

通过无线信道的接收信号可以用下式表示<sup>[12]</sup>:

$$r(t) = \alpha(t)e^{j\varphi(t)} \quad (2-7)$$

其中  $\alpha(t)$  表示接收信号的包络特性, 在每个时刻, 它是服从瑞利 (Rayleigh) 分布的随机变量。  $e^{j\varphi(t)}$  表示接收信号的相位特性, 它由衰落过程的频域特性和时域特性刻画。这些特性分别与多径信号的多普勒扩展和时延扩展相关。

假设信道为广义平稳非相关散射 (WSSUS, Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering) 信道<sup>[42]</sup>。在多普勒扩展建模方面, 目前被广泛采用的移动无线信道多普勒功率谱模型是 Jakes 模型<sup>[14]</sup>, 该模型能够描述衰落过程的频域特性和收信号的包络特性。该模型假设从发射机到接收机之间有无数条传输路径, 而且这些反射信号到达移动目标接收机的路径服从离散均匀分布。时域输入信号  $s(t)$  经过信道的输出为  $r(t)$ :

$$r(t) = s_i \hat{s}(t) - s_q \hat{s}(t) \quad (2-8)$$

其中  $\hat{s}(t)$  是  $s(t)$  的正交变换, 同相 (In-phase) 分量  $s_i$  和正交 (Quadrature) 分量  $s_q$  可描述为:

$$s_i = 2 \sum_{k=1}^N \cos(\beta_k) \cos(2\pi f_k t + \theta_k) + \sqrt{2} \cos(\alpha) \cos(2\pi f_m t) \quad (2-9)$$

$$s_q = 2 \sum_{k=1}^N \sin(\beta_k) \cos(2\pi f_k t + \theta_k) + \sqrt{2} \sin(\alpha) \cos(2\pi f_m t) \quad (2-10)$$

式中  $f_m$  为最大多普勒频移,  $f_k = f_m \cos(2\pi k / L)$ ,  $L = 2(2N + 1)$ ,  $\alpha = \pi / 4$ ,  $\beta_k = \pi k / N$ ,  $N$  为模型中的有效路径数,  $\theta_k$  是 0 到  $2\pi$  之间的均匀分布随机变量。如果  $f_m$  为多普勒频移, 则多普勒频移的范围为  $(-f_m, f_m)$ 。该模型利用了等效基带原理, 因此不必进行载波级仿真。但是载波频率  $f_c$  和接收机的最大移动速度  $v_m$  被用来确定  $f_m$ :

$$f_m = \pm \frac{v_m}{c} f_c \quad (2-11)$$

上式中  $c$  为光速。由于接收信号经过的路径长度不同，而且每个路径上接收机的移动速度是不一样的，所以接收机接收到的是经过频率扩展的信号，其功率谱密度可以表示为：

$$\begin{cases} R(f) = \frac{1}{\pi f_m \sqrt{1 - (f / f_m)^2}} & |f| \leq f_m \\ R(f) = 0 & |f| \geq f_m \end{cases} \quad (2-12)$$

若载频为  $2\text{GHz}$ ，移动接收机的最大速度  $v_m = 100\text{km/h}$ ，则最大多普勒频移为  $f_m = 185.2\text{Hz}$ 。如果系统的采样频率  $f_s$  为  $1\text{KHz}$ ，则  $1024 / f_s > 1 / f_m$ ，在 1024 个样值时间间隔内接收信号的衰落为快衰落，它每个时刻的包络都是服从 Rayleigh 分布的随机变量。

图 2-6 显示了通过仿真得到的接收信号包络分布的统计图，共统计了 102400 个样值。从图中可以看出，它服从 Rayleigh 分布。

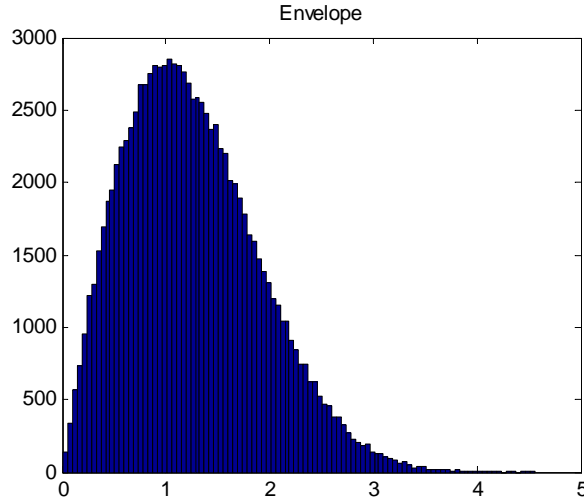


图 2-6 接收信号包络分布统计图

图 2-7 显示了 1024 个样值时间间隔内接收信号的衰落深度和多普勒功率谱密度，显然该衰落属于快衰落，且功率谱被扩展到  $(-f_m, f_m)$  的范围内。这些都和理论值符合的很好。

