

调幅信号的解调

供题老师：洪伟

要求：

- (1) 在你的报告中按顺序逐题给出你的分析、解答和讨论，matlab 代码不要夹杂在问题的分析、解答和讨论中；
- (2) 采用 matlab 进行数值计算并画出图形，帮助你完成题目的解答。
- (3) matlab 代码作为报告的附录给出。
- (4) 完成后将所有文档、matlab 代码和其他相关内容打包，以“题目号-班级-姓名-学号”作为文件名上交。

文件 project.wav 中包含了一段错误解调的音频信息的采样值，原始信号是以 f_c 作为载波频率进行调制的，但在解调时却用了错误的频率 $\tilde{f}_c \neq f_c$ 进行相干解调。原始信号的带宽为 $f_B = 4 \text{ kHz}$ ，project.wav 是对错误解调后得到的连续时间信号进行采样得到的。采样频率为 f_s ，且 f_s 远大于 f_B 或者 $|\tilde{f}_c - f_c|$ 。用 wavread 函数将 project.wav 读入 matlab，并用 audioplayer 函数播放这段音频。本题中其他可能用到的 matlab 函数有：freqresp, reshape, fftshift, circshift, colon, 等等。

Q1：信号的频谱

假设这段音频为 $x(t)$ ，其采样点的个数为 N 。用 fft 函数计算其频谱并画出图形，即画出 $X_k = X(f)|_{f=kf_s/N}, k = 0, \dots, N-1$ 。根据你画出的频谱图，估计 $f_d = |\tilde{f}_c - f_c|$ 并作出解释，是否有足够的信息可以告诉你 $\tilde{f}_c > f_c$ 还是 $\tilde{f}_c < f_c$ ？这是否会对错误解调的结果产生影响？

Q2：滤波器设计

在上题中你已经估计出了 f_d ，现在请设计两个滤波器，第一个滤波器为连续时间的高通滤波器，其截止频率为 f_d ，第二个滤波器为连续时间的低通滤波器，其截止频率为 f_B ，用 matlab 函数 butter 设计一个 8 阶高通滤波器和一个 8 阶低通滤波器，用函数 tf 构建代表上述两个滤波器的线性系统，你得到的系统传递函数分别是怎样的？画出这两个滤波器的频率响应，要求频率点与上题中音频信号频谱的频率点（即 $f = kf_s/N, k = 0, \dots, N-1$ ）完全相同。

Q3：时域正确解调

本题中你将利用你设计的滤波器实现信号的正确解调。采用 matlab 函数 lsim 让信号 $x(t)$ 通过你设计的高通滤波器，得到输出信号 $x_h(t)$ 。产生一个信号： $x_b(t) = x_h(t)\cos(2\pi f_d t)$ ，采用 matlab 函数 lsim 让信号 $x_b(t)$ 通过你设计的低通滤波器，得到输出信号 $x_l(t)$ 。用方框图画出你刚才所做的操作，标出上述信号产生的位置，分析每个单元的线性、时不变性和因果性。

画出 $f = kf_s/N$ ($k = 0, \dots, N-1$) 处 $x_h(t)$, $x_b(t)$ 和 $x_l(t)$ 的频谱 $X_h(f)$, $X_b(f)$ 和 $X_l(f)$ 。播放信号 $x_l(t)$ ，解释为什么上述的操作可以恢复原始信号。原始的音频信息是什么？是否可以跳过高通滤波这一步，或者在乘 $\cos(2\pi f_d t)$ 之后再进行高通滤波？

Q4：频域正确解调

在 Q1 中你已经得到了信号 $x(t)$ 的 DFT: $X_k = X(f)|_{f=kf_s/N}, k = 0, \dots, N-1, k = 0, \dots, N-1$ 。计算 $X_h(f) = H_h(f)X(f)|_{f=kf_s/N}$ ，其中 $H_h(f)$ 是截止频率为 f_d 的理想高通滤波器的频率响应，画出 $X_h(f)$ 的幅度。计算 $X_b(f) = X_h(f - f_d) + X_h(f + f_d)$ ，画出 $X_b(f)$ 。计算 $X_l(f) = H_l(f)X_b(f)|_{f=kf_s/N}$ ，其中 $H_l(f)$ 是截止频率为 f_B 的理想低通滤波器的频率响应，画出 $X_l(f)$ 的

幅度，并与 Q3 中得到的 $X_l(f)$ 进行比较。采用 matlab 函数 ifft 计算信号 $x_l(t)$ 并播放，恢复出的原始信号是否与 Q3 的结果相同？用方框图画出你刚才所做的操作，标出上述信号产生的位置，比较本题中的频域方法和 Q3 中的时域方法。