

doi: 10.7690/bgzd.2013.02.024

直接序列扩频通信系统性能研究

朱运航, 张平华, 邓明元

(湖南信息职业技术学院信息工程系, 长沙 410200)

摘要: 为了进一步提高直接序列扩频(direct sequence spread spectrum, DSSS)系统的抗多径衰落性能, 提出一种改进型的实用瑞利衰落信道模型, 并在不同条件下研究了码长、扩频增益对其性能的影响。通过构建信道的动态模型, 给出了 DSSS 通信系统良好的抗多径衰落性能, 以及误码率(bit error rate, BER)与信噪比(noise-signal ratio, SNR)的关系曲线, 对 DSSS 系统在多径瑞利衰落信道中传输时的抗多径衰落性能进行比较分析。Matlab 仿真结果表明: 与提高系统扩频增益相比, 在多径衰落信道较强的条件下, 增加 PN 码的码长能够更有效地提高系统抗多径衰落性能。

关键词: 直接序列扩频; 误码率; 扩频增益; 多径衰落

中图分类号: TP302 **文献标志码:** A

Research on Direct Sequence Spread Spectrum Communication System

Zhu Yunhang, Zhang Pinghua, Deng Mingyuan

(Department of Information Engineering, Hunan College of Information, Changsha 410200, China)

Abstract: To improve the performance of anti-multipath fading of the communication system of direct sequence spread spectrum (DSSS), a new improved practical Rayleigh channel model is put forwards, and the impact of code length & spread spectrum gain is researched in the different condition. Through building the dynamic model of channel, give anti-multipath fading capability of DSSS communication system, and the relationship curves of the bit error rate (BER) and noise-signal ratio. Analysis and compare DSSS system's anti-multipath fading capability on multipath Rayleigh channel. Matlab simulation result shows, the anti-multipath fading performance improved by the way of increasing PN code length is better than that by the way of increasing the spread spectrum gain in the condition of strong multipath fading.

Key words: direct sequence spread spectrum (DSSS); BER; spreading gain; multipath fading

0 引言

直接序列扩频(direct sequence spread spectrum, DSSS)通信具有较强的隐蔽性和抗多径、抗多址干扰能力, 灵活的信道分配, 在卫星通信系统、第三代移动通信及军事通信等领域得到了广泛的应用。近年来, DSSS 通信理论和方法都有了较快的发展, 文献[1]通过 CDMA 的仿真, 提出增加码长和提高信噪比可以加强单元带宽的传输速率。文献[2-3]模拟仿真了 DSSS 通信可有效解决多径衰落对通信系统的影响。文献[4]研究了扩频通信多径瑞利衰落信道扩频增益、PN 码长、多频勒频移等特性, 仿真证实了在多径瑞利衰落信道下, 扩频通信系统能有效地克服多径衰落和多普勒频移。但当条件改变时, 特别是移动速度变化时, 上述因素对扩频通信系统性能的影响缺乏系统的研究。瑞利衰落信道模型的主要特点是灵活性强, 适用范围广。课题组前期仿真研究验证了一种改进型的实用瑞利衰落信道模型^[5], 在这种新的实用瑞利衰落信道下(存

在加性高斯白噪声), 对 DSSS 通信系统的抗多径衰落性能在各种条件下进行了系统的理论分析。

1 瑞利衰落信道模型

无线通信信道最明显的特征是多径衰落效应。对于高速无线通信, 多径效应可导致信道的频率选择性衰落。另外, 发射机、接收机的移动或者它们之间物体的运动使信道的物理性质发生变化, 也会造成信道随时间变化(时域)和接收信号频谱的多普勒扩展(频域), 即无线通信信道具有时变和频率选择性衰落的特性。笔者以改进型的实用瑞利衰落信道模型^[5]作为数学仿真模型, 其低通衰落过程为:

$$\begin{cases} R(t) = T_c(t) \cos \omega_c t + T_s(t) \sin \omega_c t \\ T_c(t) = \frac{2}{\sqrt{M}} \sum_{n=1}^M \cos(\psi_n) \cos(\omega_m t \cos \alpha_n + \varphi) \\ T_s(t) = \frac{2}{\sqrt{M}} \sum_{n=1}^M \sin(\psi_n) \cos(\omega_m t \cos \alpha_n + \varphi) \\ \alpha_n = \frac{(2n-1)\pi + \theta}{4M} (n=1, 2, \dots, M) \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期: 2012-08-23; 修回日期: 2012-09-13

