无线信道的建模与仿真

**摘要**

随着科技的发展，近年来移动通信的应用越来越广泛。任何通信系统均由发送端、信道和接收端三大部分组成。信道是通信系统中必不可少的一部分，而且信道的特性的好坏会直接影响到系统的总体特性。因此无线信道的建模与仿真对移动通信有着重大的意义。无线信道传播模型有室内和室外模型，本文主要研究室外传播模型。无线信道模型有自由空间模型、经验模型和无线视距模型。本文在研究了无线电波的传播特性以及无线信道特征的前提了，建立了无线信道模型，并用Matlab对Okumura模型、Okumura-Hata模型和COST-231 Hata模型进行仿真以及对它们的仿真结果进行分析与比较。

**关键词**：无线信道传播模型、自由空间传播模型、Okumura-Hata 、COST-231 WI

Abstract

With the development of science and technology, in recent years ,the application of mobile communications is becoming more and more widely. Any communication system has three major components ,the sending end 、the receiving end and the channel. Channel is an integral part of communication system.The quality and characteristics of the channel will directly affect the overall characteristics of the system. Therefore, modeling and simulation of radio channels for mobile communication is of great significance. Radio channel propagation model has both indoor and outdoor models, this paper studies the outdoor propagation models. Radio channel model has a free space model, empirical model and wireless horizon model. Based on the study of the propagation of radio waves and radio channel characteristics of the premise, then establishing the radio channel model and use Matlab to simulate Okumura model, Okumura-Hata model, and COST-231 Hata model . At last ,we compare and analysis the results of their simulation .

**Key Word** : the propagation model of radio channel 、the propagation model of free space Okumura-Hata 、COST-231 WI

目录

[第一章 绪论 1](#_Toc32759)

[1.1 无线通信的发展概况及无线通信的特点 1](#_Toc29395)

[1.1.1 无线通信的发展概况 1](#_Toc23331)

[1.1.2 无线通信的特点 1](#_Toc5815)

[1.2 无线信道建模仿真技术概况及重要意义 2](#_Toc8417)

[1.2.1 无线信道建模仿真技术概况 2](#_Toc15460)

[1.2.2 无线信道建模仿真技术的重要意义 2](#_Toc10692)

[1.3 本文研究概要 3](#_Toc6171)

[第二章 无线信道的概念及无线电波的传播特性 3](#_Toc1821)

[2.1 无线电波的传播特性 3](#_Toc13236)

[2.2.1 无线信道的定义 6](#_Toc2569)

[2.2.2 无线信道的特征 6](#_Toc22515)

[第三章 无线信道传播模型及建模仿真结果分析 11](#_Toc3048)

[3.1 无线信道传播模型 11](#_Toc9628)

[3.1.1 自由空间传播模型 11](#_Toc19380)

[3.1.2 自由空间传播模型仿真及结果分析 12](#_Toc1026)

[3.2 Okumura-hata模型 14](#_Toc3782)

[3.2.1 Okumura-hata模型建模 14](#_Toc31009)

[3.2.2、Okumura-hata模型仿真 15](#_Toc26892)

[3.3 COST 231-Walfisch-Ikegam模型 17](#_Toc24457)

[3.3.1 COST 231-Walfisch-Ikegam模型建模 17](#_Toc28614)

[结论 20](#_Toc20643)

[参考文献 20](#_Toc29499)

[附录 21](#_Toc3607)

第一章 绪论

1.1 无线通信的发展概况及无线通信的特点

1.1.1 无线通信的发展概况

最早的无线通信出现在前工业化时期，当时是使用狼烟、火炬、信号弹或者旗语，在视距内传递信息。直到1838年这些原始的通信网才被塞廖尔.莫尔斯发明的电报网所替代。1865年提出了麦克斯韦方程组的电磁理论，1888年德国赫兹证实了电磁波的存在，而1897年M.G马克尼完成了距离为33km的在固定站与一艘拖船上的无线通信实验，这一实验开创了人类无线通信的新纪元。而后在1901年的时候，意大利的马可做了横跨大西洋的无线通信并因此获得了诺贝尔奖。1912年时英国科学家埃克尔斯提出无线电波通过电离层的传播理论，后被实现短波实验性广播。1938年法国的里本斯发明了PCM方式，为通信领域做出重大的贡献。1940年美国CBS的彩色电视实验广播。1948年，香农在前人研究成果的基础上提出通信系统无差错传输的极限信息速率，并有著名的香农公式：

C=Blog(1+S/N0B) bit/s

其中C是最大传输速率，B是信道带宽，S是发送信号的功率，N0是信道噪声的的功率谱密度。后来由于晶体管半导体以及集成电路的出现，开始了无线电子时代，无线通信也得到了极大的发展。现在随着科学技术的发展，人们对通信的需求也越来越大，对通信的要求也越来越高。人们希望能够在任何时候，任何地方，任何时间，和任何人进行通信，而这就要求实现移动通信。所谓移动通信，就是通信的双方至少有一方处于移动中进行信息的传输与交换。因为要求任意移动，所以有线通信无法实现，必须通过移动通信。如今移动用户迅猛增长，极大的推动了移动通信的蓬勃发展。因为移动通信有着重大的现实意义及广泛的应用，因此现在移动通信已成为通信领域最为活跃和发展作为迅速的领域之一，其也将在21世纪对人类的生活和科学技术的发展产生深远的影响。

