



北京交通大学

# 信号与系统



主讲人：陈后金  
电子信息工程学院



# 利用复频域分析进行回声消除处理

---

- ◆ 回声的形成
- ◆ 回声的利用
- ◆ 回声的危害
- ◆ 回声的消除



# 1. 回声的形成

➤ 回声(Echo): 是指障碍物对声音的反射, 声波在遇到障碍物时, 一部分声波会穿过障碍物, 而另一部分声波会反射回来形成回声。

数学模型: 回声  $r[k]$  由原始声音信号  $x[k]$  与回波信号  $\alpha x[k-N]$  二者之和组成, 即

$$r[k] = x[k] + \alpha x[k-N]$$

衰减系数, 一般  $0 < \alpha < 1$

传输时延

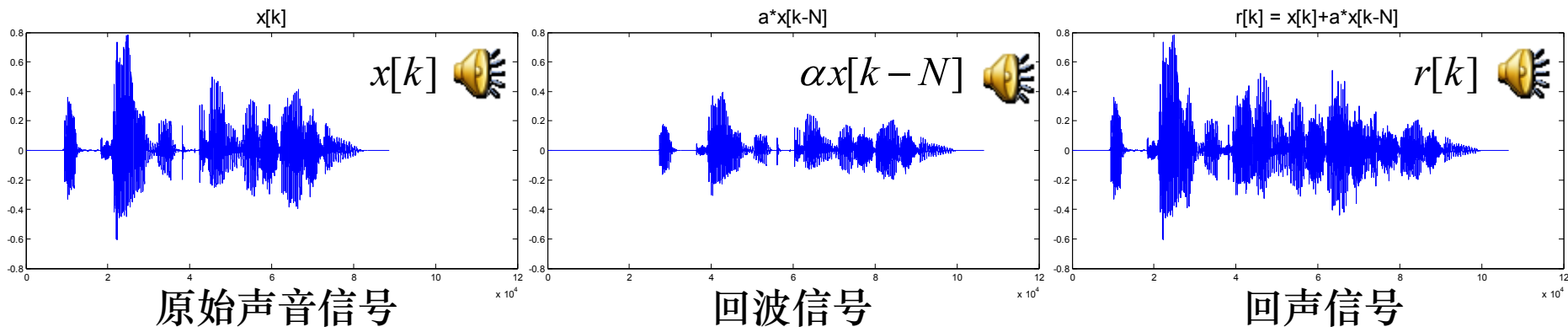


山谷回声 📢

当传输时延  $T = NT_0$  为 100ms 量级时人耳可区分的回声,  $T_0$  为抽样点之间的时间间隔。



# 1. 回声的形成



衰减系数:  $\alpha = 0.5$

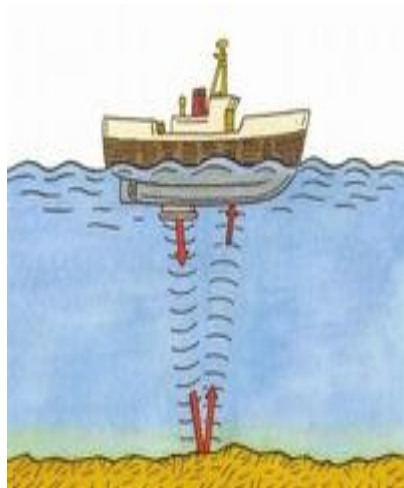
传输时延:  $T = NT_0 = 18000 * \frac{1}{44100} \approx 408.2\text{ms}$