作者简介: 朱运航(1968—), 女, 湖南人, 硕士, 副教授, 从事集成电路设计与信号处理研究。

式中: ω_c 表示载波角频率; ω_m 表示最大多普勒频率; n 表示路径数; α_n 表示第 n 条路径的到达角; φ 表示初始相位; $M = n/4$ 。

在频率选择性衰落的情况下, 假定 t 时刻的传播时延为 τ , 瑞利信道模型的冲激响应为 $h(t)$ 。假设含有 n 个多径信号, 则 $h(t)$ 可以表示^[6]为:

$$h(\tau, t) = \sum_{n=1}^L h_n(t) \delta(\tau - \tau_n) \quad (2)$$

每个 $h_n(t)$ 是独立复高斯随机过程, 并具有平坦衰落信道冲激响应的特性。若信道输入信号的复包络为 $\mu(t)$, 信道的输出可以表示为

$$u_o(t) = \sum_{n=1}^L h_n(t) \mu(t - \tau_n) \quad (3)$$

2 DSSS 通信系统模型

DSSS 系统是将要发送的信息用伪随机序列扩展到一个很宽的频带上去, 在接收端, 用与发端扩展用的相同 PN 序列对接收到的扩频信号进行相关处理, 恢复出原来的信号, 实现正常的通信。由于干扰信号与 PN 序列不相关, 在接收端被扩频, 使得落入信号频带内的干扰和噪声被扩展, 大大降低了其功率谱密度, 从而提高了系统的输出信噪比, 加强了扩频系统的抗干扰性能。

2.1 发射机模型

基带信息码元 $a(t)$ 是码元持续时间为 T_a 的信息流, 与伪随机码产生器产生的伪序列 $c(t)$ (码元宽度为 T_c) 进行模 2 加, 得到与伪随机码速率相同的扩频序列 $d(t)$, 再经调制发送到信道^[7], 笔者采用最常用的二相相移键控 (BPSK) 调制方式。发射机模型如图 1 所示。

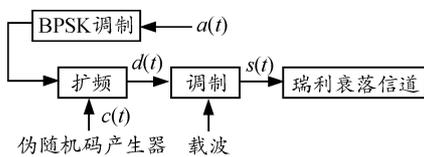


图 1 发射机模型

$$c(t) = \sum_{l=0}^{G_p-1} c(l) \psi(t - lT_c) \quad (4)$$

$$d(t) = a(t)c(t) = \sqrt{2P} \cos(\omega_c t + \theta(t)) = \sqrt{2P} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a(n)c(t - nT_a) \quad (5)$$

信号码 $a(n) \in \{+1, -1\}$ 为第 n 个接收符号, G_p 为

系统的扩展比, 扩频码 $c(l) \in \{+1, -1\}$ 为第 l 个接收符号, 码片波形 $\psi(t) = \text{rect}T_c(t) / \sqrt{T_c}$, $\text{rect}T_c(t)$ 为在区间 $[0, T_c)$ 上支撑的矩形脉冲。 P 为恒定包络已调的数据载波功率, $\theta(t)$ 为数据相位调制。调制后得到的信号为:

$$s(t) = d(t) \cos \omega_c t = a(t)c(t) \cos \omega_c t \quad (6)$$

2.2 接收机模型

信号通过传输信道到达接收机, 接收机除接收到发射信号 $S_i(t)$ 外, 还包括传输信道的各种干扰 $J(t)$ 和噪声 $n(t)$, 经接收机的本地载波解调, 再用本地扩展码进行相关解扩, 恢复成窄带, 然后进行解调, 将数字信号还原出来。模型如图 2 所示, 在接收的过程中要求本地产生的扩频码与发端用的扩频码完全同步。

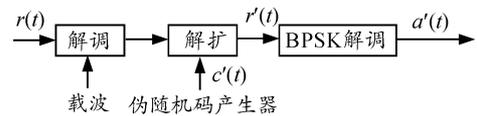


图 2 接收机模型

接收端的信号 $r(t)$ (不考虑信道中的乘性干扰)^[8]:

$$r(t) = \sqrt{2pd(t)}c(t)\cos(\omega_c t) + n(t) + J(t) \quad (7)$$

接收端的伪随机码产生器产生的伪随机序列 $c'(t)$ 与发端产生的伪随机序列相同, 若精确同步, 则 $c'(t) = c(t)$, 则解扩后的信号为

$$r'(t) = \sqrt{2pd(t)}\cos(\omega_c - \tau) + n(t)c(t - \tau) + J(t)c(t - \tau) \quad (8)$$

