

超宽带通信中干扰抑制方法

蒋磊^{1,2}, 王永生¹, 郭建新²

(1. 西北工业大学电子信息学院, 陕西 西安 710072;

2. 空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对修改接收模板信号的方法(MRTW)在抑制随机窄带干扰上的不足, 提出了一种超宽带通信系统(UWB)干扰抑制的新方法—自适应修改接收模板信号(AMRTW)方法, 该方法通过增加的自适应频谱估计器和自适应接收模板信号分解单元, 准确的将干扰信号分量从UWB接收模板信号中恰当的去掉, 从而提高了UWB接收机的抗干扰能力, 仿真结果表明, 在UWB系统处于随机用户干扰的条件下, . AMRTW方法对UWB系统误码率的改善明显优于MRTW方法。

关键词: 超宽带; 抗干扰; 无线局域网; 窄带干扰

中图分类号: TN914. 5 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2007)02-0052-05

超宽带无线通信技术利用一串低占空比的脉冲, 将信号的能量扩展至很宽的频带(从直流可以到几GHz), 使发射信号的功率谱密度趋于噪声。国内外众多的文献分析表明^[1-4], UWB具有较强的抗多径、抗侦听和抗截获能力, 且在短距离无线通信中具有比蓝牙、IEEE802. 11a WLAN更高的系统吞吐量, 因此UWB技术已经成为下一代无线高速通信技术强有力的竞争者, 并已成功的应用于WPAN(IEEE802. 15. 3a)。

由于UWB所占用的频带基本覆盖了现行的各种通信系统所使用的频段, 因此美国FCC在公开认可该技术的同时, 强制规定了其发射功率谱密度的最高限值(-41.3dBm/MHz)^[4], 来减少对频带共享的通信系统的干扰。但在另一方面, UWB也同样受到各种干扰源的威胁(有CW、BPSK调制的信号以及多载波信号等)^[5,6], 尽管UWB在大多数情况下, 具有比DS-SS系统更强的抗干扰能力^[3], 但当干扰源的辐射功率远大于UWB的信号功率时(高大约60dB, 这种条件经常能够满足), UWB系统还是不可避免的受到干扰。针对此, 国内外众多学者提出了多种抑制干扰的方法^[7-10], 但大多集中在对干扰信号特征量的精确估计方法上, 其实现的复杂度较高; 2002年, Tetsushi Ikegami等人针对IEEE802. 11a WLAN对UWB的干扰, 提出了修正接收模板信号的方法(MRTW)^[9], 降低了系统的处理复杂度, 但该方法对于随机窄带干扰(频带小于200MHz)的情况下, 性能较差。鉴于此, 本文对修正接收模板信号的方法进行了改进, 提出了自适应修正接收模板信号的方法(AMRTW)。该方法在保持较低的系统处理复杂度的基础上, 使对随机窄带干扰的抑制更为有效。

1 AMRTW方法的提出

MRTW方法是Tetsushi Ikegami等人针对UWB通信频段(3.1 GHz - 5.2 GHz)与IEEE802. 11a WLAN(5.15 GHz - 5.35 GHz)共享冲突的情况下, 提出的一种低复杂度的解决方法, 此方法是以修正UWB接收模板信号为基础, 简要的工作过程可描述如下:

设UWB发射信号的脉冲波形是采用某一载频调制的一阶Gaussian脉冲^[9], 波形函数为

$$S_{\text{trans}}(t) = \exp(-at^2/\tau^2) \sin(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

式(1)中, $a = \log_e 10$, $\tau = 0.5 \times 10^{-9}[\text{s}]$ 为控制脉冲宽度的参数, f_0 为UWB发射信号的中心频率。为了

收稿日期: 2006-08-25

基金项目: 国防“973”计划资助项目(200151308)

