

## 信道仿真



### Outline

1. 加性噪声（白色、有色）
2. 乘性衰落
  - 大尺度
  - 小尺度（单径rayleigh/Rice、多径T/F）
3. 完整信道模拟



## 加性噪声-白色

### ❖ AWGN

```
function outdata=add_noise(indata,attn)
%% function discription:add gauss noise
%% input parameters
%%   indata:输入符号
%%   attn: 噪声标准差
%% output parameters
%%   outdata: 加噪声之后的符号
[r,c]=size(indata);
item=randn(r,c).*attn;
qtem=randn(r,c).*attn;
noise=item+i.*qtem;
outdata=indata+noise;
```

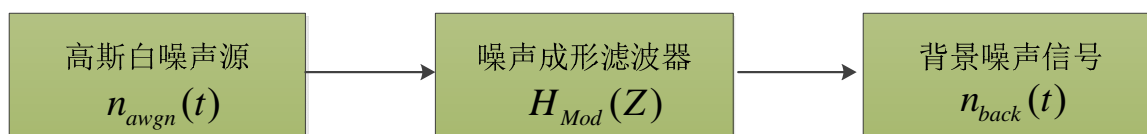
验证randn的分布  
同时学习如何画pdf  
看代码test\_randn



## 加性噪声-有色

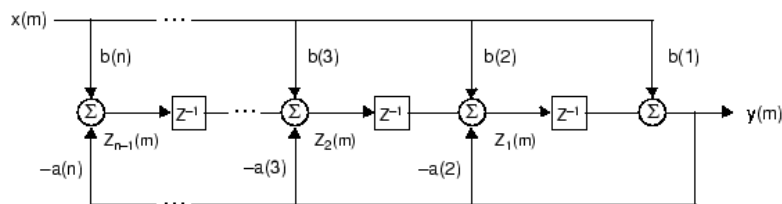
### ❖ 有色背景噪声

- 这种噪声随频率而发生变化，由各种噪声源合并产生。
- 可以简单的由一个白噪声源滤波合成。
- 功率谱密度随时间的变化而缓慢发生变化。



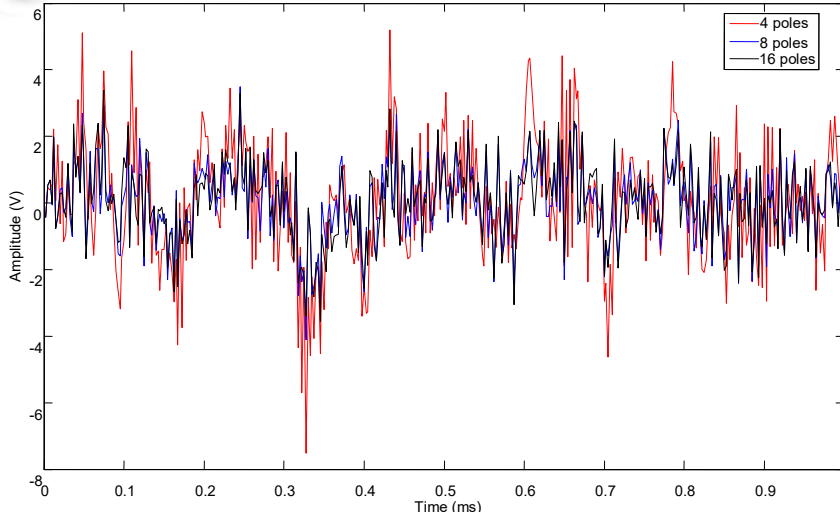
The **filter** function is implemented as a direct form II transposed structure,

$$H_{Mod}(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{1 + \sum_{i=1}^m b_i \cdot z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot z^{-i}}$$



or

$$y(n) = b(1) * x(n) + b(2) * x(n-1) + \dots + b(nb+1) * x(n-nb) - a(2) * y(n-1) - \dots - a(na+1) * y(n-na)$$

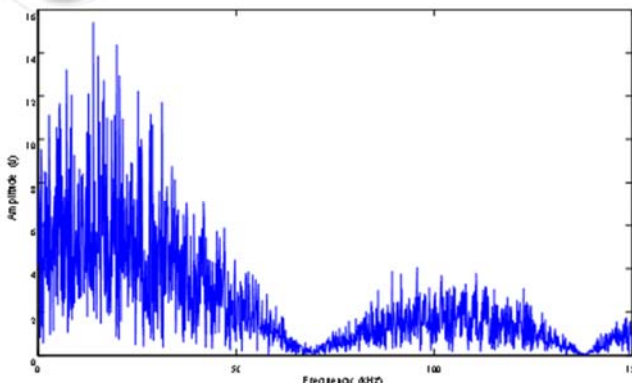


4极点时的噪声  
能量最大，这与  
其各极点的平方  
和最大相符

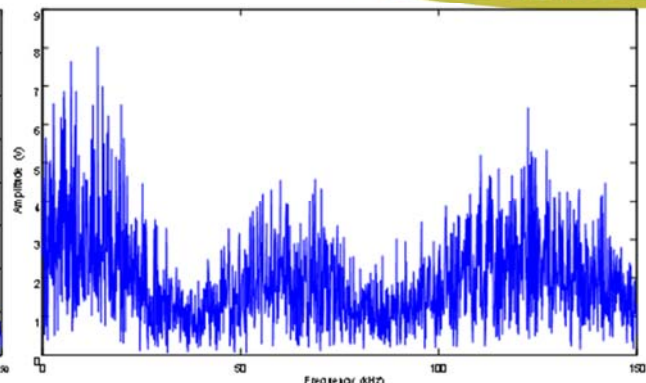
自回归滤波器极点数	分母系数
4	[1 0.2137 0.9403 0.1697 0.9606]
8	[1 0.0166 0.0564 0.1998 0.1808 0.0136 0.2213 0.2634]
16	[1 0.0399 0.0348 0.1232 0.1125 0.0570 0.1427 0.1966 0.0123 0.0293 0.3201 0.0675 0.0676 0.0513 0.0184 0.1388]

