

## 《无线信道建模与仿真》课程教学大纲

### 一、课程基本情况

课程编号		课程类别	<input type="checkbox"/> 必修 <input checked="" type="checkbox"/> 限选 <input type="checkbox"/> 任选	学时/学分	48/3
课程名称	(中文) 无线信道建模与仿真				
	(英文) Wireless Channel Modeling and Simulation				
教学方式	<input checked="" type="checkbox"/> 课堂讲授为主 <input type="checkbox"/> 实验为主 <input type="checkbox"/> 自学为主 <input type="checkbox"/> 专题讨论为主				
课程学时及其分配	课内总学时	课内学时分配		课外学时分配	
	48	课堂讲课	32	课后复习	32
		自学交流		课外自学	16
		课堂讨论		讨论准备	
		试验辅导		实验预习	
	课内试验	16	课外实验	4	
考核方式	<input type="checkbox"/> 闭卷 <input checked="" type="checkbox"/> 开卷 <input type="checkbox"/> 口试 <input type="checkbox"/> 实际操作 <input checked="" type="checkbox"/> 大型作业				
成绩评定	期末考试 (50%) + 大型作业 (20%) + 平时成绩 (30%)				
适用院系 适用专业	通信与信息工程学院 通信工程、电子信息工程专业				
先修课程 预备知识	高等数学、概率论与数理统计、随机过程、电磁场与电磁波				

### 二.课程性质与任务

《无线信道建模与仿真》是我院通信工程、电子信息工程专业的一门校定限选课。通过对本门课程的学习,使学生系统地获得无线信道数学建模、仿真方面的基础理论知识和相关实现方案、技术,掌握无线信道的电波传播理论、无线信道的衰落统计模型、基于典型系统和标准的无线信道建模方案,并注重培养学生将所学电磁场理论、数理统计与随机过程理论运用于通信系统中信道特征建模的思维能力,以及建模方案和技术通过仿真实验完成无线信道模拟实现的实践能力,从而使学生通过该课程的学习对无线信道的特征及描述方法有较深入的认识,为后续移动与无线通信类课程的学习奠定坚实基础。

### 三. 课程主要教学内容及学时分配

序号	教学内容	学时
1	数理统计与随机过程基础	6
2	无线信道的电波传播理论	5
3	路径损耗和阴影衰落	8
4	小尺度衰落和多径效应	7

5	空时矢量信道模型	3
6	卫星通信信道模型	3
7	课内实验	16
合计学时		48

## 四.课程教学基本内容和基本要求

### (一) 无线信道的电波传播理论

1. 掌握无线电波传播的主要方式，以及各自的特点。理解不同波长电磁波的传播方式和传播特点。
2. 理解直射波的传播特点，掌握电磁波在自由空间传播损耗的数学推导过程。
3. 掌握反射波的主要特征，理解电介质反射、理想导体反射和地面（双线）反射的基本原理。
4. 掌握绕射波的主要特征，理解菲涅耳区、刃形边缘传播和多重刃形绕射的基本原理。
5. 掌握散射波的主要特征，理解对流层散射传播、电离层散射传播的基本原理。

### (二) 路径损耗和阴影衰落

1. 理解路径损耗的测量方法，理解射线跟踪法的基本原理，理解室外无线信道路径损耗与室内无线信道路径损耗的差异与共同点。
2. 掌握室外宏蜂窝中路径损耗的特点，理解几种典型的路径损耗预测模型，包括 Hata 模型，Okumuru 模型、Longley-Rice 模型等。理解各个模型中不同参数的取值方法，以及各模型的差异、特征及应用场景。
3. 掌握室外微蜂窝、Picocell 中路径损耗的特点，理解几种典型的路径损耗预测模型，包括经验模型，双射线模型等。理解各个模型中不同参数的取值方法，以及各模型的差异、特征及应用场景。
4. 掌握室内 Picocell、Femtocell 中路径损耗的特点，理解几种典型的路径损耗预测模型，包括经验模型，确定性模型等。理解各个模型中不同参数的取值方法，以及各模型的差异、特征及应用场景。
5. 理解混合室内外路径损耗模型，即曼哈顿模型。
6. 掌握阴影衰落的测量统计方法，以及阴影衰落的统计特征，理解阴影衰落产生的原因，掌握阴影衰落如何受地形、地物的影响，掌握如何通过查表法获取不同地形、地物下阴影衰落的值。
7. 掌握基本的室内外覆盖分析、特定站址建模方法，理解如何运用路径损耗和阴影衰落模型进行实际的链路预算设计。

