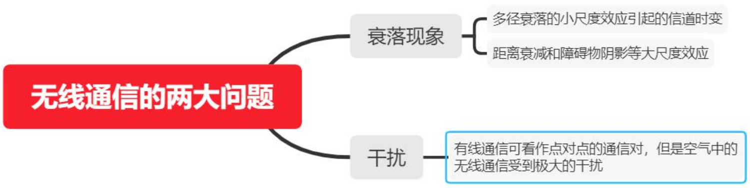
《无线通信基础》笔记

2021 年 1 月 10 日星期日

David Tse Pramod Viswanath

一、介绍



减小干扰——>提高频谱效率；衰落是可以被利用的

二、无线信道

- 移动无线信道的一个决定性特征是信道强度随时间和频率的变化。
  - 大尺度衰减：由于路径中的障碍物导致，和频率无关
  - 小尺度衰减：多径效应导致，和频率有关
- 物理模型
  - 自由空间，固定的发射和接收天线
    - 电场（滞后位）

$$E(f,t,(r,\theta,\psi))=\frac{\alpha_s(\theta,\psi,f)\cos 2\pi f(t-r/c)}{r}.$$

    - 则在 $u=(\theta,\psi,f)$ 处，接收天线的电场为

$$E_r(f,t,\mathbf{u})=\frac{\alpha(\theta,\psi,f)\cos 2\pi f(t-r/c)}{r},$$

$$H(f):=\frac{\alpha(\theta,\psi,f)e^{-j2\pi fr/c}}{r}.$$

    - 定义系统函数
  - 自由空间，移动的接收天线
    - 电场

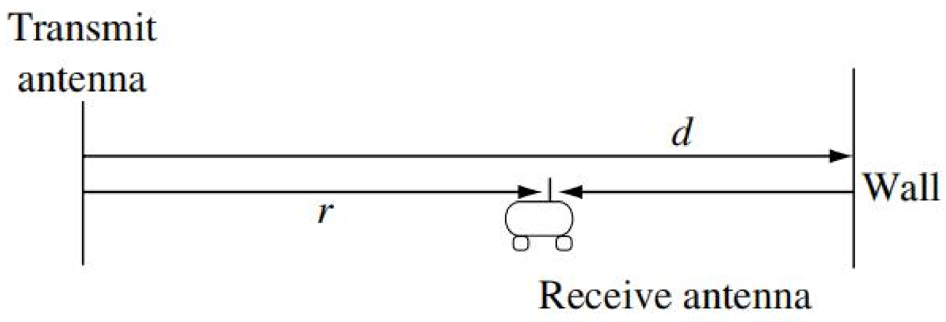
$$E(f,t,(r_0+vt,\theta,\psi))=\frac{\alpha_s(\theta,\psi,f)\cos 2\pi f(t-r_0/c-vt/c)}{r_0+vt}.$$

    - 接收天线处电场

$$E_r(f,t,(r_0+vt,\theta,\psi))=\frac{\alpha(\theta,\psi,f)\cos 2\pi f[(1-v/c)t-r_0/c]}{r_0+vt}.$$

  - 反射墙，固定天线

示意图：



空间中的电场是发射波的电场和反射波电场的总和（反射波考虑迟滞位的存在），即

$$E_r(f,t) = \frac{\alpha \cos 2\pi f(t - r/c)}{r} - \frac{\alpha \cos 2\pi f(t - (2d - r)/c)}{2d - r}.$$

根据两个波的相位差

$$\Delta\theta = \left(\frac{2\pi f(2d - r)}{c} + \pi\right) - \left(\frac{2\pi f r}{c}\right) = \frac{4\pi f}{c}(d - r) + \pi.$$