τ 为传输延时, 第一项含有信息信号, 进行解调后得到原始的信号信息。后两项相当于对噪声和干扰进行扩频运算, 扩展其频谱, 降低其功率谱密度, 信号分量为 $\sqrt{2p} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a(n)$ 。

3 性能分析

多径干扰是移动通信中最常见的一种干扰, 在城市环境中, 这种干扰的影响尤其严重。多径干扰是由于电波在传播过程中遇到各种反射体 (如电离层、对流层、高山和建筑物等) 引起的反射或散射, 使发送的信号通过不同的路径到达接收端。在接收端, 不同的路径到达的信号进行矢量叠加, 形成随机衰落信号。由于多径干扰信号的频率选择性衰落和路径差引起的传播延时 τ , 使信号产生严重失真和波形展宽并导致信息重叠, 引起噪声增加和误码

率上升, 使通信质量降低, 有可能使通信中断而无法工作。

瑞利信道的冲激响应为 $h(t)$, 接收到的基带信号:

$$r(t) = h(t) \otimes s(t) + n(t) + J(t) \quad (9)$$

发射机直接到达接收机的传播时延为 τ_0 , 信号功率经传输衰减到达接收机的信号幅值为 $\sqrt{2P}$, 则接收机的直达信号为

$$u_0(t) = \sqrt{2P}d(t + \tau_0)c(t + \tau_0)\cos\omega_c[(t + \tau_0) + \varphi] \quad (10)$$

当锁定接收机与直达的发射信号同步后, 忽略有关载波频率的高次项, 假设多径反射或折射的路径有 k 条, 记为 $i=1, 2, \dots, k$, 第 i 条路径到达接收机的时延为 τ_i , 到达接收机的信号衰减因子为 $\alpha_i(t)$, 则到达接收机的多径衰落信号为:

$$u_m(t) = \sum_{i=1}^k \{ \alpha_i(t) d(t + \tau_i) c(t + \tau_i) \times c(t + \tau_0) \cos\omega_c(\tau_i - \tau_0) \} \quad (11)$$

扩频通信系统采用 $0 \rightarrow T$ (信息数据脉宽) 的相关积分滤波器, 在 $\tau_0 \rightarrow T$ 的积分期间, $d(t + \tau_i)$ 是某一常数 d_i , $\cos\omega_c(\tau_i - \tau_0) \leq 1$, $c(t + \tau_i)c(t + \tau_0)$ 是扩频序列的自相关函数 $R_c(t)$, 则式 (10) 改写为

$$u_m(t) = \sum_{i=1}^k \{ \alpha_i(t) d_i R_c(\tau_i - \tau_0) \} \quad (12)$$

由式 (12) 可以看出, 多径衰落信号的解调输出信号与扩频序列的自相关的特性有关。由于伪随机序列具有尖锐的自相关特性, 故对多径效应不敏感。

1) 当 $\tau_i > \tau_0$ 且 $T_c \leq \tau_i - \tau_0 \leq (N-1)T_c$ 时, 则 $R_c(\tau_i - \tau_0) = -1/N$, 那么多径衰落噪声输出的平均值 $E(v_m(t))$ 满足:

$$E(v_m(t)) \leq \sqrt{2pTd}k / N \quad (13)$$

一般地, $\alpha_i(t) \leq \sqrt{2p}$ 。显然, 每路多径信号的强度比直达信号至少减弱为 $1/N$, 功率则减弱为 $1/N^2$ 。通常 $N \gg 1$, $N \gg k$, 因此 $E(v_m(t)) \leq \sqrt{2pTd}$, 说明采用扩频通信方式能抵抗多径衰落。

2) 当 $0 \leq \tau_i - \tau_0 \leq T_c$ 时, 则 $R_c(\tau_i - \tau_0) = T - T(\tau_i - \tau_0)/T_c > 0$, 通过积分滤波, 由式 (9) 可知到达接收机的衰落信号满足:

$$u_m(t) \leq 2dT \sum_{i=1}^k \alpha_i(t) T \left(1 - \frac{\tau_i - \tau_0}{T_c} \right) \quad (14)$$

