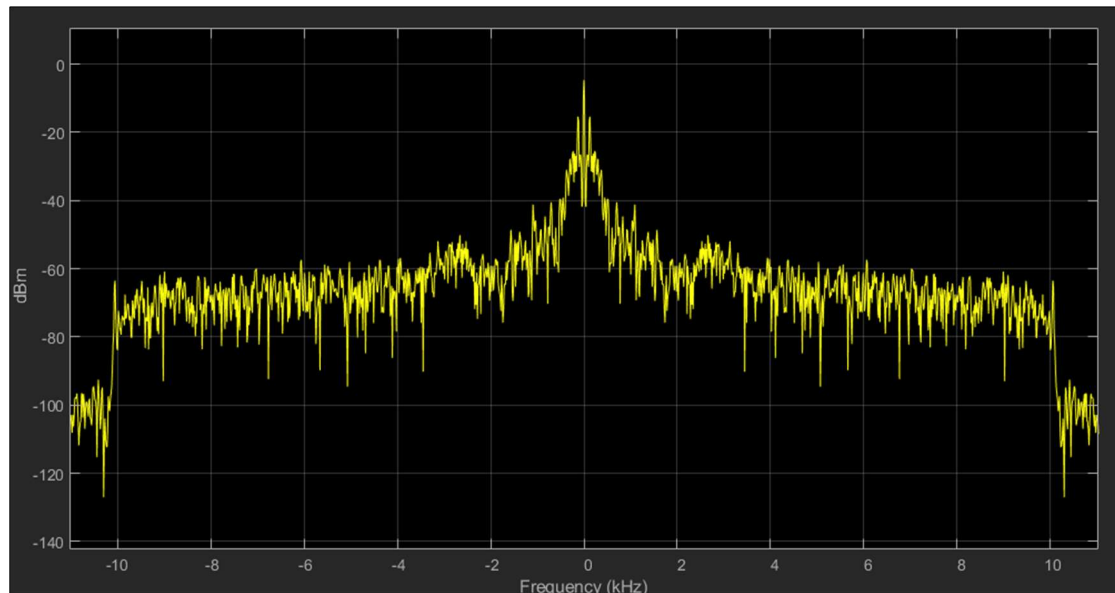


- 加噪滤波后信号波形和频谱



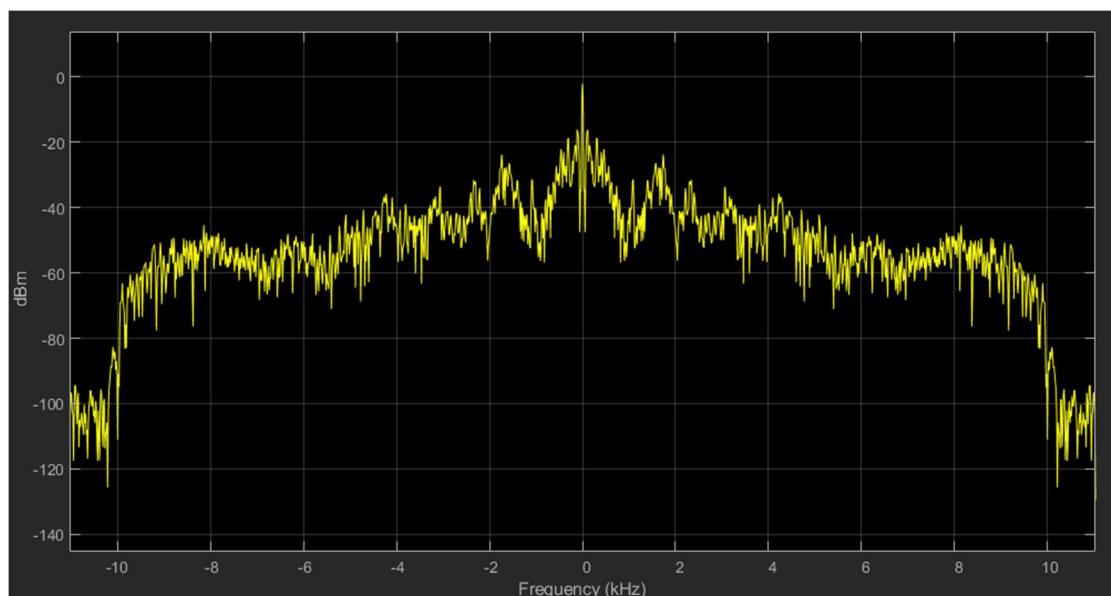
五、 结果分析与讨论

