

# 移动无线信道仿真分析

夏昊, 沈元隆

(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:**移动无线信道的传输特性对移动通信质量有着至关重要的影响,然而无线电波的传播特性一般都很差,而且不同用户的传播信号还会互相干扰,即造成码间干扰(ISI),因而对于无线信道特性进行仿真显得很必要,尤其是其中的多径衰落仿真,既是重点又是难点。根据无线信道的随机特性以及多普勒频移效应,建立移动无线通信多径衰落的数学模型,并采用 Matlab 对模型进行仿真,以此讨论其传输特性。通过仿真,结果表明:信道衰落对无线通信质量影响十分严重,通信系统性能明显下降,在实际中应设法尽可能消除它。

**关键词:**多径衰落;多普勒频移;Matlab;信噪比

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)08-0217-03

## Simulation and Analysis of Mobile Wireless Channel

XIA Hao, SHEN Yuan-long

(Institute of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The characteristic of the mobile channel is so important to the quality of wireless communication. But each user's signal will be effected on one another, which causes serious inter-signal interference (ISI). Therefore, it is essential to simulate the characteristic of the mobile channel, especially to simulate the multi-path fading channel. Make a math model for the multi-path fading channel according to its randomness and use Matlab to simulate this model. The result shows that the channel fading affects the quality of wireless communication quite seriously, and try to eliminate the effect.

**Key words:** multi-path fading; Doppler effect; Matlab; SNR

## 0 引言

无线移动信道是一种时变信道,无线电波通过移动信道会遭受来自不同途径的衰落,其中最明显的是多径衰落效应<sup>[1]</sup>,即存在一条以上的无线信号传播路径。多径衰落会造成严重的码间干扰<sup>[2]</sup>,导致误码率不断增大,当其增大到某种程度时,通信将会中断<sup>[3]</sup>。另外,发射机和接收机之间的相对运动,使得信道物理性质发生变化,造成多普勒频移效应<sup>[4]</sup>。无线信道特性的优劣将直接影响通信系统的可靠性和时效性<sup>[5]</sup>,所以在无线基本理论和通信工程技术的研究中,无线信道特性是对不同种类的编码、调制等进行性能分析的基础。因此,如何兼具精确度和复杂度要求地对移动无线信道进行建模和仿真<sup>[6]</sup>是一个十分重要的问题。同时,研究这些特性和信道仿真实现方法对通信

系统的设计和性能分析具有重要意义。

文中根据移动无线衰落信道的建模思想,针对其随机性和多普勒效应,建立了信道模型,利用 Simulink 进行了 BER 仿真分析,并得到了相应的分析结果。

## 1 多径衰落信道建模

假设  $s(t)$  为发射信号,可以把信道建模为线性时变系统<sup>[7]</sup>,并且具有复低通等效响应特性<sup>[7]</sup>  $c(\tau, t)$ 。由于存在多径效应,这样就产生了多径分量,那么信道的输出  $r(t)$  是多个衰落和延迟的输入信号之和<sup>[8]</sup>,因此

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N(t)} a_k(t) s(t - \tau_k(t)) \quad (1)$$

冲激响应<sup>[8]</sup>  $c(\tau, t)$  为

$$c(\tau, t) = \sum_{k=1}^{N(t)} a_k(t) \delta(\tau - \tau_k(t)) \quad (2)$$

式(2)中,  $a_k$  是在  $t$  时刻第  $K$  条路径的复衰落包络,  $\tau_k(t)$  是在  $t$  时刻第  $K$  条路径的和延迟,  $N(t)$  为多径分量的数量。多径信道特性也许是时不变的,但是可以将所研究的实际信道刻画为时变的衰落信道。引

收稿日期:2011-01-08;修回日期:2011-04-11

基金项目:南京邮电大学科研基金(01院32)

作者简介:夏昊(1985-),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为通信系统的可靠性技术;沈元隆,教授,研究方向为通信系统的可靠性技术。

起时变的原因<sup>[9]</sup>有两个:

(1) 外部环境是静态的,但发射机和接收机是运动的;

