

DS-UWB 接收机双陷波器抑制窄带干扰研究^①张 兰^② 王 兵* 张志芳*

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)

(* 北京卫星信息工程研究所 北京 100086)

摘 要 针对直接扩频序列超宽带(DS-UWB)通信系统中常见的窄带干扰问题,提出了一种采用陷波技术的窄带干扰抑制新方法。理论分析表明,传统的只使用接收陷波器的窄带干扰抑制方法在滤出窄带干扰信号的同时,也导致了有用信号和模板信号相关函数峰值的损失,劣化了系统误码性能,而该方法同时对接收信号和模板信号进行相同的陷波处理可补偿这种损失,提高系统性能。对 DS-UWB 接收机的仿真结果表明,当信干比(SIR)为 -20dB 时,采用该方法后误码率(BER)曲线与没有干扰时的曲线基本重合;当 $E_b/n_0 = 8\text{dB}$ 时,对应 $\text{BER} = 1\text{E-}3$,该方法较没有陷波器时抗窄带干扰能力提高了 26dB;较只有接收陷波器时提高了 17dB。以上结果说明该方法是 DS-UWB 接收机窄带干扰抑制的有效方法。

关键词 超宽带(UWB), 陷波器, 窄带干扰(NBI), 干扰抑制

0 引言

超宽带(ultra wideband, UWB)通信系统具有被截获概率小、抗多径衰落能力强、适合于高速移动环境下使用等优点,在移动通信、无线传感网络^[1,2]等领域具有广泛的应用前景。在实际使用中,由于 UWB 通信系统具有宽的射频带宽,容易受到各种现存窄带通信系统的干扰。尽管在大多数情况下窄带干扰(narrow-band interference, NBI)只占 UWB 系统整个通信频带的小部分,系统具有强的抗窄带干扰能力,但当接收到的干扰信号功率远大于有用信号功率时,系统性能仍然会下降,主要表现为接收信号的误码特性恶化^[3,4]。因此研究 UWB 通信系统的窄带干扰抑制技术具有重要的意义。目前常见的 UWB 窄带干扰抑制技术有陷波技术^[5,6-8]、Rake 接收技术^[5,9]、脉冲波形设计技术^[10]以及其它频域处理技术等^[11]。其中陷波技术有着系统稳定可靠的优势,得到了广泛的关注。陷波器的实现手段多种多样,例如文献[5]推导了 UWB 接收机存在 NBI 时系统的误码性能计算公式,并仿真了使用基带横向陷波器时系统性能的改善;文献[6]研究了多阻带的陷波器设计;文献[7]提出直接将陷波器与低噪声放

大器进行一体化设计,并实现了针对无线局域网频段抑制达 30dB 的 UWB 低噪声放大器。以上研究都是基于对接收信号采用带阻滤波器滤出窄带干扰的方法。但是,陷波器在滤出干扰信号的同时也带来了有用信号和接收模板相关函数最大值损失,这会引起接收性能的下降。本文构建了陷波器抑制窄带干扰的直接扩频序列超宽带(direct sequence spread spectrum ultra wideband, DS-UWB)通信系统模型,分析了该模型中陷波器对接收性能的影响,提出了对接收模板进行同样陷波处理来改善系统性能的方法,并仿真证明了这种方法的有效性。

1 DS-UWB 抗窄带干扰模型

陷波器抑制窄带干扰的 DS-UWB 通信系统模型如图 1 所示。经过加性高斯白噪声信道后,含有 NBI 的接收信号可以表述如下^[12]:

$$r(t) = \alpha s_{\text{DS}}(t - \tau) + i(t) + n(t) \quad (1)$$

其中: $s_{\text{DS}}(t)$ 表示直接序列扩频的脉冲超宽带发射信号; $i(t)$ 表示窄带干扰信号; $n(t)$ 是谱密度为 N_0 的加性白噪声; α, τ 分别表示信道增益和延时。不失一般性,在本文中我们假设 $\tau = 0$ 。判决前电平

