

无线信道传输过程中的路径损耗

毛寅飞 04016334

(东南大学, 江苏南京, 210000)

摘要: 无线通信网络在人们的日常生活中的应用是越来越广泛, 对于无线传输过程中的路径损耗研究却并不是很成熟。路径损耗(Path Loss)是在发射器和接收器之间由传播环境引入的损耗的量, 这个损耗发生是因为空气提供对信号的过滤作用。在无线通信网络中, 有几种常用的路径损耗模型, 本文运用MATLAB 软件进行对此三种模型进行仿真并给出分析。

关键词: 路径损耗; 自由空间传播模型; 两径模型; 阴影效应; 多径衰落

Path loss in wireless channel transmission

Yinfei Mao 04016334

(Southeast university, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: The application of wireless communication network in People's Daily life is more and more extensive, but the research on path loss in wireless transmission process is not very mature. Path Loss is the amount of Loss introduced by the transmission environment between the transmitter and receiver. This Loss occurs because air provides a filtering effect on the signal. In wireless communication network, there are several commonly used path loss models. This paper uses the MATLAB software to simulate and analyze the three models.

Keywords: Path loss; Free space propagation model; Two path model; Shadow effect; Multipath fading

0 引言

在任何一个无线通信系统中, 无线信道是电波传播过程中必不可少的组成部分, 它是连接发射机和接收机的媒介, 其特性决定了信息论的容量, 即无线通信系统的最终性能限制。由于电磁波在无线信道中受到反射、绕射、散射、多径传播等多种因素的影响, 所以无线信道不像有线信道那样固定且容易预测, 分析过程带来了很大的不确定性。因此无线信道的建模是无线通信系统研究中的难点和重点, 而无线信道的传播特性对于无线系统的设计、仿真和规划却有着十分重要的作用。

在无线通信系统中, 电波传播经常在不规则地区。在估计预测路径损耗时, 要考虑

特定地区的地形地貌, 包括简单的曲线形状和多山地区。同时还要考虑树木、建筑物和其他遮挡物等因素的影响。在无线通信系统的工程设计中, 常采用电波传播损耗模型来计算无线路径的传播损耗, 这些模型的目标是为了预测特定点或特定区域的信号场强。

路径损耗是在发射器和接收器之间由传播环境引入的损耗的量。功率损耗当RF波传输在空气中时发生。这个损耗发生是因为空气提供对信号的过滤作用。特定的电磁频率(非常高且非商业化)被完全地阻塞或被空气过滤。

路径损耗定义:

$$PL = \frac{P_t}{P_r}$$

其中, P_t 为发射机发射功率, P_r 为接收机接收功率。

路径损耗通常用分贝单位来表示, 即

$$PL_{(dB)} = 10 \lg \frac{P_t}{P_r}$$

作者简介: 毛寅飞, (1998-), 男, 本科生大三,

E-mail: 936570240@qq.com.

1 自由空间传播模型

1.1 介绍

自由空间传播模型是无线电波传播的最简单的模型，无线电波的损耗只和传播距离和电波频率有关系；在给定信号的频率的时候，只和距离有关系。在实际传播环境中，还要考虑环境因子 n ，则公式简化为 $L=38.45+10*n*\lg(\text{dBm})$ 。 n 一般根据环境可取 2~5 之间。

自由空间是指：无任何衰减、无任何阻挡、无任何多径的传播空间。

理想的无线传播条件是不存在的，一般认为只要地面上空的大气层是各向同性的均匀媒质，其相对介电常数 ϵ 和相对导磁率 μ 都等于 1，传播路径上没有障碍物阻挡，到达接收天线的地面反射信号场强也可以忽略不计，在这样的情况下，电波的传播方式就被认为是在自由空间传播。通常卫星通信和微波通信都被认为是在理想信道中的通信。

1.2 自由空间的传播损耗

由于信号能量在自由空间的扩散，在传播了一定距离后，信号能量也会发生衰减。

设各向同性的天线的辐射功率为 P_t ，则距离辐射源 d m 处的天线接收功率 $P_r(d)$ 为：

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

其中， P_t 为发射功率（单位：W）， λ 为发射波长（单位：m）， d 是发射机和接收机之间的地理距离， G_t 和 G_r 分别是发射机天线和接收机天线的增益， λ 是电磁信号的波长。在这里，接收信号功率随着传输距离 d 平方衰减。 L 为传播环境无关的系统损耗系数。系统损耗系数表示实际硬件系统中的总

体衰减或损耗，包括传输线、滤波器和天线。总的来说， $L>1$ ，但是如果假设系统硬件没有损耗，则 $L=1$ 。从式中可以明细看到接收功率随距离 d 呈指数规律衰减。对于没有任何系统损耗的自由空间路径损耗 $PL_F(d)$ ，可以在上式中取 $L=1$ 直接得到，即

$$PL_F(d)[\text{dB}] = 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log_{10} \left(\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$$