- 原始音频的频谱图：



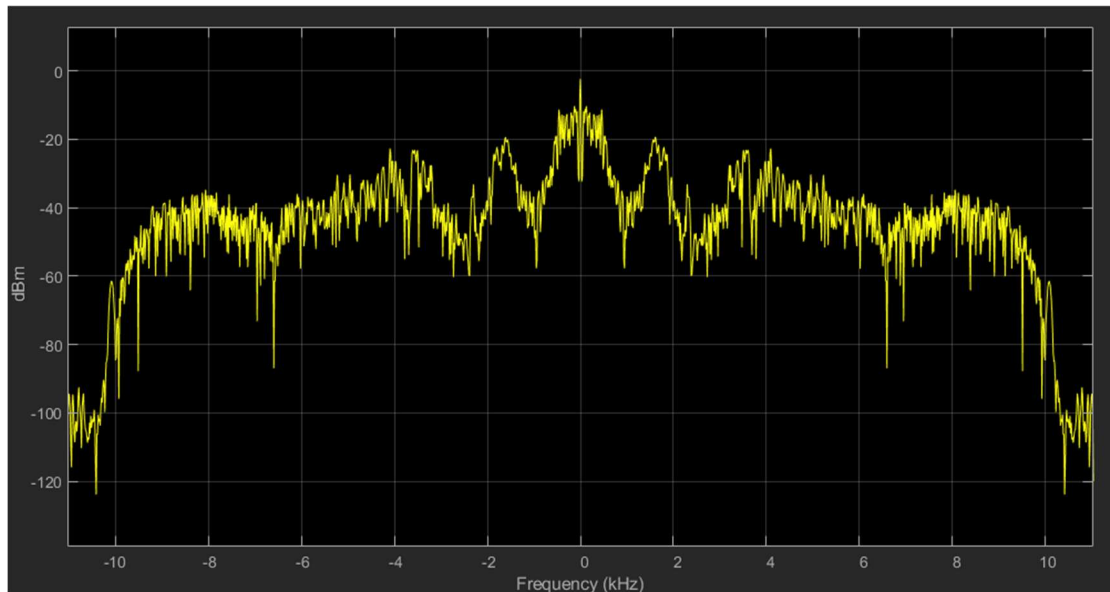
根据频谱图可以得知，该段音频频率的峰值集中在 0-1kHz，主要频谱段集中在 1k-10kHz。