通信系统仿真及实现

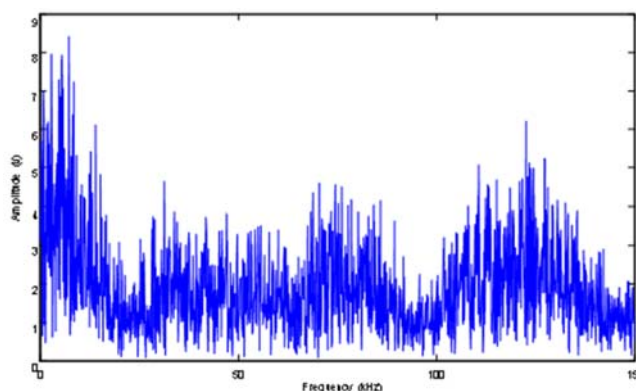
BUPT



四极点滤波器所产生背景噪声的频谱图



八极点滤波器所产生背景噪声的频谱图



十六极点滤波器所产生背景噪声的频谱图

代码对应colorednoise  
main\_awgn  
main\_colorednoise

BUPT



## Outline

### 1. 加性噪声（白色、有色）

### 2. 乘性衰落

- 大尺度
- 小尺度（单径rayleigh/Rice、多径T/F）

### 3. 多普勒功率谱

### 4. 完整信道模拟

通信系统仿真及实现



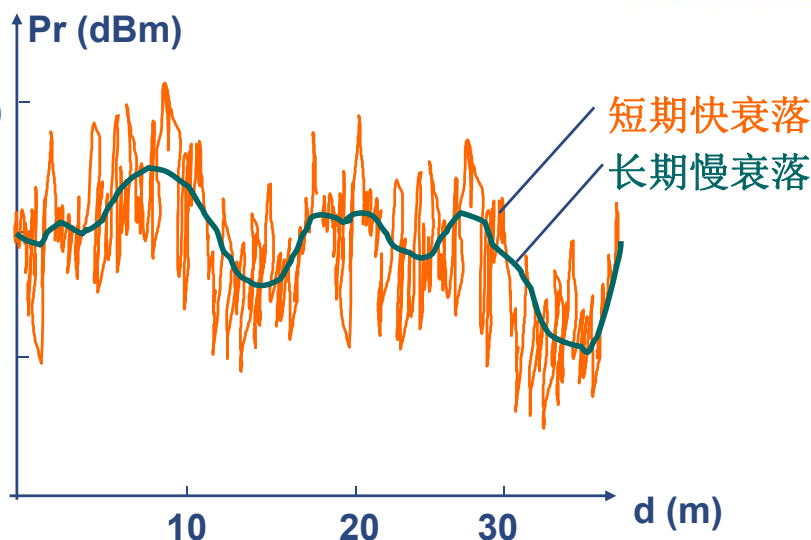
## 大尺度衰落Large-Scale Fading

- 又称为阴影衰落、对数正态衰落

- 由障碍物阻挡造成阴影效应，接收信号强度下降，但该场强中值随地理改变变化缓慢，故称慢衰落。

- 表示为电波传播的平均损耗加一个正态分量（表征不同位置的环境差异）。

- 移动用户和基站之间的距离为 $r$ 时，表示为



$$PL(r) = \overline{PL(r)} + X_{\sigma}$$

$X_{\sigma}$ 表示一个方差为 $\sigma^2$ 、均值为0的高斯随机变量

$$L_s = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_{te} - a(h_{re}) + (49.9 - 6.55 \lg h_{re}) \lg r + C_M$$

通信系统仿真及实现

BUPT



## Outline

### 1. 加性噪声（白色、有色）

### 2. 乘性衰落

- 大尺度
- 小尺度（单径rayleigh/Rice、多径T/F）

### 3. 多普勒功率谱

### 4. 完整信道模拟

通信系统仿真及实现



## 单径信道

### ❖ 包络服从瑞利分布

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad x \geq 0$$

- 实部和虚部分别服从正态分布

$$a = \text{randn}(1,1) + i * \text{randn}(1,1)$$

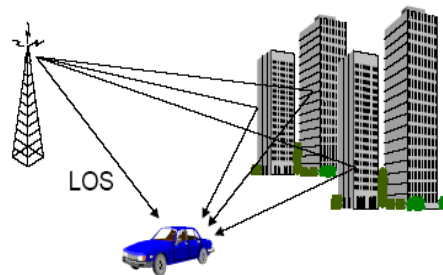
### ❖ 包络服从莱斯分布

- K-factor

- 为主信号功率(一般为LOS路径信号)与多径分量的方差之比:

$$K = A^2 / (2\sigma^2)$$

其中A为LOS径幅值, 当A趋于0时, 莱斯分布转变为瑞利分布



看代码 `test_rayleigh_rician`

通信系统仿真及实现

BUPT





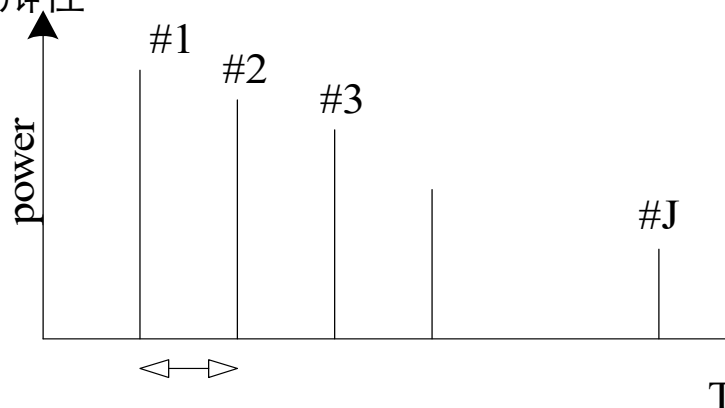
## 课堂练习时间

- ❖ 自己编程实现服从rician分布的变量 并验证对比 rayleigh分布
- ❖ 在main\_rayleigh\_rician主函数中增加fading channel, 统计QPSK在不同衰落信道中的BER
  - Rayleigh
  - Rician 可以设不同的K



## 多径信道-不考虑时间相关性

- Path\_Delay = [0 8 18 27];
- Path\_Power = [1 0.6 0.4 0.1];
- 可分辨径vs.不可分辨径



### ❖ 注意

- 功率! =瞬时衰落
- 时频域特征 test\_multipath\_TF

### ❖ 分析main\_multipath\_simple.m中的问题



## Outline

### 1. 加性噪声（白色、有色）

### 2. 乘性衰落

- 大尺度
- 小尺度（单径rayleigh/Rice、多径T/F）

### 3. 多普勒频移

### 4. 完整信道模拟

通信系统仿真及实现



#### ❖ 单频信号经过多径信道，每径时延随时间变化

- 设定时延变化规律为正弦型，变化频率从0~2Hz随机均匀抽取

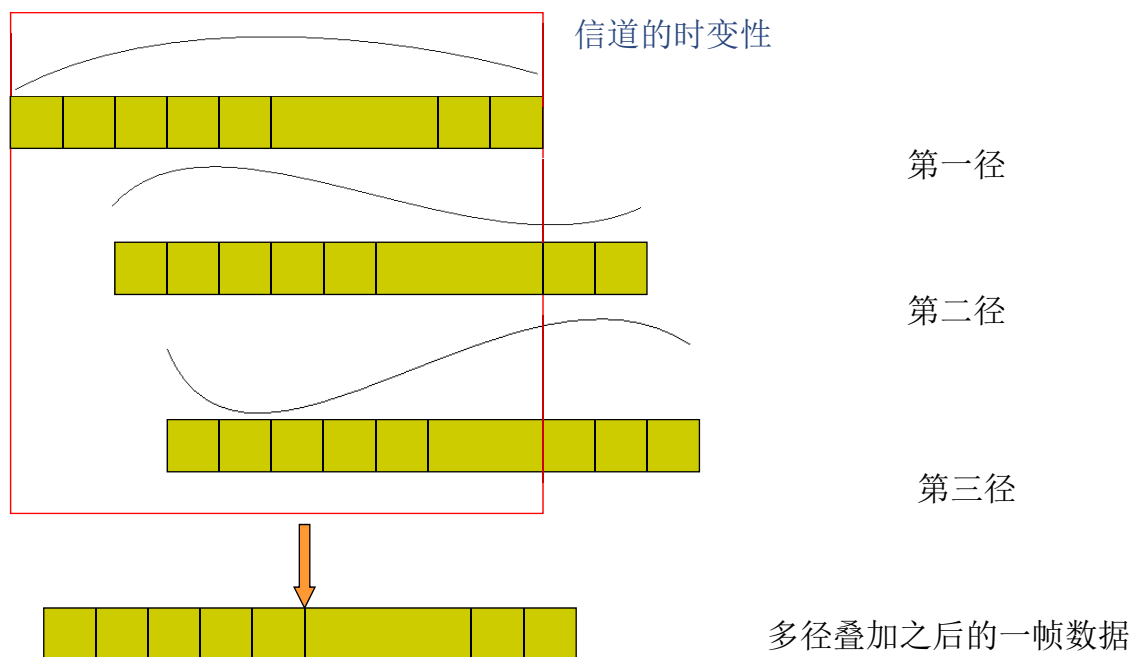
看代码main\_singlefreq\_multipath

#### 理解 多普勒频移

$$\begin{aligned} & \cos[2\pi(f + \Delta f_i)t + \phi_{0,i}] \\ &= \cos[2\pi ft + 2\pi\Delta f_i t + \phi_{0,i}] \end{aligned}$$



