

课程项目题一：多径传输信号的恢复

1、项目背景

无线信号在空中传播时会碰到障碍物发生发射,接收端接收到的直射波和多个反射波存在幅度、相位和时延上的差异,这种情况叫做多径传输。反射波信号和直射波信号在接收端叠加在一起,造成干扰,除此之外信道还存在加性噪声的干扰。本项目希望同学们利用已知的训练序列设计出一个线性时不变系统来尽可能抵消多径干扰的影响,还原原始信号。

2、多径信号传输及恢复的原理介绍

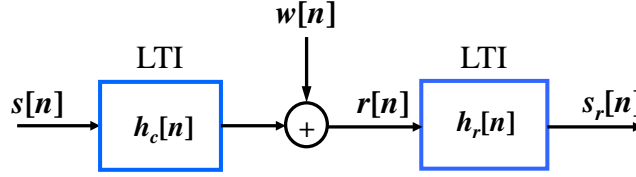


图 1 多径传输及恢复原理框图

多径信号传输及恢复的原理框图如图 1 所示。各信号说明如下：

$s[n]$ ：原始离散时间实序列，序列长度为 N 。 $s[n]$ 为带限信号，其 99.99% 以上的能量位于 $|\omega| < 0.25\pi$ 的频带内。

$h_c[n]$ ：由多径信道等效而来的线性时不变系统的单位脉冲响应，在本项目中假定其为实序列且满足：

$$h_c[n] = a_0\delta[n] + a_1\delta[n-1] + a_2\delta[n-2] + a_3\delta[n-3] \quad (1.1)$$

$w[n]$ ：高斯白噪声序列。(可以在 matlab 中用 randn(1,N) 来产生长度为 N 的 $w[n]$ 样本序列，由于 $w[n]$ 的噪声特性，每次产生的样本序列都不一样)。

$r[n]$ ：接收端获得的离散时间序列。

$h_r[n]$ ：用于恢复原始信号的滤波器的单位脉冲响应，**该滤波器必须是因果的**。这个滤波器是需要同学们来设计的。

$s_r[n]$ ：恢复出的信号。

定义恢复信号与原始信号之间误差平均功率为：

$$P_{err} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |s[n] - s_r[n+K]|^2 \quad (1.2)$$

其中 $K \geq 0$ 为恢复信号相对于原始信号的延迟。希望能降低 P_{err} 和延迟 K ，因此用代价函数

$U = K + 10 \times \lg P_{err}$ 作为本项目恢复质量的评价指标， U 越小则认为恢复得越好。

3、项目内容

基本内容：

已知多径信道参数，即 $a_0 = 1, a_1 = 0.2, a_3 = 0.16, a_4 = -0.48$ ，完成下列内容：

- 1) 分析图 1 中各信号的关系，设计恢复滤波器 $h_r[n]$ 和恢复信号的延迟 K 。
- 2) 项目提供了两组训练信号，将两组训练用的接收信号 $r_{training,i}[n], i = 1, 2$ 通过你在 1) 中设计的滤波器，将其输出分别与原始序列 $s_{training,i}[n], i = 1, 2$ 作对比，计算相应的代价函数值。
- 3) 将项目提供的两组测试接收信号 $r_{test,i}[n], i = 1, 2$ 分别通过你在 1) 中设计的滤波器，将其输出序列和 K 值的延迟值保存在 .mat 文件中以便最后提交。

扩展内容（可选）：

多径信道参数 a_0, a_1, a_2, a_3 未知，完成下列内容。

- 1) 项目提供了两组训练信号，每组信号包含接收序列 $r_{training,i}[n], i = 1, 2$ 和对应的原始序列 $s_{training,i}[n], i = 1, 2$ 。利用它们设计出恢复滤波器 $h_r[n]$ 和恢复信号的延迟 K 。
- 2) 将项目提供的两组测试接收信号 $r_{test,i}[n], i = 1, 2$ 分别通过你在 1) 中设计的滤波器，将其输出序列、 K 值和所设计的 $h_r[n]$ 保存在 .mat 文件中以便最后提交。