① 863 计划(2006AA11Z232)资助项目。

② 女,1968 年生,博士,副教授;研究方向:无线通信;联系人, E-mail: zhanglan2003@vip.sina.com (收稿日期:2008-09-19)

u 由 3 个部分组成^[12],其表达式如下:

$$u = S_{DS} + I + n \quad (2)$$

其中 n 是均值为 0、方差为 $\sigma^2 = \frac{N_0 N_c}{2}$ 的白噪声, N_c 是每比特的脉冲数; I 为干扰信号产生的干扰分量; S_{DS} 为有用信号分量:

$$S_{DS} = \pm \alpha \sqrt{E_b N_c} R(0) \quad (3)$$

式(3)中 E_b 为每个信息比特的脉冲能量, $R(0)$ 为接收有用信号和接收模板同步时相关函数最大值。下面我们对不同陷波条件下系统的性能进行定性分析。

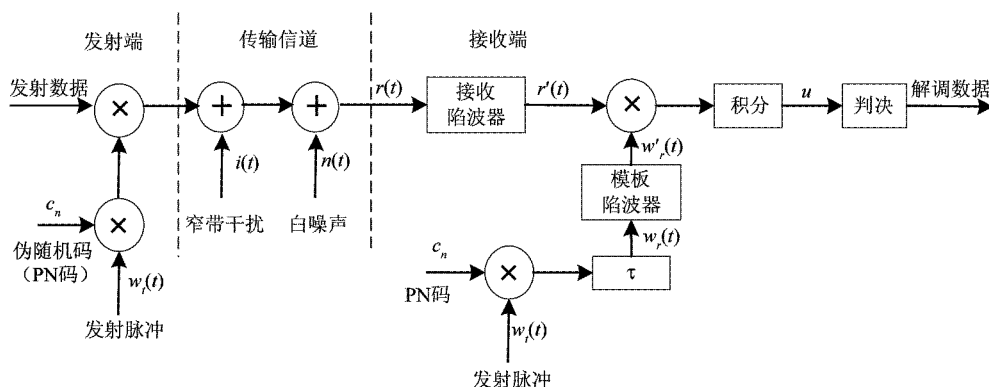


图 1 陷波器抑制窄带干扰的 DS-UWB 通信系统模型

在图 1 所示模型中,假设收发同步, $h_1(t)$ 、 $h_2(t)$ 分别为接收陷波器和模板陷波器的冲击响应。如果只使用接收陷波器,则 $w_r'(t) = w_r(t)$, $r'(t) = r(t) * h_1(t)$, 其中符号 $*$ 表示卷积运算。从模型中可看出,式(3)中 $R(0)$ 是函数 $c_n w_t(t) * h_1(t)$ 和 $w_r'(t) = w_r(t) = c_n w_t(t)$ 的互相关函数最大值,很显然,由于接收陷波器的引入导致了 $R(0)$ 的减小。这说明虽然接收陷波器滤出了窄带干扰,但由于 $R(0)$ 的减小,会使判决前的有效接收电平降低,导致接收性能的恶化。

参考直接序列扩频(direct sequence spread spectrum, DSSS)通信系统的方法^[13],如果对接收模板也进行同样的陷波处理,即让 $w_r'(t) = w_r(t) * h_2(t)$, $R(0)$ 就变成了函数 $c_n w_t(t) * h_1(t)$ 和 $w_r'(t) = w_r(t) * h_2(t) = c_n w_t(t) * h_2(t)$ 的互相关函数最大值,当接收陷波器和模板陷波器完全相同即 $h_1(t) = h_2(t)$ 时, $R(0)$ 可达到最大值,理想情况下可完全消除接收陷波器带来的负面影响。