### (三) 小尺度衰落和多径效应

1. 掌握小尺度衰落、大尺度衰落的基本概念。理解多径效应产生的原因及其数学建模方法。理解多径时延扩展、多普勒频移的基本概念和产生的原因。
2. 掌握多径信道的主要参数，包括时间色散参数、频率色散参数、角度色散参数。

3. 掌握小尺度衰落信道的一阶统计建模方法, 包括信号包络服从瑞利分布和莱斯分布、时域和频域的高斯模型。

4. 掌握小尺度衰落信道的二阶统计建模方法, 包括多普勒频移和 WSS 信道、功率时延因子和 US 信道, 时延扩展函数和 WSSUS 信道。理解 TDL 信道的分析和建模方法。

5. 掌握基于一阶和二阶统计模型的小尺度衰落信道仿真方法。

6. 理解小尺度衰落信道的分类原则, 包括平坦衰落信道和频率选择性信道、快衰落信道和慢衰落信道、标量信道和矢量信道。掌握各类信道的特征, 以及特征对信号的影响。

#### (四) 空时矢量信道模型

1. 理解建立矢量信道模型的意义, 掌握几种有代表性的矢量信道模型的特点, 包括 Lee 模型、离散均匀分布模型、高斯广义平稳不相关散射模型等。

2. 掌握矢量信道的统计特性, 理解其理论模型的数学表示方法、信道的空间相关性和空时选择性特征。

3. 理解基于散射体几何分布的单反射椭圆模型, 掌握该建模的基本思想和模型中各关键参数的特点和分析方法。

4. 理解 MIMO 信道中传播环境的特点和描述方法, 掌握 MIMO 信道建模的思想和仿真方案。了解 3GPP 标准中 MIMO 信道的建模方案。

#### (五) 卫星通信信道模型

1. 掌握恒参信道和随参信道的概念, 理解两种不同信道的数学描述方法, 相互的区别。

2. 掌握卫星通信信道的两状态描述方法; 理解状态持续时间、状态迁移、状态转移矩阵的数学和物理意义。

3. 掌握基于星座图的卫星覆盖分析方法; 掌握卫星通信信道的电波传播模型; 理解卫星通信信道的多普勒频移对信道特征的影响。

### 五.课程内容的重点和深广度要求

《无线信道建模与仿真》课程的基本任务概括地说, 是传授无线信道特征的数学描述方法, 以及基于这些方法的软硬件实现方案, 培养学生对具体事物实现抽象数学建模的思维, 将基础理论, 如电磁场理论、数理统计、随机过程等, 应用于实际通信系统的能力, 以提高工科素质。在教学过程中, 通过数据挖掘、模型假设、求解、分析、验证、调整等过程和现代教育手段逐步提高学生揭示无线信道关键特征和规律的数学抽象力, 以及探索创新的精神。同时, 要对重要应用建模方法, 如参数化统计建模方法、基于物理传播的统计建模方法、射线传播预测法、时域有限差分传播预测法等, 予以足够的重视, 使学生在学完本课程后, 对这些方法有一定的领悟。

### 六.课后作业与课外辅导的要求

每章节讲授完毕后布置一次作业, 作业量根据教学内容确定。原则上每次作业数量不少于 10; 每 3 周至少批改作业和辅导答疑各 1 次, 每次作业至少批改选课人数的二分之一, 每次集中答疑时间不少于 2 学时。

## 七. 教材及主要参考书

教材:

杨大成. 移动传播环境: 理论基础、分析方法和建模技术. 机械工业出版社, 2003年8月.