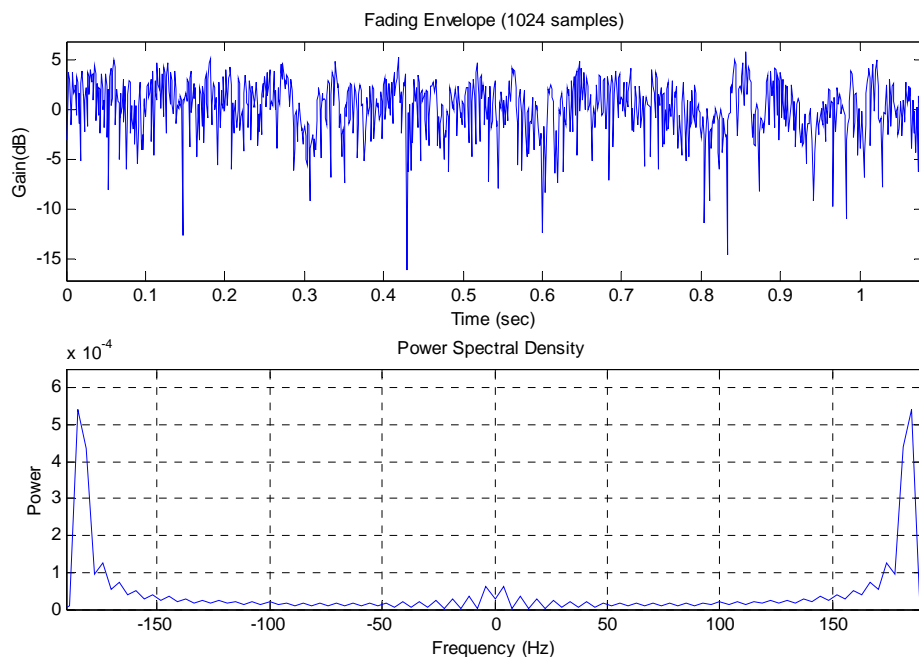


图 2-7 信号的 Rayleigh 衰落包络与多普勒功率谱密度

利用 Jakes 模型能够模拟无线信道的频域特性和接收信号的包络特性，要引入多径时延扩展，对无线信道的时域特性进行模拟就要对 Jakes 模型进行改进，将其与 ITU 推荐的 M.1225<sup>[2]</sup>信道 A 模型结合。该模型适合于室内环境，规定了信道中多径信号的时延长度和相应的功率，如表 2-1。

相对时延 ( $ns$ )	0	50	110	170	290	310
平均功率 ( $dB$ )	0.00	-3.00	-10.00	-18.00	-26.00	-32.00

表 2-1 ITU M.1225 信道 A 模型参数

文献[18]提出了一种改进的 Jakes 模型，该模型使得各径衰落信号是相互独立的，或者互相关系数很小，这样有利于实现频率选择性衰落信道的仿真<sup>[18][41]</sup>。假设信道的有效多径信号数为 4，图 2-8 显示了第 1 径衰落信号和其它径衰落信号的互相关系数。显然，互相关系数值非常小，数量级达到 $10^{-4}$ ，又由于各径包络的同相和正交分量都服从零均值正态分布，这样就可以近似认为各径是相互独立的。

本文中对无线信道的仿真采用如上所述的改进 Jakes 模型，并结合 ITU 推荐的 M.1225 信道 A 模型，其中载频为  $2GHz$ ，数据速率为  $20Mbps$ 。

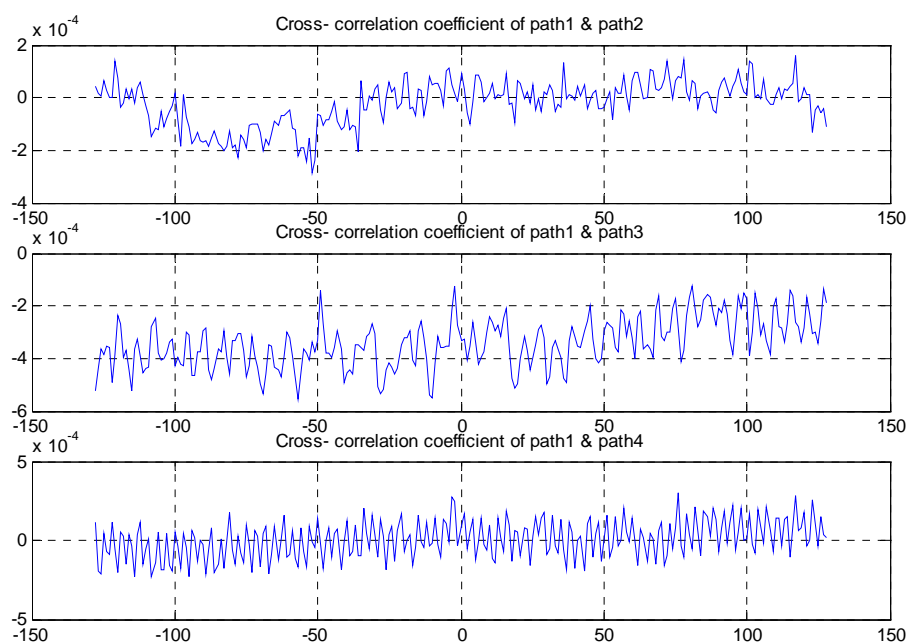


图 2-8 第 1 径衰落信号和其它径衰落信号的互相关系数

## 参考文献

11. John G. Proakis 著, 张力军, 张宗橙, 郑宝玉译. 数字通信 (第四版). 北京: 电子工业出版社, 2003
12. 张贤达, 保铮 著. 通信信号处理. 北京: 国防工业出版社, 2000
13. John G. Proakis, Masoud Salehi 著, 刘树棠 译. 现代通信系统使用 MATLAB. 西安: 西安交通大学出版社, 2001
14. W. C. Jakes. Microwave Mobile Communications. IEEE Press. 1994
15. Bernard Sklar. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems PartI: Characterization. IEEE Communications Magazine, July 1997, 90 - 100
16. Bernard Sklar. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems PartII: Mitigation. IEEE Communications Magazine, July 1997, 102 - 109
17. Yahong Rosa Zheng, Chengshan Xiao. Simulation Modles With Correct Statistical Properties for Rayleigh Fading Channels. IEEE Transaction On Communications, 2003, 51(6): 920 - 928
18. Yingbo Li, Y. L. Guan. Modified Jakes` Model for Simulating Multiple Uncorrelated Fading Waveforms. IEEE International Conference on Communications, 2000, 46 - 49