由于干扰分量的具体值与干扰信号类型、脉冲形式等密切相关,解析计算非常困难,本文将使用计算机仿真的方法定量研究陷波器对 DS-UWB 通信系统抗窄带干扰性能的影响。

2 系统仿真

2.1 仿真条件

按照示意图图 1 构建 UWB 仿真系统,主要仿真参数如表 1 所示。其中接收陷波器和模板陷波器均为中心频率为 5.1GHz 的 5 阶 Butterworth 带阻滤波器,其传输特性 S21 与频率的关系如图 2 所示。在仿真中使用蒙特卡罗法计算信道误码。

表 1 系统仿真条件

脉冲类型	二阶高斯脉冲
脉冲宽度	80ps
脉冲间隔	1ns
每比特脉冲数	5
DS 序列类型	长度 $2^{12} - 1$ 的 PN 序列
窄带干扰种类	WLAN802.11B
干扰信号频率	5.1GHz
误码计算方法	蒙特卡罗法
陷波器类型	5 阶 Butterworth 带阻滤波器
中心频率	5.1GHz

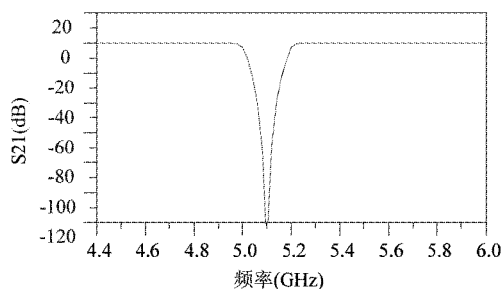


图 2 5.1GHz 陷波器的频率响应

2.2 仿真结果

(a) 接收陷波器前后的信号频谱

图 3 为含有窄带干扰(信干比(SIR) = -20dB)的信号在接收陷波器前后的信号频谱。从频谱上可以明显看出陷波前在 5.1GHz 附近存在较强的窄带干扰,陷波以后窄带干扰被滤出。

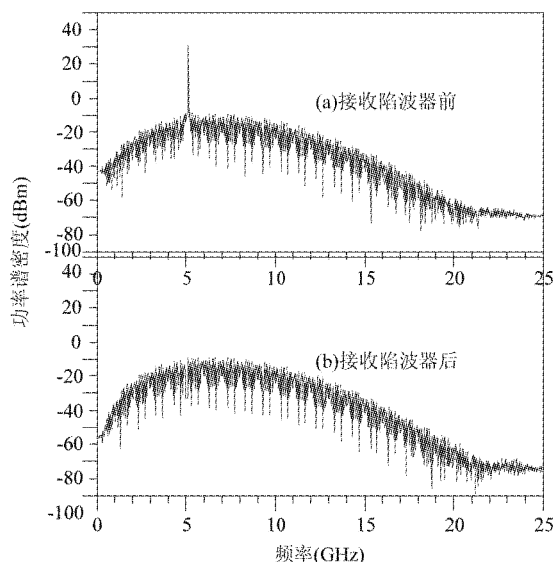


图 3 陷波器前后的接收信号频谱

(b) SIR = -20dB 时陷波器对误码率(BER)-信噪比(E_b/n_0)曲线的影响

图 4 为信干比 SIR = -20dB,不同陷波处理方式下 BER - E_b/n_0 的曲线。

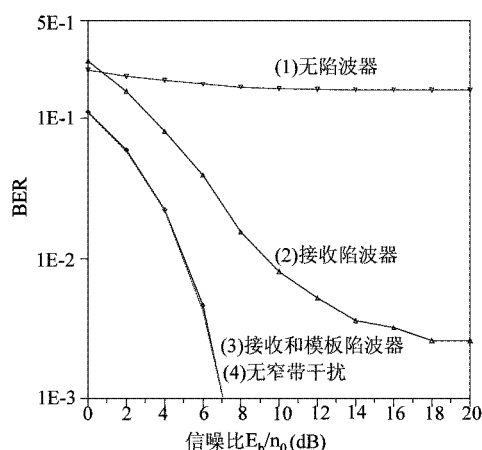


图 4 SIR = -20dB 时的 BER - E_b/n_0 特性

(1)不使用接收和模板陷波器时曲线如图 4 线(1)所示。从图中可以看出由于干扰信号的存在, BER 存在一个不随 E_b/n_0 提高而改善的最小值 $1.8E-1$ 。