或 采用自编的讲义、教材

主要参考书

1. James K. Cavers. Mobile Channel Characteristics . Kluwer Academic Publishers, 2002.

2. F. Perez Fontan. Modeling the Wireless Propagation Channel: A Simulation Approach with MATLAB. John Wiley & Sons Ltd,2008.

3. Matthias Pätzold. Mobile Fading Channels: Modelling, Analysis and Simulation. John Wiley & Sons Ltd,2002.

4. D.J. Parsons. The Mobile Radio Propagation Channel 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd,2000.

5. Tim Brown. Practical Guide to the MIMO Radio Channel with MATLAB. John Wiley & Sons Ltd,2012.

6. Matthias Pätzold. Mobile Radio Channels 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd,2012.

## 八.学习方法与建议

在本课程的学习中应重视对基础理论如何应用到实际通信系统的理解和掌握, 以及不同系统、环境、标准下无线信道建模方法的共性和差异。更进一步, 理解信道模型与移动通信系统关键技术的层次化因果对应关系。

# 《无线信道建模与仿真》(Wireless Channel Modeling and Simulation) 考试大纲

一.课程编号:

二.课程类型: 限选课

课程学时: 48 学时/3 学分

适用专业: 通信工程、电子信息工程专业

先修课程: 高等数学、概率论与数理统计、随机过程、电磁场

## 三.概述

1、考试目的: 加强学生对知识的掌握, 检查学生学习本课程的情况。

2、考试基本要求:

(1) 无线信道的电波传播理论

掌握无线电波传播的主要方式, 以及各自的特点; 掌握不同波长电磁波的传播方式和传播特点; 掌握直射波的传播特点, 掌握反射波的主要特征, 电介质反射、理想导体反射和地面(双线)反射的基本原理; 掌握绕射波的主要特征, 菲涅耳区、刃形边缘传播和多重刃形绕射的基本原理; 掌握散射波的主要特征, 对流层散射传播、电离层散射传播的基本原理。

(2) 路径损耗和阴影衰落

掌握路径损耗的测量方法, 射线跟踪法的基本原理, 室外无线信道路径损耗与室内无线信道路径损耗的差异与共同点; 掌握室外宏蜂窝中路径损耗的特点, 几种典型的路径损耗预测模型, 包括 Hata 模型, Okumuru 模型、Longley-Rice 模型, 掌握各个模型中不同参数的取值方法, 以及各模型的差异、特征及应用场景; 掌握室外微蜂窝、Picocell 中路径损耗的特点, 掌握室内 Picocell、Femtocell 中路径损耗的特点; 掌握混合室内外路径损耗模型, 即曼哈顿模型的建模思想; 掌握阴影衰落的测量统计方法, 以及阴影衰落的统计特征, 掌握阴影衰落产生的原因, 掌握阴影衰落如何受地形、地物的影响, 掌握如何通过查表法获取不同地形、地物下阴影衰落的值; 掌握基本的室内外覆盖分析、特定站址建模方法, 理解如何运用路径损耗和阴影衰落模型进行实际的链路预算设计。

### (3) 小尺度衰落和多径效应

掌握小尺度衰落、大尺度衰落的基本概念，理解多径效应产生的原因，多径时延扩展、多普勒频移的基本概念和产生的原因；掌握多径信道的主要参数，包括时间色散参数、频率色散参数、角度色散参数；掌握小尺度衰落信道的一阶统计建模方法，包括信号包络服从瑞利分布和莱斯分布、时域和频域的高斯模型；掌握小尺度衰落信道的二阶统计建模方法，包括多普勒频移和 WSS 信道、功率时延因子和 US 信道，时延扩展函数和 WSSUS 信道；掌握小尺度衰落信道的分类原则，包括平坦衰落信道和频率选择性信道、快衰落信道和慢衰落信道、标量信道和矢量信道，各类信道的特征，以及特征对信号的影响。