(2) 发射机和接收机是相对静止的,但外部环境产生变化,例如反射体和散射体的移动或者电离层的变化。

所以,在实际的多径信道中,  $a_k(t)$ 、 $\tau_k(t)$  和  $N(t)$  都有可能随机地发生变化。

可以将由衰落引起随机波动的接收信号建模为时间  $t$  的随机过程<sup>[10]</sup>  $r(\tau, t)$ 。假如接收信号是不同路径分量之和,由中心极限定理可知,  $r(\tau, t)$  可以表示为时间  $t$  的复高斯过程,所以在任意的时刻  $t$ , 其概率密度函数的实部和虚部都是高斯的。在这个假设模型中,对于每个  $\tau$  或  $\tau_k$ , 信号路径都是由大量的路径分量组成。若  $r(\tau, t)$  具有零均值, 则其包络  $R = |r(\tau, t)|$  具有如下形式的瑞利概率密度函数<sup>[6]</sup>:

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), r > 0 \quad (3)$$

式(3)中  $\sigma^2$  是  $r(\tau, t)$  虚部和实部的方差。

若  $r(\tau, t)$  具有非零均值, 可知信号路径中存在视距路径(直视路径)<sup>[11]</sup>, 则其包络  $R = |r(\tau, t)|$  具有如下形式的莱斯概率密度函数<sup>[6]</sup>:

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma^2}\right), r > 0 \quad (4)$$

式(4)中  $A$  是  $r(\tau, t)$  的非零均值,  $I_0(z)$  是修正的 Bessel 函数, 它的定义如下:

$$I_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(z \cos(u)) du \quad (5)$$

称比值  $K = A^2/\sigma^2$  为莱斯分布因子<sup>[6]</sup>, 它是非衰落分量功率对衰落分量功率的比值。  $K \ll 1$  表示存在严重的衰落,  $K \gg 1$  表示衰落不严重。

当接收机与发射机之间存在相对运动时, 会产生频偏现象, 即接收信号的频率会发生偏移。当接收机与发射机作相向运动时, 接收信号的频率将会高于发射频率; 当情况相反时, 接收信号的频率将会低于发射频率。这种频率偏移现象称为多普勒频移<sup>[4]</sup>, 可以表示为下式:

$$\Delta f \approx v \cos \theta / \lambda \quad (6)$$

式(6)中,  $v$  是接收机和发射机之间的相对速度,

$\theta$  是电波入射方向与移动方向的夹角,  $\lambda$  是载波的波长。  $\Delta f$  的最大值是  $f_d = v/\lambda$ , 称为最大多普勒频移<sup>[4]</sup>。

多普勒频移引起信道的时变特性, 用相干时间<sup>[4]</sup>  $T_c$  来描述。将传输信号的符号周期  $T_s$  与信道相干时间  $T_c$  进行比较, 当  $T_c < T_s$  时经历快衰落<sup>[11]</sup>, 否则经历慢衰落<sup>[11]</sup>。

## 2 仿真分析

假设通信系统中有三条固定的 AWGN(高斯白噪声)多径信道, 对其进行性能测试, 并与在理想 AWGN 信道中的信噪比误码率曲线进行比较。为了进一步简化其模型及降低系统复杂度, 这里作如下假设:

1) 信道中的三条路径分别为一条无衰落的直视路径以及两条瑞利衰落路径(设这两路径信号时延差为  $\tau$ )。

2) 信道的瑞利衰落只对信号的强度有影响, 对相位没有影响。

3) 发射机和接收机均为理想状态。

4) 各多径分量的衰减幅度都为常数, 并且都经历相同的多普勒频移。

基于上述的假设, 采用 Matlab 对 M-FSK 信号进行多径衰落信道仿真, 图 1 所示为仿真结构框图。

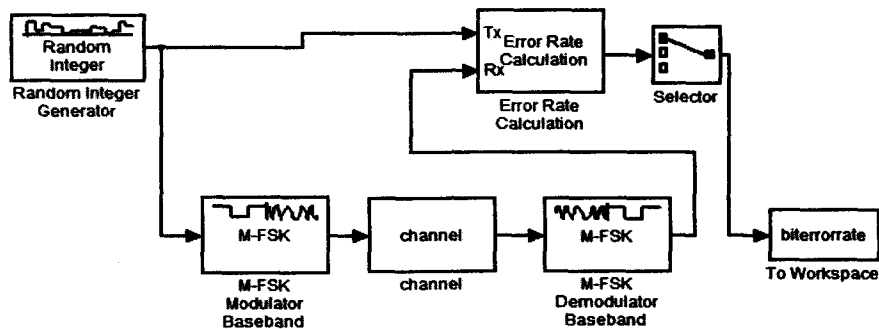


图 1 衰落信道仿真结构框图

从图 1 中可以看出, 对信道(channel)设置不同的参数可以进行不同的衰落信道仿真, 从而对信道特性进行全面估计和分析。仿真结果见图 2 至图 5。

图 2 至图 5 中, 都加入了一条 AWGN 信道<sup>[4]</sup>作为参考标准。因为它只含有直视路径, 不存在多径, 所以作为理想信道。

图 2 中显示的是增加一个瑞利衰落分量后, 产生了莱斯衰落信道<sup>[4]</sup>的仿真结果, 因为两瑞利衰落路径时延差  $\tau = 0$ , 所以为平坦衰落。

图 3 中由于两瑞利衰落路径时延差  $\tau \neq 0$ , 导致其不再是平坦衰落, 而是成为了频率选择性衰落<sup>[4]</sup>, 所以系统性能进一步产生了恶化。

