

文章编号: 1672-2892(2010)04-0411-04

噪声干扰对超宽带通信干扰效果分析

周扬¹, 王昌宝², 周荣跃¹, 何光涛³

(1.66191 部队, 河北 张家口 076250; 2.电子工程学院, 安徽 合肥 230037; 3.61915 部队, 安徽 合肥 230037)

摘要:从通信干扰角度, 基于频域分析方法, 针对跳时-脉冲位置调制-超宽带 (TH-PPM-UWB) 体制, 分析了不同噪声干扰信号对通信系统的干扰效果, 并运用 MATLAB 仿真软件, 在 AWGN 信道下, 对不同噪声干扰信号的干扰效果进行了蒙特卡洛实验仿真, 并对实验结果进行了对比分析, 给出了干扰效果 (误比特率) 与噪声干扰信号功率、带宽和中心频率的关系。为实现对超宽带通信系统干扰的实装研制打下理论基础, 具有一定的军事价值。

关键词:超宽带; 噪声干扰; 误比特率

中图分类号: TN919.4

文献标识码: A

Noise jamming on UWB system and its effect analysis

ZHOU Yang¹, WANG Chang-bao², ZHOU Rong-yue¹, HE Guang-tao³

(1.66191 Forces, Zhangjiakou Hebei 076250, China; 2.Electronic Engineering Institute, Hefei Anhui 230037, China; 3.61915 Forces, Hefei Anhui 230037, China)

Abstract: In the perspective of communication countermeasure, by the way of frequency analysis, this study analyzed the effect of noise jamming signal on Time Hopping-Pulse Position Modulation-Ultra Wide Band (TH-PPM-UWB) communication system. The jamming results of noise jamming signal to the Ultra Wide Band (UWB) communication system were simulated in the Monte Carlo experiment by MATLAB program, and the relationship among the signal power, bandwidth, center frequency and Bit Error Ratio (BER) were given. It has laid the theoretic foundation for manufacturing practical equipment.

Key words: Ultra Wide Band (UWB); noise jamming; Bit Error Ratio (BER)

超宽带 (UWB) 在全世界范围内得到了广泛的研究^[1-2], 在民用和军用通信领域有着广阔的应用前景, 特别是对军队的通信、指挥和武器控制系统有着深刻的影响。因此研究如何对超宽带通信实施更有效的干扰将成为电子战中通信对抗领域面临的重要课题^[3]。本文基于频域分析方法, 针对 TH-PPM-UWB 通信体制, 理论分析了噪声干扰信号对系统产生的误比特率, 并运用 MATLAB 仿真软件, 在 AWGN 信道下, 对噪声干扰信号的干扰效果进行了蒙特卡洛实验仿真并对实验结果进行了对比分析, 最后给出了部分有益的结论。

1 系统模型

超宽带通信的典型调制方式是脉冲位置调制 (Pulse Position Modulation, PPM), 通过跳时码 (Time Hopping, TH) 获得多址容量, 其发送波形表达式如下^[4]:

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} g(t - jT_f - c_jT_c - iT_b - b_i\varepsilon) \quad (1)$$

式中: $g(t)$ 是发送的单周期脉冲, 持续时间为 T_m ; T_f 为脉冲重复周期, $T_m \ll T_f$; b_i 是 0,1 信息序列; ε 表示由信息序列控制的发射脉冲时延, 每 N_s 个单周期脉冲波形传送一个二进制符号; c_jT_c 是由伪随机码控制的发射脉冲时延, 其中 $0 \leq c_j \leq N_{\max}$, $N_{\max}T_c + \varepsilon \leq T_f$ 。图 1 为 TH-PPM-UWB 通信信号的时域波形, 其中脉冲重复周期为 3 ns, 每个比特映射的脉冲数 N_s 为 3, 码片时间 T_c 为 1 ns, 字符周期为 9 ns, 由图 1 的仿真结果可以看出, 发送的 5 个比特信息序列为 [0 0 1 1 0], 产生的伪随机 TH 码序列为 [0 1 2]。

