

基于 SystemView 的直接序列扩频系统仿真与分析

谢艳辉

(鲁东大学 物理与电子工程学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 直接序列扩频系统与常规的二进制系统相比具有抗干扰能力强、信号隐蔽等特点。在对直接序列扩频系统进行理论分析的基础上,设计了基于 SystemView 的系统通信模型,并在仿真结果的基础上分析直接序列扩频系统的性能,进一步证实了理论分析的正确性,对实际系统的分析与设计起到了一定的借鉴作用。

关键词: 直接序列扩频; SystemView; 仿真; 系统性能

中图分类号: TN914.42

文献标识码: A

Simulation and analysis of direct sequence spread spectrum system based on SystemView

XIE Yan Hui

(College of Phy.and Ele.Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract: Anti-jamming ability and concealment of direct sequence spread spectrum system is much better than regular communication system. On the basis of theory analysis for the technology, the paper established communication model using Systemview, gave concrete simulation process, researched system performance on the foundation of the simulation result. So correctness of theoretical analysis was confirmed furthermore, which would give certain reference to analysis and design of the practical system.

Key words: direct sequence spread spectrum; SystemView; simulation; system performance

直接序列扩频是扩频通信的一个分支,因其良好的抗干扰性、抗衰落性,以及多址保密通信等特点成为军事通信领域广泛应用的一种通信手段^[1-3]。本文利用 SystemView 仿真软件建立直接序列扩频系统模型,并给出具体的仿真过程,最后对系统的性能进行了详细分析。

1 直接序列扩频技术

扩频是用比信号带宽宽很多的频带宽度来传输信息的技术,扩频通信理论基础为 Shannon 定理。Shannon 定理指出,在高斯白噪声干扰条件下,通信系统信道容量为^[4]:

$$C=B \cdot \log_2(1+S/N) \quad (1)$$

其中, C 为信道容量, B 为信号带宽, S 为信号平均功率, N 为噪声功率。

由式(1)可见,在信息速率一定时,带宽 B 与信噪比 S/N 可以互换,即信号带宽越宽信噪比越低,甚至在信号被噪声淹没的情况下也可以实现可靠通信。因此,将信号的频谱进一步扩展,可实现低信噪比传输,并且可以保证信号传输有较好的抗干扰性和较高的保密性。

直接序列扩频系统 DSSS,就是在发送端用高码率的扩频码序列去扩展信号的频谱,而在接收端,用与发送端相同的扩频码序列进行相关处理,把展宽的扩频信号还原为原始信息。

直接序列扩频系统的原理框图如图 1 所示。

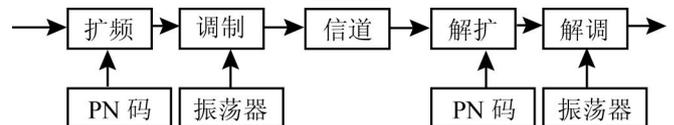


图 1 直接序列扩频系统的原理框图

直接序列扩频系统主要由扩频、调制、信道传输、解扩和解调几部分组成。假定信息源发送的是信号为 $a(t)$ 的信息流,设其码元速率为 R_a ,伪随机序列产生器产生伪随机序列 $c(t)$,其码元速率为 R_c 。则扩频后的序列 $d(t)$ 为:

$$d(t)=a(t) \times c(t) \quad (2)$$

伪随机序列码元速率 R_c 比信息源码元速率 R_a 大得多,

网络与通信 Network and Communication

并且 R_s/R_c 的比值通常为整数,即信息码元被扩展。

对于直接序列扩频系统的调制,多种数字调制方式均可选择。实际通信系统中应根据具体情况,视系统性能要求来确定。其中用的较多的调制方式有 BPSK、MSK、QPSK 等。本文分析采用 BPSK 方式调制。设调制后的信号 $s(t)$ 为:

$$s(t)=d(t)\cos(\omega t)=a(t)c(t)\cos(\omega t) \quad (3)$$

式中, ω 为载波角频率。调制后信号被搬移到载频上传输。

解扩的过程与扩频过程相同,即接收到的信号与本地的伪随机序列相乘。解扩器接收的信号为:

$$R_o(t)=s(t)+n(t)+j(t) \quad (4)$$

式中 $s(t)$ 为经过信道传输后得到的有用信号, $n(t)$ 为信道噪声, $j(t)$ 为干扰信号。

设本地的伪随机序列为 $c_1(t)$,则解扩后信号为:

$$\begin{aligned} R_1(t) &= R_o(t)c_1(t) \\ &= s(t)c_1(t)+n(t)c_1(t)+j(t)c_1(t) \\ &= s_1(t)+n_1(t)+j_1(t) \end{aligned} \quad (5)$$

式中有用信号分量 $s_1(t)$ 为:

$$\begin{aligned} s_1(t) &= s(t)c_1(t) \\ &= a(t)c(t)c_1(t)\cos(\omega t) \end{aligned} \quad (6)$$

当收发两端的伪随机序列同步,即 $c(t)=c_1(t)$ 时, $c(t) \times c_1(t) = 1$ 。有用信号分量 $s_1(t)$ 为:

$$s_1(t)=a(t)\cos(\omega t) \quad (7)$$

噪声分量 $n(t)$ 、干扰分量 $j(t)$ 经解扩处理后被大大削弱。 $n(t)$ 分量一般为高斯带限白噪声,因而用 $c_1(t)$ 处理后,谱密度基本不变(略有降低),但由于相对带宽改变,因而噪声功率降低。 $j(t)$ 分量由于与 PN 码序列不相关,相乘过程相当于频谱扩展过程,即将干扰信号功率分散到一个很宽的频带上,故谱密度降低。

解扩后采用带通滤波器使得有用信号通过,所以解扩后总的干扰功率大大降低,提高了解调器输入端的信干比,从而提高了系统的抗干扰能力。

最后的解调部分与发送端调制部分相对应。本例采用 BPSK 的相干解调,即信号与发送端同频同相的正弦波相乘,然后通过低通滤波器,抽样判决后即可解调出原始消息信号。

2 System View 建模仿真

System View 使用功能模块(Token)描述程序,是基于 Windows 环境下运行的用于系统仿真分析的可视化软件工具。利用 System View,可以构造各种复杂的模拟、数字、数模混合系统和各种多速率系统,可用于各种线性或非线性控制系统的设计与仿真^[9]。

直接序列扩频系统的 System View 建模仿真如图 2 所示。

该模型可分为 3 个子系统:发射子系统,信道模拟部分和接收子系统。

(1) 发射子系统。数据信号源用信号源图符 11 产生的 NRZ 双极性波形来代替,为码元速率 100 b/s 的随机序列。信号源图符 2 产生的码元速率为 1kb/s 的 NRZ 双极性波

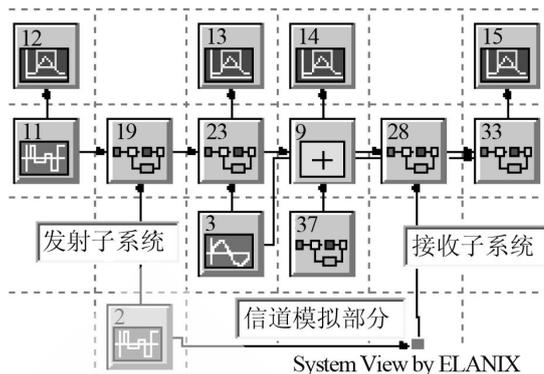


图 2 直接序列扩频系统的 System View 建模仿真

形,为扩频用的 PN 码。信息源码元速率为 100 b/s,PN 码的码元速率为 1kb/s,所以理论上可获得 10 倍的扩频增益。扩频后的信号进行 BPSK 调制(载波频率为 10kHz,由图符 3 产生),将信号发送出去即完成了发射子系统的建模。