## 多径信道



通信系统仿真及实现

BUPT



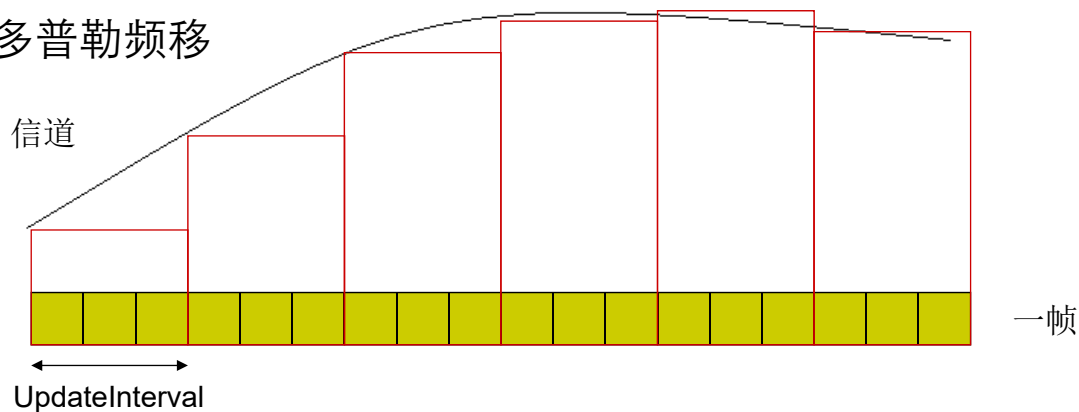
## 多径信道

### ❖ Block fading

- 上面的例子

### ❖ 考虑帧与帧之间的时间相关性

- 移动速度
- 多普勒频移

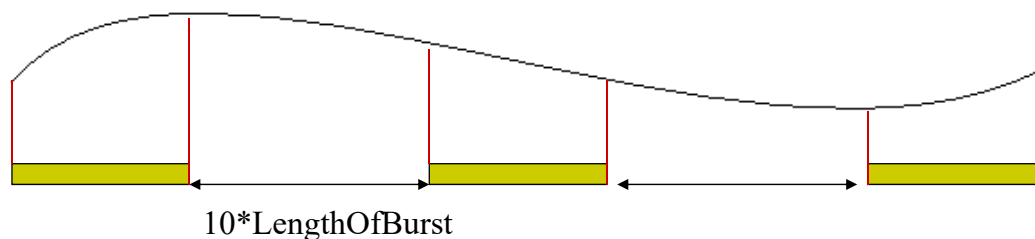


通信系统仿真及实现

BUPT



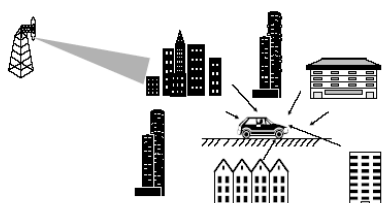
## ❖ 加速收敛的方法



$$\text{SampleIndex} = \text{SampleIndex} + 10 * \text{LengthOfBurst}$$

## 参考模型：Clarke Model

Clarke's Model



$$g(t) = g_c(t) + jg_s(t)$$

$$g_c(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N \cos(2\pi f_d t \cos A_n + \Phi_n)$$

$$g_s(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N \sin(2\pi f_d t \cos A_n + \Phi_n)$$

When  $N \rightarrow \infty$ ,  $g_c(t)$  and  $g_s(t)$  are Gaussian distributed according to the central limit theorem.  $A_n$  is a random variable (R.V.) representing the angle of arrival of the  $n$ th ray, with respect to the direction of motion of the receiver,  $\Phi_n$  is a R.V. representing the phase shift undergone by the  $n$ th ray,  $f_d$  is the maximum Doppler frequency shift, i.e.,  $f_d = v / \lambda_c$ , where  $v$  is the speed of the receiver and  $\lambda_c$  is the wavelength of the transmitted cosine wave.

## 参考模型的统计特性:

幅度 $z=|g(t)|$ 服从Rayleigh分布

$$p_z(z) = \begin{cases} \frac{z}{\sigma^2} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}, & z \geq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

$g(t)$ 的相位服从均匀分布

$$p_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi}, -\pi < \theta \leq \pi$$

二阶统计特性

$$E\{g_c^2(t)\} = E\{g_s^2(t)\} = \sigma^2$$

$$R_z(\tau) = \cos(\omega_c \tau) \sigma^2 J_0(2\pi f_d \tau)$$

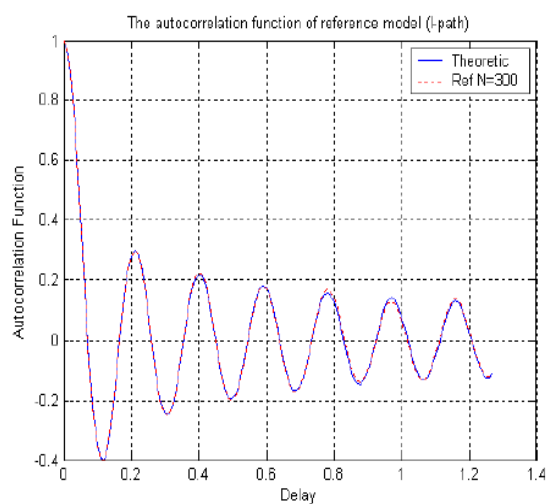
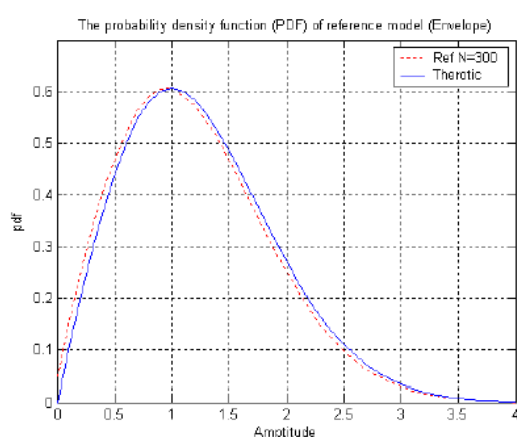
$$R_{g_c g_c}(\tau) = E[g_c(t)g_c(t+\tau)] = \sigma^2 J_0(2\pi f_d \tau)$$

