

资料编码		产品名称	无线产品
使用对象	GSM工程师	产品版本	

## 无线传播理论

拟制：移动通信工程部                      日期：2001/12/10  
 审核：工程部、资料开发部                日期：2001/12/15  
 审核：    日期：  
 批准：    日期：

### 修订记录

日期	修订版本	作者	描述



华为技术有限公司

# 目 录

无线传播理论 .....	1
第一章 无线传播基本原理 .....	2
第二章 无线传播环境 .....	4
2.1 快衰落和慢衰落 .....	4
2.2 多谱勒频移 .....	7
2.3 分集接收 .....	7
2.4 传播损耗 .....	8
第三章 无线传播模型 .....	11
3.1 Okumura-Hata模型 .....	12
3.2 COST231-Hata模型 .....	13
3.3 COST231 Walfish Ikegami 模型 .....	13
3.4 室内传播模型 .....	15
3.5 规划软件ASSET使用的传播模型 .....	15
第四章 传播模型校正 .....	18
4.1 CW测试的原理 .....	18
4.2 CW测试的方法 .....	18
4.3 传播模型校正及实例 .....	20

# 无线传播理论

## 1. 概要说明

无线传播方式决定了蜂窝系统的设计，从频段的确定、频率分配、无线电波的覆盖范围、计算通信概率及系统间的电磁干扰，直到最终确定无线设备的参数和进行场强预测。

本文主要讲述了蜂窝系统的传播环境，介绍了传播过程中出现的快衰落和慢衰落现象以及传播损耗现象。本文还介绍了GSM移动通信系统的信号损耗中值计算模型和具有代表性的几种传播模型，同时对CW测试原理、测试方法和传播模型的校正进行了介绍。

全文分为四节：

第一节：无线传播基本原理。讲述了电磁波的不同传播模式。

第二节：无线传播环境。讲述了快衰落和慢衰落、多普勒频移、分集接收以及传播损耗。

第三节：无线传播模型。讲述了Okumura-Hata、COST231-Hata、COST231 Walfish Ikegami、室内传播模型和规划软件ASSET使用的传播模型。

第四节：传播模型校正。讲述了CW测试的原理和方法，并列举了模型校正的实例。

## 2. 关键词

无线传播 衰落 损耗 传播模型 模型校正 CW测试

## 第一章 无线传播基本原理

要点：掌握电磁波的多种传播途径。

在规划和建设一个移动通信网时，从频段的确切、频率分配、无线电波的覆盖范围、计算通信概率及系统间的电磁干扰，直到最终确定无线设备的参数，都必须依靠对电波传播特性的研究、了解和据此进行的场强预测。它是进行系统工程设计与研究频谱有效利用、电磁兼容性等课题所必须了解和掌握的基本理论。

众所周知，无线电波可通过多种方式从发射天线传播到接收天线：直达波或自由空间波、地波或表面波、对流层反射波、电离层波。如图1所示。就电波传播而言，发射机同接收机间最简单的方式是自由空间传播。自由空间指该区域是各向同性（沿各个轴特性一样）且同类（均匀结构）。自由空间波的其他名字有直达波或视距波。如图1(a)，直达波沿直线传播，所以可用于卫星和外部空间通信。另外，这个定义也可用于陆上视距传播（两个微波塔之间），见图1(b)。

第二种方式是地波或表面波。地波传播可看作是三种情况的综合，即直达波、反射波和表面波。表面波沿地球表面传播。从发射天线发出的一些能量直接到达接收机；有些能量经从地球表面反射后到达接收机；有些通过表面波到达接收机。表面波在地表上传播，由于地面不是理想的，有些能量被地面吸收。当能量进入地面，它建立地面电流。这三种的表面波见图1(c)。第三种方式即对流层反射波产生于对流层，对流层是异类介质，由于天气情况而随时间变化。它的反射系数随高度增加而减少。这种缓慢变化的反射系数使电波弯曲。如图1(d)所示。对流层方式应用于波长小于10米（即频率大于30MHz）的无线通信中。第四种方式是经电离层反射传播。当电波波长小于1米（频率大于300MHz）时，电离层是反射体。从电离层反射的电波可能有一个或多个跳跃，见图1(e)。这种传播用于长距离通信。除了反射，由于折射率的不均匀，电离层可产生电波散射。另外，电离层中的流星也能散射电波。同对流层一样，电离层也具有连续波动的特性，在这种波动上是随机的快速波动。蜂窝系统的无线传播利用了第二种电波传播方式。这一点将在后文中论述。

在设计蜂窝系统时研究传播有两个原因。第一，它对于计算覆盖不同小区的场强提供必要的工具。因为在大多数情况下覆盖区域从几百米到几十公里，地波传播可以在这种情况下应用。第二，它可计算邻信道和同信道干扰。

预测场强有两种方法。第一种纯理论方法，适用于分离的物体，如山和其他固体物体。但这种预测忽略了地球的不规则性。第二种基于在各种环境的测量，包括不规则地形及人为障碍，尤其是在移动通信中普遍存在的较高的频

率和较低的移动天线。第三种方法是结合上述两种方法的改进模型，基于测量和使用折射定律考虑山和其他障碍物的影响。在蜂窝系统中，至少有两种传播模型，第一种是FCC建议的模型。第二种设计模型由Okumura提供，覆盖边界应考虑实际经验结果。