移动通信的发展过程和趋势可概括如下：工作频段从短波、超短波、微波到毫米波、红外和超长波；调制方式模拟调制到数字调制；网络覆盖的范围由蜂窝到微蜂窝再到微微蜂窝和混合蜂窝；多址的方式则由传统使用的频分多址、时分多址、码分多址到混合多址，以及固定多址和随机多址的结合；网络的服务范围从以前的局部地区、大中城市到全国、全世界，并有陆地、水上、空中发展到陆海空一体化；而业务类型也从以前单一的以通话为主要业务，到现在的传送数据、传真以及传输综合业务。

1.1.2 无线通信的特点

无线信道是随参信道，无线电波在这种随机的无线信道中传输，它的传输性能一般要比有线信道差很多。

首先无线电波在无线信道中传播时，它的工作环境十分复杂。当信号通过电磁波在无线信道中传播时，其电波不仅会因为传播距离的增加而产生弥散损耗，而且还要受到地形、大气环境、建筑物、树木以及森林的影响。当电波传输时会因为建筑物或者高山的阻挡，产生阴影效应造成信号的衰落。并且由于电波是在开放的环境中传播，电波会因为经历反射、绕射、散射以及衍射，从发射机发射的一个信号会经历不同的路径到达接收机，这种多径信号的幅度、相位和到达时间不同，他们会相互叠加，从而会产生电平快衰落和时延的扩展。无线信道的多径效应以及时变特性限制了无线信道的频带利用率。

其次无线信道的频谱资源非常紧张。虽然一般认为无线频谱的资源是无线的，但是用于移动通信的资源非常有限。移动通信的业务一般工作在3GHz以下。又因为无线电波在传播时不同的路径相互干扰，而今移动用户越来越多，使得无线信道的频谱资源变得有些紧张。而移动通信的业务需求越来越多样和丰富，为解决频谱资源有限和频谱需求变大之间的矛盾，一方面要开辟和启用新的频段；另一方面要研究各种新的技术和措施，来压缩信号所占用的频宽和频带利用率。而这些措施和传播环境联系紧密，如果对无线传播环境的特点不了解，那么一切都是空谈。

最后，由于无线电波能够全向传播，这导致在一定的范围内，各种信号会相互干扰。为解决这一问题，需要把共享的信道分为互不干扰的子信道，再分给用户，而这大大限制了无线通信系统的容量。无线电波的全向传输特性也对无线通信的安全造成极大影响，如在电子商务的交易中，如果有人恶意截获电波，会对人们的财产造成极大的损失，因此无线通信的安全必须得到加强。

无线通信因其传播环境复杂，与有线通信相比较来说，无线通信的可靠性及数据传输率都远远不如有线通信。但无线通信不受连线的束缚，组网迅速灵活，能够应对突发事件，且无线通信的需求巨大，因此无线通信一直朝着更高速率、更全覆盖范围、更便捷的服务方向快速发展着。

1.2 无线信道建模仿真技术概况及重要意义

1.2.1 无线信道建模仿真技术概况

无线通信系统的性能主要受到无线信道性能的制约。因为复杂的地形地物，在发射机和接收机之间的信道往往是非固定和不可预见的。随着移动用户的增加，移动通信应用越来越广泛，而无线信道又具有复杂时变的电波传播特性，因此无线信道的建模与仿真对于现代数字移动通信系统有着重要的研究意义。因为无线信道中电波的传播条件十分的恶劣和复杂，要准确的计算信号的场强或者传播损耗非常的困难，通常采用分析以及统计相结合的方法，依据测试数据分析归纳出基于不同环境的经验模型，在此基础上对模型进行校正，使其更接近于实际的情况。

1.2.2 无线信道建模仿真技术的重要意义

无线信道是移动通信的传输媒体。所有的信息都要在这个随机的信道上进行传输，信道性能的好坏将直接影响到人们通信质量的好坏。而信号的传播信道又是不固定且不可预见的，为了保证传输质量，我们需要对无线信道的传输性能及新到你的特征深入了解，并根据这些理论对无线信道进行建模与仿真。这会使得我们获得较高的传输质量以及传输容量，并可采取一系列的抗干扰和抗衰落措施来保证通信系统所需要的传输质量及传输容量。

在当前的无线通信系统中，MIMO通信技术和OFDM通信技术非常的令人关注，而MIMO被认为是现代通信中最重要的技术突破之一。为了研究MIMO通信技术，一个与实际传输环境相符合的无线MIMO信道仿真模型以及信道估计方法都是必须的。Lucent、Motorola等国际通信公司及国外的大学和科研机构都在研究MIMO信道模型。

1.3 本文研究概要

因为移动用户的迅速增加，移动通信的蓬勃发展，无线信道又是移动通信的传输媒体，因此无线信道的建模与仿真变得日益重要。本文从无线信道的概念及特点出发，然后研究其无线电波的传播特性，并建立无线信道的传播模型，对传播模型进行仿真并对仿真结果进行分析比较。

第二章 无线信道的概念及无线电波的传播特性

2.1 无线电波的传播特性

移动通信所工作的电磁环境决定其信道有带宽有限、多径衰落大以及噪声影响大等一些特点。所以我们要熟悉无线电波的传播方式以及特点。发射机天线所发出的无线电波可从不同的路径到达接收端，下面我们就介绍几种典型的传播方式。

