

第 1 章 无线基础知识

无线信道是无线网络合理设计、部署和管理的基础。与有线相比，无线电波带宽低，具有广播特性，在空气中传播受环境的影响非常大，具有不稳定性，这些无线信道的特性使得无线网络的设计比有线网络复杂得多。无线电波的传播与特定的场有密切的关系，并且受地形、工作频率、终端的移动速度、干扰源等因素的影响。通过学习本章无线基础知识，掌握无线电波传播特性、使用正确的数学模型和准确的参数，对于设计无线网络覆盖、网络容量、数据传输速率、避免系统干扰、安装设备及天线是十分重要的。

1.1 无线电波传播特性

在无线网络的设计、分析、安装过程中，用到的最重要的无线传播特性是：信号覆盖范围、信道最大数据传输速率和信道波动率。信号覆盖范围决定了无线基站的覆盖范围，通常由路径损耗模型试验得来。大多数路径损耗模型通过距离功率或路径损耗斜率和一个随机分量来描述它们的特性。数据传输速率受信道多径结构和多径分量衰减特性的影响。信道波动率由发送、接收之间或两者间物体的运动而产生，它通过信道多普勒效应来描述。

1.1.1 无线电波传播机制

本书中所描述的无线网络使用了超过 800MHz 的无线信号，其波长相对于建筑物的尺寸非常小，因此可以将无线电波简单看成射线，用射线的方法来描述无线电波传播特性。在无线电波传输中，发射机和接收机之间的传播路径可能有建筑物、各种植被、汽车、行人等障碍物，引起能量的吸收和穿透以及电波的反射、散射和衍射等，这样到达接收机的电波可能是直射波、反射波、折射波、衍射波、散射波以及它们的合成波。

无线电波传播主要有反射、衍射和散射三种形式。

1. 反射

在无线电波传播过程中，如果遇到了障碍物，并且此障碍物的大小与信号波长相比很大，那么无线电波就会发生反射，地球表面、建筑物、水面、车辆都会引起电波的反射。反射信号沿着不同的路径到达接收端后引起信号的衰落。但是建筑物的反射也可以成为优势，它可以增加频率的复用，减少频率干扰，利用建筑物反射信号覆盖邻近的建筑物，如图 1-1 所示。

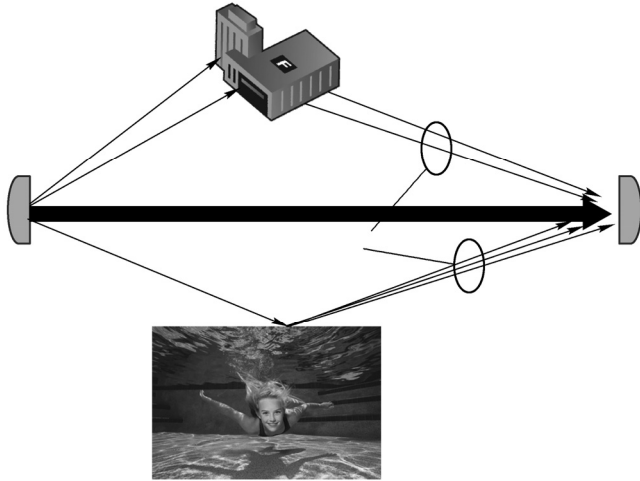


图 1-1 反射示意图

2. 衍射

无线电波入射到建筑物、墙壁或其他大型物体的边缘时，可以把边缘看成二次波源。电波在衍射的边缘处以柱面波传播。由于电波衍射，那么即使在收发天线之间没有视线路径存在，无线电波遇到障碍物时也会发生自然的围绕障碍物的传播角度变化，如图 1-2 所示，接收天线仍然可以接收到电波信号。在无线信道中，尤其是频率较高的无线信号，衍射波的信号取决于障碍物的几何形状、衍射点电波的振幅以及相位移积极化的状态。尽管衍射波信号比较弱，但仍可以被性能好的接收机检测到。在无线工程中，由于建筑物的阻挡，不能视距传输时，可以利用衍射波的特性进行无线站点设计。衍射波的信号强度比主波束强度减少 25~30 dB。