(2) 信道模拟部分。为便于分析直接序列扩频系统的抗干扰性能,使用了干扰信号源。该信号源可以是高斯白噪声、宽带阻塞干扰、部分频带干扰、单频或多频连续波干扰及脉冲干扰等。可以根据实际情况选取干扰源的类型(本文任选其中几种干扰的合成信号)。

(3) 接收子系统。在接收端,相关器采用直接式相关方式解扩,实现信号源的解扩以及干扰源的频谱扩展。解调部分采用 BPSK 的相干解调且经过波形整形后即可恢复出原始信号。

仿真结果如图 3 所示。

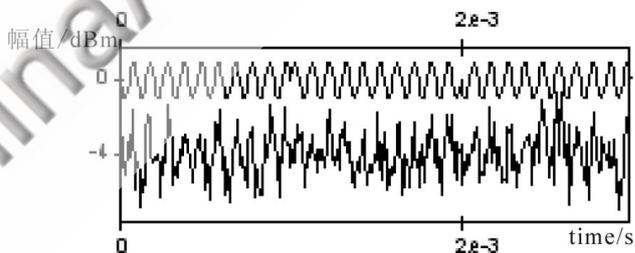


图 3 有用信号及有用信号与噪声叠加信号

图中第一路为扩频调制之后的有用信号,第二路为有用信号与噪声叠加的波形图,从图中可以看出有用信号已完全被噪声淹没。

图 4 中第一路为信号源输入信号波形,第二路为解扩后经过整形的输出信号波形。

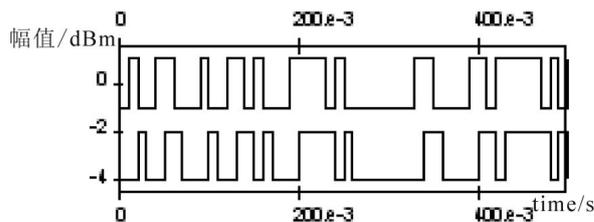


图 4 输入、输出信号波形图

从图 3、图 4 中可以看出:在信道有较强的干扰情况下,解扩后输出的信号与原信息信号依然相同,只是在时间

网络与通信 Network and Communication

上稍有延迟。

3 高斯白噪声干扰存在时系统性能分析

信号在信道中传输时,会遇到各种干扰。干扰可能是加性干扰,例如高斯白噪声、宽带阻塞干扰、部分频带干扰、单频或多频连续波干扰及脉冲干扰等。由于信道特性的不理想,还会出现乘性干扰,例如多径干扰等。本文分析高斯白噪声干扰时的系统性能。

设噪声的单边功率谱密度为 n_o , 扩频信号带宽为 B_c , 则相关器输入噪声功率为:

$$N_i = n_o B_c \quad (8)$$

相关器输出噪声功率为:

$$N_o = \frac{1}{2\pi} \int_{W_a} g(\omega) d\omega \quad (9)$$

式(9)中, W_a 为信息带宽。考虑到 $B_c \ll B_c$, 只考虑信息频率附近的噪声功率, $g(\omega)$ 则近似为 $K \times n_o$, K 为与调制方式有关的常数。例如, 对 PSK 调制, $K=0.903$; 对 MSK 调制, $K=0.995^{[7]}$ 。

可见除了仅仅在 K 值上产生细微的减小, 解扩前后噪声谱密度基本不变。所以解扩后噪声功率为:

$$N_o = K \times n_o \times B_a \quad (10)$$

而非扩频系统进入解调器的噪声功率为:

$$N = n_o \times B_a \quad (11)$$

由式(10)及式(11)可以看出, 扩频系统与非扩频系统进入解调器的噪声功率基本相同。

衡量扩频系统与非扩频系统性能好坏的标准是在信息传输速率相同的条件下, 扩频系统解扩后的中频信噪比与非扩频系统的中频信噪比之比, 即制度增益。

由于扩频系统解扩前后噪声谱密度基本不变, 所以对于扩频系统, 在信息传输速率相同的条件下, 中频信噪比与非扩频系统相同, 即制度增益 $G_s=1$ 。所以就白噪声而言, 把窄带系统改为宽带系统并不会带来好处, 即直接序列扩频系统不能抗白噪声。