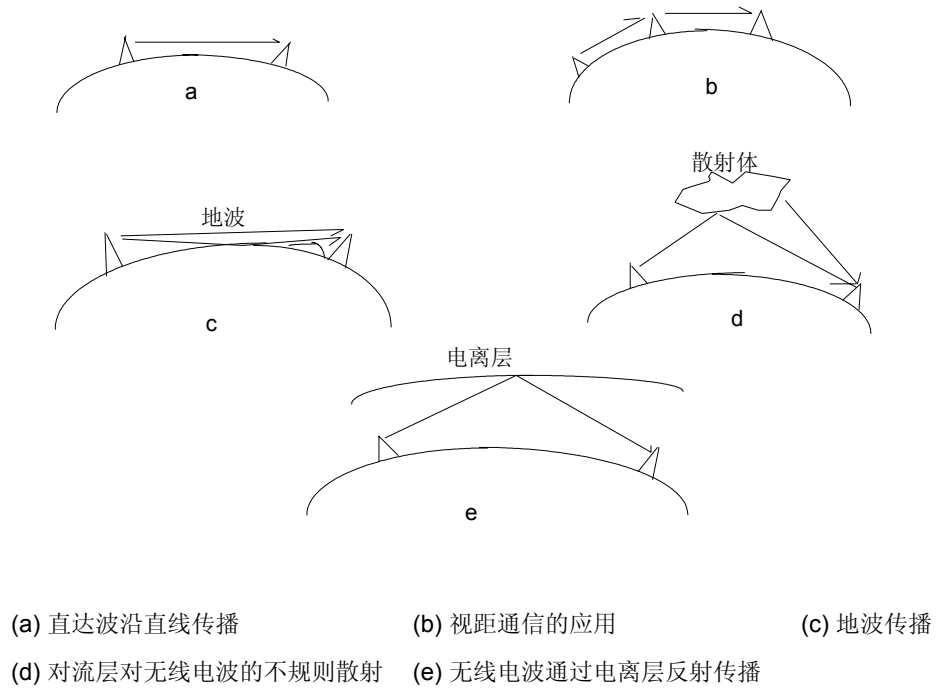


图1 不同的传播模式

## 第二章 无线传播环境

要点:

掌握快衰落和慢衰落的概念。

掌握多普勒频移的概念。

掌握分集接收的方法。

掌握典型地形传播损耗的计算方法。

### 2.1 快衰落和慢衰落

根据上一节的论述，在一个典型的蜂窝移动通信环境中，由于接收机与发射机之间的直达路径被建筑物或其他物体所阻碍，所以，在蜂窝基站与移动台之间的通信不是通过直达路径，而是通过许多其他路径完成的。在UHF频段，从发射机到接收机的电磁波的主要传播模式是散射，即从建筑物平面反射或从人工、自然物体折射，如图2所示。



① 建筑物反射波      ② 绕射波      ③ 直达波      ④ 地面反射波

图2 多径传播模型

所有的信号分量合成产生一个复驻波，它的信号的强度根据各分量的相对变化而增加或减小。其合成场强在移动几个车身长的距离中会有20~30dB的衰落，其最大值和最小值发生的位置大约相差1/4波长。大量传播路径的存在就产生了所谓的多径现象，其合成波的幅度和相位随移动台的运动产生很大的起伏变化，通常把这种现象称为多径衰落或快衰落，如图3所示。在性质上，多径衰落属于一种快速变化。

研究表明，如移动单元所收到的各个波分量的振幅、相位和角度是随机的，那么合成信号的方位角和幅度的概率密度函数分别为：

$$0 \leq \theta \leq 2\pi \quad (2-1)$$

$$r \geq 0 \quad (2-2)$$

其中 $r$ 为标准偏差。(2-1)式和(2-2)式分别表明方位角 $\theta$ 在 $0\sim 2\pi$ 是均匀分布的,而电场强度概率密度函数是服从瑞利分布的。故多径衰落也称瑞利衰落。

大量研究结果表明,移动台接收的信号除瞬时值出现快速瑞利衰落外,其场强中值随着地区位置改变出现较慢的变化,这种变化称为慢衰落,见图3。它是由阴影效应引起的,所以也称作阴影衰落。电波传播路径上遇有高大建筑物、树林、地形起伏等障碍物的阻挡,就会产生电磁场的阴影。当移动台通过不同障碍物阻挡所造成的电磁场阴影时,就会使接收场强中值的变化。变化的大小取决于障碍物的状况和工作频率,变化速率不仅和障碍物有关,而且与车速有关。

研究这种慢衰落的规律,发现其中值变动服从对数正态分布。

另外,由于气象条件随时间变化、大气介电常数的垂直梯度发生慢变化,使电波的折射系数随之变化,结果造成同一地点的场强中值随时间的慢变化。统计结果表明,此中值变化也服从对数正态分布。分布的标准偏差为 $r_t$ 。由于信号中值变动在较大范围内随地点和时间的分布均服从对数正态分布,所以它们的合成分布仍服从对数正态分布。在陆地移动通信中,通常信号中值随时间的变动远小于随地点的变动,因此可以忽略慢衰落的影响, $r=r_L$ 。但是在定点通信中,需要考虑慢衰落。