图 4 中虽然两瑞利衰落路径  $\tau = 0$  是平坦衰落, 但

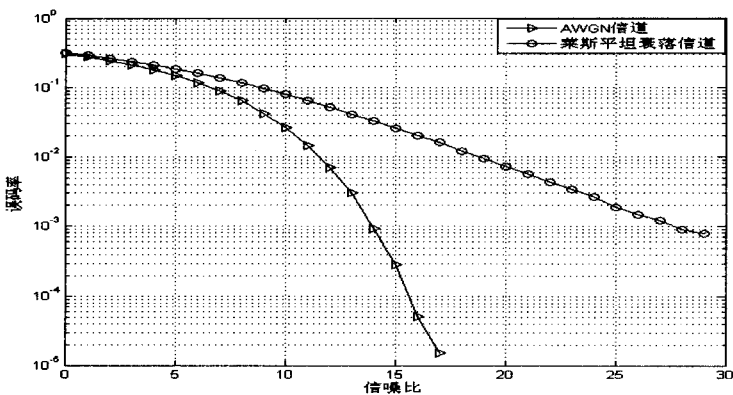


图 2 莱斯平坦衰落信道特性曲线

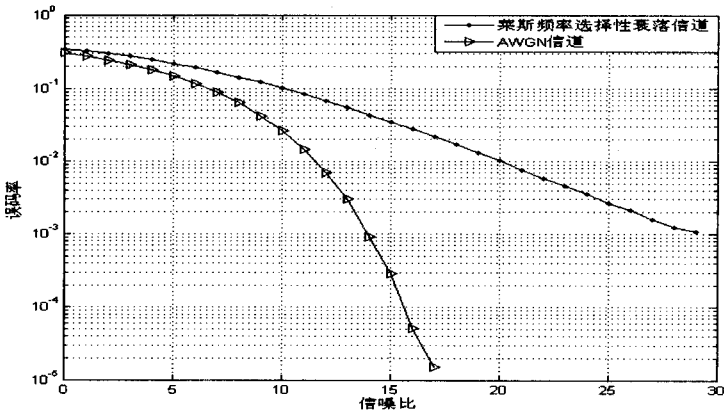


图 3 莱斯频率选择性衰落信道特性曲线

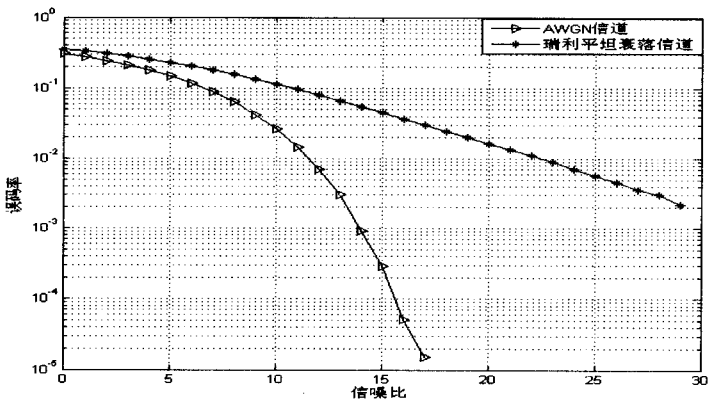


图 4 瑞利平坦衰落信道特性曲线

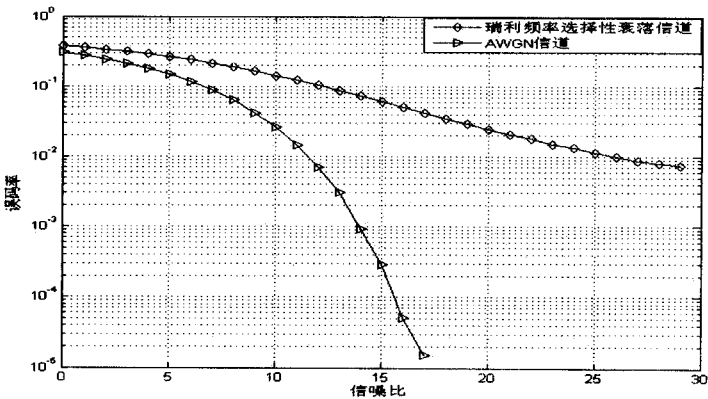


图 5 瑞利频率选择性衰落信道特性曲线

由于其缺少直视路径,因此衰落分布形式由莱斯分布变为了瑞利分布<sup>[4]</sup>,曲线特性比有直视路径存在的任何情况都要差。

图 5 中不仅不存在直视路径,并且时延  $\tau \neq 0$ ,信号衰落形式从平坦衰落变为了频率选择性衰落<sup>[4]</sup>,导致性能恶化更为严重,其曲线特性是最差的。

对比 AWGN 理想信道和后四种信道特性曲线,可知多径衰落对无线通信质量影响十分严重,通信系统性能明显下降,所以信号传输时仅有直视路径而无其他路径只是理想的情形。当直视路径存在时,增加多径数量和路径相对延时,这样得到的信道模型更加接近于实际无线通信信道,但是会导致系统性能产生不同程度的恶化。同时可以知道多径衰落信道中,频率选择性衰落对信道的影响相当严重,致使相邻码元之间相互重叠<sup>[12]</sup>,造成信噪比的急剧下降。信号是否存在直视路径会使其分布形式发生本质变化,所以直视路径的存在与否对系统性能的影响最为严重。图 5 中的衰落形式为瑞利频率选择性衰落,与其他几种衰落形式相比较可看出它的性能曲线特性恶化最为严重,但实际无线信道存在直视路径的可能性不大,并且路径的延时上下波动很大,所以图 5 所示的信道模型最为接近实际的无线衰落信道。

3 结束语

文中研究了移动通信信道的衰落特性。对衰落信道包络形式、多普勒效应和频率选择性衰落等进行了阐述,并利用 Matlab 对移动通信信道建模和仿真,得到了信号在无线多径衰落信道中的传播特性。仿真结果表明了频率选择性衰落是最重要的因素,因此若能够有效地减小频率选择性衰落,就可以使多径衰落对通信系统的影响进一步降低。文中建立的模型能够较为准确地仿真实际无线通信信道的主要特性,而且它具有易于实现和复杂度较低的优势。文中对于刚开始研究信道的初学者有较高的参考价值,能够帮助其建立无线通信信道整体、

(下转第 240 页)

基于信息熵的入侵检测算法与其他入侵检测方法相比,得到检测率数据见表 2。

通过表 2 可以看出,基于新的条件熵的方法在漏检率和错检率方面得到了改善。由于基于数据挖掘(DM)的方法需要大量的数据支持,在小样本数据中该方法的优越性无法体现。支持向量机(SVM)和 BP 神经网络的检测方法运算量较大且复杂,而且要求较高的训练速度。所以 SVM、DM 和 BP 的方法在检测率上不如文中的方法。