引出概念：相关距离 $\Delta x_c := \frac{\lambda}{4},$ 在远小于相干距离的情况下在特定时间的接收信号不会发生明显变换

当 r 不变而 f 改变时，定义两条信道之间的传播延时 delay spread 为

$$T_d := \frac{2d - r}{c} - \frac{r}{c}$$

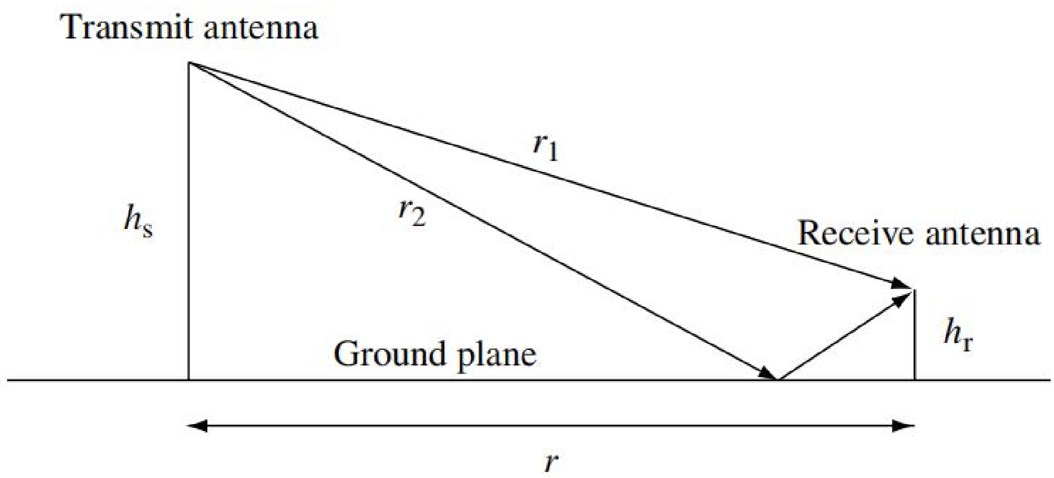
，又称为相干带宽；当频率变化率小于 $\frac{1}{T_d}$ 时建设性和破坏性模式不会发生明显变化

反射墙，移动天线

这就是多径衰落现象

- 电场 $E_r(f,t)=\frac{\alpha\cos 2\pi f[(1-v/c)t-r_0/c]}{r_0+vt}-\frac{\alpha\cos 2\pi f[(1+v/c)t+(r_0-2d)/c]}{2d-r_0-vt}$
- 定义多普勒频散（Doppler spread） $D_s=fv/c-(-fv/c)$；当接收天线比发射天线更接近墙时可以将公式化简推出此时的波是个 AM 波→多普勒频散和相干时间成反比

- 地面反射
  - 示意图



  - 规律：随着 r 的增加，直射路径和反射路径的差异逐渐减小，而电波衰减和 r^-2 成正比

- 功率衰减
  - 规律：根据实际经验，在发射天线周围功率衰减和 r^{-2} 成比例，但是在远距离处可达到指数级衰减
- 移动天线，多反射体
  - 意义：了解如何从每种反射器中找到振幅有助于确定基站的覆盖范围
- 输入/输出模型
  - 线性时变系统

$$y(t)=\sum_i a_i(t)x(t-\tau_i(t)).$$

- 既然是线性系统，就可以用响应来描述：$y(t)=\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau,t)x(t-\tau)d\tau$，其中 $h(\tau,t)=\sum_i a_i(t)\delta(\tau-\tau_i(t))$；对于时变脉冲响应可以定义一个时变频率响应 $H(f;t)=\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau,t)e^{-j2\pi f\tau}d\tau=\sum_i a_i(t)e^{-j2\pi f\tau_i(t)}$，这样在一个固定的时间段可以把信道看作是时不变的

- 基带等效模型
  - 调制/解调，编码/解码，同步等大多数处理都是在基带进行的
  - 定义实信号 s(t) 的复基带等效信号 $s_b(t)$ 为具有如下 FT 的信号：

$$S_b(f)=\begin{cases}\sqrt{2}S(f+f_c).........f+f_c>0\\ 0...........................f+f_c\le 0\end{cases}$$

- 自由度：接收信号空间的维数

- 时间相干与频率相干
  - 决定时间相干的主要影响因素是多普勒扩展，他们的关系是互逆的
  - 当相干时间远小于时延需求，则称为快衰落；……。快衰落信道中能通过多次信道衰落发射编码码元，慢衰落信道则不能
  - 多径时延扩展 T_d:最长路径与最短路径的传播时间差

- 统计信道模型：
  - 瑞利衰落模型：
    - 第 l 个抽头的模 $|h_l[m]|$ 为瑞利随机变量，其密度为 $\frac{x^2}{\sigma_l^2}\exp\{\frac{-x^2}{2\sigma_l^2}\}......x\ge 0$；模的平方服从指数分布，其密度为 $\frac{1}{\sigma_t^2}\exp\{\frac{-x}{\sigma_t^2}\}....x\ge 0$
    - 可以合理解释存在大量小尺寸反射体的散射机理，主要用于分析典型的反射体数量相当少的蜂窝系统
    - 假设抽头增益为循环对称复高斯随机变量
  - 莱斯分布：

- $h_l[m]$对于l可以建模为：$\mathrm{h}_l[m]=\sqrt{\frac{\kappa}{\kappa+1}}\sigma_l e^{j\theta}+\sqrt{\frac{1}{\kappa+1}}eN(0,\sigma_l^2)$，$\kappa$是镜像路径和散射路径能量之比，$\kappa$越大，信道的确定性就越强