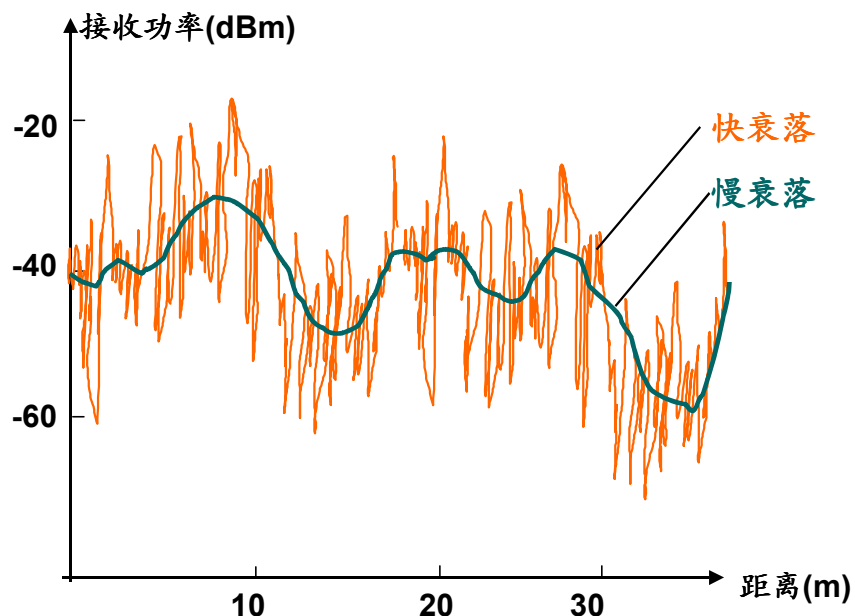


图3 快衰落和慢衰落

总的来说,在蜂窝环境中两种影响:第一种是多路径,由于从建筑物表面或其他物体反射、散射而产生的短期衰落,通常移动距离几十米;第二种是直接可见路径产生的主要接收信号强度的缓慢变化,即长期场强变化。也就



是说，信道工作于符合瑞利分布的快衰落并叠加有信号幅度满足对数正态分布的慢衰落。

## 2.2 多普勒频移

快速运动的移动台还会发生多普勒频移现象，这是因为在移动台高速运动时接收和发送信号将导致信号频率将发生偏移而引起的干扰。多普勒频移符合下面的公式：

$$f_I = f_0 - f_D \cos \theta \quad f_D = f_0 \left( \frac{v}{\lambda} \right) \cos \theta$$

$f_I$ 为合成后的频率， $f_0$ 为工作频率， $f_D$ 为最大多普勒频移， $\theta$ 为多径信号合成的传播方向与移动台行进方向的夹角， $v$ 为移动台的运动速度， $\lambda$ 为波长，当移动台快速远离基站时为 $f_I = f_0 - f_D$ ，当移动台快速靠近基站时为 $f_I = f_0 + f_D$ 。

当运动速度过高时，多普勒频移的影响必须考虑，而且工作频率越高，频移越大。

## 2.3 分集接收

多径衰落和阴影衰落产生的原因是不同的，随着移动台的移动，瑞利衰落随着信号的瞬时值快速变动，而对数正态衰落随着信号平均值变动，这两者是构成移动通信接收信号不稳定的主要因素，使接收信号被大大恶化，虽然通过增加发信功率、天线尺寸和高度等方法能取得改善，但采用这些方法在移动通信中比较昂贵，有时也显得不切实际，而采用分集方法即在若干支路上接收相互间相关性很小的载有同一消息的信号，然后通过合并技术再将各个支路的信号合并输出，那么便可在接收终端上大大降低深衰落的概率。

由于衰落具有频率、时间和空间的选择性，因此分集技术包括空间分集、时间分集、频率分集、极化分集和角度分集等五种。

**空间分集：**若在空间设立两副接收天线，独立接收同一信号，由于其传播环境及衰落各不相同，具有不相干或相干性很小的特点，采用分集合并技术并使输出较强的有用信号，降低了传播因素的影响。在移动通信中，空间的间距越大，多径传播的差异就越大，所收场强的相关性就越小。天线间隔可以是垂直间隔也可以是水平间隔。但是，垂直间隔的分集性能太差，不主张用这种方式。为获得相同的相关系数，基站两分集天线之间的垂直距离应大于水平距离。这种方式在移动通信中是最有效的，也是应用最普遍的一种分集方式。

**时间分集：**可采用通过一定的时延来发送同一消息，或在系统所能承受的时延范围以内在不同时间内的各发送消息的一部分。在GSM中采用的是后面会讲到的交织技术来实现时间分集的。

频率分集：这种分集技术在GSM中是通过调频来实现的。

极化分集：它是通过采用垂直电子天线、垂直磁性天线和环状天线来实现的。

角度分集：由于地形地貌和建筑物等环境的不同，到达接收端的不同路径的信号可能来自于不同的方向，在接收端，采用方向性天线，分别指向不同的信号到达方向，则每个方向性天线接收到的多径信号是不相关的。