1. 直射波

发射天线

接收天线

直射波可以按自由空间传播考虑。自由空间为一种抽象的空间，通常指充满均匀的、无耗的煤质的无限大的空间。而无线电波的自由空间传播即指在天线周遭是无限大的电波的传播，这是一种理想的传播条件。当电波在自由空间传播时，它不会被阻挡物吸收，也不会产生散射或者反射等。

虽然电磁波在自由空间中传播时不受障碍物阻挡，也不会反射、散射、折射和吸收，但是它经过一段时间传播后，它的能量仍然会衰减，这是因为电波在传输时，它的能量会向四面八方扩散，虽然总的能量不会变，但是信号接收装置的接收面积有限，故，相对发射端信号的能量，接收端所获得的接收的能量减少了。由电磁场理论可知，全向天线的辐射功率为PT瓦特，而距离辐射源d米处的电场长度为：

 (V/m) （2-1）

磁场强度的有效值则为：

 （A/m) （2-2）

接收点上单位面积上的电波功率密度WS ：

 (W/m2) (2-3)

接收端所获得的电波功率等于该点的电波功率密度与接收天线的有效面积的乘积：



其中AR为接收天线有效面积，且为：



故接收端的功率为PR：



因此可得，自由空间传播损耗为：



二、反射波

当电磁波遇到远比其波长大的物体时，会发生反射。即电波在不同的介质交界处会发生反射。理想介质表面的反射没有能量损失。当电波传到理想反射体表面时，所有能量都会被反射；当传输到理想电介质表面时，部分能量会在新的介质中继续传播，另一部分则会在原来的介质中发生反射。下面我们将分别讨论在理想发射体表面的反射和电介质的反射。

（一）、理想导体的反射

电磁波无法穿透理想的导体，所以电磁波会在理想导体的表面发生全发射，由麦克斯韦方程知，理想导体表面的电场强度是0，故入射波和反射波在幅度上是相同的，即不管电场是水平极化还是垂直极化，都有：



当电场和入射波的平面垂直时：



当电场和入射波平面平行时：



1. 、电介质的反射

假设入射角θ，反射角β，折射角是α，如下图示：



θ β

α



上图中的ε，μ，σ分别表示电介质介电常数，磁导率以及导电率。，是8.85\*10-12。

在介质边界处，极化反射系数是：

 （电场是在入射波的平面）

 （电场不在入射波的平面）

式中是电介质的固有阻抗

当、入射角度大于等于布儒斯特角度时，将没有折射而发生全反射。布儒斯特角θ1满足下式关系：

 （）

当第一种介质是自由空间，第二种介质绝缘常数是，上式将变成



1. 绕射波

绕射波即指从较大的山丘或建筑物绕射后到接收端的信号，需要满足电磁波产生绕射条件，其信号强度比直射波的弱。Huygen定律认为，这是因为处在障碍物中的前方各店可作为新波源产生球面次级波，次级波在在阻挡物后方所形成的场就是绕射波场。

障碍物与余隙示意图（P39移动通信的图）

我们定义障碍物的顶点到直射线的距离为菲涅尔余隙。当阻挡时为负余隙，阻挡物所引起的绕射的损耗和菲涅尔余隙有一定的关系。菲涅尔区半径的定义是椭球面上的某一点到直射线的垂直距离，通常用F来表示。第一菲涅尔区的半径为：

当直射线从阻挡物的顶点恰好经过时，绕射损耗大约为6dB；当直射线低于阻挡物时，绕射损耗会急剧增加。

1. 散射波

当介质中有小于波长的物体且单位体积所阻挡的数量很巨大时，就会发生散射。散射波发生于粗糙的表面或者不规则物体，反射的能量因为散射会散布于各个方向。散射波比直射波、反射波和绕射波都要弱。

若入射角为，那么表面的平整度参数高度是：



如果平面上的最大的突起高度大于，那认为这个表面是粗糙的；反之，则认为这个表面是光滑的。Ament提出，表面高度h的局部平均值服从高斯分布情况下，散射损耗系数为：

 式中为表面高度标准差

|  |  |
| --- | --- |
|  | 阻挡物体 |
| 反射 | 比传输波长大的多的物体（墙面、地面） |
| 散射 | 比传输波长小的多的物体（不规则物体、粗糙的表面） |
| 绕射 | 尖利的边缘（如山丘） |

反射、绕射、散射和阻挡物之间的关系

2.2 无线信道的概念

2.2.1 无线信道的定义

无线通信中，信号的传播是利用电磁波在大气层中的传播实现的。无线信道是对无线通信中接收端和发送端之间连接的一种形象的比喻，对于无线电波而言，从发射端到接收端之间并没有可见的连接，而且无线电波在传播过程中的路径也可能不只一条，为了形象描述发射端与接收端之间的连接，我们称这条通路为无线信道。无线信道有信道容量，有信道带宽，其中信道容量反映了信道所能传输的最大信息量，信道带宽则是允许通过该信道信号的上下限频率。无线信道的传输特性没有有线信道的传输特性稳定和可靠。

2.2.2 无线信道的特征

许多无线信道（如天波和地波传播的无线信道，某些视距传输信道和各种散射信道的参数都是随时间而不可预定的变化着的），故其传输特性要远比有线信道复杂的多，在信号传输时，对其影响也比较大，因此我们要对无线信道的特征有一定的了解与认识，在这里，主要讨论无线信道突出的几个问题，