4、项目要求

- 1) 至少完成基本内容，并撰写一个项目总结报告；
- 2) 准备不超过 8 分钟的项目报告 PPT。
- 3) 将 matlab 程序、设计及输出结果（ $h_r[n]$ 、 $s_r[n]$ 和 K 值）、项目报告 PPT 文件和项目总结报告合并打包，并在 12 月 30 日前提交。

5、附件说明

- 1) data_basic_student.mat: 完成基本内容用的 matlab 数据文件。其中包含：信道单位脉冲响应（数组 hc）、训练原始信号（二维数组 s_training, 每一行代表一个训练序列）、训练接收序列（二维数组 r_training, 每一行代表一个训练接收序列，与 s_training 对应）和测试用接收序列（二维数组 r_test, 每一行代表一个测试接收序列）。
- 2) data_advance_student.mat: 完成扩展内容用的 matlab 数据文件。其中包含：训练原始信号（二维数组 s_training, 每一行代表一个训练序列）、训练接收信号（二维数组 r_training, 每一行代表一个训练接收序列，与 s_training 对应）和测试接收序列（二维数组 r_test, 每一行代表一个测试接收序列）。

课程项目题二： 滚筒的反馈控制

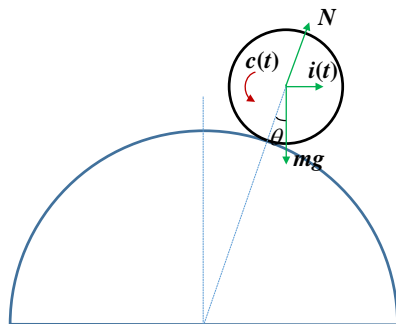
1、项目背景

利用反馈控制，可以使滚筒稳定在圆柱形表面的顶端。

本项目要求同学对立于圆柱形表面的滚筒的反馈控制问题进行建模分析，并通过 Matlab 软件 simulink 平台搭建仿真环境，通过仿真进行测试、验证。

2、滚筒的反馈控制原理简介

如右图所示，滚筒放置于圆柱形表面的顶部附近（图中是剖面图）。假定滚筒与柱面之间静摩擦力足够大因而不会发生滑动。滚筒受到重力 mg 、柱面支撑力 N 、静摩擦力和一个水平方向随时间变化的扰动力 $i(t)$ 的作用。正常情况下，当滚筒由于扰动原因从顶端平衡位置偏离角度 θ 时，会在重力作用下滚下圆柱面。



为防止滚筒滚下柱面，假定可在滚筒上的角度传感器，可检测出瞬时偏离角度 $\theta(t)$ 的估计值 $\tilde{\theta}(t)$ ，满足：

$$\tilde{\theta}(t) = \theta(t) + w(t) \quad (1.3)$$

其中 $w(t)$ 为测量噪声。同学们需要设计一个反馈控制系统，以 $\tilde{\theta}(t)$ 作为该系统的输入，产生一个力矩 $c(t)$ 作用于滚筒上将其拉回顶部平衡位置。最终，使滚筒在扰动的作用下仍旧能够稳定在 $\theta(t) \approx 0$ 附近。

3、项目内容

基本内容：

- 1) 对反馈控制下的滚筒进行数学建模（可考虑小信号线性近似）进行理论分析，并用 matlab 软件的 simulink 搭建仿真平台(仿真应采用是真实模型而不是近似模型)。
- 2) 针对干扰信号 $i(t)$ 为多项式信号条件, 研究不同控制器的控制效果。要求有理论分析，并用 matlab 仿真结果加以验证。验证时，要改变干扰信号大小以观察小信号近似模型的准确性。
- 3) 针对测量噪声 $w(t)$ 白噪声的影响，进行理论分析和仿真验证。

扩展内容（可选）：

- 1) 研究 $i(t)$ 为简谐信号时，不同控制器下的控制效果。
- 2) 研究测量时延（即 $\tilde{\theta}(t) = \theta(t - t_0) + w(t)$ ）对控制结果的影响。

4、项目要求

- 1) 至少完成基本内容，并撰写一个项目总结报告；
- 2) 准备不超过 8 分钟的项目报告 PPT。

- 3) 将仿真工程文件和项目总结报告合并打包，并在 2021 年 1 月 6 日前提交。