

TH-UWB 系统抗干扰性能研究

卜祥强,高宏峰

(河南科技大学 电子信息工程学院,河南 洛阳 471003)

摘要: 从频域角度探讨 TH-UWB 系统对窄带干扰的抑制能力,采用信号功率谱分析方法,研究 UWB 系统的调制技术和脉冲成形技术,提出线性组合高斯单周脉冲设计陷波频谱。理论分析及计算机仿真结果表明,合理选择超宽带信号调制方式和脉冲,可在一定程度上提高超宽带系统抗干扰能力。应用提出的线性组合高斯单周脉冲作为 UWB 发射信号,可以有效减小 UWB 信号对外界的干扰。

关键词: 超宽带;窄带;干扰;功率谱密度;抑制

中图分类号: TN91

文献标识码: A

Performance research of interference suppression in TH-UWB system

BU Xiang Qiang, GAO Hong Feng

(Institute of Electronic and Information Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: The interference of narrowband signal on TH-UWB system is analyzed from the angle of frequency domain, techniques including modulation, pulse and shaping are studied by means of powers pectral density (PSD). It concludes that the interference can be reduced on some extent by choosing different modulation technology and pulse shape of UWB properly. Mitigation by UWB signals are put forward first such as linear combination of Gaussian monopulse waveform.

Key words: UWB; narrowband; interference; PSD; mitigation

为保证现有无线系统的通信质量,更好地广泛应用超宽带(UWB)技术,必须首要解决超宽带信号对窄带系统的干扰问题。超宽带通信 UWB(Ultra Wide Band)是指发射信号的分数带宽(带宽与中心频率之比)大于 0.2~0.25 的通信系统。UWB 技术不需要使用载波,它通过发送 ns 级脉冲来传输数据,其射频传输带宽通常超过 1 GHz,最大数据传输速率可以达到几十 Mb/s~几百 Mb/s。UWB 系统将发射信号功率分布在一个非常宽的频带上,具有信号功率谱密度非常低、传输速率高的特点,成为未来短距离高速室内通信的一种解决方案。自从美国发布 UWB 的频谱掩码^[1],使得 UWB 能够合法地与现有无线通信系统在频率上重叠后,UWB 与现有窄带无线通信系统之间的影响便成为其发展的一个重要研究方向。参考文献[2]研究了 UWB 在窄带系统干扰下的性能,参考文献[3-4]研究了 UWB 对窄带干扰的抑制方法。本文以传统窄带信号为例,讨论 TH-UWB 系统抗窄带干扰的性能。

1 TH-UWB 信号模型

1.1 信号模型

设发送信号的数学表达式为:

$$s^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} B_{\lfloor j/N_s \rfloor} w(t - jT_f - \delta d_{\lfloor j/N_s \rfloor}) \quad (1)$$

式中, k 代表多用户系统中第 k 个用户; T_f 为脉冲重复周期; j 是发射脉冲的个数; $B_{\lfloor j/N_s \rfloor}$ 、 $\delta d_{\lfloor j/N_s \rfloor}$ 代表所传送的信息; $\lfloor j/N_s \rfloor$ 对每 j/N_s 向下取整,表示每 N_s 个脉冲代表 1 个信息符号; $w(t)$ 为发送的单脉冲波形;频谱为 $W(f)$ 。假设发送的二进制信息 0, 1 等概率。

经过多径信道后,到达接收机的衰落信号 $y(t)$ 为发射信号 $x(t)$ 与信道冲激响应 $h(t)$ 的卷积:

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (2)$$

式中,符号 * 表示卷积运算。在窄带干扰情况下,接收机的输入信号可表示为:

$$r(t) = y(t) + I(t) + n(t) \quad (3)$$

网络与通信 Network and Communication

式中, $I(t)$ 为窄带干扰(NBI), $n(t)$ 表示均值为零、方差为 σ^2 的加性高斯白噪声(AWGN)。

1.2 信道模型

IEEE 模型的信道冲激响应为:

$$h(t) = X \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (4)$$

式中, X 是对数正态随机变量, 代表信道的幅度增益; N 是观测到的簇的数目; $K(n)$ 是第 n 簇内接收到的多径数目; α_{nk} 是第 n 簇中第 k 条路径的系数; T_n 是第 n 簇到达时间; τ_{nk} 是第 n 簇中第 k 条路径的时延。信道系数 $\alpha_{nk} = \rho_{nk} \beta_{nk}$; ρ_{nk} 为等概率取和的离散随机变量; β_{nk} 是第 n 簇中第 k 条路径的服从对数正态分布的信道系数。