一、传播路径

移动信道的频谱范围有一定的限制，而在VHF和UHF（300MHz—30GHz）的移动信道中，由于频段内最大的波长只有1m，这比在传播路径上的建筑物、树林等物体的尺寸小的多，因此无线电波在传输的过程中不仅有直射波，还有由各种障碍物所引起的的绕射波、散射波和反射波，因此到达接收端的信号是多个传播路径的信号的叠加，如图2-1示。

hm

移动台

基站

图2-1 各种障碍物引起的反射和散射电磁波

1. 信号的衰落
2. 、快衰落

1、快衰落的成因。在实际的无线呢通信过程中，到达接收端的无线电波是直射波、散射波、反射波和绕射波的相互叠加，形成所谓的多径传播。因为每条传播路径各不相同，其时延相互不同，这使得接收端的信号产生深度且快速的衰落。我们称这种由多径效应所引起的小尺度衰落（多径衰落、快衰落），又因信号的幅度服从瑞利分布，故又称之为瑞利衰落。在典型移动通信信道中，其信号衰落深度可达30—40dB，衰落速度为30—40次/秒。

1. 多径衰落的统计特性

由上述知，快衰落是由于无线电波的多径传输和移动台与环境的相对运动而引起的衰落。假设每一条路径的信号相位和幅度分别服从[0,2π]内的均匀分布和高斯分布,并且其幅度和相位统计独立。叠加后信号的幅度和相位的统计特性如下：

①、当移动台和基站距离较近时，认为多径中有一条强的直射波，多径信号的包络服从Rician分布

  (2.1)

其中为零阶贝塞尔函数，为直射波幅度。多径信号的相位分布如下：

 （2.2）

其中， ，分别为直射波的幅度和相位，erf（）是误差函数。

②、当移动台远离基站时，一般认为没有一条路径的信号占支配地位，此时多径信号包络服从瑞利分布

** ** （2.3）

其相位服从均匀分布

 （2.4）

以上讨论的是多径衰落的一阶统计特性，除了一阶统计特性，还有二阶统计特性，如衰落速率、接收信号的电平通过率和衰落的持续时间等。

1. 、慢衰落
2. 慢衰落的成因

无线电波在传播路径上会遇到各种不同的建筑物，起伏的山峰、地形等的阻挡，此时会形成电磁场的阴影。因此，接收信号的场强中值也就会产生衰落，我们称之为阴影衰落。产生阴影衰落有两种原因，其一是用户附近的屋顶所接收的场强中值在不断的变化着，这会导致相同地区不同街道所接收的场强中值出现变化。其二是建筑物不同的地理位置屋顶边缘饶射特性不同，这使得基站和移动台间的衍射损耗随机发生变化。我们把因阴影效应所产生的信号的衰落称之为阴影衰落，又称之为慢衰落或大尺度衰落（大尺度衰落描述得是长距离范围内信号的缓慢变化）。

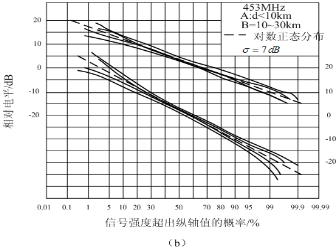
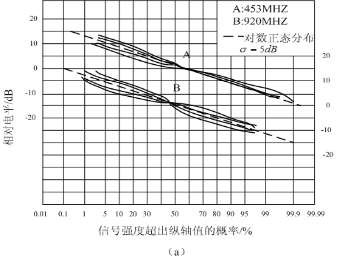
1. 慢衰落的特性和衰落储备

根据大量的统计测试，慢衰落近似服从对数正态分布。所谓对数正态分布，是指以分贝数表示的信号电平是正态分布。其概率密度函数如下：

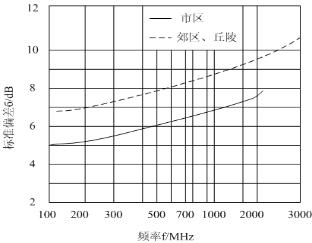
式中，随机变量x是场强中值，μ和σ分别为均值和方差。

除了上述之外，还有种随时间变化的慢衰落，这种慢衰落也服从对数正态分布。其是由大气折射率的变化所引起同地所收到的信号中值电平随时间所作的缓慢的变化，而这个因气象条件引起的慢衰落的变化速度更加缓慢（衰落周期常以小时甚至天为量级），故常可忽略不算。



信号慢衰落特性曲线 （a）市区 （b）郊区

通常研究慢衰落的规律时，把同种类型的地形中的某一段距离作样本区间，来观察信号电平的中值得变化情况，然后用统计分析的方法来分析信号在各小区间的标准偏差以及累积分布。图下画出了郊区和市区的慢衰落的分布曲线。绘制图形的条件为：（a),移动台的天线高度是3m,基站天线高度是220m。（b),移动台的天线高度是3m，基站天线高度是60m。而由图知，无论是市区还是郊区，其慢衰落都接近虚线所示的对数正态分布。地形、地物和工作频率等会影响标准差的取值，郊区的要比市区大，工作频率高，标准偏差也会变大，如下图所示：