在接收端,采用接收体制为相关接收,相关解调的信号表达式^[5]为:

$$V_{\text{bit}}(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} [g(t - jT_f - c_j T_c - iT_b)] - \sum_{j=0}^{N_s-1} [g(t - jT_f - c_j T_c - iT_b - \varepsilon)] \quad (2)$$

2 噪声干扰理论分析

噪声干扰是将干扰载波信号用随机噪声波形进行调制的,其意图是通过将噪声注入接收机来扰乱通信信号的波形^[6]。噪声干扰信号带宽可以是整个频谱的宽度,也可以是部分频谱的宽度,前者是宽带噪声(Broad Band Noise, BBN)干扰信号,后者是部分频带噪声(Partial-Band Noise, PBN)干扰信号。

宽带噪声干扰信号是比较容易获得的一种干扰信号,且在先验知识不足,未获得通信信号的工作频率和带宽的情况下,仍具有干扰效果。它的缺点是干扰敌方同时,也有可能干扰己方的通信,而且由于有限的干扰功率频谱被展得很宽,干扰功率的利用率很低。理论上部分频带噪声干扰信号的能量可以全部落入信号的频带内,从而对通信信号形成较强的干扰。

它的优势是在一个窄带上集中输出干扰功率,与同样输出的宽带噪声干扰信号相比,它能在更远的距离上有效地干扰通信信号。图2是噪声干扰信号的仿真模型。

假设接收机已同步,接收机接收的信号为:

$$s_{\text{rec}}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} g(t - jT_f - c_j T_c - b_j \varepsilon) + n_j(t) \quad (3)$$

式中: $n_j(t)$ 为部分频带噪声干扰信号,干扰带宽为 $B_j = \eta B_s$, 其中 B_s 为整个通信频带, $\eta \leq 1$, 噪声干扰信号的中心频率为 f_j , 则噪声干扰信号的输入功率为:

$$P_{\text{in}} = \frac{n'_j}{2} B_j \quad (4)$$

噪声干扰信号的双边功率谱为:

$$G_j(f) = \begin{cases} n'_j/2 = n_j/(2\eta) & \text{if } |f \pm f_j| < B_j/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $n'_j/2$ 是部分频带噪声干扰信号在干扰频带 B_j 内的双边功率谱密度; $n_j/2$ 是宽带噪声干扰信号在干扰频带 B_s 内的双边功率谱密度。有用信号解调输出功率为:

$$P_S = \left[\int_{t \in T_i} g_{\text{bit}}(t) V_{\text{bit}}(t) dt \right]^2 = N_s^2 \left[\int g(t) V(t) dt \right]^2 = [N_s E_p (1 - \rho)]^2 \quad (6)$$

式中: $g_{\text{bit}}(t)$ 为 i 个比特信息符号的波形; T_i 为第 i 个比特信息符号的持续时间; $E_p = \int g^2(t) dt$ 为归一化单周期脉冲的能量; $\rho = \frac{\int g(t)g(t-\varepsilon)dt}{\int g^2(t)dt}$ 。

假设解调模板信号中由伪随机码控制的各周期中脉冲起点位置为 p_1, p_2, \dots, p_{N_s} , 其中 $p_i = (i-1)T_f + c_i T_c$, $i=1, 2, \dots$, 则相关器的传输函数的模为^[7]:

$$|H(f)| = \left| 2 \sin(\pi f \varepsilon) G(f) (e^{-j2\pi f p_1} + e^{-j2\pi f p_2} + \dots + e^{-j2\pi f p_{N_s}}) \right| \quad (7)$$

式中 $G(f)$ 为 $g(t)$ 的幅度谱。则部分频带噪声干扰信号通过相关器的输出的双边功率谱为:

$$G_R(f) = G_j(f) \cdot |H(f)|^2 = \begin{cases} [n_j/(2\eta)] \cdot |H(f)|^2, & |f \pm f_j| < B_j/2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