$$R_{g_s g_s}(\tau) = \sigma^2 J_0(2\pi f_d \tau)$$

$$R_{g_c g_s}(\tau) = 0$$

$$R_{g_s g_c}(\tau) = 0$$

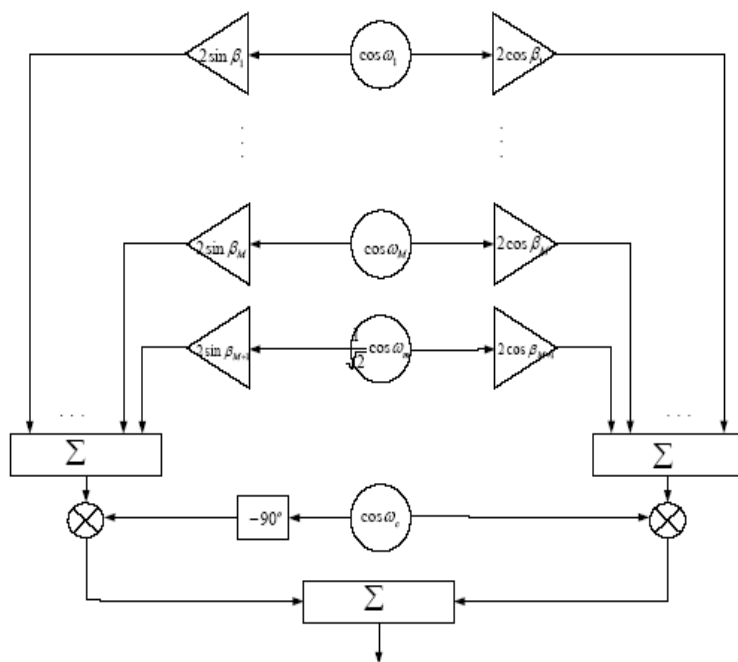
通信系统仿真及实现



通信系统仿真及实现



## Jakes 仿真器



Jakes仿真是Clarke模型仿真的正弦波叠加法中的一种，假定发射信号是垂直极化的，接收端波形是N条路径的一系列平面波的叠加，并且假定N条路径的入射角在 $[0, 2\pi]$ 均匀分布。

$$R_D(t) = E_0 \sum_{n=0}^N c_n \cos(w_c t + w_n t)$$

$$w_n = w_m \cos \alpha_n$$

$$c_n^2 = \frac{1}{N} \quad \alpha_n = \frac{2\pi}{N} n$$

通信系统仿真及实现



## 数学模型

$$x(t) = x_c(t) + j * x_s(t)$$

$$x_c(t) = \frac{2}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos(w_n t)$$

$$x_s(t) = \frac{2}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^{M+1} b_n \sin(w_n t)$$

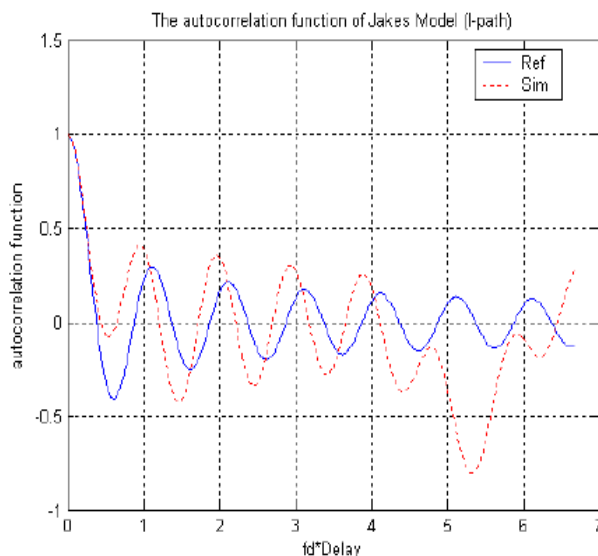
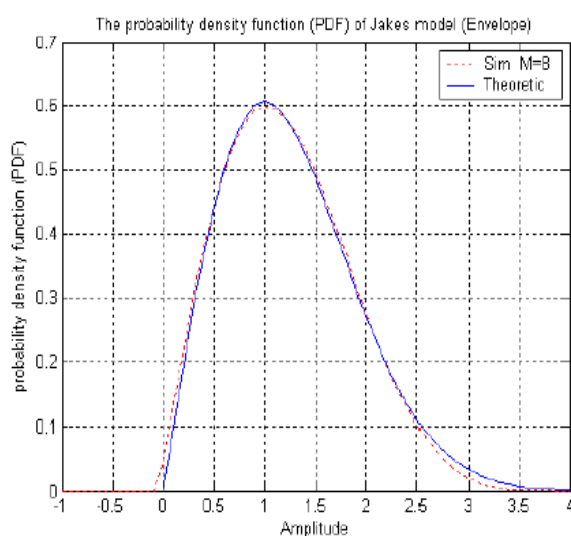
$$a_n = \begin{cases} 2 \cos \beta_n, n = 1, 2, \dots, M \\ \sqrt{2} \cos \beta_{M+1}, n = M + 1 \end{cases}$$

$$b_n = \begin{cases} 2 \sin \beta_n, n = 1, 2, \dots, M \\ \sqrt{2} \sin \beta_{M+1}, n = M + 1 \end{cases}$$

$$\beta_n = \begin{cases} \frac{\pi n}{M}, n = 1, 2, \dots, M \\ \frac{\pi}{4}, n = M + 1 \end{cases}$$

$$w_n = \begin{cases} w_m \cos \frac{2\pi n}{N}, n = 1, 2, \dots, M \\ w_m, n = M + 1 \end{cases}$$