图 5 为直接序列扩频系统(DSSS/BPSK)与非扩频系统(BPSK)的高斯白噪声干扰误码率曲线。从图 5 中可以看出信道中 AWGN 的功率谱密度相同(即信道特性相同)时, 2 种信息传输方式的误码率基本相同, 即 DSSS 系统不能抗 AWGN。

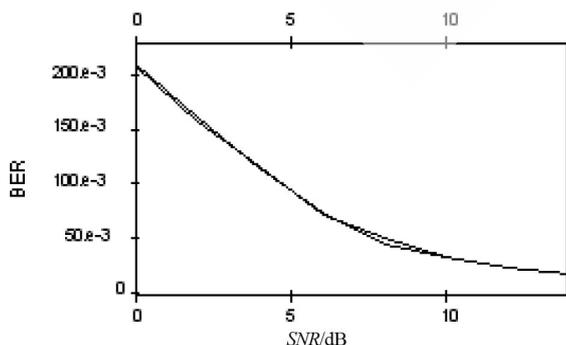


图 5 直接序列扩频系统与 BPSK 的高斯白噪声干扰误码率曲线

直接序列扩频系统虽然不能抗自然加性高斯白噪声, 但是相比非扩频系统仍然具有其优越性:

(1) 抗宽带阻塞干扰

当噪声是由于人为干扰引起, 即阻塞噪声干扰机发射高功率带限高斯白噪声时, 扩频迫使阻塞噪声干扰机覆盖非常宽的频率范围。因此对直接序列扩频系统, 达到指定误码率水平所需的总干扰功率随着其频谱的扩展需大幅度增加, 即直接序列系统与常规 BPSK 系统相比其抗宽带阻塞干扰的能力大大提高。

(2) 信号隐蔽性好。

图 6、图 7 分别为 BPSK 系统及直接序列系统的离群白噪声信道频谱图, 由图可以看出, BPSK 系统中有用信号具有明显的频谱峰值, 而扩频系统中有用信号的谱密度很低, 可以使其完全淹没在噪声之中。即直接序列扩频系统具有很强的隐蔽性和抗侦察、抗窃听的能力。

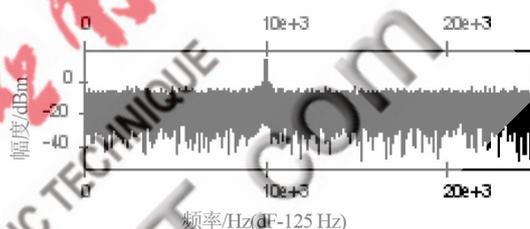


图 6 BPSK 系统的高斯白噪声信道信号频谱图

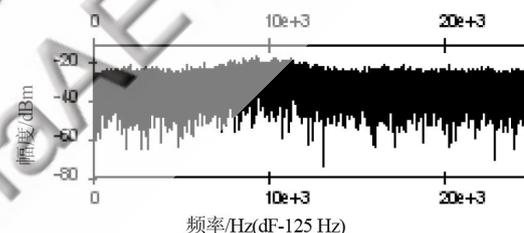


图 7 直接序列扩频系统的高斯白噪声信道信号频谱图

本文理论分析了直接序列扩频通信技术基本原理, 并使用 System View 仿真软件给出了直接序列扩频通信系统的仿真模型, 仿真结果分析表明直接序列扩频系统的抗干扰能力远远大于相应的常规二进制通信系统, 从而验证了理论分析的结果, 这对实际扩频系统具有重要实现意义。

参考文献

- [1] 张歆. 采用 FSK 调制的直接序列扩频水声通信技术 [J]. 西北工业大学学报, 2007, 25(2):178-180.
- [2] 田日才. 扩频通信[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [3] 韦惠民. 扩频通信技术及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- [4] 曾一凡. 扩频通信原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 查光明. 扩频通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.
- [6] 孙屹. SystemView 通信仿真开发手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [7] 沈允春. 扩谱技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.

(收稿日期:2009-07-19)