式 (14) 说明多径衰落与直达信号获得的解调输出 $\sqrt{2pTd}$ 同号, 有用数据 $\sqrt{2pTd} > 0$ 、 $u_m(t) > 0$, 此时的多径衰落增强了有用信号, 被视为有用信号的一部分, 对有用信号的幅度有影响, 但不产生对伪码宽度的展宽或压缩。

4 仿真结果与分析

对 BPSK 调制信号在多径瑞利信道下, 存在加性高斯白噪声时, 用 Matlab/Simulink 对瑞利衰落信道下的扩频通信系统的性能进行仿真, 其中仿真参数条件为信息速率 10 M/s, 载波频率 1 GHz, 码长为 63。

4.1 DSSS 通信系统抗多径瑞利衰落仿真

图 3 对 BPSK 调制信号分别在高斯白噪声信道环境、多径瑞利衰落信道环境下的传输性能做比较。从图 3 可以看出, 在误码率为 0.01 时, 加性高斯白噪声信道的信噪比为 14 dB, 添加多径瑞利衰落信道的信噪比为 18 dB, DSSS 通信系统在多径瑞利衰落信道下的信噪比为 12 dB; 并且在任意时刻, 无论信噪比达到多少, DSSS 通信系统的误码率都要比衰落信道下的误码率低, 从而得出在多径瑞利衰落的影响下, DSSS 通信系统具有良好的性能, 大大减少了多径瑞利衰落。

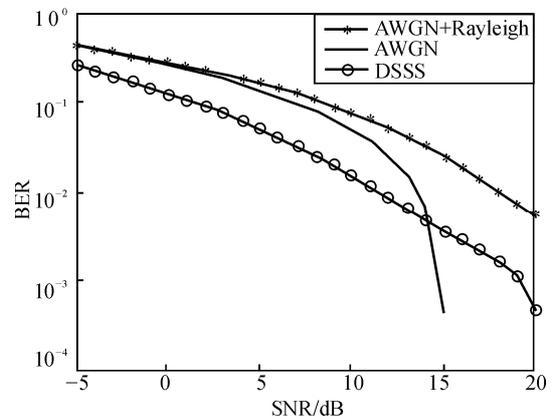


图 3 不同信道下 BPSK 系统误码率仿真结果

4.2 误比特率与 PN 码长

图 4 给出了移动速度为 50 km/h、1 500 km/h, PN 码速率为 400 M/s(扩频增益为 40), PN 码为 31、63、127 时的 DSSS 通信系统在瑞利衰落信道下的 BER 性能曲线。可以看出, 当移动速度一定时, 码长的增加会使误码率增加。同时, 从图 3 和 4(b)可以看出对于移动速度过大的物体, 扩频通信系统反而会使误码率增大。

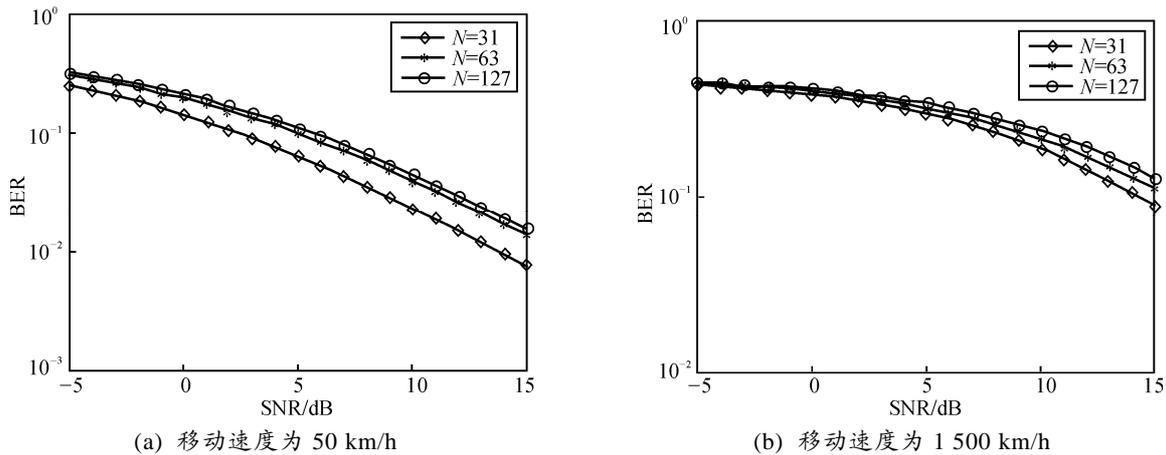


图 4 不同码长的 m 序列 DSSS 在不同移动速度下的 BER/SNR 关系曲线

4.3 误比特率和扩频增益 (如图 5)

