

基于 Matlab 的音频降噪数字滤波器的设计与工业应用

石昌丰, 李自成, 周富军, 周星宇, 牟恩乐
成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 6140000

摘要 : 随着工业技术的不断更新迭代, 我们在工业生产过程中发现了数字信号的问题对工业领域的巨大影响, 因此在工业生产中, 数字噪声信号的处理解决受到越来越多的关注和研究, 这对整个工业生产都具有十分重要的意义^[1]。在 MATLAB 软件中, 利用 MATLAB 语言编写程序对信号进行加噪和噪声处理, 在此过程中使用数字滤波器对数字噪声信号进行处理, 通过仿真并得到各信号的时域图, 然后通过快速傅里叶变换 fft 函数转换得到频域图, 观察结果并比较不同滤波器的作用效果, 适应环境和性能, 然后分析不同滤波器的优缺点, 进而进行改善和选择, 以此来选择更加适合工业生产中处理噪声的滤波器, 减少不必要的损耗, 使得工业生产更加完善高效^[2]。

关键词 : MATLAB; 工业生产; 语音信号; 滤波器处理噪声; 快速傅里叶变换 (FFT)

Design and Industrial Application of Audio Noise Reduction Digital Filter Based on Matlab

Shi Changfeng, Li Zicheng, Zhou Fujun, Zhou Xingyu, Mou Enle
School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 6140000

Abstract : With the continuous update and iteration of industrial technology, we found the problem of digital signal in the process of industrial production on the industrial field, so in the industrial production, the treatment of digital noise signal by more and more attention and research, which has a very important significance for the whole industrial production^[1]. In MATLAB software, using MATLAB language program to add signal noise and noise processing, in the process using digital filter to digital noise signal processing, simulation and get the signal time domain map, and then through fast Fourier transform fft function conversion frequency domain map, observation and compare the effect of different filters, adapt to the environment and performance, and then analyze the advantages and disadvantages of different filters, and then improve and selection, in order to choose more suitable for industrial production noise filter, reduce unnecessary loss, make industrial production more perfect and efficient^[2].

Keywords : MATLAB; industrial production; speech signals; filter noise processing; fast Fourier transform (FFT)

引言

在工业机械生产的过程中应用数字噪声信号有着不同的使用方法和模式。探索噪声信号在工业生产方面的实际作用进行探索与研究, 如工业数据信号信息的远程传输、对机械设备损伤程度和位置的快速检测等。研究工业环境噪音对于工业生产过程中产生的数字语音信号的影响, 并观察不同滤波器对语音信号过滤后得到的去噪信号^[3]。通过 MATLAB 软件对该现象进行延展仿真实验, 观察滤波器对工业生产环境中所产生的各种噪声信号的处理效果, 对工业环境噪声的产生以及危害与作用得出一个较为详细的解释应用和解决方案, 也对滤波器的使用方法和作用效果有个更加清晰的认知。

一、快速傅里叶变换的认识

快速傅里叶变换 (FFT) 是通过对离散傅里叶变换 (DFT) 的周期性和对称性的利用。方便优化算法降低复杂程度到 $O(n \cdot \log n)$, 提高算法的计算速度。

对于连续时间信号, FFT 的定义为:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

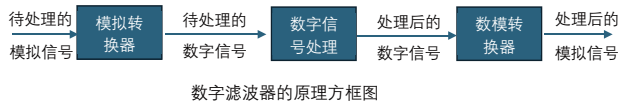
对于离散时间信号, DFT 定义为:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k=0,1,\dots,N-1$$

二、数字滤波器的分析及应用

数字滤波器在工业雷达和声纳的目标检测反馈定位、电站的控制运行状态监测系统、飞行器的电子器件损伤诊断、精确工业装置的磨损检测等领域得到了广泛应用, 将数字滤波器进行工业生产方面应用, 方便工业环境中传播精确的数字信号时, 保持信

号本身应有内容频率，防止出现误差使信息出现错误。数字滤波器有 IIR 滤波器和 FIR 滤波器以及其他的各种数字滤波器，但是我们要根据不同实际情况中不同的环境，算法以及功能来选择不同的滤波器。



数字滤波器的原理方框图

IIR 滤波器的基本结构

IIR 滤波器设计方法：使用巴特沃斯低通滤波器对信号进行过滤，其滤波器的频率响应 $|H(j\omega)|$ 在阻带内单调下降，在通带内是平坦的。

IIR 滤波器的系统函数：

$$Hz = \frac{\sum_{k=1}^M b_k z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$

IIR 滤波器的差分方程的一般形式为：

$$y(n) = \sum_{k=1}^N a_k y(n-k) + \sum_{k=0}^M b_k x(n-k)$$

滤波器的阶数 N 可以通过以下公式计算：

$$N = \frac{\log_{10} \left(\frac{10^{\alpha_s/10} - 1}{10^{\alpha_p/10} - 1} \right)}{2 \log_{10} \left(\frac{\omega_s}{\omega_p} \right)}$$