表 2 各检测方法错检率比较

检测方法	检测率(%)
SVM	81.75
DM	83.02
BP	80.32
文中算法	84.96

## 5 结束语

从检测规则的角度思考问题,借鉴信息论中的有关思想,提出了一种基于新的条件熵的入侵检测算法,将粗糙集相关的知识约简算法,以及利用粗糙集技术的新的离散化算法和入侵检测技术结合起来构建一个完善的入侵检测体系。有关粗糙集的相关理论和方法善于对不确定和不完备信息的处理,使用信息熵的有关知识对收集到的数据进行处理,更有利于知识约简和检测规则的提取。实验结果表明,基于新的条件熵的入侵检测算法比其他检测方法在检测率和错检率上都有了较大的改进,有较高实用性。

### 参考文献:

[1] Bace R. Intrusion Detection[M]. New York: Macmillan Tech-

(上接第 219 页)

直观的认识。

### 参考文献:

- [1] 吴志忠. 移动通信无线电波传播[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [2] 佟学俭,罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003:45-60.
- [3] 刘然,江修富,郝建华. 利用训练符号进行一系统粗初定时同步算法的研究[J]. 国外电子测量技术,2008,27(7):37-39.
- [4] 庄明洁,郭东辉. 移动通信中无线信道特性的研究[J]. 电讯研究,2004,44(5):18-21.
- [5] 李向宁,谈振辉. OFDM 基本原理及其在移动通信中的应用[J]. 重庆邮电学院学报,2003(6):55-59.
- [6] 朱近康. 无线信道的应用模型和估计[J]. 中兴通讯技术,

nical Publishing,2000.

- [2] 肖竞华,卢娜. 基于网络的入侵检测系统的研究及实现[J]. 计算机技术与发展,2007,17(2):242-244.
- [3] 蔡忠闯,管晓宏. 基于粗糙集理论的入侵检测新方法[J]. 计算机学报,2003,26(3):361-366.
- [4] Debar H, Becker M, Siboni D. A neural network component for an intrusion detection system[C]// In: Proc. 1992 IEEE Symposium on Security and Privacy. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1992:240-251.
- [5] Forrest S, Perrelason A S, Allen L. Self-nonsel self discrimination in a computer [C]// Rushby J, Meadows C. Proceedings of the 1994 IEEE Symposium on Research in Security and Privacy. Oakland, CA: IEEE Computer Society Press, 1994:202-212.
- [6] Ghosh A K, Michael C, Schatz M. A real-time intrusion system based on learning program behavior [C]// Debar H, Wu S F. Recent Advances in Intrusion Detection (RAID 2000). Toulouse: Springer-Verlag, 2000:93-109.
- [7] 程玉青,梅登华,陈龙飞. 基于数据挖掘的入侵检测系统模型[J]. 计算机技术与发展,2009,19(12):123-126.
- [8] 杨武,云晓春,李建华. 一种基于强化规则学习的高效入侵检测方法[J]. 计算机研究与发展,2006,43(7):1252-1259.
- [9] 饶鲜,董春曦,杨绍全. 基于支持向量机的入侵检测系统[J]. 软件学报,2003,14(4):789-803.
- [10] 赵曦滨,井然哲,顾明. 基于粗糙集的自适应入侵检测算法[J]. 清华大学学报,2008,48(7):1165-1168.
- [11] 徐久成,孙林,马媛媛. 基于新的条件熵的决策表约简方法[J]. 计算机工程与设计,2008,29(9):2313-2316.
- [12] 翟俊海,王熙熙,张素芳. 信息粒度、信息熵与决策树[J]. 计算机工程与应用,2009,45(12):126-128.

2003(10):23-26.

- [7] 丁玉美,高西全. 数字信号处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001:97-120.
- [8] Householder A S. The Theory of Matrix in Numerical Analysis [M]. New York: Dover Publications, 1964.
- [9] Bingham J A C. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come[J]. IEEE Communication Magazine, 1990,28(5):5-14.
- [10] IEEE P80216-2004. Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S]. [s.l.]:IEEE,2004.
- [11] Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems [S]. IEEE Std. 802.16d,2004.
- [12] Nichols S J V. Achieving Wireless Broadband with WiMAX [J]. IEEE Comp,2004,37(6):10-13.