## 2.4 传播损耗

在研究传播时，特定收信机功率接收的信号电平是一个主要特性。由于传播路径和地形干扰，传播信号减小，这种信号强度减小称为传播损耗。

在研究电波传播时，首先要研究两个天线在自由空间（各向同性、无吸收，电导率为零的均匀介质）条件下的特性。以理想全向天线为例。经推导，自由空间的传播损耗为：

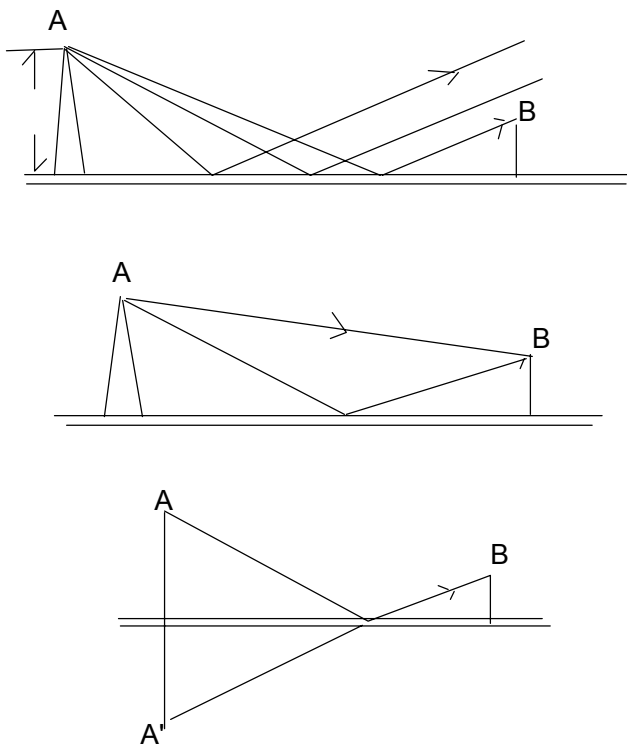
$$L_p = 32.4 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km}) \quad (2-3)$$

其中， $f$ 为频率， $d$ 为距离（公里）。上式与距离 $d$ 成反比。当 $d$ 增加一倍，自由空间路径损耗增加6分贝。同时，当减小波长 $\lambda$ （提高频率 $f$ ），路径损耗增大。我们可以通过增大辐射和接收天线增益来补偿这些损耗。当已知工作频率时，（2-3）式还可以写成

$$L_p = L_0 + 10\gamma \log(d_{km}) \quad (2-4)$$

式中 $\gamma = 2$ 。 $\gamma$ 称为路径损耗斜率。在实际的蜂窝系统中，根据测量结果显示， $\gamma$ 的取值范围一般在3~5之间。

有了自由空间的路径损耗公式后，可以考虑在平坦的，但不理想的表面上2个天线之间的实际传播情况。假设在整个传播路径表面绝对平坦（无折射）。基站和移动台的天线高度分别为 $h_c$ 和 $h_m$ ，如图4所示。



(a) 是多反射情况      (b) 是单反射情况      (c) 仰角 $\gamma$ ，路径长度 $d$

图4 平坦表面的传播

与自由空间的路径损耗相比，平坦地面传播的路径损耗为：

$$L_p = 10\gamma \log d - 20 \log h_c - 20 \log h_m$$

式中 $\gamma = 4$ 。该式表明增加天线高度一倍，可补偿6dB损耗；而移动台接收功率随距离的4次方变化，即距离增大一倍，接收到的功率减小12dB。

地形地物的种类千差万别，对移动通信电波传播损耗的影响也是错综复杂的。在实际应用中是不可能存在绝对的平坦地形的。对于复杂的地形一般可分为两类，即“准平滑地形”和“不规则地形”。

“准平滑地形”指表面起伏平缓，起伏高度小于等于20米的地形，平均表面高度差别不大。Okumura将起伏高度定义为距离移动台天线前方10公里内地形起伏10%与90%的差。CCIR定义为收信机前方10~50公里处地形高度超过90%与超过10%的差。除此以外的其它地形统称为“不规则地形”，按其状态可分为：丘陵地形、孤立山岳、倾斜地形和水陆混合地形等。

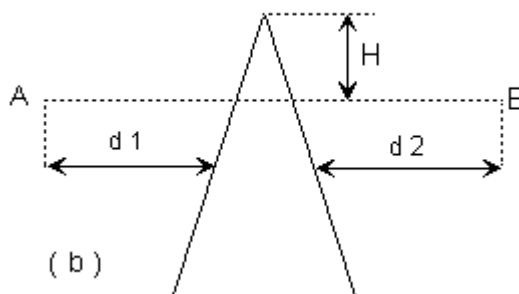
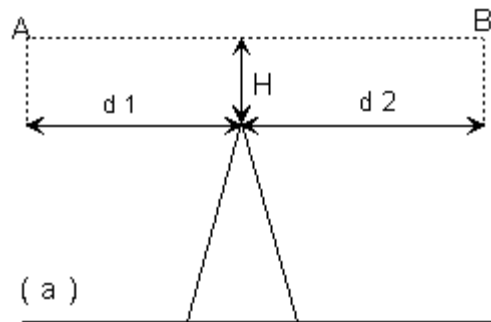
在对市区及其附近地区分析传输损耗时，还可以依据地理区域的拥挤程度分类，如分成：开阔区、密集市区、中等市区、郊区等。