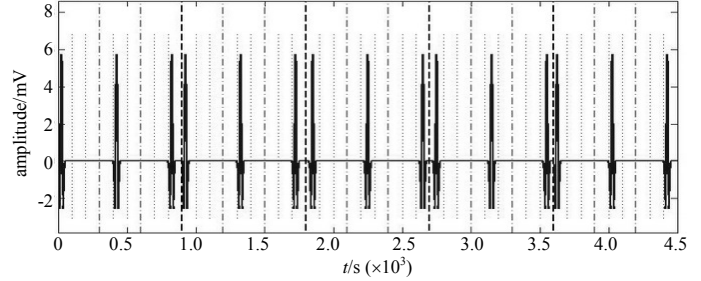


Fig.1 Time domain waveform of TH-PPM-UWB communication signal
图1 TH-PPM-UWB 通信信号的时域波形

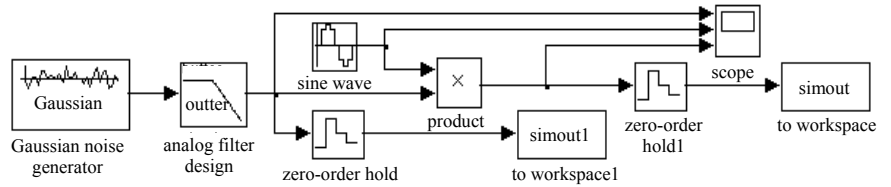


Fig.2 Model of noise jamming signal
图2 噪声干扰信号的仿真模型

解调输出部分频带噪声干扰信号的功率为:

$$P_j = \int G_R(f)df = \frac{n_j}{2\eta} \int_{f_j - \frac{B_j}{2}}^{f_j + \frac{B_j}{2}} |H(f)|^2 df = \frac{n_j}{2\eta} \int_{f_j - \frac{B_j}{2}}^{f_j + \frac{B_j}{2}} |G(f)|^2 |2 \sin(\pi f \varepsilon) (e^{-j2\pi f P_1} + e^{-j2\pi f P_2} + \dots + e^{-j2\pi f P_{N_s}})|^2 df \quad (9)$$

当 $B_j \rightarrow 0$ 时, 部分频带噪声干扰信号可近似为单音干扰信号。

解调输出的单音干扰信号的功率为:

$$P_j = 4n_j \sin^2(\pi f_j \varepsilon) |G(f_j)|^2 |e^{-j2\pi f_j P_1} + e^{-j2\pi f_j P_2} + \dots + e^{-j2\pi f_j P_{N_s}}|^2 \quad (10)$$

当 $B_j = B_s$ 时, 此时的部分频带噪声干扰信号就变成了宽带噪声干扰信号。

解调输出的宽带噪声干扰信号的功率为:

$$P_j = \int G_R(f)df = \frac{n_j}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} |H(f)|^2 df = \frac{n_j}{2} \int_{t \in T} V_{\text{bit}}^2(t) dt = n_j N_s E_p (1 - \rho) \quad (11)$$

相关器解调输出的信干比为 $SIR = P_s / P_j$ 。

第 i 个比特信号解调输出的信号功率 P_s 如式(6), 则系统误比特率^[8]为:

$$P_{\text{error}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{SIR}}^{\infty} \exp(-x^2/2) dx \quad (12)$$

理论分析表明: 系统误比特率与接收机输入端信号信干比、干扰信号带宽 B_j 及干扰信号中心频率 f_j 这 3 个要素有关, 并且干扰效果随相关器输出端的信干比减小, 噪声干扰的干扰效果越好。