(2)只使用接收陷波器时, BER - E_b/n_0 曲线如图

4 线(2)所示。从图中可见接收陷波器滤出干扰后接收性能明显改善,最小误码率由 $1.8E-1$ 降低到 $2.6E-3$ 。

(3)同时使用接收和模板陷波器时, BER - E_b/n_0 曲线如图 4 线(3)所示,为了便于比较,图中也加入了无干扰时曲线(4)。从图中可以看出,使用模板陷波器后,接收性能进一步改善,曲线(3)、(4)几乎重合在一起,当 E_b/n_0 等于 7dB 时, BER 就达到了 $1E-3$ 。

从以上结果可以看出:窄带干扰会带来系统性能的恶化;使用接收陷波器以后,系统性能得到明显改善;再加上模板陷波器后,窄带干扰的影响进一步减小,当 SIR = -20dB 时 BER 特性与没有干扰的情况接近。

(c) E_b/n_0 = 8dB 时,陷波器对 BER - SIR 曲线的影响

图 5 是 E_b/n_0 = 8dB,不同陷波条件下的 BER - SIR 特性。曲线(1)-(4)分别对应于无陷波器、只有接收陷波器、同时有接收和模板陷波器、无干扰时的曲线。从图中可以看出,随着干扰信号的减弱 BER 都下降,曲线(3)的 BER 特性下降速度最快,当 $SIR \geq -20$ dB 时,曲线(3)与无干扰的值一致;曲线(2)下降速度次之,并且有一个最小值 $7E-4$,比无干扰时的值要大,这与前面只对接收信号陷波处理导致有用信号和接收模板相关函数峰值减小的理论分析一致;曲线(1)下降速度最慢并随着信干比提高趋近无干扰时的值。对应 $BER = 1E-3$,曲线(1)-(3)对应的 SIR 依次为 -1dB、-10dB、-27dB,这说明同时使用接收和模板陷波器较无陷波器时抗窄带干扰能力提高了 26dB,较有接收陷波器时提高了 17dB。

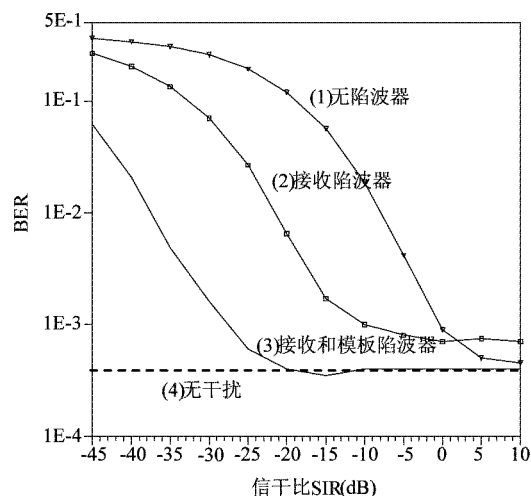


图 5 不同陷波条件下的 BER - SIR 特性

3 结 论

本文研究了 DS-UWB 超宽带通信系统中的窄带抗干扰技术。分析与仿真结果表明窄带干扰会带来系统性能的恶化。当对接收信号陷波处理以后,虽然干扰信号的滤出使系统性能明显提高,但也会带来有用信号和接收模板相关函数最大值损失;对接收模板进行同样的陷波处理可补偿这种损失,进一步提高系统性能。结果表明对接收信号和接收模板同时进行相同的陷波处理是 DS-UWB 超宽带抑制窄带干扰的有效方法。