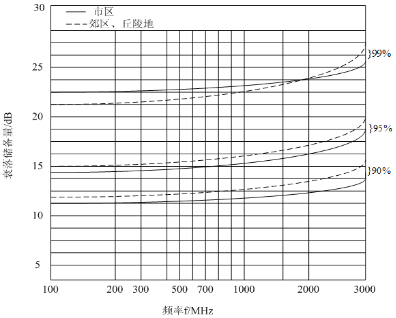


慢衰落的中值标准偏差

因为信号在传播过程会受到噪声的干扰，如果信号经历过慢衰落后，到达接收端信号因太弱而无法被检测，这将大大影响到无线通信的质量，因此有了慢衰落储备。这样就不会因为衰落而造成通信中断。我们在设计信道时，必须留出足够的电平余量，使得通信中断率小于规定的指标。我们称这种电平余量为衰落储备。其大小取决于地形、地物、工作频率以及所要求的通信可靠性指标。我们用T表示可通率，与中断率有如下关系：



我们给出可通率分别为90%、95%以及99%的三组曲线，按照地形、可通率以及工作频率，从此图可查出必备的衰落储备量。比如：在市区工作，当f=450Mhz，要求可通率T=99%，则从下图知，衰落储备大约为23.5dB。



1. 移动多径信道参数

因为移动通信信道的多径、各不相同的散射环境以及移动台的运动，这使移动信道在频率上、时间上和角度上产生了色散。也所以，当信号经过移动信道后分别形成了时间选择性衰落、频率选择性衰落以及空间选择性衰落，也产生了多普勒扩展、时延扩展以及角度上的扩展，这三种不同的扩展分别对应于三组相关的参数：相关时间、相关带宽以及相关距离。

1. 、频率选择性衰落

频率选择性衰落，顾名思义，即在不同的频段上信号的衰落特性不同。其产生的原因如下：当信号多径传播时，因为各条路径的等效的网络传输函数是不一样的，这使得到达接收端的信号在时域上的时延扩展不同，从而引起各个网络上对频率不同的信号的衰减是不一样的，这让接收端叠加信号频谱中某些频率分量衰减很厉害，而有些则衰减的少，从而产生了频率选择性衰落。

频率选择性衰落的产生是有一定的条件的，其产生条件如下：当频率间隔很近时，到达的信号就具有很强的相关性，我们称这个频率间隔为相关带宽。当信号的带宽大于信道的相关带宽时，就会发生频率选择性衰落，反之则发生非频率选择性衰落。当发生频率选择性衰落，尤其是传输数字信号时，其会引起很严重的码间干扰；当发生非频率选择性衰落时，信号波形不会发生失真，故其又被称为平坦衰落。

**移动通信P46的频率选择性衰落的示意图**

1. 、时间选择性衰落

时间选择性衰落即在不同的时间上，信道的衰落特性不同，而这种衰落会造成信号的失真。时间选择性衰落的形成原因是：高速运动的移动台所引起的多普勒频移，时域波形也因此会产生时间选择性衰落。其时间选择性衰落示意图如下：

时间选择性衰落的产生条件如下：在一段时间间隔，到达的信号有很强的自相关性，也就是信道的特性在这段时间无明显变化，我们称这个时间间隔为相关时间。当信号的周期小于信道相关时间时，且信号带宽远比多普勒频移大时，信道被认为是慢衰落信道，反之则被认为是快衰落信道。

1. 、空间选择性衰落

空间选择性衰落是指在不同的地方衰落特性不同，又被称为平坦瑞利衰落，此处平坦是指在频域以及时域中不存在选择性衰落。

空间选择性衰落的示意图

因时变信道是开放型的，这使天线的点波束产生了扩散，因此引起了空间选择性衰落。其产生条件为：一定的空间距离内，信道的冲击响应可以保证一定的相关度，我们称这个空间距离为相关距离。相关距离内，信号所经历的衰落有非常大的相关性，我们可认为空间传输函数平坦。当天线放置空间距离远比相关距离小时，该信道为非空间选择性衰落信道；反之，则为空间选择性衰落。

在实际移动通信中，以上三种选择性衰落都是存在的，而按产生的条件可大致分三类：第一类多径干扰、第二类多径干扰、第三类多径干扰。

第三章 无线信道传播模型及建模仿真结果分析

3.1 无线信道传播模型

3.1.1 自由空间传播模型

自由空间是指不考虑散射、反射和绕射等影响的一种理想的空间。在实际的移动通信中，只要地面上空的大气层为各向同性均匀煤质，它的相对磁导率和相对介电常数都是1，传播路径没有阻挡物的阻挡，这时候可视为电波在自由空间中传播。

电波在自由空间中传播时，它是向四面八方传播出去，因为信号的辐射扩散，经过一段时间后，信号的能量会有所衰减，即会有自由空间传播损耗。其推导过程如下：

由电磁场理论可知，全向天线的辐射功率为PT瓦特，而距离辐射源d米处的电场长度为：

 (V/m) （2-1）

磁场强度的有效值则为：

 （A/m) （2-2）

接收点上单位面积上的电波功率密度WS ：

 (W/m2) (2-3)