- Output1 输出图像 Delay 值为 4，Gain 值为 0.3



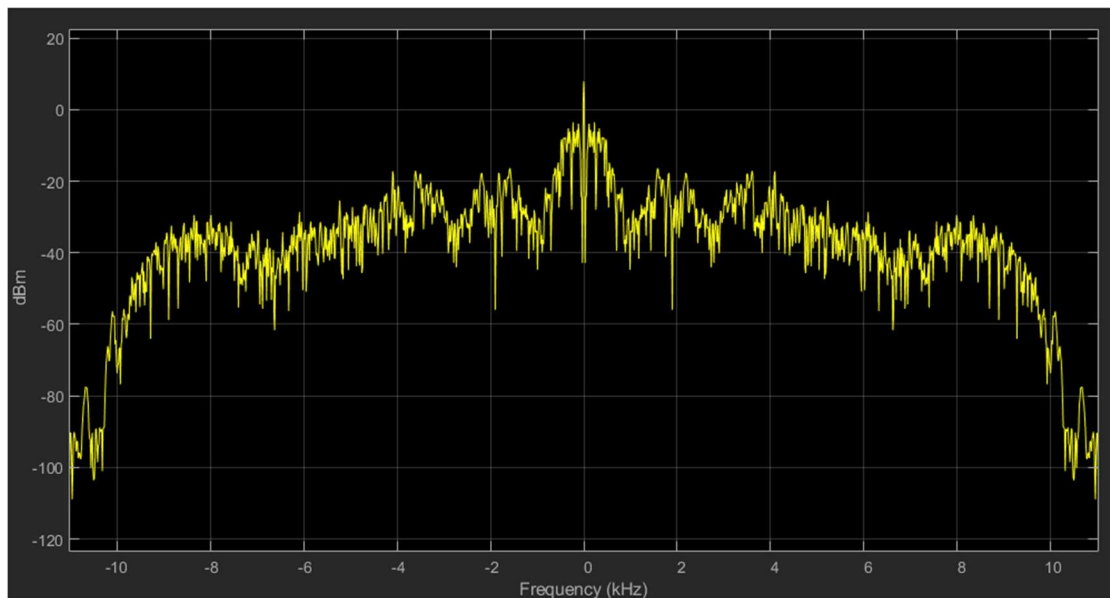
可以看到输出的音频的声贝值得到了提升，主要集中在 1k-8kHz。说明声音加了润色，由“干”变“湿”。