没有天线增益（即 $G_t=G_r=1$ ）时，简化为：

$$PL_F(d)[\text{dB}] = 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

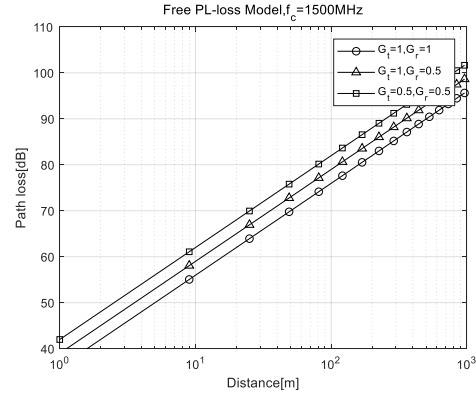


图 1.1 自由空间路径损耗模型

图 1.1 显示了在不同天线增益的情况下，自由空间的路径损耗随距离而变化的曲线图，其中载波频率 $f_c=1.5\text{GHz}$ 。很明显，天线增益减小时，路径损耗增加。

1.3 一般路径损耗模型

与前面提到的自由空间路径损耗一样，在所有其他的实际环境中，平均接收信号功率随距离 d 呈对数方式减小。通过引入随着环境而改变的路径损耗指数 n ，可以修正自由空间路径损耗模型，从而构造出一个更为普遍的路径衰落模型。这就是所熟知的对数距离路径损耗模型：

$$PL_{LD}(d)[\text{dB}] = PL_F(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right)$$

其中， d_0 是一个参考距离。在参考距离或者接近参考距离的位置，路径损耗具有自由空间损耗的特点。如表 1.1 所示，路径损

耗指数主要由传播环境决定，其变化范围为 2~6，其中 $n=2$ 对应用自由空间的情况。此外，当障碍物很多时， n 会增大。对于不同的传播环境必须确定合适的参考距离 d_0 。例如，在大覆盖范围的蜂窝系统（即半径大于 10km 的蜂窝系统）中，通常会设置 d_0 为 1km。

表 1.1 路径损耗指数

环境	路径损耗指数 n
自由空间	2
市区蜂窝	2.7~3.5
市区蜂窝阴影	3~5
建筑物内视距传输	1.6~1.8
建筑物内障碍物阻挡	4~6
工厂内障碍物阻挡	2~3

由于周围环境会随着接收机的实际位置不同而改变，即使发射机到接收机之间的距离相同，每条路径也将具有不同的路径损耗。

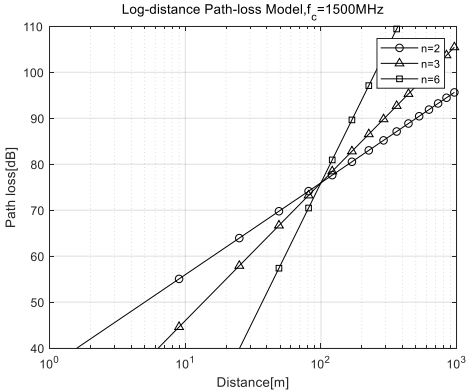


图 1.2 对数距离路径损耗模型

图 1.2 所示为在载波频率 $f_c=1.5\text{GHz}$ 的对数距离路径损耗。从图中可以清楚地看到，路径损耗随着路径损耗指数 n 的增大而增大。

2 两径模型

2.1 平面反射两径模型

两径模型用在单一的地面反射波在多径效应中起主导作用的情形，平面反射两径模型如图 2.1 所示。

如果发射信号相对于时延扩展是窄带的 ($\tau \ll B^{-1}$)， τ 为反射波相对于直射波的时延； B 为信号带宽，则两径模型下信号的接收功率为：

$$P_r \approx \left(\frac{h_t h_r}{d^2}\right)^2 G_t G_r P_t$$

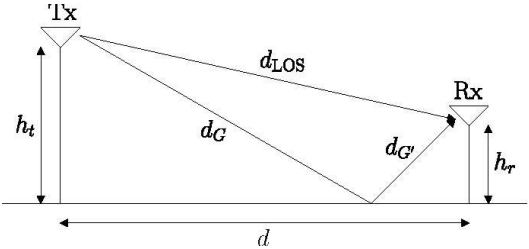


图 2.1 平面反射两径模型

其中，用 d 表示发射机和接收机之间距离，用 h_t 和 h_r 表示发射天线和接收天线的有效高度，定义 d_{Los} 为视线路径长度，发射天线和反射点之间的距离为 d_G ，反射点和接收天线之间的距离为 d_G' 。