参考文献

- [1] Prathima A, Krishna M S, Piyush S. Efficient data gathering in distributed hybrid sensor networks using multiple mobile agents. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Communication System Software and Middleware (COM-SWARE 2008), Bangalore, India, 2008
- [2] 向新, 王勇超, 易克初等. UWB-TR 接收机性能分析. 通信学报, 2007, 28(1):123-126
- [3] 蒋磊, 王永生, 郭建新. 超宽带通信中干扰抑制方法. 空军工程大学学报(自然科学版), 2007, 8(2):52-56
- [4] Hamalainen M, Linatti J. Analysis of interference on DS-UWB system in AWGN channel. In: Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, Zurich, Switzerland, 2005.719-723
- [5] Wang J, Tung W T. Narrowband interference suppression in time-hopping impulse radio ultra-wideband communications. *IEEE Transactions on communications*, 2006, 54(6):1057-1067
- [6] Shaman H, Hong J S. Ultra-Wideband (UWB) bandpass filter with embedded band notch structures. *Microwave and Wireless Components Letters*, IEEE, 2007, 17(3):193-195
- [7] Weng R M, Kuo R C, Lin P C. An ultra-wideband LNA with notch filter. In: Proceedings of the 17th International Conference on Radioelektronika, Brno, Czech Republic, 2007.1-4
- [8] Keren L, Daisuke K, Toshiaki M. UWB bandpass filters with multi notched bands. In: Proceedings of the 36th European Microwave Conference, Manchester, UK, 2006. 591-594
- [9] Quach H, Dinh A. Narrowband interference elimination in UWB communications systems. In: Proceedings of the 20th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2007), British Columbia, Canada, 2007. 1341-1344
- [10] 罗振东, 高宏, 刘元安等. 抑制多窄带干扰的超宽带脉冲设计方法. 北京邮电大学学报, 2005, 28(1):55-58
- [11] Abedi O, Nielsen J, Sesay A B, et al. Narrowband interference cancellation in an UWB filter bank receiver. In: Proceedings of the 64th IEEE Vehicular Technology Conference, Montreal, Canada, 2006. 1-6
- [12] Yu J, Liu D, Yue G X. BER analysis of TH-PPM and DS-UWB in tone interference. In: Proceedings of the 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems, Guilin, China, 2006. 1278-1282
- [13] Raghavan S H, Taggart D, Chen C T. BER performance of notch filtered direct sequence spread spectrum signal. In: Proceedings of the 2005 IEEE Aerospace Conference, Montana, USA, 2005.1-6

NBI suppression using double notch filtering in DS-UWB receivers

Zhang Lan, Wang Bing*, Zhang Zhifang*

(School of Information Engineering, University of Science and Technology of Beijing, Beijing 100083)

(* Beijing Institute of Satellite Information Engineering, Beijing 100086)

Abstract

A novel notch filtering method for suppression of narrow-band interference (NBI) in direct sequence spread spectrum ultra wideband (DS-UWB) receivers is proposed in this paper. The theoretical analysis shows that for the traditional method, only the received signal is notched to avoid NBI, which degrades the BER performance of the receiver due to the correlation peak loss between the received signal and the template signal. The proposed method notches the received signal and the template signal simultaneously, which can minimize the loss and improve the BER performance. The simulation results in the DS-UWB receiver showed that in the case of $SIR = -20\text{dB}$, the BER curves of the receiver with and without NBI were quite similar with each other after using the present method. In the case of $E_b/n_0 = 8\text{dB}$ and $BER = 1\text{E-}3$, the NBI suppression performance of the receiver increased by 26dB and 17dB compared to that without notch filters and only with a received notch filter, respectively. The present research shows that the novel notch filtering suppression method suggested in this paper is effective to suppress NBI in DS-UWB receivers.

Key words: ultra wideband (UWB), notch filter, narrow-band interference (NBI), interference suppression