通信系统仿真及实现



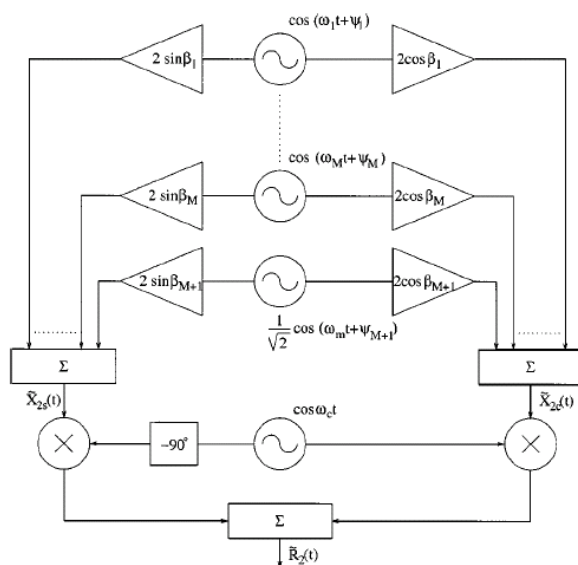
分析:

一阶统计符合, 但是二阶统计特性不符合参考模型

因为只有 $t$ 是变量, 每一径的入射角度和相位是固定且已知, 随机性不够

通信系统仿真及实现

## 改进的Jakes模型: 引入随机相位

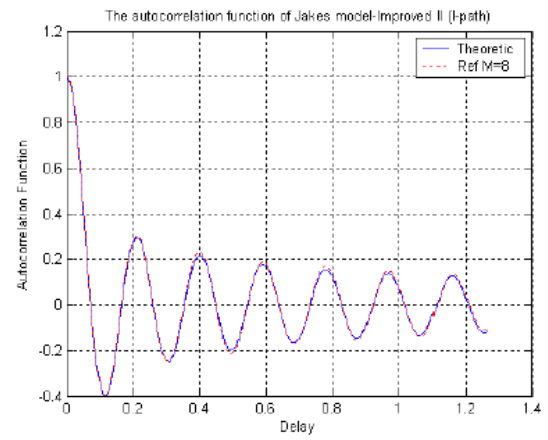
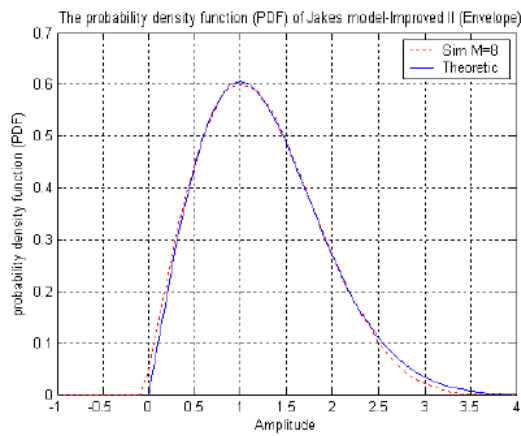


$$x(t) = x_c(t) + j * x_s(t)$$

$$x_c(t) = \frac{2}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos(w_n t + \phi_n)$$

$$x_s(t) = \frac{2}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^{M+1} b_n \sin(w_n t + \phi_n)$$