2.2 两径模型中损耗与参量的关系

根据上式中信号接收功率以及引言中路径损耗的公式，在 MATLAB 中对两径模型进行仿真。

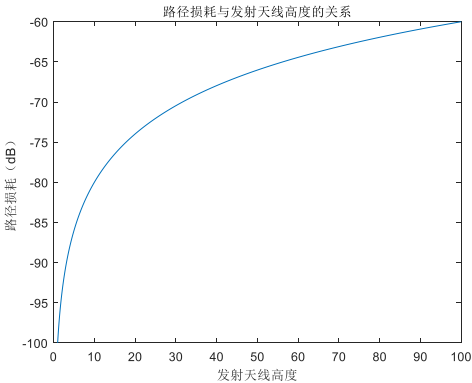


图 2.2.1 路径损耗与反射天线高度的关系

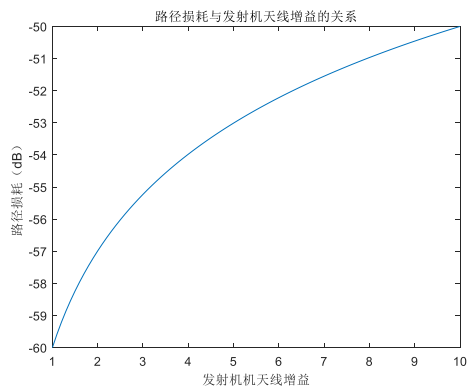


图 2.2.2 路径损耗与发射机天线增益的关系

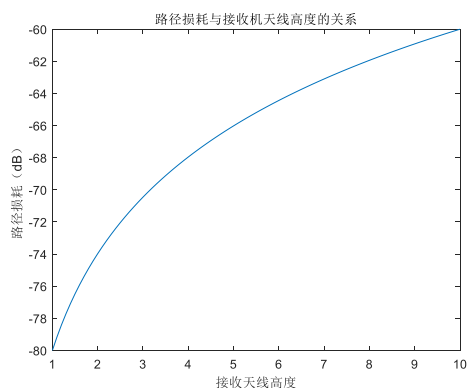


图 2.2.3 路径损耗与接收机高度的关系

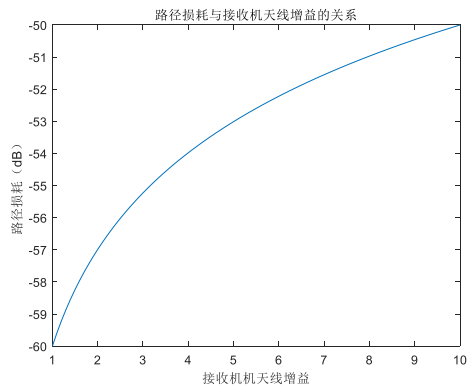


图 2.2.4 路径损耗与接收机天线增益的关系

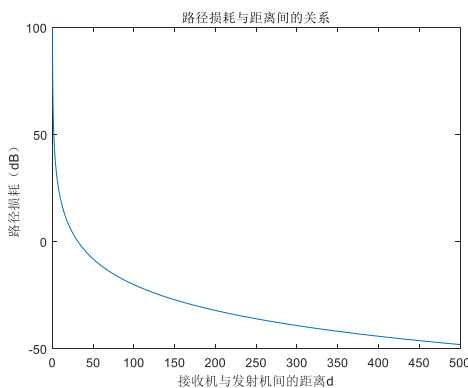


图 2.2.5 路径损耗和距离的关系

由上述图可得，平面反射两径模型下的路径损耗与距离 d 的变化关系最大，同时可由两径模型接收信号功率公式得出。

3 阴影效应

3.1 阴影效应

除了自由空间衰减所造成的功率损失外，无线电波也可能被传输路径中的重重障碍物所扭曲。根据实验测量，接收信号强度的变化可以建模为对数正态分布随机变量，其概率密度函数（PDF）为：

$$f_{\psi}(\psi) = \frac{\varepsilon}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\psi_{dB}}\psi} \exp\left(-\frac{(10\log_{10}\psi - \mu_{\psi_{dB}})^2}{2\sigma_{\psi_{dB}}^2}\right), \quad \psi > 0$$

其中， $\xi=10/\ln(10)$ 是常数。接收信号强度用分贝表示，即 $\psi_{dB} = 10 \lg \psi$ ，是一个均值为 $\mu_{\psi_{dB}}$ 和方差为 $\sigma_{\psi_{dB}}^2$ 的高斯随机变量。

同时考虑路径损耗和阴影效应，我们可以简单地将服从对数正态分布的阴影效应和平均路径损耗相结合：

$$\frac{P_r}{P_t (dB)} = 10\log_{10} K - 10\alpha \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) - \psi_{dB}$$