### (4) 空时矢量信道模型

掌握几种有代表性的矢量信道模型的特点，包括 Lee 模型、离散均匀分布模型、高斯广义平稳不相关散射模型；掌握矢量信道的统计特性，矢量信道的空间相关性和空时选择性；掌握基于散射体几何分布的单反射椭圆信道模型的基本建模思想，模型中各关键参数的特点；掌握 MIMO 信道中传播环境的特点和描述方法，掌握 MIMO 信道建模的思想。

### (5) 卫星通信信道模型

掌握恒参信道和随参信道的概念，理解两种不同信道的数学描述方法，相互的区别。掌握卫星通信信道的两状态描述方法；理解状态持续时间、状态迁移、状态转移矩阵的数学和物理意义。掌握基于星座图的卫星覆盖分析方法；掌握卫星通信信道的电波传播模型；理解卫星通信信道的多普勒频移对信道特征的影响。

## 3、考试形式：开卷或大型作业

## 四.考试内容及范围

1) 无线电波传播的主要方式和特点、不同波长电磁波的传播方式和传播特点、直射波的传播特点、电介质反射、理想导体反射和地面（双线）反射、绕射波的主要特征、菲涅耳区、刃形边缘传播和多重刃形绕射、散射波的主要特征、对流层散射传播、电离层散射传播。

2) 路径损耗的测量方法射线跟踪法室外无线信道路径损耗与室内无线信道路径损耗的差异与共同点、室外宏蜂窝中路径损耗的特点、Hata 模型，Okumuru 模型、Longley-Rice 模型、室外微蜂窝和 Picocell 中路径损耗的特点、室内 Picocell 和 Femtocell 中路径损耗的特点、曼哈顿模型、阴影衰落、链路预算设计。

3) 小尺度衰落和大尺度衰落的基本概念、多径效应产生的原因、多径时延扩展和多普勒频移的基本概念和产生的原因、多径信道的主要参数、小尺度衰落信道的一阶统计建模方法、小尺度衰落信道的二阶统计建模方法、平坦衰落信道和频率选择性信道、快衰落信道和慢衰落信道、标量信道和矢量信道。

4) Lee 模型、离散均匀分布模型、高斯广义平稳不相关散射模型、矢量信道的统计特性，矢量信道的空间相关性和空时选择性、基于散射体几何分布的单反射椭圆信道模型、MIMO 信道中传播环境的特点和描述方法、MIMO 信道建模的基本思想。

5) 恒参信道和随参信道的概念、不同信道的数学描述方法、相互的区别。卫星通信信道的两状态描述方法、状态持续时间、状态迁移、状态转移矩阵的数学和物理意义。基于星座图的卫星覆盖分析方法、卫星通信信道的电波传播模型、理解卫星通信信道的多普勒频移对信道特征的影响。

## **五.考试对象**

所有选修本课程的学生

# 无线信道建模与仿真（Wireless Channel Modeling and Simulation）课程简介

**课程编号：**

**学时[学分]：** 48[3]

**课程类型：** 限选课

**先修课程：** 高等数学、概率论与数理统计、随机过程、电磁场

**适用专业：** 通信工程、电子信息工程专业

从系统的角度讲，无线信道的特征是移动与无线通信系统区别于其它系统的本质所在。因此，无线信道建模与仿真课程的相关知识是深入理解和掌握移动与无线通信系统及其关键技术的重要前提。本课程包括的主要内容有：数理统计与随机过程基础、无线信道的电波传播理论、路径损耗和阴影衰落、小尺度衰落和多径效应、空时矢量信道模型，以及一些当今主流无线通信系统的信道建模实验课程，包括 LET/LTE-Advanced 系统、卫星通信系统、基于 IEEE 802.22 标准的认知无线电系统等。

如何实现无线信道特征的正确描述，更进一步实现无线信道的建模与仿真，是研究任何无线通信系统首先要遇到的问题。无线传播环境的特性不仅是所有无线通信理论研究的基础，也更直接关系到工程设计中通信设备的能力、天线高度的确定、通信距离的计算、以及为实现优质可靠的通信所必须采用的技术措施等一系列系统设计问题。并且，对于无线通信系统的随参信道环境而言，其信道环境远比有线通信的恒参信道环境更复杂，因而不能仅简单地用有线通信中基于电磁场理论的电波传播模式来分析，必须根据无线通信的特点按照不同的传播环境和物理空间特征，并且结合多种基础理论，进行综合、系统的分析和建模。