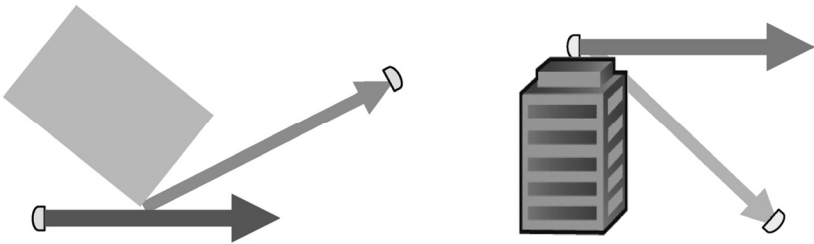


图 1-2 衍射示意图

3. 散射

在无线电波传播的介质中，如果充满了大小与波长相比很小的障碍物，那么无线电波就会发生散射。无线信道中不光滑的物体表面、树叶等都可以发生散射。在散射情况下，靠近散射源时，无线信道中实际测得的信号功率比反射和衍射模型所计算的理论值高，这是因为当入射到表面粗糙的介质时，无线电波会向四面八方传播，形成球面波。

就微观而言，散射实际上是反射，只不过反射面很小，并且各个散射面的方向随机分

布；就宏观而言，如果介质表面光滑，并且其尺寸比波长长很多，就会发生反射现象。如果表面很粗糙，就会发生散射。

4. 吸收

无线电波信号会被雨、树叶吸收，减小信号的功率。树叶吸收一定的能量，潮湿的树叶会吸收更多的能量，所以，对冬季站址勘察时所测得的信号强度与夏季是不同的。因此，应尽量避免树木的阻挡，并留出一定的信号强度储备以弥补大雨和树叶引起的信号衰落，如图 1-3 所示。

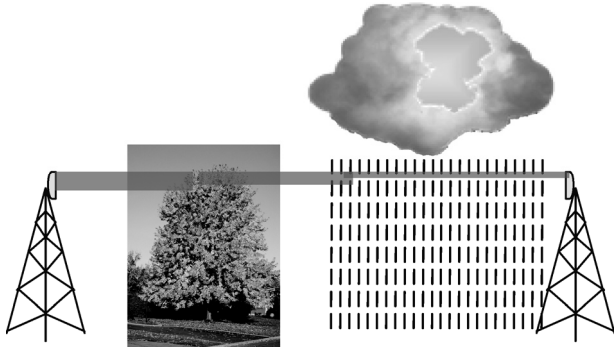


图 1-3 吸收示意图

无线电波的反射、衍射、散射和吸收对于电磁波能量的传播起着重要作用，同时也是产生无线信道衰落的根本原因。

1.1.2 无线电波传播的路径损耗预测

在设计无线覆盖系统时，计算信号覆盖范围是首要任务，而信号覆盖范围计算的核心是路径损耗模型。由于无线环境的复杂性和多变性，要计算接收信号的场强是相当困难的，因此通常做法是在大量场强测试的基础上，经过对数据的分析与统计处理，找出各种地形下的传播损耗与距离、频率以及天线高度的关系，给出传播特性的各种图表和计算公式，建立传播模型从而预测接收信号的场强。没有一个模型可以适合所有的传播环境，因此要求设计人员要根据具体的情况选择合适的模型。

不管是用哪一种模型来预测无线覆盖范围，都只是基于理论和测试结果统计的近似计算，城区街道中各种密集的、不规则的建筑物反射、绕射及阻挡，都会给数学模型预测带来很大困难。因此，模型可以指导网络基站选点及布点的初步设计，但仍须通过现场勘查和具体测试完成无线网络的设计。