在分析山区或者城市中摩天大楼密布的密集市区的传输损耗时，通常还要分析绕射损耗。绕射损耗是对障碍物高度和天线高度的一种测量。障碍物高度必须同传播波长比较。同一障碍物高度对长波长产生的绕射损耗小于短波长。预测路径损耗时，把这些障碍物看作尖形障碍，即“刃形”。用物理光学中常用的方法可计算损耗。图5中有两种障碍物。第一种情况下，高H处的视距路径无障碍物。第二种情况下，障碍物在电波路径中。第一种中我们假设障碍物高度是负数，第二种假设障碍物高度是正数。绕射损耗F可通过绕射常数 $v$ 求出， $v$ 由下式给出。

$$v = -H\sqrt{2/\lambda(1/d_1 + 1/d_2)}$$

不同绕射损耗的近似值由下式求出：

$F = 0$	$v \geq 1$
$= 20 \log(0.5 + 0.62v)$	$0 \leq v < 1$
$= 20 \log(0.5e^{0.45v})$	$-1 \leq v \leq 0$
$= 20 \log(0.4 - \sqrt{0.12 - (0.1v + 0.38)^2})$	$-2.4 \leq v < -1$
$= 20 \log(-0.225/v)$	$v < -2.4$



(a) 负高度

(b) 正高度

图5 经过刀刃的无线传播

## 第三章 无线传播模型

要点：掌握几种典型的传播模型。

传播模型是非常重要的。传播模型是移动通信网小区规划的基础。模型的价值就是保证了精度，同时节省了人力、费用和时间。在规划某一区域的蜂窝系统之前，选择信号覆盖区的蜂窝站址使其互不干扰，是一个重要的任务。如果不用预期方法，唯一的方法就是尝试法，通过实际测量进行。这就要进行蜂窝站址覆盖区的测量，在所建议的方案中，选择最佳者。这种方法费钱，费力。利用高精度的预期方法并通过计算机计算，通过比较和评估计算机输出的所有方案的性能，我们就能够很容易地选出最佳蜂窝站址配置方案。因此，可以说传播模型的准确与否关系到小区规划是否合理，运营商是否以比较经济合理的投资满足了用户的需求。由于我国幅员辽阔，各省、市的无线传播环境千差万别。例如，处于丘陵地区的城市与处于平原地区的城市相比，其传播环境有很大不同，两者的传播模型也会存在较大差异。因此如果仅仅根据经验而无视各地不同地形、地貌、建筑物、植被等参数的影响，必然会导致所建成的网络或者存在覆盖、质量问题，或者所建基站过于密集，造成资源浪费。随着我国移动通信网络的飞速发展，各运营商越来越重视传播模型与本地区环境相匹配的问题。

一个优秀的移动无线传播模型要具有能够根据不同的特征地貌轮廓，像平原、丘陵、山谷等，或者是不同的人造环境，例如开阔地、郊区、市区等，做出适当的调整。这些环境因素涉及了传播模型中的很多变量，它们都起着重要的作用。因此，一个好的移动无线传播模型是很难形成的。为了完善模型，就需要利用统计方法，测量出大量的数据，对模型进行校正。传播模型的校正问题将在第4节中做具体的介绍。

一个好的模型还应该简单易用。模型应该表述清楚，不应该给用户提供任何主观判断和解释，因为主观判断和解释往往在同一区域会得出不同的预期值。一个好的模型应具有好的公认度和可接受性。应用不同的模型时，得到的结构有可能不一致。良好的公认度就显得非常重要了。

多数模型是预期无线电波传播路径上的路径损耗的。所以传播环境对无线传播模型的建立起关键作用，确定某一特定地区的传播环境的主要因素有：

- (1) 自然地形（高山、丘陵、平原、水域等）；
- (2) 人工建筑的数量、高度、分布和材料特性；
- (3) 该地区的植被特征；
- (4) 天气状况；

(5) 自然和人为的电磁噪声状况。

另外，无线传播模型还受到系统工作频率和移动台运动状况的影响。在相同地区，工作频率不同，接收信号衰落状况各异；静止的移动台与高速运动的移动台的传播环境也大不相同。一般分为：室外传播模型和室内传播模型。常用的模型如表1所示。

表1 几种常见的传播模型

模型名称	适用范围
Okumura-Hata	适用于 900MHz 宏蜂窝预测
Cost231-Hata	适用于1800MHz 宏蜂窝预测
Cost231 Walfish-Ikegami	适用于900和1800MHz 微蜂窝预测
Keenan-Motley	适用于900和1800MHz 室内环境预测
规划软件ASSET中使用	适用于900和1800MHz 宏蜂窝预测

### 3.1 Okumura-Hata模型

Okumura-Hata模型由在日本测得的平均测量数据构成。市区的路径损耗中值可以用下面的近似解析式表示：

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b + (44.9 - 65.5 \log h_b) \log d - A_{hm}$$

式中：

$L_p$ ——从基站到移动台的路径损耗，单位：dB；

$f$  ——载波频率，单位：MHz；

$h_b$ ——基站天线高度，单位：米；

$h_m$ ——移动台天线高度，单位：米；

$d$  ——基站到移动台之间的距离，单位：km；

对于中等城市或大城市修正， $A_m = (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8)$

在郊区，传播模型可以修正为，

$$L_{ps} = L_p(\text{市区}) - 2[\log(f/28)]^2 - 5.4$$

在开阔地，传播模型可以修正为，

$$L_{po} = L_p(\text{市区}) - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

### 3.2 COST231-Hata模型

适合频段： 1500~2000 MHz

基站的天线高度Hb： 30~200 m

移动台天线高度 Hm： 1 ~ 10 m

覆盖距离： 1 ~ 20 km

大城市区域（在农村地区和郊区可以从图3中得到校正因子）。

$$Lu \text{ (dB)} = 46.3 + 33.9 \times \log(f) - 13.82 \times \log(Hb) - a(Hm) + [44.9 - 6.55 \times \log(Hb)] \times \log(d) + Cm$$