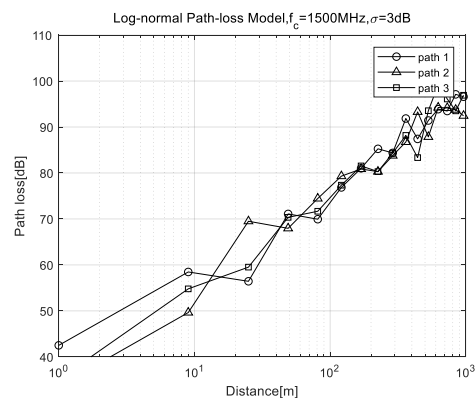


图 3.1 对数正态阴影路径损耗模型

图 1.3 所示为服从对数正态阴影模型的路径损耗，其中 $f_c=1.5\text{GHz}$ ， $\sigma=3\text{dB}$ ， $n=2$ 。从图中可以清楚地看到，在确定性地对数路径损耗模型上叠加了阴影产生地随机效应。

3.2 慢衰落损耗

慢衰落损耗主要是指电磁波在传播路径上受到建筑物等的阻挡产生的阴影效应而产生的损耗，它反映了在中等范围内（数百波长量级）的接收信号电平平均值起伏变化的趋势。这类损耗一般为无线传播所特有的。它服从对数正态分布，其变化率比传送信息率慢，故称为慢衰落。

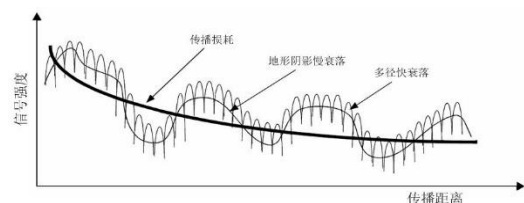


图 3.2 路径损耗，慢衰落损耗，快衰落损耗关系

由图可知，慢衰落损耗的场强中值服从对数正态分布，且与位置/地点相关，衰落的速度取决于移动台的速度。接收信号电平的随机起伏，即接收信号幅度随时间的不规则变化。

4 多径衰落

4.1 背景介绍

在信号传播过程中，由于受地面或水面反射和大气折射的影响，会产生多个经过不同路径到达接收机的信号，这些不同路径到达的电磁波射线相位不一致且具有时变性，导致接收信号呈衰落状态；这些电磁波射线到达的时延不同，又导致码间干扰。若多射线强度较大，且时延差不能忽略，则会产生误码，这种误码靠增加发射功率是不能消除的，而由此多径效应产生的衰落叫多径衰落，它也是产生码间干扰的根源。对于数字通信、雷达最佳检测等都会产生十分严重的影响。

多径衰落可分为平坦型衰落和频率选择性衰落。

4.2 平坦型衰落

如果各条路径传输时延差别不大，而传输波形的频谱较窄（数字信号传输速率较低），则信道对信号传输频带内各频率分量

强度和相位的影响基本相同。此时，接收点的合成信号只有强度的随机变化，而波形失真很小。这种衰落称为一致性衰落，或称平坦型衰落。

4.3 频率选择性衰落

如果各条路径传输时延差别较大，传输波形的频谱较宽（或数字信号传输速率较高），则信道对传输信号中不同频率分量强度和相位的影响各不相同。此时，接收点合成信号不仅强度不稳定而且产生波形失真，数字信号在时间上有所展宽，这就可能千万前后码元的波形重叠，出现码间（符号间）干扰。这种衰落称为频率选择性衰落，有时也简称选择性衰落。

5 结束语

本文介绍了无线通讯网络中路径损耗的两种模型以及阴影效应和多径衰落的定义，并运用 MATLAB 对两种模型进行了仿真，根据规定参数得出了损耗和各个参数之间的对应关系。但当具体使用以上两种模型进行预测时，需要根据实际的环境来校正其中的参数因子，针对不同的模型，采取不同的校正方法。同时，实际计算信号传输功率损耗也要考虑多径衰落和阴影效应等的影响，这在对移动通信学习的过程中有着重大的帮助。

参考文献

- [1] 徐平平,武贵路.协作通信与网络[M].2018-2019-1.东南大学移动通信国家重点实验室,2018年9月.
- [2] 吴彦鸿,王聪,徐灿.无线通信系统中电波传播路径损耗模型研究[J].中国科技核心期刊,2009年8月(第8期).
- [3] 李新民,扈平.基于 MATLAB 的两径模型仿真分析[J].无线电工程,2012年,第42卷(第3期).
- [4] 马建生,金志强,姜光,等.室内无线通信系统的路

径损耗模型研究[J].信息通信, 2016 年(第 1 期).

- [5] 卫佩佩,杜晓燕,江长荫.对流层散射超视距信道传输损耗快慢衰落特性研究[J].电子与信息学报, 2018 年 7 月,第 40 卷(第 7 期).
- [6] 田勇,唐祯安,喻言.室内无线传感器网络信道传输模型及统计分析[J].控制与决策, 2014 年 6 月,第 29 卷(第 6 期).