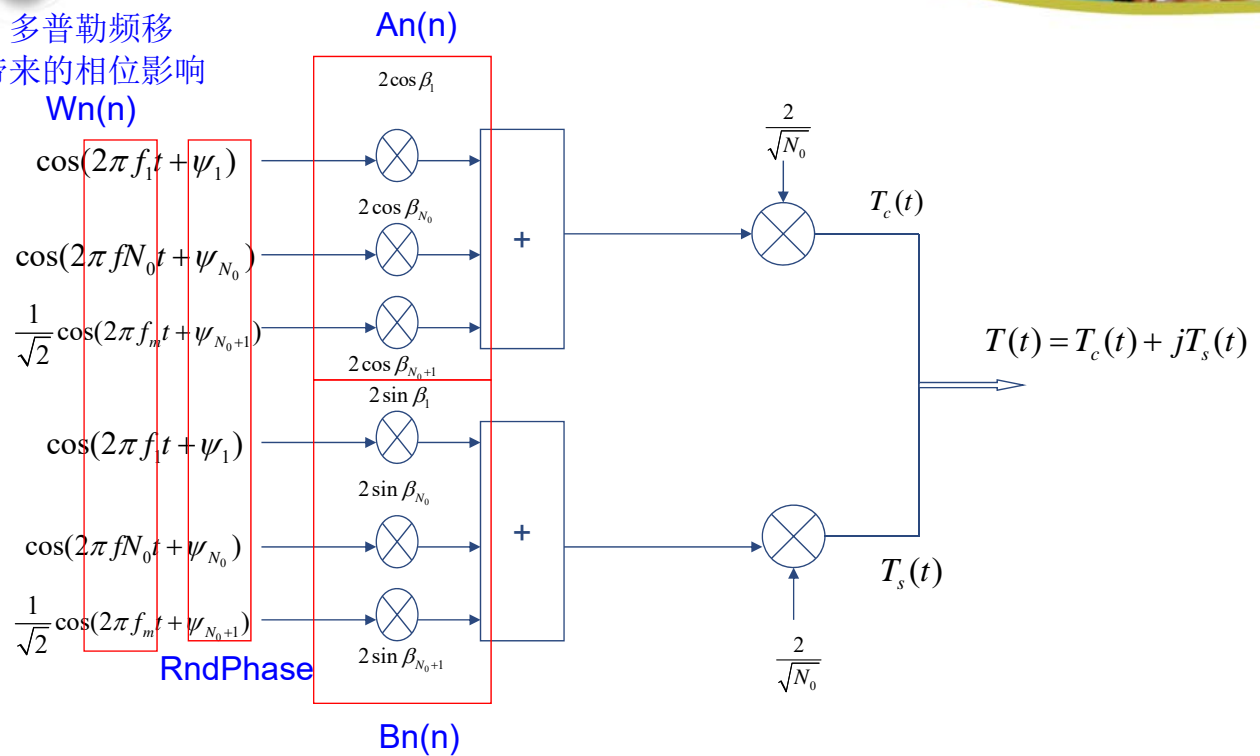
通信系统仿真及实现



通信系统仿真及实现

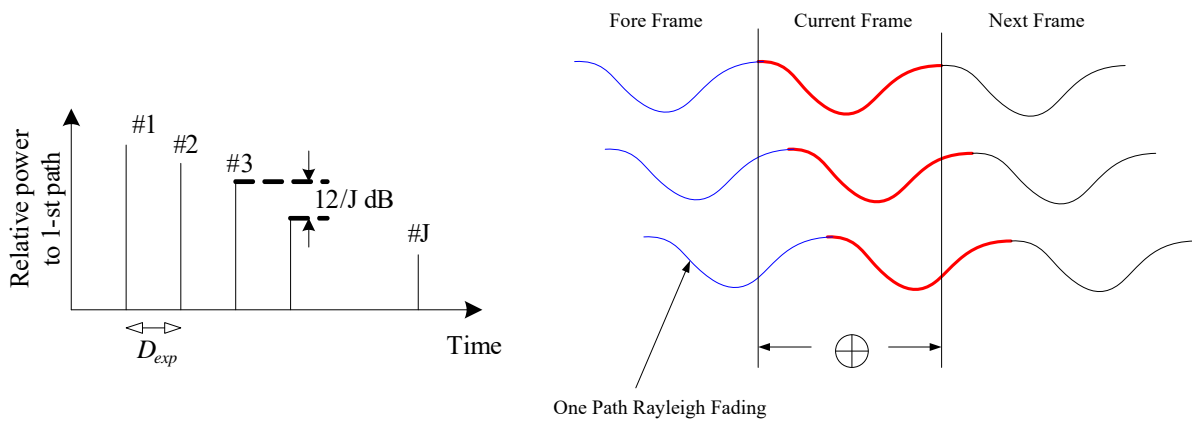


多普勒频移  
带来的相位影响  
 $Wn(n)$



通信系统仿真及实现





Multipath Channel model

Multipath realization

通信系统仿真及实现



## 初始化函数

```
[RndPhase,Path_Delay,Path_Average_Amp,fore_data,
RMS_Delay_Sample] =
channel_initialize(MAX_Delay_Sample,NumOfTaps,model);
```

### ❖ 输入:

- MAX\_Delay\_Sample: 信道最大时延样点数
- NumOfTaps: 多径数
- Model: 模式选择: 若为1: 为指数模型, 否则: 为均匀信道模型

### ❖ 输出

- RndPhase: 每径的初始化随机相位
- Path\_Delay: 每径的延时样点数
- Path\_Average\_Amp: 每径的平均幅度电平
- fore\_data: 初始化fore\_data数据, 相当于分配内存空间, 且必须为复数序列, 长度为MAX\_Delay\_Sample。
- RMS\_Delay\_Sample: 信道的RMS时延 (以后的程序未用到该参数)

通信系统仿真及实现



## 信道主函数:

```
[OutData,Fading] =  
multipath_channel(TxData,fd_max,NumOfTaps,  
LengthOfBurst,UpdatesPerBurst,itn_sample,dt,  
RndPhase,Path_Delay,Path_Average_Amp,fore_data,  
fading_Index);
```

```
itn_sample=itn_sample+itnd0;
```

通信系统仿真及实现



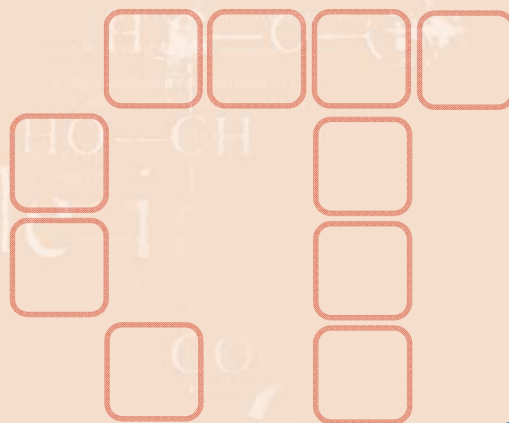
### ❖ 输入

- TxData: 输入数据
- fd\_max: 最大多普勒频移
- NumOfTaps: 信道径数
- LengthOfBurst: 帧长
- UpdatesPerBurst: 每帧中信道参数更新次数, 一般情况下取  
UpdatesPerBurst=LengthOfBurst
- itn\_sample: 每次每径的时间起始点, 需要在调用程序里进行初始化, 并每次更新, 更新步长一般取帧长, 为加速信道收敛, 可取大于帧长的数, 但所得结构有可能不准确。
- dt: 最小时间, 单位为秒
- RndPhase: 每径的初始化随机相位, 由初始化程序给出
- Path\_Delay: 每径的时延, 由初始化程序给出
- Path\_Average\_Amp: 每径的电平幅度, Path\_Average\_Amp;
- fore\_data: 保存上一帧对下一帧有影响的数据, 该参数必须初始化为长MAX\_Delay的复数向量。
- Fading\_Index:

### ❖ 输出

- OutData: 经过衰落信道后的数据
- Fading: 信道衰落系数

通信系统仿真及实现



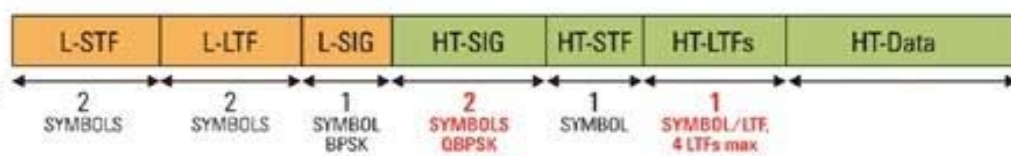
# Thank You !