接收端所获得的电波功率等于该点的电波功率密度与接收天线的有效面积的乘积：



其中AR为接收天线有效面积，且为：



故接收端的功率为PR：



因此可得，自由空间传播损耗为：



3.1.2 自由空间传播模型仿真及结果分析

1. 、自由空间传播模型仿真

假设无线电波传播时是在自由空间中传播，则由3.1.1节知识知，自由空间的传播损耗为：



其中d为收发天线之间的距离，单位为km，f为发射的频率，单位为MHz。

此模型的仿真文件为wireless\_free\_space\_attenuation.m

下图为当f分别为800Mhz、2400Mhz时的自由空间传播损耗仿真图：



下图为传播距离分别为900km、1800km的自由空间传播损耗仿真图：



1. 、仿真结果分析

自由空间传播模型是一种在相对理想的条件下的一种假设模型。由上图知可看出，在800Mhz和1600Mhz的工作频段时，信号的衰落在0-10km时，信号极具衰耗；在10km后，信号的损耗趋向于平坦上升衰耗。在传播距离分别为900km和1800km时，信号在工作频率范围为0-50Mhz时，信号的衰减比较迅速。而由以上两图可得出如下结论：自由空间的传播损耗只和发射频率f和传播的距离d有关，当传播距离增大一倍或者工作频率增加一倍时，自由空间的传播损耗分别增加大约为6.02dB。

3.2 Okumura-hata模型

3.2.1 Okumura-hata模型建模

Hata模型是一种使用很广泛的传播模型，这种模型适用于宏蜂窝（小区的半径大于1公里）系统路径损耗的预测。据应用频率不同，hata模型可以分为Okumura-hata模型（适用的频率范围为150Mhz-1500Mhz，主要用于900Mhz）；COST-231 Hata模型。在这里，我们主要讲述Okumura-hata模型的建模与仿真分析。

Okumura-hata模型是由测试数据的统计分析而得到的经验公式，它适用于频率范围为150Mhz到1500Mhz，小区半径大于1000m的宏蜂窝系统，基站的有效天线高度范围为30m到200m，移动台的有效天线高度是1m到10m。这个模型是在市区传播损耗为标准的基础上，对其它的一些地形进行修正。

实测中。当基本确定设备的天线高度及功率后，我们就可以利用Okumura-hata模型对信号的覆盖范围作初步的测算。在市区里，Okumura-hata的经验公式如下所示：



上式中，为载波的频率，为接收天线的有效高度，为发射端天线的有效高度，（km)是发射和接收端间的距离，为移动天线修正因子，它的值受环境的影响。

对于大城市有：

 （）

 （）

对中小城市有：



在郊区，Okumura-hata模型经验公式的修正如下：



在农村中，该模型的经验公式修正如下：



在利用上述公式来计算传播路径损耗时，需要注意基站的天线是否有空间分集，不可考虑分集增益。此外，用户端的天线位置也会对路径损耗有影响，因此，据天线位置不同，引起的穿透衰减可以分为以下三种情况：

|  |  |
| --- | --- |
| 天线位置 | 修正值（dB) |
| 室外 | 0 |
| 室内（非窗户旁） | -15 |
| 窗户旁 | -3 |

天线安装情况对的修正

地形对传输损耗的影响同样很大。对农村地区的传播环境而言，主要可分为开阔区和丘陵地区，它的修正值如下表所示：

|  |  |
| --- | --- |
| 地形 | 修正值 |
| 开阔区 | 25 |
| 丘陵区 | 10 |

传播环境衰落有正态衰落和瑞利衰落，对应的余量储备如下表所示：

|  |  |
| --- | --- |
| 衰落类型 | 余量储备（dB) |
| 正态衰落 | 6 |
| 瑞利衰落 | 0-8 |

Okumura-hata模型适用于大区制的移动通信系统，但不适合覆盖距离不到1km的个人通信系统。

3.2.2、Okumura-hata模型仿真

1. 、Okumura-hata模型仿真

由3.2.1节知Okumura-hata模型传播路径损耗的一些计算方法与公式，编写如下函数，wireless\_hata\_attenuation.m，所用的仿真过程如下：simulink\_wireless\_hata\_attenuation.m。下表是仿真的一些模型的参数：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地物的类型 | 农村 | 郊区 | 城区 |
| 移动台的高度(m) | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 基站的高度 | 100 | 100 | 50 |
| 信号频率(MHZ) | 800(400) | 800(400) | 800(400) |

仿真结果如下所示：



（a）



（b）

图示为Okumura\_hata模型的仿真图，（a）f=800Mhz（b）f=400Mhz

1. 、仿真结果分析

从上图所示的仿真结果可看出，中小城市与大城市地物地形对路径损耗的影响差别不大，在频率、移动台高度、基站高度一定发的情况之下，其路径损耗曲线大致重合。由仿真结果知，在距离为0-10km时，其损耗急剧上升，在10km后，信道的衰减虽然随距离的增加同样有增大的趋势，但是在比较之下，其衰减更为平缓，从图中易看出，相同的工作频率下，大城市和中小城市的衰减是最严重的，郊区稍小些，农村是最小的。这是因为在城市中的大气、建筑物和阻挡物更加的多，即其影响衰减的因素更多。除此之外，当其它的条件不变的时候，频率越大，其损耗也就越大。

Okumura-Hata模型较适用于大区制的移动通信系统中，但不适用于覆盖距离不足1km的个人通信系统中。在Okumura-Hata模型中，基站的天线高度一般都高于它周围屋顶的宏蜂窝系统，这是因为在宏蜂窝系统中，基站的天线都是安装在高于屋顶的位置，这时传播路径的损耗就主要是由移动台附近的屋顶的散射和绕射来决定。这个模型的建立，为陆地无线信道传播损耗的预测提供了方便并且实用的解决方案。