- Output2 输出图像 Delay 值为 8, Gain 值为 0.3



此时音频的频谱图在 1k-3kHz, 6k-10kHz 波动较明显, 我们也可以在输出的音频中听到明显的回声, 声音类似于操场广播的效果。

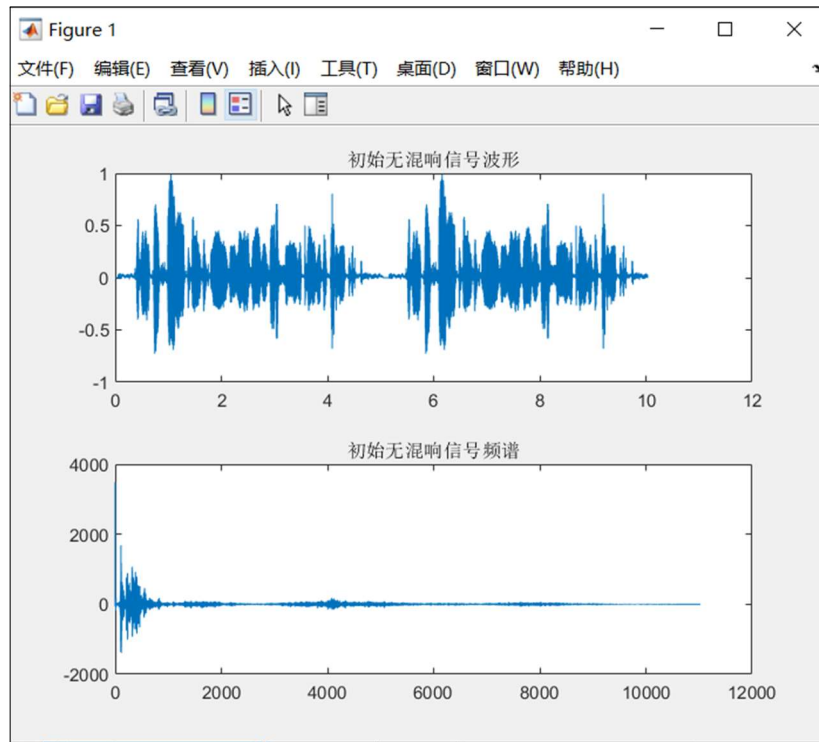
- Output3 输出图像 Delay 值为 4, Gain 值为 0.8



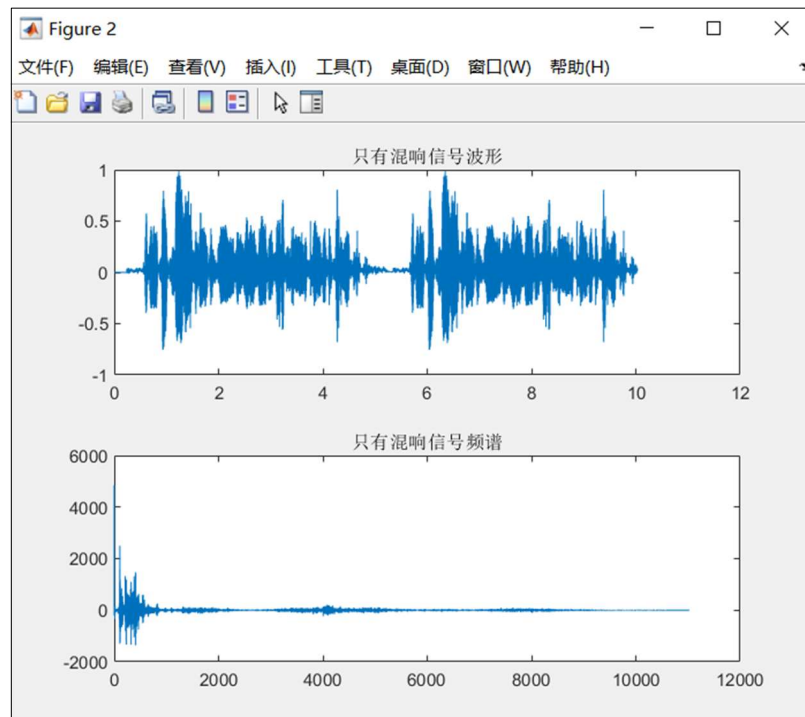
与 Output1 输出图像相比图形大体无明显差别, 差别主要体现在 Output1 的频谱相较于 Output3 的更加稳定, 也就是说 Output3 的声音颤音比较多, 我们可以从输出音频中听到, 由于衰弱强度减弱, 我们能明显听到上一时刻的声音与此时刻的声音叠加, 而且还是会无限递归叠加, 很长时间才能将最初时刻的声音完全衰弱, 声音效果类似于西游记中佛祖 (或者唐僧)