Add your company slogan

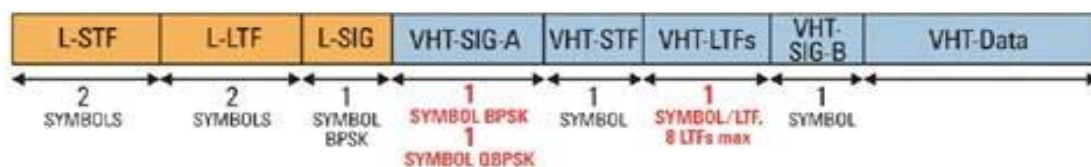


## 关于帧结构

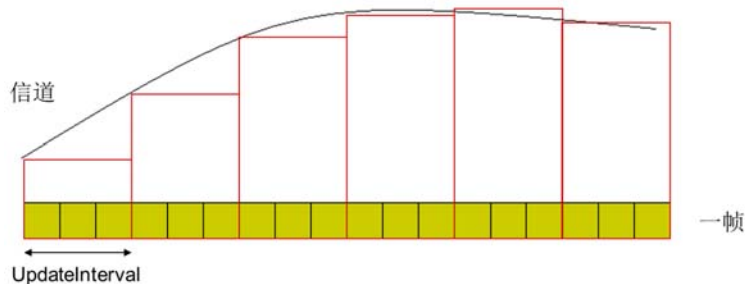
802.11n  
PPDU  
(Mixed Mode)



802.11ac  
VHT PPDU



信道





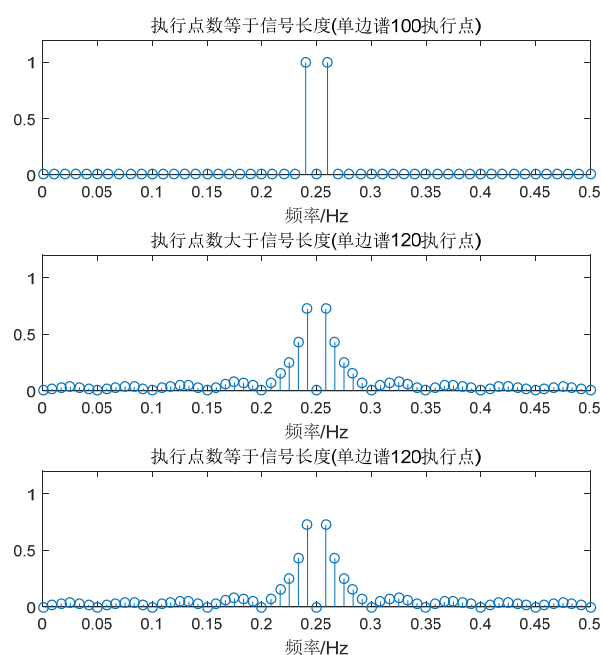
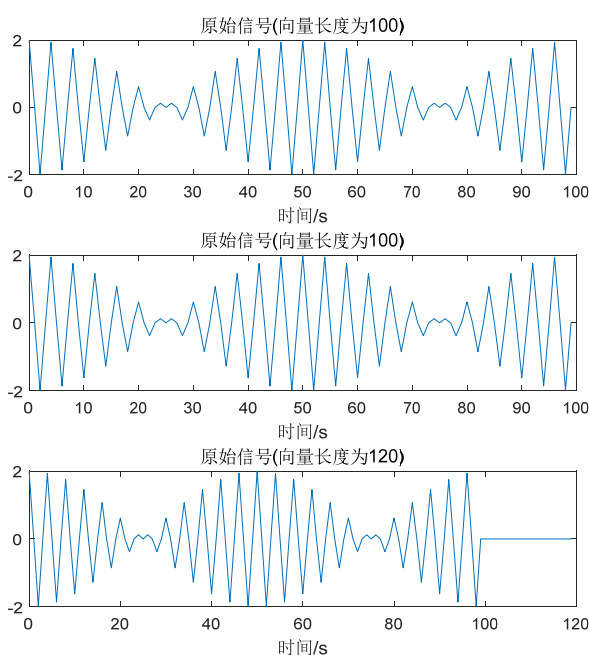
## 关于FFT

- ❖ 实信号频谱是对称的，单边谱就代表了这个信号的全部信息。根据采样定理，fft能分辨的最高频率为采样频率的一半，函数fft返回值是轴对称的，Y的前一半与后一半是复数共轭关系。
- ❖ FFT输出幅值大小与输入点数有关，要得到真实的幅值大小，只要将变换后的结果乘以2除以N即可（但此时零频一直流分量一的幅值为实际值的2倍，因为零频在双边谱中本没有被一分为二，而转化为单边谱过程中所有幅值均乘以2，所以零频被放大了）。
- ❖ 若分析数据时长为T，则分析结果的基频就是 $f_0=1/T$ ，分析结果的频率范围就是 $[0:N-1]*f_0$
- ❖ 可以看出当N大于向量y的长度时，由于fft自动将100s后的信号值补零，原信号实际变为左下角的时域图形，所以频率发生了变化（增加多种频率的小振幅振动，主峰幅值被削弱，导致频谱失真）。

看FFTOfNoisySignalExample  
FFTOfThreeFreqSignal  
FFTOfDifferentN

通信系统仿真及实现

BUPT



通信系统仿真及实现

BUPT