## 2. 回声的利用



猎物定位



声呐测深



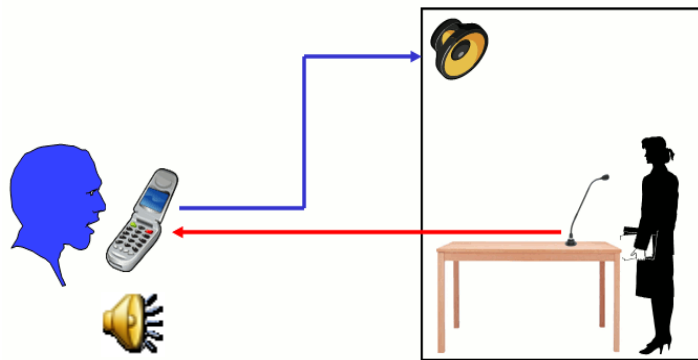
超声测距



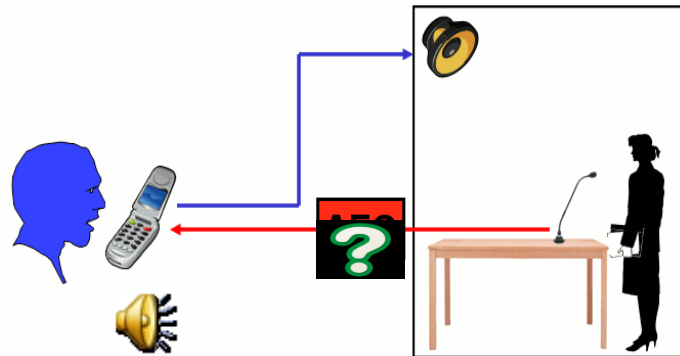
飞行物识别



### 3. 回声的危害



电话、视频会议等系统中的回声现象

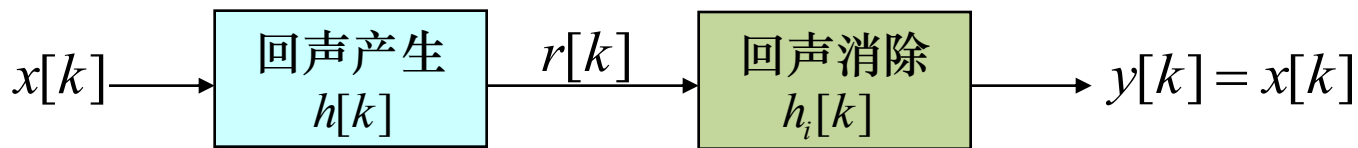


如何消除系统中的回声？



## 4. 回声的消除

- 回声消除(Echo Cancellation)需设计一个回声系统的“逆系统”进行补偿。

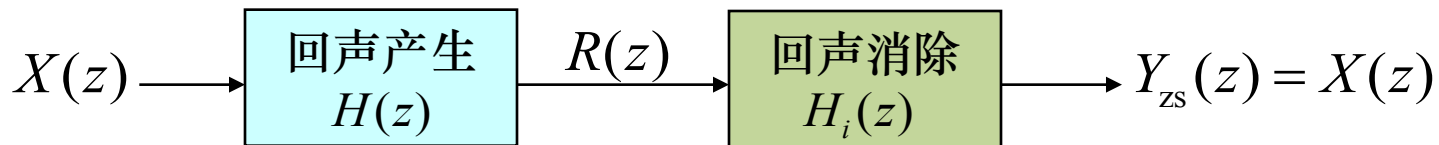


设计一个离散系统 $h_i[k]$ , 使得 $h[k]*h_i[k]=\delta[k]$ , 从时域求解 $h_i[k]$ 转为解卷积问题, 过程复杂。



## 4. 回声的消除

➤ 回声消除的 $z$ 域分析：



设计一个离散系统 $H_i(z)$ 使得 $H(z)H_i(z) = 1$ ，从 $z$ 域求解 $H_i(z)$ 较为简便。

$$H_i(z) = \frac{1}{H(z)}$$





## 4. 回声的消除

➤ 回声消除的 $z$ 域分析:

$$r[k] = x[k] + \alpha x[k - N]$$

经 $z$ 变换:

$$R(z) = X(z) + \alpha z^{-N} X(z) = (1 + \alpha z^{-N}) X(z)$$

回声产生系统的系统函数 $H(z)$  :

$$H(z) = \frac{R(z)}{X(z)} = 1 + \alpha z^{-N}$$

由 $H(z)H_i(z) = 1$ 得回声消除系统 $H_i(z)$ :

$$H_i(z) = \frac{1}{H(z)} = \frac{1}{1 + \alpha z^{-N}}, \quad |z| > |\alpha|^{\frac{1}{N}}$$



## 4. 回声的消除

➤ 回声消除系统的系统函数 $H_i(z)$ :

$$H_i(z) = \frac{Y_{zs}(z)}{R(z)} = \frac{1}{1 + \alpha z^{-N}}, \quad |z| > |\alpha|^{\frac{1}{N}}$$