2 UWB 调制方式对通用窄带系统干扰性能分析^[5]

由于 UWB 信号的功率谱密度(PSD)是衡量 UWB 信号是否满足 FCC 规定、能否与其他无线通信系统共存的主要依据, 而它又受到 UWB 的调制参数和脉冲的影响, 因此下面就通过改变某些参数, 借助 PSD 来分析 TH-UWB 的抗干扰性能。

2.1 脉冲位置调制 PPM

PPM 调制是利用脉冲出现位置超前或落后于标准时刻 1 个特定的时间来表示 1 个特定的信息。当调制数据为 1 时, 脉冲发送时间比调制数据为 0 时, 时延 δ s。因此, 参数 $B_{[j/N, j]} = 0, d_{[j/N, j]} = 0$ 或 1, 计算得到 PPM 信号的功率谱表达式:

$$S_{PPM}(f) = \frac{1}{2T_f} |W(f)|^2 [1 - \cos(2\pi f \delta)] + \frac{1}{2T_f^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[W\left(\frac{k}{T_f}\right) \right]^2 (1 + \cos(2\pi k \delta / T_f)) \delta\left(f - \frac{k}{T_f}\right) \quad (5)$$

2.2 开关键控 OOK

采用 OOK 方式调制信号时, 信息直接触发超宽带脉冲信号发生器, 数字信号 1 驱动信号发生器在确定的时间帧产生 1 个超宽带脉冲, 数字信号 0 则不对信号发生器产生驱动, 不产生任何信号。因此, 参数 $B_{[j/N, j]} = a$ 或 0, $\sigma = 0$, 计算得到 OOK 信号的功率谱表达式:

$$S_{OOK}(f) = \frac{a^2}{4T} |W(f)|^2 + \frac{a^2}{4T_f^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[W\left(\frac{k}{T_f}\right) \right]^2 \delta\left(f - \frac{k}{T_f}\right) \quad (6)$$

2.3 双极性调制 BPSK

采用这种方式调制信号时, 信息直接触发超宽带脉冲信号发生器以产生超宽带脉冲, 数字信号 1 驱动信号发生器产生 1 个正的超宽带脉冲, 数字信号 0 则驱动信号发生器产生 1 个与 1 相位相反的超宽带脉冲, 即数字 1 与数字 0 产生的脉冲是 2 个形状完全相同、幅度完全相反的脉冲对。双极性调制可以看成是一种特殊的脉冲幅度调制 PAM。如果信息序列是独立同分布的随机变量, 则计算得到 PAM 信号的功率谱表达式:

$$S_{BPSK}(f) = \frac{\sigma^2}{T_f} |W(f)|^2 + \frac{\mu^2}{T_f^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[W\left(\frac{k}{T_f}\right) \right]^2 \delta\left(f - \frac{k}{T_f}\right) \quad (7)$$

因此, 如果采用 BPSK 参数 $B_{[j/N, j]} = 1$ 或者 $-1, \sigma = 0$, 假设发送的二进制信息 0, 1 等概率分布, 则计算得到 BPSK 信号的功率谱表达式:

$$S_{BPSK}(f) = \frac{1}{T_f} |W(f)|^2 \quad (8)$$

从上面的分析可知, PPM、OOK、PPM 的功率谱形状均为连续谱叠加间隔为 $1/T_f$ 的离散线谱, 而采用 BPSK 调制方式, 离散线谱可以被消除掉。可见, 几种调制方式相比之下, BPSK 的频谱特性最好。

选定脉冲重复周期 $T_s = 50$ ns, 脉冲波形形成参数 $\tau = 0.5$ ns, IEEE UWB 信道模型的参数采用 A 方案进行仿真说明。图 1 表示不同调制方式下的抗干扰比较。