人们对无线信道特征的认识随着无线通信技术、系统的发展与演进而不断深入和延伸。一方面，无线资源的维度不断增加，利用效率不断提高，空时信号处理技术、短距离无线通信技术、认知无线电技术等新技术逐步应用于无线通信系统；另一方面，随着泛在无线网络、物联网的发展，无线通信系统所覆盖的物理空间不断扩展。这些都要求对无线信道特征的描述更加全面和丰富，其模型与新系统所处的客观电磁环境相匹配。因此，本课程与时俱进，除了讲授经典方法和技术，还注重依照无线通信技术、系统的发展与演进规律，讲授标准和新系统中的无线信道建模和仿真方法。

无线信道建模与仿真是我校的一门重要的专业基础课程。通过本课程的学习,使学生系统地获得用数学方法描述无线信道关键特征的方法和技术；本课程重点学习无线电波的主要传播方式、不同环境下路径损耗和阴影衰落的统计预测模型、小尺度衰落的特征分类以及不同特征对信号处理的影响、矢量信道的建模方法。课程注重培养学生对具体事物实现数学建模的抽象思维能力、借助软硬件



工具对数学模型加以模拟的实践能力,从而使学生对无线信道的特征及描述方法有较深入的认识,为后续移动与无线通信类课程的学习奠定坚实基础。

## **Course Description on Wireless Channel Modeling and Simulation**

**Course Code:**

**Hours [credits]:** 48[3]

**Type:** Limit elective course

**Prerequisite Courses:** Mathematics, probability theory and mathematical statistics, stochastic processes, electromagnetic fields

**Applicable Major:** Communication Engineering, Electronic and Information Engineering

From the perspective of the system, the essential difference between wireless communication systems and other systems is the characteristic of wireless channel. Therefore, the knowledge of wireless channel modeling and simulation programs is an important prerequisite for understanding mobile and wireless communications system and its key technologies deeply. The main content of the course focus on the foundation of Mathematical Statistics and Stochastic Processes, wave propagation theory of radio channel, path loss and shadow fading, small-scale fading, multipath effects and empty vector channel model. In addition to these, there are some experimental courses about channel modeling which is the mainstream model in today's radio communication system such as LTE or LTE-Advanced system, satellite communication system, based on IEEE 802.22 standard for cognitive radio systems.

How to describe the characteristics of the radio channel and further realization of wireless channel modeling and simulation correctly is the first encounter problem when you are studying any wireless communication system. Understanding on the radio channel characteristics deepens and extends with the development and evolution of wireless communication technologies. On the one hand, the dimension of the radio resource is increasing, and the utilization efficiency is improving. The space-time signal processing technology, short-range wireless communications technology, cognitive radio technology and other new technologies have been gradually used in wireless communication systems; On the other hand, with the development of ubiquitous wireless network and the Internet of Things, the coverage physical space of the wireless communication systems continues to expand. These all require a more comprehensive and rich description of the radio channel characteristics, the model should match the objective electromagnetic environment of the new system. Therefore, the course goes with the time, not only teaches classical methods and techniques, but also focuses on the accordance with development and evolution law of the wireless communication technology、system, teaches the standards and the wireless channel

modeling and simulation methods of new system.

It is one of the important professional foundation courses that channel modeling and simulation in our school. By learning this course, students can master the main methods and techniques of using mathematical methods to describe the key characteristics of the wireless channel systematically. This course focuses on learning the main mode of transmission of radio waves, the path loss and shadow fading statistical forecasting model under different environmental, feature classification of small-scale fading, effects of signal processing and the approach of vector channel modeling. This course aims to improve students' skills in converting specific things into mathematical model and practicing to simulate the mathematical model with the hardware and software. So, students can understand the radio channel characteristics and the description method. It can lay a solid foundation for learning more relevant courses about mobile and wireless communications.