其中：

$$a(Hm) = [1.1 \times \log(f) - 0.7] \times Hm - [1.56 \times \log(f) - 0.8]$$

$Cm = 0 \text{ dB}$  对于中等城市和郊区中心区

$Cm = 3 \text{ dB}$  对于大城市

对于农村准开阔地：

$$Lr_{q0} \text{ (dB)} = Lu - 4.78 \times [\log(f)]^2 + 18.33 \times \log(f) - 35.94$$

对于农村开阔地：

$$Lr_o \text{ (dB)} = Lu - 4.78 \times [\log(f)]^2 + 18.33 \times \log(f) - 40.94$$

### 3.3 COST231 Walfish Ikegami 模型

该模型适合于大城市环境。

适合频段： 800 ~2000 MHz

使用的天线挂高： 4 ~50 m

移动台高度： 1 ~3 m

覆盖距离： 0.02 ~5km

Height of buildings: Hroof (m)

Width of road : w (m)

Building separation: b (m)

Road orientation with respect to the direct radio path : Phi (°)

Urban areas

1. 基站和移动台之间没有直射径的情况 (small cells)

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd} \text{ (or } L_b = L_o \text{ for } L_{rts} + L_{msd} \leq 0)$$

其中:

$L_o$ 为自由空间的损耗:

$$L_o = 32.4 + 20 \times \log(d) + 20 \times \log(f)$$

$L_{rts}$ 为屋顶和街道之间的衍射和散射损耗(对应慢衰落):

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \times \log(w) + 10 \log(f) + 20 \times \log(H_r - H_m) + L_{cri}$$

其中:  $L_{cri} = -10 + 0.354 \times \Phi$  for  $0 \leq \Phi < 35^\circ$

$$L_{cri} = 2.5 + 0.075 \times (\Phi - 35) \text{ for } 35 \leq \Phi < 55^\circ$$

$$L_{cri} = 4.0 - 0.114 \times (\Phi - 55) \text{ for } 55 \leq \Phi < 90^\circ$$

$L_{msd}$ 为多径损耗 (对应快衰落):

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \times \log(d) + k_f \times \log(f) - 9 \times \log(b)$$

其中  $L_{bsh} = -18 \times \log(1 + H_b - H_{roof})$  for  $H_b > H_{roof}$

$$= 0 \text{ for } H_b \leq H_{roof}$$

$$k_a = 54 \text{ for } H_b > H_{roof}$$

$$= 54 - 0.8 \times (H_b - H_{roof}) \text{ for } d \geq 0.5 \text{ and } H_b \leq H_{roof}$$

$$= 54 - 0.8 \times (H_b - H_{roof}) \times (d/0.5) \text{ for } d < 0.5 \text{ and } H_b \leq H_{roof}$$

$$k_d = 18 \text{ for } H_b > H_{roof}$$

$$= 18 - 15 \times (H_b - H_{roof})/H_{roof} \text{ for } H_b \leq H_{roof}$$

$$k_f = -4 + 0.7 \times (f/925 - 1) \text{ for medium sized cities and}$$

suburban centres with moderate

tree density

$$= -4 + 1.5 \times (f/925 - 1) \text{ for metropolitan centres}$$

2. 基站和手机之间有直射路径的情况 (Street Canyon)

微小区 (天线低于屋顶高度), 路径损耗模型如下:



$$L_b = 42.6 + 26 \times \log(d) + 20 \times \log(f) \text{ for } d \geq 0.020 \text{ km}$$

### 3.4 室内传播模型

室内传播环境与室外微蜂窝、宏蜂窝不同：天线高度，覆盖距离等，因此原先的Okomula-Hata模型、COST-231模型已不再适用。应使用Keenan-Motley模型。

$$L_{\text{indoor}} = L_{\text{BS}} + k \times F(k) + p \times W(k) + D(d - d_b)$$

其中， $L_{\text{BS}}$ 为自由空间传播损耗， $L_{\text{BS}} = 32.5 + 20 \times \log f + 20 \times \log d$ 。

$L_{\text{indoor}}$  室内传播损耗

$f$  频率 (MHz)

$d$  传播距离 (km)

$k$  直达波穿透的楼层数

$f$  楼层衰减因子(dB)

$p$  直达波穿透的墙壁数

$W$  墙壁衰减因子(dB)

$D$  线性衰减因子(dB/m)

$d_b$  室内转折点(m)，典型值为65m，大于该值增加0.2dB/m。

### 3.5 规划软件ASSET使用的传播模型

在实际无线传播环境中，还应考虑各种地物地貌的影响，华为公司使用的规划软件ASSET正是考虑到这一点，对传播模型进行了改进，考虑了现实环境中各种地物地貌对电波传播的影响，从而更好的保证了覆盖预测结果的准确性。模型表示式如下：

$$L_p = K_1 + K_2 \log d + K_3(h_m) + K_4 \log h_m + K_5 \log(H_{\text{eff}}) + K_6 \log(H_{\text{eff}}) \log d + K_7 \text{ diffn} + K_{\text{clutter}}$$