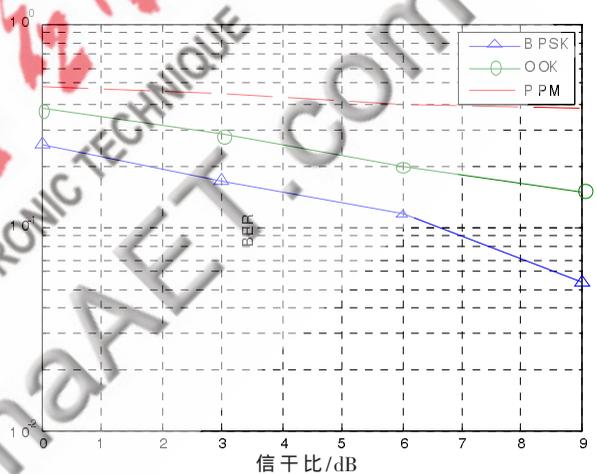


图 1 不同调制方式下的抗干扰比较

从误码率性能曲线图上可以看出, 当受到窄带信号干扰时, TH-UWB 系统采用 BPSK 调制方式时窄带系统的误比特率最小, OOK 次之, PPM 最大。并且随着信干比的增加, 这种特性表现得尤为明显。从功率谱角度看, 这是因为 BPSK 方式调制下的 UWB 信号的频谱特性最好, 当信息序列是等概率分布时, 信号的功率谱中不存在离散线谱, 它对外界的影响也就最小, 而相比之下, PPM、OOK 调制方式下的信号频谱都存在离散谱。

3 高斯脉冲的线性组合

采用信号的频谱控制技术, 抑制或减小 UWB 信号在窄带信号工作频带上的某些频谱分量和能量, 可以有效减小 UWB 信号与窄带信号之间的相互干扰。

UWB 脉冲信号是基于极窄脉冲的超宽带信号, 通常采用的是高斯脉冲的一阶导数, 即高斯单脉冲作为发射脉冲波形, 其时域表达式为:

$$w(t) = \sqrt{e} \left(\frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \quad (9)$$

网络与通信 Network and Communication

利用傅里叶变换,得到信号频谱为:

$$w(f) = -j \frac{1}{f_c} \sqrt{\frac{e}{2\pi}} \frac{f}{f_c} e^{-\frac{1}{2}(\frac{f}{f_c})^2} \quad (10)$$

式中,时延常数 $\tau = 1/(2\pi f_c)$, 中心频率 $f_c = 1/T_w$, T_w 为脉冲宽度参数。图 2 表示高斯单周脉冲的时域波形和归一化频谱。

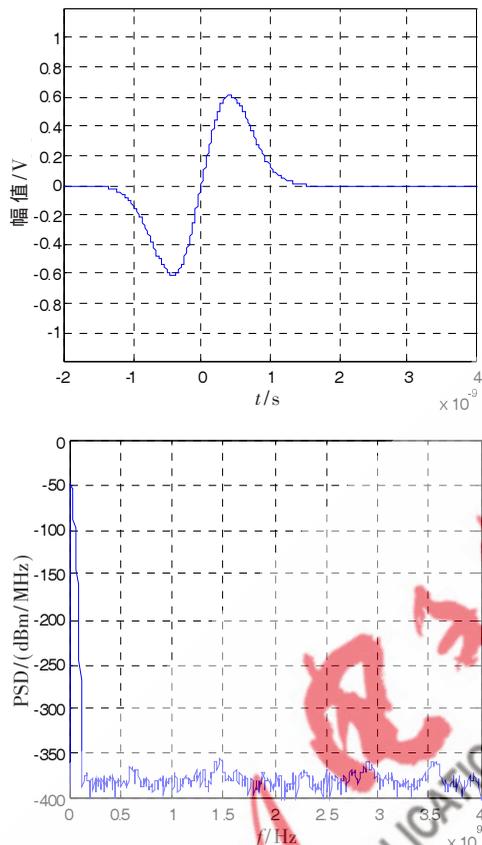


图 2 高斯单周脉冲的时域波形和归一化频谱

以往研究都是将单个高斯脉冲作为基本发射波形,此时在信号频谱上不会产生零频点。如果将这些单个基本脉冲波形进行线性组合,得到的新波形作为基本发射信号,就有可能在信号频谱上产生零频点,通过合理设计,使尽可能多的零频点落在窄带系统的工作频带内,从而可以减小 UWB 信号进入窄带系统工作带宽内的能量,进而能够减弱 UWB 信号对窄带系统的干扰。