1. 理想自由空间损耗

无线电波在自由空间的传播是电波传播研究中最基本、最简单的一种。自由空间是满足下述条件的一种理想空间：①均匀无损耗的无限大空间；②各向同性；③电导率为零。

在自由空间发射功率和接收功率之间的关系如下：

$$\frac{P(r)}{P(t)} = G(r)G(t)(\lambda/4\pi d)^2$$

在自由空间传播条件下，传输损耗 L_s 的表达式为：

$$L_s = 32.45 + 20\lg f + 20\lg d$$

自由空间基本传输损耗 L_s 仅与频率 f 和距离 d 有关。当 f 和 d 扩大一倍时， L_s 均增加 6dB。

2. 用于宏蜂窝区的路径损耗模型

宏蜂窝区的跨越范围为几千米至几十千米，常用的无线网络频率为 900MHz、1800MHz、1900MHz。采用的路径损耗模型是 Okumura-Hata 模型。

该模式以准平坦地形大城市区的中值场强或路径损耗作为参考，对其他传播环境和地形条件等因素分别以校正因子的形式进行修正。不同地形上的基本传输损耗按下列公式分别预测：

$$L(\text{市区}) = 69.55 + 26.16\lg f - 13.82\lg h_1 + (44.9 - 6.55\lg h_1)\lg d - a(h_2) - s(a)$$

$$L(\text{郊区}) = 64.15 + 26.16\lg f - 2[\lg(f/28)]^2 - 13.82\lg h_1 + (44.9 - 6.55\lg h_1)\lg d - a(h_2)$$

其中：

f ——工作频率，单位 MHz；

h_1 ——基站天线高度，单位 m；

h_2 ——移动台天线高度，单位 m；

d ——到基站的距离，单位 km；

$a(h_2)$ ——移动台天线高度增益因子，单位 dB；

$$a(h_2) = \begin{cases} (1.1 \times \lg f - 0.7)h_2 - 1.56\lg f + 0.8 & (\text{中, 小城市}) \\ 3.2[\lg(11.75h_2)]^2 - 4.97 & (\text{大城市}) \end{cases}$$

$s(a)$ ——市区建筑物密度修正因子，单位 dB；

$$s(a) = \begin{cases} 30 - 25\lg a & (5\% < a \leq 50\%) \\ 20 + 0.19\lg a - 15.6(\lg a) & (1\% < a \leq 5\%) \\ 20 & (a \leq 1\%) \end{cases}$$

无线电波传播模型示意图如图 1-4 所示。

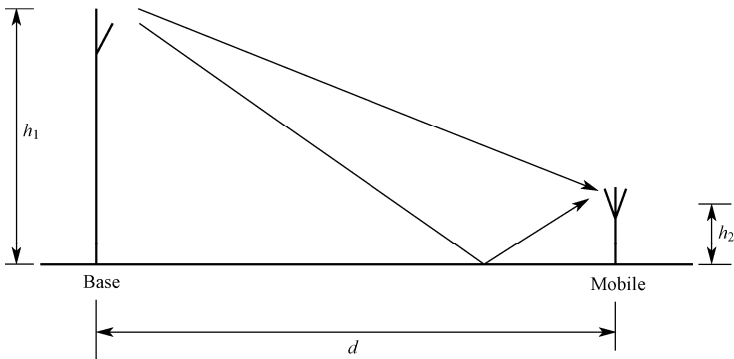


图 1-4 无线电波传播模型示意图

3. 用于微蜂窝区的路径损耗模型

微小区跨越的范围为几百米到一公里，它使用的基站天线通常安装在街灯柱上。在有障碍物的路径中，在建筑物的边角和屋顶处发生的信号衍射变得很重要。微小区的信号传播受到建筑物、地面反射以及车辆的影响，使得传播特性非常复杂。