念经时的效果。

- 初始无混响信号波形和频谱

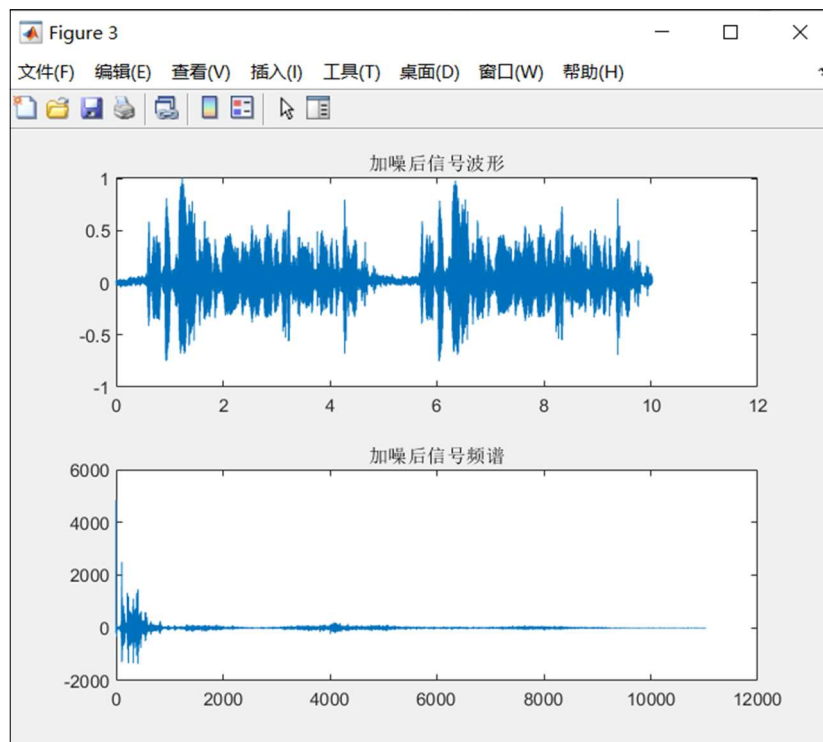


- 只有混响信号波形和频谱



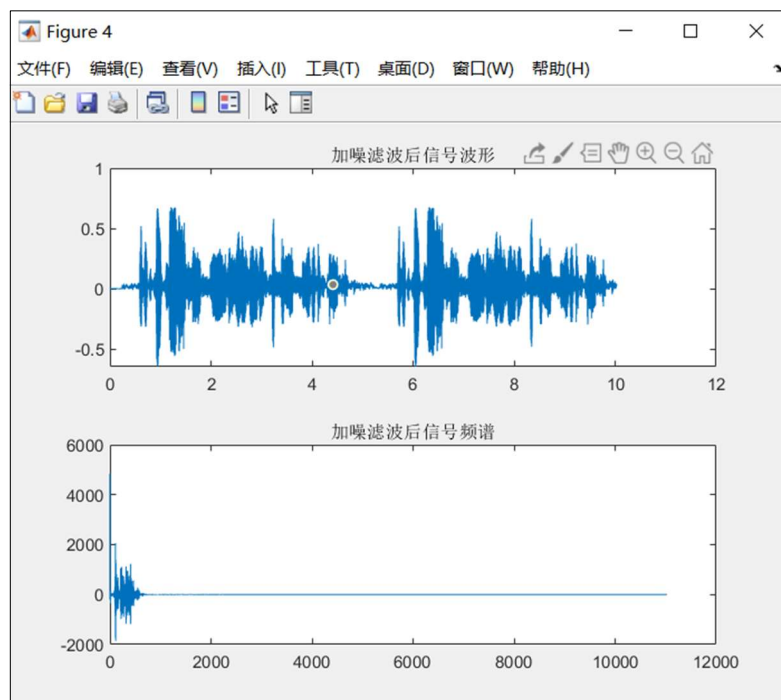
与初始无信号波形和频谱相比无明显差别，但是我们依旧可以在时间为 10 的地方和频率在 0-1000 处看到差别。

- 加噪后信号波形和频谱



添加了随机噪声之后，我们可以看到信号波形有明显的颤抖，尤其是在声音空白的地方，这表明噪声添加成功。在实际的加噪音频中，我们也可以明显的听到“沙沙”的噪音。

- 加噪滤波后信号波形和频谱



加噪信号通过巴特沃斯滤波器后，高频部分的音频被明显滤除，在频谱图中以一条直线呈现出来，信号整体强度相对下降。实际效果中声音有些沉闷，但是成功地滤除了噪声，声音听起来有混响的感觉，感觉像是从很远的地方传过来的。

六、 遇到的问题、解决方法

开始的时候 Simulink 的使用很陌生，无法在 Simulink 中添加输入声音，因为新的版本已经将 From Audio Device 移除，之后尝试了用 From Workspace 添加变量也无法解决。最终通过使用 DSP system toolbox 解决了问题。

开始的时候滤波器的设计参数不是很理想，根本无法从滤波后的声音听到有用的信息，之后在 Matlab 官网查了相关资料，修改了代码才解决了问题。

七、 实验体会与心得

这个实验让我明白，在进行创新实验时，不仅要熟练掌握数字信号处理的基础知识，同时还要熟练运用操作工具（Matlab 和 Simulink），才能够在现有基础上得到提升并且完成创新，从而为运用到实际中做铺垫。