3 干扰性能仿真与分析

用蒙特卡洛实验仿真的方法讨论干扰效果与接收机输入端的信干比、干扰信号的带宽和干扰信号中心频率的关系。实验仿真的条件: 在 AWGN 信道下, 信噪比取 8 dB, 发射脉冲为实际中最普遍采用的高斯脉冲二阶导函数, 平均发射功率为 -30 dBm, 平均脉冲重复周期(帧周期) T_f 为 3 ns, 每个比特映射的脉冲数 N_s 为 3 个, 码片时间 T_c 为 1 ns, 跳时码的最大值上界 N_{max} 为 3, 周期 N_p 为 3, 冲激响应持续时间(脉宽) T_m 为 0.5 ns, 脉冲波形形成因子为 0.25, PPM 时移 ε 为 0.5 ns, 采样频率为 50 GHz, 取 20 000 bit 进行实验仿真。

实验 1 仿真了在不同干扰带宽条件下, 信干比为 -15 dB 时, 部分频带噪声干扰信号的中心频率与系统误比特率的关系, 实验结果如图 3 所示。

实验 1 仿真结果分析与结论如下:

1) 在不同干扰带宽 B_j 条件下, 部分频带噪声干扰信号的中心频率 f_j 对干扰效果影响都很大, 当中心频率 f_j 为 3 GHz 时, 干扰效果最好。说明部分频带噪声干扰信号也存在一个最佳干扰频率, 并且同样满足文献[9]单频信号最佳干扰频率的结论。

2) 从实验结果还可以看到, 当部分频带噪声干扰信号的中心频率 f_j 取到最佳干扰频率时, 干扰效果随着干扰带宽 B_j 的减小越来越好。而当中心频率 f_j 取 4 GHz 时, 干扰效果正好相反, 随着干扰带宽 B_j 的变小越来越差。因此在实战中, 应根据所掌握的目标信号参数合理地选择中心频率 f_j 及干扰带宽 B_j , 已达到更好的干扰效果。

实验 2 仿真对比了在不同接收机输入端信干比条件下, 频率为 3 GHz 的单音干扰信号、中心频率 f_j 为 3 GHz 的部分频带噪声干扰信号以及宽带噪声干扰信号的干扰效果, 实验结果如图 4 所示, 仿真结果分析与结论如下:

1) 当中心频率 f_j 取到最佳干扰频率 ($f_j = 3 \text{ GHz}$) 时, 干扰带宽 B_j 越小部分频带噪声干扰信号的干扰效果越好, 当 $B_j \rightarrow 0$ 时, 部分频带噪声干扰信号的频域特征趋近于单音干扰信号, 部分频带噪声干扰信号的干扰效果同样越来越趋近单音干扰信号的干扰效果。

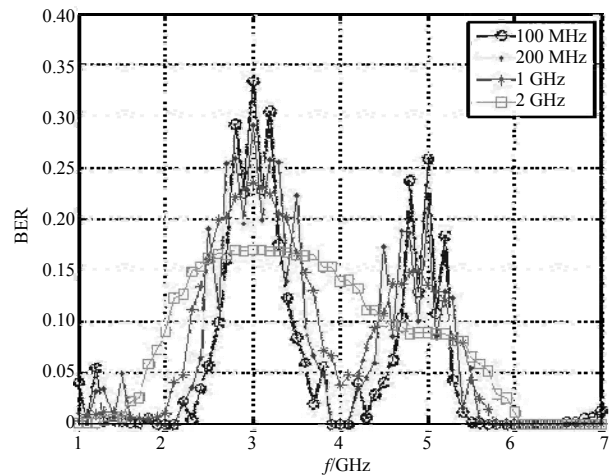


Fig.3 Connection between middle frequency and BER
图 3 不同中心频率干扰信号的干扰效果

2) 当中心频率 f_c 取到最佳干扰频率时, 干扰带宽 B_j 越大, 部分频带噪声干扰信号的干扰效果越差。且当 $B_j \rightarrow B_s$ 时, 部分频带噪声干扰信号的频域特征趋近于宽带噪声干扰信号, 干扰效果同样也越来越接近宽带噪声干扰信号的干扰效果。

3) 通信接收机输入端的信干比对噪声干扰信号的干扰效果影响很大, 在通信信号功率不变的情况下(本实验仿真通信信号平均发射功率为 -30 dBm), 干扰效果随干扰功率的增大越来越好。