Cost-231-Walfish-Ikegami 电波传播衰减计算模型是从对众多城市的电波实测中得出的一种小区域覆盖范围内的电波损耗模式。

它分视距和非视距两种情况：

(1) 视距情况，基本传输损耗采用下式计算：

$$L = 42.6 + 26 \lg d + 20 \lg f$$

(2) 非视距情况，基本传输损耗由三项组成：

$$L = L_o + L_{msd} + L_{rts}$$

$$L_o = 32.4 + 20 \lg d + 20 \lg f$$

其中， L_o 代表自由空间损耗； L_{msd} 是多重屏蔽的绕射损耗； L_{rts} 是屋顶至街道的绕射及散射损耗。

4. 用于室内“微微”蜂窝区的路径损耗模型

“微微”蜂窝区的覆盖范围是一栋楼或部分建筑物。“微微”蜂窝区的跨度在 30~100 米之间。

假定建筑物楼层引起的信号衰落是恒定的，这时路径损耗模型为：

$$L = L_o + Nf + 10 \lg d$$

其中， L_o 代表第 1 米的路径损耗； N 是信号通过的楼层数； f 表示每层引起的信号衰落； d 是发射器和接收器之间的距离。

多年来，人们对电波由建筑物外进入室内的穿透损耗进行了大量的测试和研究。穿透损耗的大小与建筑物的材料、窗户、通信频率有关。

- ◆ 金属玻璃：12~15 dB 的损失；
- ◆ 普通玻璃：6 dB 的损失；
- ◆ 砖混墙：3~5 dB 的损失；
- ◆ 水泥浇筑墙：金属网的水泥浇筑墙会产生很强的反射。

1.2 多径效应和多普勒效应

前面各种模型的信号强度特性是大尺度的平均值，实际上，接收信号由于移动终端的运动而快速波动，这种波动导致沿不同路径到达的多个信号分量发生变化，这种信号幅度的快速波动是一种小尺度的衰落。

本节主要讨论两种引起信号幅度快速波动的效应：一种是多普勒效应，是由于移动终端朝着或背着基站运动而产生的；另一种是多径衰落，由于信号沿不同路径到达相加而产生的。

1.2.1 多径衰落模型

无线电波信号在传播过程中，接收端受到障碍物和其他移动体的影响，以致到达接收端的信号是来自不同传播路径的信号之和，不同相位的信号进行相加造成信号幅度波动，从而产生多径衰落。

为了获得这些波动模型，可以按照时间生成接收信号的柱状图。用于多径衰落的最常见的分布是瑞利分布（Rayleigh），它的概率密度函数为：

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad r \geq 0$$

多径衰落会产生非常高的误比特率，不能简单地增加发射功率减小多径衰落，一般通过带频谱交错的差错控制码、分集技术和定向天线技术减小多径效应。

1.2.2 多普勒效应

多普勒效应是由于接收端移动而产生的，由此而产生接收信号强度波动的频谱称为多普勒频谱。在图 1-5（a）中，发送器和接收器保持固定，附近也没有其他移动体，这时接收信号是恒定包络的，而且频谱仅是一个脉冲。在图 1-5（b）中，发送器任意移动，导致接收信号产生波动，这时的频谱宽度扩展到 6Hz，这个频谱就是多普勒频谱。

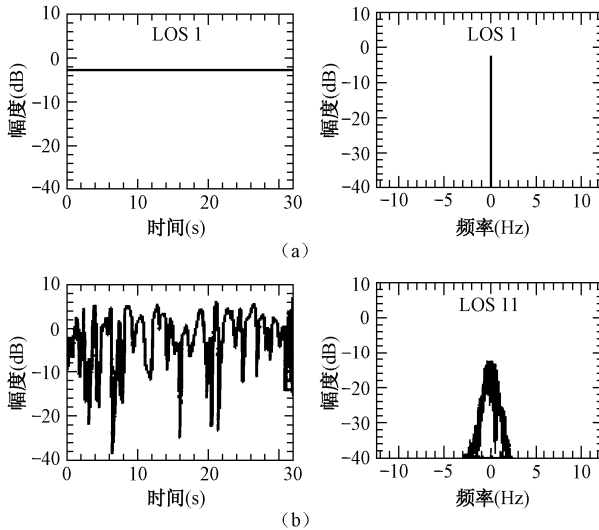


图 1-5 多普勒的测量值

常用的多普勒模型为：

$$D(\lambda) = \frac{1}{2\pi f} \left[1 - (\lambda/f)^2 \right]^{-1/2} \quad -f \leq \lambda \leq f$$

其中， f 是最大多普勒频率，它与终端的移动速度有关。通过设计合适的编码技术、频谱交错技术和调频技术，可以减少多普勒效应造成的信号快速衰落。

思 考 题

1. 无线电波信号在自由空间的发射功率为 1W，载波频率为 2.4GHz，如果接收器和发送器的距离为 1.6 千米，发射和接收天线的增益为 1.6，则接收功率是多少？路径损耗为多少？传播时延为多少？
2. 使用什么技术可以克服瑞利衰落？
3. 什么是多普勒效应？如何测量？