式中：

$K_1$ ——与频率有关常数；

$K_2$ ——距离衰减常数；

$K_3$ 、 $K_4$ ——移动台天线高度修正系数；

$K_5$ 、 $K_6$ ——基站天线高度修正系数；

$K_7$ ——绕射修正系数；

$K_{clutter}$ ——地物衰减修正系数；

$d$  ——基站和移动台之间的距离。单位：km；

$h_m$ 、 $h_{eff}$ ——移动台天线和基站天线的有效高度，单位：米。

在分析不同地区、不同城市的电波传播时，K值会因地形、地貌的不同以及城市环境的不同而选取不同的值。表2例举了一个曾经用于中等城市电波传播分析时的K值以及一些Clutter衰耗值。

表2 K参数值

K 参数名称	参 数 值
K1	160.93
K2	44.90
K3	-2.88
K4	0.00
K5	-13.82
K6	-6.55
K7	0.20
Clutter 衰 耗 值	
Inland Water	-2.00
Wetland	-1.50
Open Areas in Urban	1.00
Rangeland	1.50
High Buildings	-1.60
Industrial & Commercial Areas	1.30
Dense Urban	1.40
Order Urban	2.30
Suburban	-1.00

根据这些K参数，可以计算出传播损耗中值。但是由于环境的复杂性，还要进行适当的修正。当蜂窝移动通信系统用于室内时要考虑建筑损耗。建筑损耗是墙壁结构（钢、玻璃、砖等）、楼层高度、建筑物相对于基站的走向、窗户区所占的百分比等的函数。由于变量的复杂性，建筑物的损耗只能在周围环境的基础上统计预测。我们可以有以下一些结论：

- 位于市区的建筑平均穿透损耗大于郊区和偏远区。
- 有窗户区域的损耗一般小于没有窗户区域的损耗。
- 建筑物内开阔地的损耗小于有走廊的墙壁区域的损耗。
- 街道墙壁有铝的支架比没有铝的支架产生更大的衰减。

- 只在天花板加隔离的建筑物比天花板和内部墙壁都加隔离的建筑物产生的衰减小。

平均的楼层穿透损耗是楼层高度的函数。据资料记载，损耗线的斜率是 $-1.9\text{dB/层}$ 。第一层楼的平均穿透损耗，市区为 $18\text{dB}$ 左右，郊区在 $13\text{dB}$ 左右。特定楼层的测量表明，建筑物内的损耗特性可看作是带衰减的损耗波导。例如当电波沿着与室外窗户垂直的方向的走廊方向传播的时候，损耗可以达到 $0.4\text{dB/m}$ 。

当计算隧道中的电波传播情况时，需要考虑隧道的传播损耗。这时可以把隧道简化成一个有耗波导来考虑。实验结果显示在特定距离传播损耗随频率增加而下降。当工作频段在 $2\text{GHz}$ 以下时，损耗曲线与工作频率的关系呈指数衰减。对于GSM频段，可以近似认为，损耗与距离呈现4次方的反指数变化，即两个天线之间距离增加一倍，损耗增大 $12\text{dB}$ 。

在UHF频段还要考虑树叶对传播的影响。研究表明，一般夏天树木枝叶繁茂，因此夏天信号的损耗会比冬天的时候大 $10\text{dB}$ 左右，垂直极化的信号损耗大于水平极化信号的损耗。

## 第四章 传播模型校正

要点:

- 掌握CW测试的原理和方法。
- 掌握进行传播模型校正的方法。

### 4.1 CW测试的原理

为了获得符合本地区实际环境的无线传播模型，提高覆盖预测的准确性，为网络规划打好基础，必须进行传播模型的校正。CW测试即连续波测试，是进行模型校正的必经步骤，通过CW测试和数字地图可以获得进行模型校正的数据。这些测试数据中的经纬度信息和接收电平形成模型校正的数据源。

利用随机过程的理论分析移动通信的传播，可以表示为：

$$r(x) = m(x)r_0(x)$$

其中， $x$ 为距离， $r(x)$ 为接收信号； $r_0(x)$ 为瑞利衰落； $m(x)$ 为本地均值，也就是长期衰落和空间传播损耗的合成，可以表示为：

$$m(x) = \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r(y)dy$$

其中 $2L$ 为平均采样区间长度，也叫本征长度。

CW测试就是尽可能获取在某一地区各点地理位置的本地均值，即 $r(x)$ 与 $m(x)$ 之差尽可能小，因此要获取本地均值必须去除瑞利衰落的影响。对于一组测量信号数据 $r(x)$ 平均时，若本征长度 $2L$ 太短，则仍有瑞利衰落影响存在；若 $2L$ 太长，则会把正态衰落也平均掉。因此在CW测试中确定 $2L$ 关系到能否使所测数据与实际本地均值的逼近程度，以及根据CW测试校正的传播模型预测的准确程度。著名通信专家李建业证明，对于GSM系统，在本征长度为40个波长，采样50个样点时，可使测试数据与实际本地均值之差小于1dB（不考虑测试设备和数字地图的误差）。