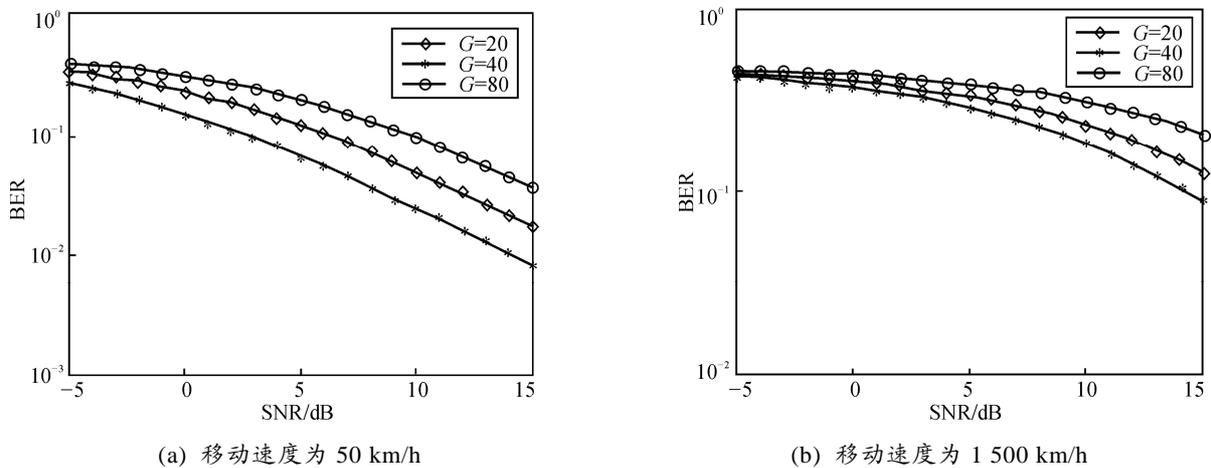


图 5 不同码长的 m 序列 DSSS 在不同移动速度下的 BER/SNR 关系曲线

5 结论

从图 3~5 可以看出, DSSS 系统在多径瑞利衰落信道下误码率保持在 0.003~0.160 之间;但随着移动速度的增大,误码率逐渐增大。图 4 和图 5 对比说明,在多径瑞利衰落信道下,单纯地增加 PN 码长对误码率的提高是没有帮助的,但增加 PN 码长所得到的 BER 性能优于提高系统扩频增益所得到的 BER 性能,说明在外界条件相同的条件下,增加 PN 码长将更有利于改善系统的抗多径衰落性能。

参考文献:

[1] Xue Caijiao. Anti-interference performance of multi-path direct sequence spread spectrum wireless communication system[J]. 2010 International Conference on E-Health

Networking, Digital Ecosystems and Technologies. IEEE, 2010(1): 461-464.
 [2] 吕义东, 周铭. 多径衰落下通信系统的分析与仿真[J]. 实验科学与技术, 2009(4): 18-20.
 [3] 石艳丽, 于海霞. 多径衰落信道下扩频通信系统的仿真研究[J]. 电子测量技术, 2009(11): 31-36.
 [4] 郭佳, 欣韩焱. 瑞利衰落信道下的直序扩频通信系统性能分析[J]. 信息与控制, 2009(7): 337-343.
 [5] 朱运航, 屈辉立. 一种改进型的无线信道模型研究[J]. 无线通信技术, 2011(1): 34-36.
 [6] 汪洋, 葛临东. 多径独立 Rayleigh 衰落信道仿真模型[J]. 信息工程大学学报, 2007(6): 202-205.
 [7] 曾兴雯, 刘乃安, 等. 扩展频谱通信及其多址技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 12-105.
 [8] 何世彪, 谭晓衡. 扩频技术及其实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 41-60.