作者简介: 蒋磊(1974-), 男, 江苏无锡人, 讲师, 博士生, 主要从事UWB关键技术研究。

抑制 IEEE802.11aWLAN 信号对 UWB 信号的干扰, UWB 本地相关接收的模板信号并非采用与发射信号完全相同的波形函数, 而是采用修正模板信号, 即对式(1)中的 $S_{\text{trans}}(t)$ 进行信号变换, 变换过程中, 将 3.1 GHz ~ 5.2 GHz 的频段, 按 200 MHz 的带宽间隔, 将其分解为 11 个正弦载波信号之和, 即:

$$S_{\text{trans}}(t) \approx \hat{S}_{\text{trans}}(t) = \sum_{i=1}^{11} X_i \exp(-at^2/\tau^2) \sin(2\pi f_i t) \quad (2)$$

式(2)中, $\tau' = 5 \times 10^{-8}$ (s), f_i 为信号分解的各正弦信号的频率, 频率间隔为 200 MHz。由于 $\hat{S}_{\text{trans}}(t)$ 是 $S_{\text{trans}}(t)$ 的准正交分解, 两者之间非常接近, 因此, 当没有干扰的情况下, 两者的性能几乎相同, 但当 UWB 接收机与 IEEE802.11aWLAN 共处时, MRTW 方法可通过去除接近式(2)中的 5.2 GHz 附近的信号分量, 使系统的误码性能得到改善。

从以上对 MRTW 方法的描述中可以看出, 该方法提出的初衷是为了解决 UWB 与 IEEE802.11aWLAN 互相干扰的问题, 因此, 当干扰样式为随机出现的窄带干扰(频带小于 200 MHz)的情况下, MRTW 方法必须进行改进和细化。本文便提出了一种有效抑制上述干扰样式的自适应修改接收模板信号的方法, 该方法的原理框图如图 1 所示。从图 1 中可以明显看出, AMRTW 方法增加了自适应频谱估计器和自适应模板信号分解单元, 其工作原理描述如下:

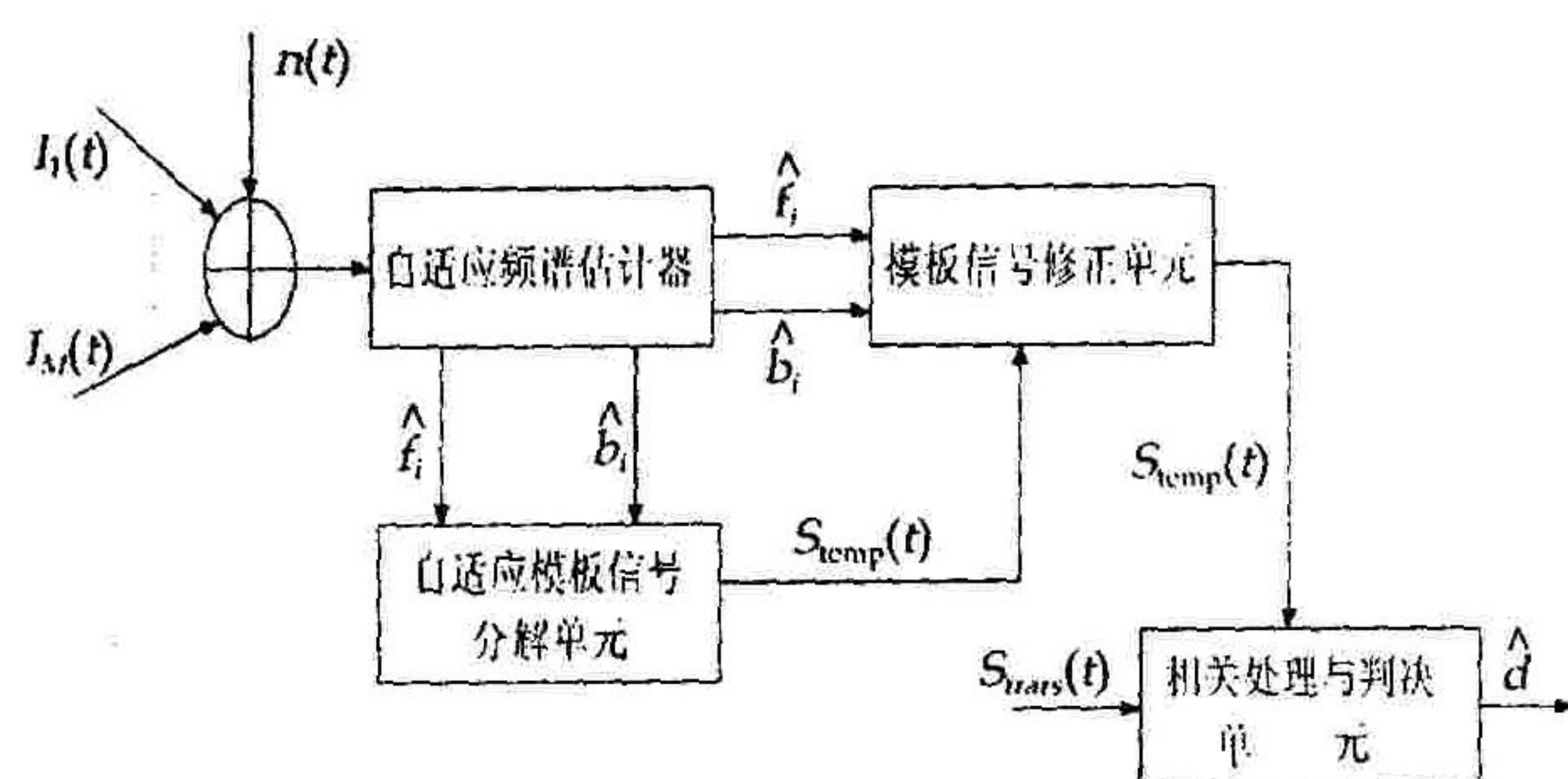


图1 AMRTW 方法原理框图

UWB 接收机在未接收有用信号之前, 首先通过自适应频谱估计器对空间中存在的干扰信号进行功率谱估计, 采用的方法比较多(如 AR 模型功率谱估计方法), 算法也较为成熟(如 Levinson - Durbin 算法), 对 DS-SS 信号和 FH-SS 信号的功率谱估计则需要特殊的信号检测算法和检测装置。随后给出干扰信号的频率位置参数 f_i ($i=1, 2, \dots, M$) 和带宽参数 b_i ($i=1, 2, \dots, M$; 取 -40 dB 带宽), 再用 f_i 与 b_i 参数信息去控制自适应模板信号分解单元, 进行模板信号的自适应分解(具体分解算法见下节), f_i 与 b_i 参数同时控制模板信号修正单元, 去除模板信号中与干扰信号频段相“冲突”的子信号分量, 形成最终的 UWB 系统的接收信号掩模 $S'_{\text{temp}}(t)$, 最后, 相关处理与判决单元完成 UWB 信号的相关处理与信息恢复。经过上述的改进, 可以看出, 由于干扰信号的随机频率位置和带宽大小由自适应频谱估计器给出, 从而使 UWB 接收机可以根据实际通信中出现的干扰情况进行恰当的接收模板信号的分解, 并对 UWB 接收模板信号波形进行实时的调整, 最终实现了 UWB 接收机在低处理复杂度的基础上, 对随机出现的窄带干扰的有效抑制。

2 AMRTW 方法的数学描述

设 UWB 发射信号的脉冲波形函数采用式(1)的形式, 则 UWB 接收机接收到的信号可表示为

$$S_{\text{rec}}(t) = S_{\text{trans}}(t) + n(t) + \sum_{i=1}^M I_i(t) \quad (3)$$