极点的位置可以通过以下公式计算：

$$p_k = e^{j \left(\frac{\pi(2k+1)\pi}{2N} \right)}$$

将极点的位置代入传递函数中，求得传递函数 H(s) 为：

$$H(s) = \frac{1}{\prod_{k=0}^{N-1} (s - pk)}$$

将滤波器的传递函数 H(s) 映射到数字域，得到传递函数 H(z)：

$$s = \frac{2}{T} \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}}$$

FIR 滤波器的基本结构

FIR 滤波器设计方法：通过使用窗函数对所需过滤数字噪声信号进行的过滤削弱，将无限脉冲响应滤波器转换为有限长度的 FIR 滤波器。

单位脉冲响应长度为 N，系统函数关系式：

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) z^{-n}$$

理想低通滤波器的冲激响应为：

$$h_d(n) = \frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n}$$

将窗函数 $\omega(n)$ 带入无限脉冲响应 $h_d(n)$ 中：

$$h(n) = h_d(n) \cdot \omega(n)$$

IIR 滤波器和 FIR 滤波器的比较

巴特沃斯滤波器和窗函数滤波器在许多的场景中都存在有很多不同点^[4]。稳定性：二者稳定性的差异使得他们的稳定性也大不相同，结果的准确度也受到影响；计算效率：因为其两种滤波器的计算影响因素不同，IIR 滤波器不受阶数影响，以此在多阶数运算时，该滤波器更加高效快速^[5]。应用场景：IIR 滤波器适用于短时间快速计算时选择使用，而 FIR 滤波器适用于所需计算结果精确时使用。

三、噪声信号在工业生产过程中的影响及应用

工业生产环境中总是充斥着各种各样的噪声，这些噪声不仅会影响到工业系统中控制生产的机械装置的工作性能，造成生产效率下降^[6]。同时噪声因其传播振动的形式对系统装置造成一下不可逆损伤，使得生产成本提高。工业生产环境中常见的噪声源有铁质机械和电器电子元件在长时间负荷工作运转下会因为低频振动而产生机械噪声，这些噪声会干扰其他的传输数据的各种传感器和执行器的精确度。

数字噪声信号在工业生产控制过程中有多种不同的作用：1. 机械设备的监测与电子器件的故障诊断：工厂中的机器设备在运行时会因为不同的原因导致装置的铁块间存在缝隙，产生振动声、撞击声、摩擦声等噪声信号。通过对这些信号进行噪声信号处理观察，可以更准确地识别出设备的基本特征信息，如振动频率、声音强度等，从而判断设备是否有损坏磨损，能否正常运行，通过反馈的噪声信号及时发现潜在可能存在的机械故障。例如，利用对机械设备的噪声的反馈进行分析，能够检测出装置器件的损坏位置和磨损程度等。2. 生产过程优化：在工业控制生产过程中，各种传感器自行会采集大量生产数据，从而更好的制定生产计划，其中收集的数据可能受到工业环境噪声的干扰。对这些数据进行噪声处理后，可以更精确无误地分析出生产过程中的各种参数变化范围程度，优化生产工艺，以此提高产品的质量和生产效率。比如，在碳炼钢铁的生产过程中，通过对温度、湿度、压力等传感器数据的噪声处理，能够更好地控制冶炼过程中的各种参数，提高钢材的质量和数量^[7]。3. 信号的传输与接收：在工业生产中通过无线通信是非常常见的，而语音信号在通过无线传输的过程中可能会受到各种工业噪声的干扰，如电子元器件所发出的电磁干扰以及信号重叠导致的信号失真等。通过数字滤波器过滤噪声信号后会使得传输的信号保持本来的频率，不因为工业噪声的攻击而使信号混乱。例如，在现在工业对讲机通信中，会采用滤波噪声处理技术，使信号的传输速率和稳定性得到质的提升^[8]。