在此将 1 对极性相反而且时间间隔为 $T_m (T_m \geq T_w)$ 的高斯单周脉冲组合作为基本的发射信号波形,时域上可以表示为:

$$w(t) = \sqrt{e} \left(\frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} - \sqrt{e} \left(\frac{t-T_m}{\tau}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-T_m}{\tau}\right)^2} \quad (11)$$

其功率谱密度:

$$|P(w)|^2 = 4\pi e (w\tau)^2 e^{-w\tau^2} [1 - \cos(wT_m)] \quad (12)$$

可见,当 $wT_m = 2k\pi (k=1, 2, \dots)$ 时, $|P(w)|^2 = 0$ 。通过对信号功率谱密度的分析,发现信号频谱上可以产生

零频点。图 3 表示高斯脉冲组合的时域波形和归一化频谱。



图 3 高斯脉冲组合的时域波形和归一化频谱

与图 2 相比较,可以发现组合脉冲的频谱出现陷波,而且通过设计合理的脉冲位置间距 T_m ,使大量的零频点尽可能落在周围窄带系统的工作频带内,UWB 信号对周围窄带系统的带内干扰也就越小。

分别以高斯单周脉冲和高斯线性组合脉冲作为 UWB 信号,仿真在窄带干扰情况下的抗干扰性能。选定脉冲重复周期 $T_r = 50$ ns,脉冲波形形成参数 $\tau = 0.5$ ns, IEEE UWB 信道模型的参数采用情形 A 方案。图 4 表示

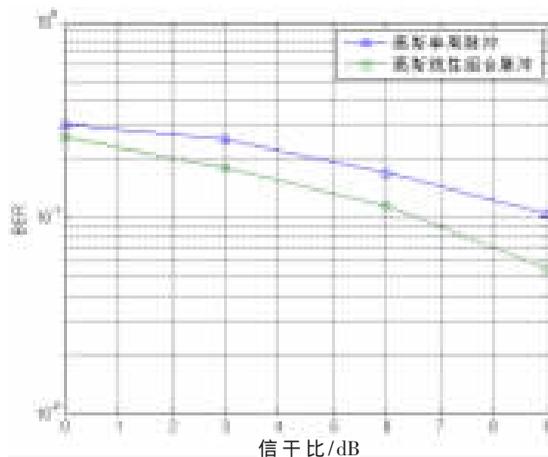


图 4 不同脉冲抗干扰性能比较

不同脉冲抗干扰性能比较。

从图4可以看出,用高斯线性组合脉冲作为UWB信号时,窄带系统的误比特率要比采用高斯单周脉冲小,而且随着信干比增大,效果会更明显,与理论分析相符合。

本文以TH-UWB系统模型为例,从功率谱角度分析了其抗窄带干扰能力的不同,由于TH-BPSK离散谱可以消除掉,功率谱平坦,因此是比较理想的调制方式。最后分析了高斯单周脉冲波形,并研究了一种新的高斯线性组合脉冲,比较了两者的功率谱密度。这种极性相反的高斯单周脉冲线性组合的新波形作为基本发射信号,可以在信号频谱上产生零频点,通过改变脉冲间距,可以使大量的零频点落在窄带系统的工作频带内,使UWB对它的干扰很小,并通过仿真进行了验证。

参考文献

[1] YUE G R, GE L J, LI S Q. Ultra wideband impulse radio signal interference to code division multiple access system [A]. 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio. Communications. Proceedings[C].

Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003:2437-2441.

- [2] TANG J, PARHI K K. On the power spectrum density and parameter choice of multi-carrier UWB communications[A]. Conference Record of the Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers[C]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Piscataway, United States, 2003:1230-1234.
- [3] JIANG Z W, WONG T T. Narrowband interference suppression in time-hopping impulse radio ultra-wideband communications[J]. IEEE Transactions On Communications, 2006, 54(6).
- [4] BERGEL I, FISHLER E, MESSER H. Narrowband interference mitigation in impulse radio [J]. IEEE Transactions On Communications, 2005, 53(8).
- [5] CABRIELLA M, BENEDETTO D, GIANCOLA G. 超宽带无线电基础[M]. 葛利嘉, 朱林等译. 北京: 电子工业出版社, 2006.

(收稿日期: 2009-07-07)