3.3 COST 231-Walfisch-Ikegam模型

3.3.1 COST 231-Walfisch-Ikegam模型建模

COST 231-Walfisch-Ikegami模型基于Walfisch-Bertoni模型和Ikegami模型，广泛地用于建筑物高度近似一致的郊区和城区环境，经常在移动通信系统（GSM/PCS/DECT/DCS）的设计中使用。在高基站天线情况下采用理论的Walfisch－Bertoni模型计算多屏绕射损耗，在低基站天线情况下采用测试数据计算损耗。这个模型也考虑了自由空间损耗、从建筑物顶到街面的损耗以及受街道方向影响的损耗。因此，可以计算基站发射天线高于、等于或低于周围建筑物等不同情况的路径损耗。COST 231-Walfisch-Ikegami模型使用的有效范围是，，，。

COST231-WI模型在使用高基站天线时该模型采用理论的Walfisch-Bertoni模型和IkegaCOST231-WI模型分为视距传播(LOS)和非视距传播(NLOS)两种情况计算路径损耗。对于视距(LOS)传播环境，其路径损耗为：

 （3-8）

其中，d的单位为km；f的单位为MHz。

非视距传播(NLOS)适用条件和主要参数如下表：

表3-6 非视距传播(NLOS)适用条件和主要参数

|  |  |
| --- | --- |
| 频率f(MHz) | 800~2000 |
| 基站高度 (m) | 4~50 |
| 移动台高度(m) | 1~3 |
| 距离d（km） | 0.02~5 |
| 建筑物屋顶高度Hroof(m) | |
| 道路宽度w(m) | |
| 建筑物间隔b(m) | |
| 相对直接无线路径的道路方向性(度) | |
| 城区的范围 | |

所用的公式为：

 （3-9）

式中，是自由空间的损耗：

 （3-10）

是从屋顶到街道的绕射和散射损耗：

 （3-11）

其中，

是多屏绕射损耗：



其中，



，



3.3.2 COST 231-Walfisch-Ikegam模型的仿真

（一）模型的仿真

由3.3.2小节知该模型的计算方法及其模型的构建，下面编写视距和非视距路径损耗函数分别是wireless\_Walfish\_Ikegami\_LOS\_attenuation.m和wireless\_Walfish\_Ikegami\_NLOS\_attenuation.m，其中视距传输的频率f=900MHz，非视距传输的参数如下表：

表3-7 非视距传输的参数

|  |  |
| --- | --- |
| 道路宽度w(m) | 20 |
| 建筑物屋顶高度 (m) | 15 |
| 基站高度 (m) | 17 |
| 移动台高度 (m) | 1.5 |
| 相对直接无线路径的道路  方向性 (度) | 90 |
| 建筑物间隔b(m) | 40 |
| 频率f(MHz) | 900,1800 |

（二）、仿真结果分析



在仿真之前规定了非视距传播(NLOS)适用条件和主要参数进行，设定了非视距传输的参数，分别对f=900MHz和f=1800MHz的非视距传播模型进行了仿真，对于视距模型只对f=900MHz这个频率进行了仿真。从仿真结果可以得知，对于COST231-WI模型在0~0.5km范围内大幅度衰减，在0.5km之后缓慢衰减切成上升趋势，很明显视距路径损耗要远远小于非视距损耗，这是在相同发射频率下。对于非视距路径损耗在不同发射频率下，也是频率越高，意味着损耗也就越大。

结论

本文主要论述了无线信道的一些传播特性，还有几种典型的无线信道的传播模型。首先从无线通信的发展历史说起，无线通信从公元1901年意大利科学家马可尼实现首次无线电通信发展至今，已经发展到了一定的规模，期间最重要的当属奈奎斯特定理的发现，这是数字通信的开始，从此无线通信开启了新的纪元。然后就是对无线信道的研究和发展的描述，随着通信系统的日趋复杂化，无线信道的建模和仿真对于现代数字移动通信系统的研发具有越来越重要的意义。

无线信道的模型有好几种分类方法，本文将无线信道的模型分为自由空间模型、无线视距模型和经验模型。自由空间模型是最简单的传播模型，在实际中也不存在此模型，研究自由空间模型的目的其实是为研究其他复杂模型做一个铺垫；无线视距模型的提出是由于大气折射使得电磁波的传播是一条曲线，为了计算无线信道的损耗，提出了此模型；经验模型的提出是因为实际环境中的电波传播难以定量描述，系统工程师不必要了解传播理论的具体细节，经验模型从实际测量得来，可用来指导设计，经验模型是用统计的方法推导出来的。

参考文献

[1] 移动通信 . 重庆邮电大学出版社

[2] 胡庆、唐宏等著.电信传输原理(第二版）. 电子工业出版社

[3] 周希元等著 . 通信系统仿真-建模、方法和技术 . 国防工业出版社

[4] 樊昌信等著. 通信原理(第四版).国防工业出版社

[5] Modeling the Wireless Propagation Channel A Simul

[6] 彭代慧、邹显春等著 . MATLAB 2013实用教程.高等教育出版社

[7] 移动传播环境：理论基础、分析方法和建模技术

附录

1.自由空间传播模型

wireless\_free\_space\_attenuation.m文件

function y=wireless\_free\_space\_attenuation(d,f);

y=32.4+20\*log(d)/log(10)+20\*log(f)/log(10);