展开可得:  $(1 + \alpha z^{-N})Y_{zs}(z) = R(z)$

两边进行 $z$ 反变换, 可得描述该离散LTI系统的差分方程为

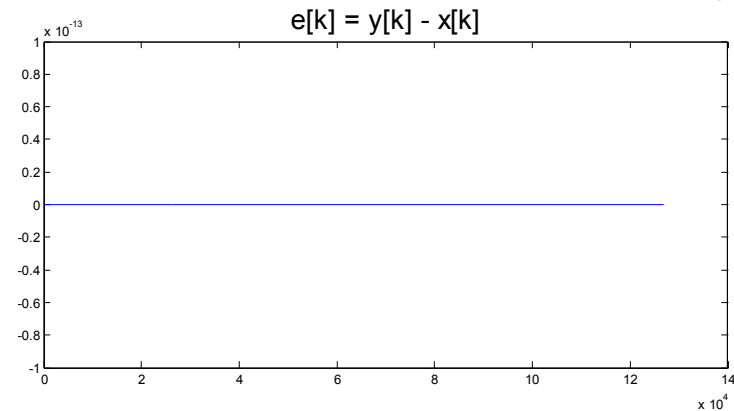
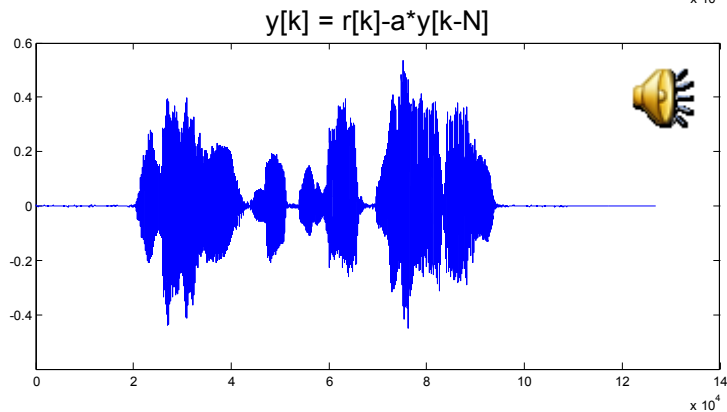
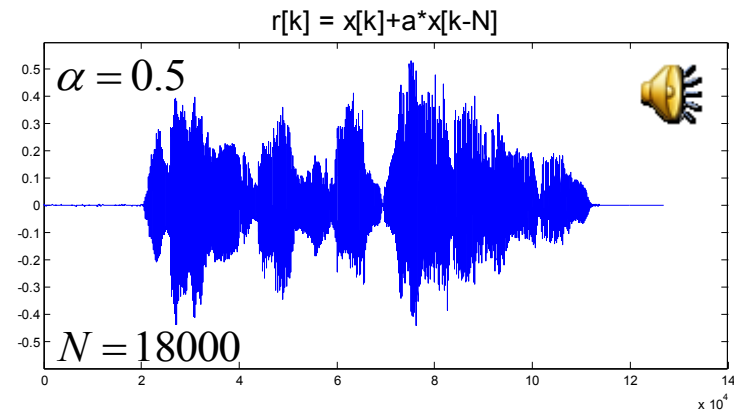
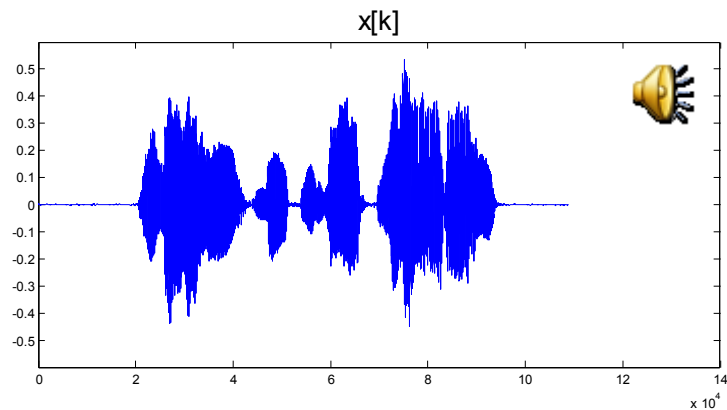
$$y[k] + \alpha y[k - N] = r[k]$$

从而利用递归方法求解系统输出 $y[k]$

$$y[k] = r[k] - \alpha y[k - N]$$



## 4. 回声的消除





## 4. 回声的消除

### ➤ 回声消除的Matlab仿真:

```
% create echo signal
[x, fs, nbits] = wavread('tel.wav');
% fs=44100Hz;
alpha = 0.5;
N = 18000;
r = [x, zeros(1, N)] + [zeros(1, N), alpha*x];
wavplay(r, fs);
```

```
% echo cancellation
L = length(r);
y = zeros(1, L);
for k = 1:L,
    if k>N
        y(k) = r(k) - alpha*y(k-N);
    else
        y(k) = r(k);
    end
end
wavplay(y, fs);
```



# 利用复频域分析进行回声消除处理

---

## 谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事、同行、朋友的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！