四、数字滤波器的 MATLAB 仿真

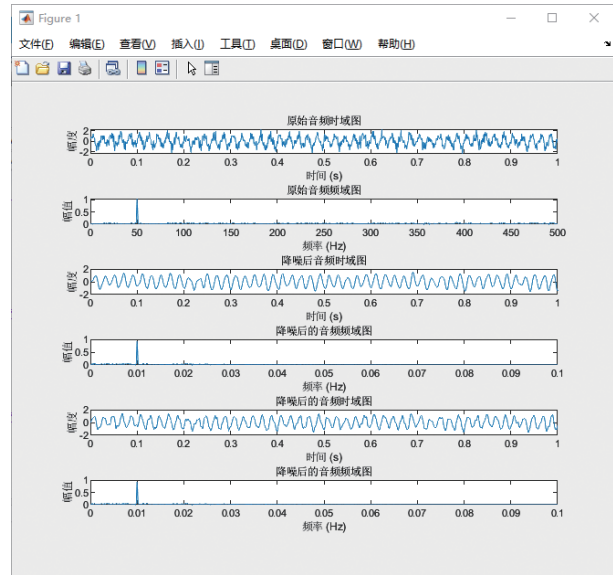
滤波器代码编写

```
fs = 10
T = 1/fs;
t = 0:1/fs:1;
L = 1000;
f0 = 50;
A = 1;
s = A * sin(2 * pi * f0 * t);
noise_amplitude = 0.5;
noise = noise_amplitude * randn(size(s));
x = s + noise;
fc = 100;
Wn = fc/(fs/2);
[b1, a1] = butter(6, Wn, 'low');
IIR_audio = filter(b1, a1, x);
fc = 100;
```

```

Wn = fc/(fs/2);
[b2, a2]= fir1(6, Wn, 'low', hamming(6+1));
FIR_audio = filter(b2, a2, x);
figure;
subplot(6,1,1);
plot(t, x);
xlabel( '时间 (s)' );
ylabel( '幅度' );
title( '原始音频时域图' );
subplot(6,1,2);
plot(f1, Q1);
xlabel( '频率 (Hz)' );
ylabel( '幅值' );
title( '原始音频频域图' );
Y1=fft(x);
Y2=fft(IIR_audio);
Y3=fft(FIR_audio);
f1 = fs*(0:(L/2))/L;
f2 = Wn*(0:(L/2))/L;
Q2 = abs(Y1/L);
Q1 = Q2(1:L/2+1);
Q1(2:end-1) = 2*Q1(2:end-1);
P2 = abs(Y2/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P3 = abs(Y3/L);
P1 = P3(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
subplot(6,1,3);
plot(t, IIR_audio);
xlabel( '时间 (s)' );
ylabel( '幅度' );
title( '降噪后音频时域图' );
subplot(6,1,4);
plot(f2, P1);
xlabel( '频率 (Hz)' );
ylabel( '幅值' );
title( '降噪后的音频频域图' );
subplot(6,1,5);
plot(t, FIR_audio);
xlabel( '时间 (s)' );
ylabel( '幅度' );
title( '降噪后的音频时域图' );
subplot(6,1,6);
plot(f2, P1);
xlabel( '频率 (Hz)' );
ylabel( '幅值' );
title( '降噪后的音频频域图' );
代码运行结果

```



五、总结

工业音频降噪的主要目的是通过数字滤波器的滤波技术来去除工业信号传递时音频信号中出现的不必要的工业噪声，例如：环境、设备本身，其他电磁干扰。工业噪声的滤波处理是工业生产中的一个重要环节，通过使用数字滤波器的特定的算法技术消除信号噪声，保留所需要的信号频率^[9]。同样我们也可以通过特定的技术手段，把噪声信号反应出的机械损伤位置和磨损程度都更加浅显的表示出来，以此方便工厂检修人员对机械设备，电子元件进行检修和替换。通过生成正弦函数加入高斯噪声来代替工业信息传递中出现的工业噪声，同时我们也可通过创建 audioread 函数，以此来读取含工业噪声文件，这种采集工业噪声方式更加贴近现实工业环境，通过滤波器过滤噪声^[10]。在了解滤波器过滤噪声方法的同时，了解多种滤波器在工业信息传递时的使用方法以及窗函数的应用原理，也在时域频域的转换中研究快速傅里叶转换 fft 的使用方法和应用条件。了解在使用 matlab 软件过程中编写函数代码的过程和方式及对图形进行观测和比较。

参考文献

- [1] 程建华、袁书明、弗雷德.J.泰勒, 数字滤波器原理及应用 [M]. 国防工业出版社, 2013.
- [2] 曾霞、廖干渊、曾贵娥, MATLAB 语言及应用实用教程 [M]. 西北工业大学出版社, 2021.
- [3] 黄波, 基于窗函数法的 FIR 数字滤波器仿真与实现 [J]. 内江科技, 2019 (11) : 29-30.
- [4] 袁梅、陈林、董韶鹏, 声发射信号分析与数字信号处理实验设计 [J]. 电气电子教学学报, 2021 (02) : 139-143+152.
- [5] 陈国泰、张赛男、付爽, 数字滤波器相位的理解 [J]. 黑河学院学报, 2020 (05) : 180-183.
- [6] 殷仕淑、武岳、常郝, 三维线性相位 FIR 数字滤波器对称特性的设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2019 (16) : 88-92.
- [7] 郝日杰, 数字信号处理技术在电子信息工程中的应用 [J]. 通信电源技术, 2020 (05) : 206-207.
- [8] 尹园威、马俊涛、史林等, 基于 MatLab 的 IIR 数字滤波器设计与应用 [J]. 中国现代教育装备, 2021 (21) : 31-33+42.
- [9] 刘宇, 可调分数延迟 FIR 数字滤波器约束优化设计问题研究 [D]. 山东大学, 2022
- [10] 刘飞, FIR 数字滤波器设计与应用 [D]. 浙江工业大学, 2019.