Simulink\_wireless\_free\_space\_attenuation.m文件

clc;

clear all

f=900;

d=0.1:0.1:100;

y=wireless\_free\_space\_attenuation(d,f);

plot(d,y);

2. Okumura-Hata模型

wireless\_hata\_attenuation.m文件

function y=wireless\_hata\_attenuation(Model,f,Hm,Hb,d)

y1=69.55+26.16\*log(f)/log(10)-13.82\*log(Hb)/log(10)+(44.9-6.55\*log(Hb)/log(10))\*log(d)/log(10);

if Model==1

a=(1.11\*log(f)/log(10)-0.7)\*Hm-(1.56\*log(f)/log(10)-0.8);

elseif Model==2

a=8.29\*(log(1.54\*Hm)/log(10)).^2-1.1;

elseif Model==3

a=3.2\*(log(11.75\*Hm)/log(10)).^2-4.97;

elseif Model==4

a=(log(f/28)/log(10)).^2+5.4;

elseif Model==5

a=40.98+4.78\*(log(f)/log(10)).^2-18.33\*log(f)/log(10);

else

error('no that model');

end

y=y1-a;

Simulink\_wireless\_hata\_attenuation.m文件

clc;

clear all

%f=900;

%d=0.1:0.1:100;

%y=wireless\_free\_space\_attenuation(d,f);

d=1:0.1:100;

y=wireless\_hata\_attenuation(1,900,1.5,50,d);

y1=wireless\_hata\_attenuation(3,900,1.5,50,d);

y2=wireless\_hata\_attenuation(4,900,1.5,100,d);

y3=wireless\_hata\_attenuation(5,900,1.5,100,d);

plot(d,y,'-r',d,y1,d,y2,'-.',d,y3,'--c');

xlabel('距离(km)');

ylabel('损耗（dB)');

title('Okumura-Hata模型损耗');

legend('中小城市f=900MHz,Hm=1.5m,Hb=50m','大城市f=900MHz,Hm=1.5m,Hb=50m','郊区f=900MHz,Hm=1.5m,Hb=100m','农村f=900MHz,Hm=1.5m,Hb=100m')

3. COST231-WI模型

wireless\_Walfish\_Ikegami\_LOS\_attenuation.m文件

function y=wireless\_Walfish\_Ikegami\_LOS\_attenuation(f,d)

y=42.6+26\*log(d)/log(10)+20\*log(f)/log(10);

wireless\_Walfish\_Ikegami\_NLOS\_attenuation.m文件

function y=wireless\_Walfish\_Ikegami\_NLOS\_attenuation(Model,f,d,Hm,Hb,Hroof,w,b,Phi)

L0=32.4+20\*log(d)/log(10)+20\*log(f)/log(10);%自由空间的损耗

if (Phi>=0)&Phi<35

Lcri=-10+0.354\*Phi;

elseif Phi>=35&Phi<55

Lcri=2.5+0.075\*(Phi-35);

elseif Phi>=55&Phi<=90

Lcri=4.0+0.114\*(Phi-55);

end

Lrts=-16.9-10\*log(w)/log(10)+10\*log(f)/log(10)+20\*log(Hb-Hm)/log(10)+Lcri%从屋顶到街道的绕射和散射损耗

if Hb>Hroof

Lbsh=-18\*log(1+Hb-Hroof)/log(10);

ka=54;

kd=18;

elseif d>=0.5

Lbsh=0;

ka=54-0.8\*(Hb-Hroof);

kd=18-15\*(Hb-Hroof)/Hroof;

else

Lbsh=0;

ka=54-0.8\*(Hb-Hroof)\*(d/0.5);

kd=18-15\*(Hb-Hroof)/Hroof;

end

if Model==1

kf=-4+0.7\*(f/925-1);

elseif Model==2

kf=-4+1.5\*(f/925-1);

end

Lmsd=Lbsh+ka+kf\*log(f)/log(10)+kd\*log(d)/log(10)-9.1\*log(b)/log(10);%多屏绕射损耗

if Lrts+Lmsd<=0

y=L0;

else

y=L0+Lrts+Lmsd;

end

Simulink\_wireless\_Walfish\_Ikegami\_attenuation.m文件

clc;

clear all;

f=900;

d=0.02:0.01:5;

y=wireless\_Walfish\_Ikegami\_LOS\_attenuation(900,d);

d1=0.02:0.01:5;

Model=1;

Hm=1.5;

Hb=17;

w=20;

b=40;

Phi=90;

Hroof=15;

f1=900;

f2=1800;

y1=wireless\_Walfish\_Ikegami\_NLOS\_attenuation(Model,f1,d1,Hm,Hb,Hroof,w,b,Phi);

y2=wireless\_Walfish\_Ikegami\_NLOS\_attenuation(Model,f2,d1,Hm,Hb,Hroof,w,b,Phi);

plot(d,y,'-.c',d1,y1,'--r',d1,y2,'--k');

xlabel('距离(km)')

ylabel('路径损耗(dB)')

title('COST231-WI模型路径损耗')

legend('视距路径损耗f=900MHz','非视距路径损耗f=900MHz','非视距路径损耗f=1800MHz')