## 4.2 CW测试的方法

### 1. CW测试的站址选择

在测试之前首先需要确定测试站址及其数量，根据一般经验，在人口密集的大城市，测试站址应不少于5个；对于中小城市一般一个测试站址就够了，这主要取决于测试基站天线高度及其EIRP大小。站址选择的原则是要使它能够有效覆盖足够多的地物类型（这些地物类型来自数字地图）。

在实际测试中为便于测试，测试站址可按以下标准来确定站址是否合适：

- (1) 天线高度大于20米；
- (2) 天线高于最近的障碍物5米以上。

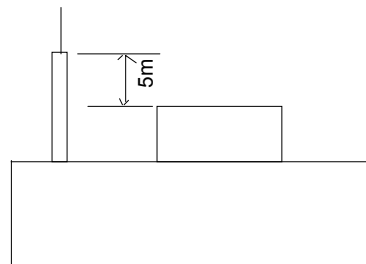


图6 站址选择标准示意图

如图6所示，在此障碍物主要指天线所在屋顶上的最高建筑物，作为站址的建筑物应高于周围建筑物的平均高度。

### 2. CW测试准备

CW测试首先需要有一个测试基站发射RF信号，可以FM调制，也可以不调制，然后用CW测试设备进行驱车测试。基站系统包括发射天线、馈线、高功放、高频信号源。测试系统包括测试接收机、GPS接收机、测距仪、测试软件以及便携式计算机等。测试接收机的采样速度要尽可能高。

测试基站设备安装在选定的测试站址后，应用功率计测量天线口的发射功率和反射功率，计算出测试基站的有效辐射功率（EIRP）。计算公式如下：

$$\begin{aligned}
 EIRP = & 10 \log [P_{forward}(mW) - P_{reflect}(mW)] \\
 & + Tx\_Antenna\_Gain + Rx\_Antenna\_Gain \\
 & - Rx\_Feeder\_Loss
 \end{aligned}$$

其中， $P_{forward}$  为前向发射功率； $P_{reflected}$  为反射功率； $Tx\_Antenna\_Gain$  为测试基站发射天线增益（dBi）； $Rx\_Antenna\_Gain$  为测试接收机天线增益（dBi）； $Rx\_Feeder\_Loss$  为测试接收机的馈线损耗。

基站设备安装调试正常后，记录下该基站的EIRP。用GPS测量站址的经纬度；用三角测量法测量建筑物的高度。天线高度为建筑物高度加上天线桅杆高度以及天线本身长度的一半。用便携式测试设备扫频，以确认测试基站设备工作正常，并且周围无干扰信号。

### 3. CW测试

专业的CW测试设备的采样方式有三种：按时间采样；按脉冲采样；按距离采样。通用测试设备一般只能按时间采样。按距离采样进行测试时，能够严格满足李氏定理40个波长采样36~50个样点的要求，测量准确度很高。距离采样方法对于车速要求不严格，但是存在一个车速上限。车速的上限（ $V_{max}$ ）与CW测试设备的最大采样速率（ $T_{sample}$ ）有关：

$$V_{max} = 0.8\lambda/T_{sample}$$

在测试过程中，应选取包含各种地物类型的测试路径作随机驱车测试。当移动台离测试基站距离在3km以内时，接收信号受基站周围建筑物结构和天线高度的影响较大；平行于信号传播方向的信号强度与垂直于信号传播方向的信号强度差10dB左右。因此在距基站半径3km以内的街道上测试时，纵向和横向的街道最好采样同样数量的样本，以消除其影响。测试路径尽量不要选择高速公路以及很宽阔平直的街道，而应选择较窄的街道。对每个测试基站应采样尽量多的数据，一般每个站点测试4小时以上为宜。当遇到红灯等停车时，应停止记录。

由于地形地物在一段时间内基本固定，所以对于某一确定的基站，在某一确定地点的本地均值是确定的。该本地均值就是CW测试期望测得的数据，它也是与传播模型预测值最逼近的值。

## 4.3 传播模型校正及实例

如果进行模型校正，就必须具有数字地图。移动通信所用的数字地图包括地形高度，地面用途种类等对移动通信电波传播有影响的地理信息，是规划软件进行模型校正、覆盖预测、干扰分析、频率规划的重要基础数据。

各软件商开发的用于计算机辅助分析的传播模型各不相同，但都基于Okumura的基本模型，并提供可作修正的参数。下面结合前文曾提到的规划软件ASSET中的传播模型介绍具体的模型校正的方法。需要说明的是，如果已有地形地物相似城市的模型参数，可以直接用于规划预测，而没有必要重做CW测试和模型校正，以节省人力物力。

ASSET模型的K1至K7参数由具体的传播环境决定， $K(\text{clutter})$ 是由不同地物决定的修正系数。不同的地物决定了不同的 $K(\text{clutter})$ ，这些K参数是通过CW测试的数据逐步拟合出来的。获得CW测试数据后，可以通过K参数试验法和最小方差法两种途径得到。

在标准模型的众多K参数中，每个K参数对模型的影响程度是不一样的，从对模型的分析可知，K1、 $K(\text{clutter})$ 是常量，与传播距离，天线高度等因素无关；K3、K4为移动台的高度修正因子，由于移动台的高度变化不大（可定为1.5米左右），因此，K3、K4最终可以归结为最后阶段的微量调整，K2、K5、K6的调整要视具体的测试数据和测试路径而定。