综上所述, 虽然噪声干扰信号对系统的干扰效果随干扰信号功率的增大越来越好, 但在实战中, 并不是干扰功率越大越好, 因为随着功率的增大, 完成通信干扰任务所冒的风险就越大, 因此首先应综合运用多种侦察手段以掌握必要的目标信息, 应根据最佳干扰频率选取原则选择最佳噪声干扰信号中心频率, 使有限的干扰功率得到充分的利用, 以获得更可靠的干扰效果。

4 结论

超宽带通信应用于军事通信有很多优势, 因此, 寻求有效的超宽带通信干扰方法具有现实意义。本文从通信干扰角度出发, 针对 TH-PPM-UWB 通信体制, 理论分析了噪声干扰的干扰效果, 运用 MATLAB 仿真软件, 实验仿真了噪声干扰的干扰效果, 并进行了分析, 给出了有益的结论, 为实现对超宽带(UWB)通信干扰的实装研制打下理论基础, 具有一定的军事价值。

参考文献:

- [1] Scholtz R A. Multiple access with time-hopping impulse modulation[C]// Proceedings of Milcom'93, Bedford:[s.n.], 1993: 447-450.
- [2] Roberto Aiello G, Rogerson Gerald D. Ultra-wideband wireless system[J]. IEEE microwave magazine, 2003, 4(2):36-47.
- [3] Richard A Poisel. 现代通信干扰原理与技术[M]. 陈鼎鼎, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005:250-252.
- [4] Win M Z, Scholtz R A. Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications[J]. IEEE Trans. Commun, 2000, 58(4):679-689.
- [5] Iacobucci M S, Benedetto M G, De Nardis L. Radio Frequency Interference Issues in Impulse Radio Multiple Access Communication Systems[C]// IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Maryland, USA:[s.n.], 2002:293-296.
- [6] 陶俊. 对 DSSS 系统的干扰及其效果分析[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006:12-14.
- [7] 葛利嘉, 曾凡鑫, 刘郁林, 等. 超宽带无线通信[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005:152-157.
- [8] 岳光荣. 超宽带无线电抗干扰与共存性研究[D]. 成都: 成都电子科技大学, 2006:59-62.
- [9] 徐建敏, 华军. 单频信号对 TH-PPM-UWB 通信最佳干扰分析[J]. 通信对抗, 2008(4):26-29.

作者简介:



周扬(1983-), 男, 辽宁省丹东市人, 在读硕士研究生, 研究方向为超宽带通信干扰技术. email: big-china@163.com.

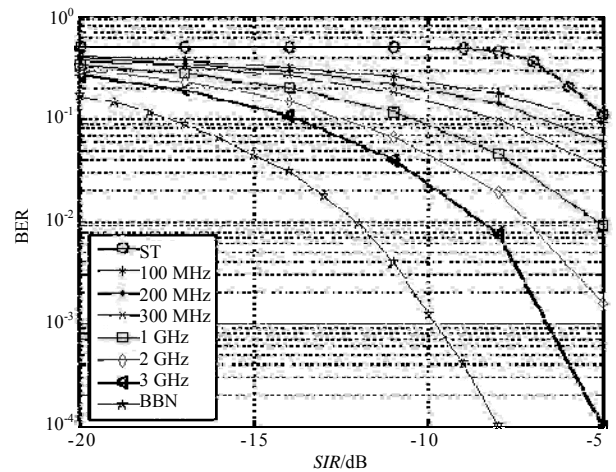


Fig.4 Relationship between bandwidth and BER
图4 不同带宽干扰信号的干扰效果

王昌宝(1965-), 男, 安徽省巢湖市人, 硕士, 副教授, 研究方向为通信对抗新技术等。

周荣跃(1975-), 男, 江苏省高邮市人, 大专, 少校军衔, 研究方向为电子对抗指挥与电子对抗装备保障。

何光涛(1964-), 男, 四川省眉山市人, 本科, 高级工程师, 长期从事电子对抗装备训练保障教学与研究工作。