式(3)中, $S_{\text{trans}}(t) = \exp(-at^2/\tau^2) \sin(2\pi f_0 t)$ 为 UWB 的有用信号, $n(t)$ 为信道噪声, $I_i(t)$ 为信道中的第 i 个干扰。AMRTW 方法首先经过自适应频谱估计器, 给出各干扰的中心频率和相应的带宽估计, 则式(3)可表示为

$$S_{\text{rec}}(t) = S_{\text{trans}}(t) + n(t) + \sum_{i=1}^M I_i(\hat{f}_i, \hat{b}_i) \quad (4)$$

式(4)中, $\hat{f}_i, \hat{b}_i$ 分别为信道中第 i 个干扰的中心频率与带宽的估计值。 $\hat{b}_i$ 的估计可根据设计中对信道随机干扰的抑制制度来决定, 本文取 -40 dB 的估计带宽。 $\hat{f}_i, \hat{b}_i$ 同时控制自适应信号分解单元, 使该单元根据 $\hat{f}_i, \hat{b}_i$ 自适应的对 UWB 接收模板信号进行分解, 分解采用信号的准正交变换原理, 过程如下。

UWB 的原始接收模板信号形式为式(1), 设信道中有 M 个干扰, 不失一般性, 设各干扰的 $\hat{f}_i, \hat{b}_i$ 已经通过频谱估计器得到, 并在以下的分析中认为是已知的。则 AMRTW 方法对 UWB 的接收模板信号进行如下的分解:

$$S_{\text{temp}}(t) = \sum_{i=1}^M X_i \exp(-at^2/\tau_i^2) \sin(2\pi f_i t) + \sum_{j=M+1}^P X_j \exp(-at^2/\tau_j^2) \sin(2\pi f_j t) \quad (5)$$

式(5)中, p 为分解的阶数; τ_i 为第 i 个干扰信号项的时长, 取 $\tau_i = 1/\hat{b}_i$; f_i 为第 i 个干扰信号项的中心频率, 取 $f_i = \hat{f}_i$; τ_j 为第 j 个信号项的时长, 取 $\tau_j = \text{常数}$; f_j 为第 j 个信号项的载频值。令:

$$\exp(-at^2/\tau_i^2) \sin(2\pi f_i t) = \Phi_i(t) \quad (6)$$

则式(5)可表示为

$$S_{\text{temp}}(t) = \sum_{i=1}^M X_i \Phi_i(t) + \sum_{j=M+1}^p X_j \Phi_j(t) \quad (7)$$

对式(7)的连续信号进行采样, 采样频率满足奈奎斯特定理的要求, 式(7)的离散表达为

$$S_{\text{temp}}(n) = \sum_{i=1}^M X_i \Phi_i(n) + \sum_{j=M+1}^p X_j \Phi_j(n) \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

式(8)中, N 为信号总的抽样点数, 为了获得最优逼近, 采用最小二乘法(LS), 即:

$$J = \sum_{k=1}^N \left[\sum_{i=1}^M X_i \Phi_i(n) + \sum_{j=M+1}^p X_j \Phi_j(n) - S_{\text{temp}}^{(n)} \right]^2 = \min \quad (9)$$

将式(9)求 J 关于展开系数 $X_i (i = 1, 2, \dots, M)$ 和 $X_j (j = M+1, \dots, p)$ 的偏导数, 并令其为零, 通过整理可得:

$$X = B^{-1} \Theta S \quad (10)$$

式(10)中, $X = [X_1, \dots, X_p]^T$; $S = [s(1), s(2), \dots, s(N)]^T$;

$$B = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ \alpha_{p1} & \dots & \alpha_{pp} \end{bmatrix}; \alpha_{ij} = \sum_{n=1}^N \Phi_i(n) \Phi_j(n); \Theta = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \dots & \Phi_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ \Phi_{p1} & \dots & \Phi_{pN} \end{bmatrix}; \Phi_{ij} = \Phi_i(j)$$

通过式(10)可求出模板信号的自适应分解系数 $X_i (i = 1, 2, \dots, M)$ 和 $X_j (j = M+1, \dots, p)$ 再根据 $\hat{f}_i$ 、 $\hat{b}_i$ 参数, 去除模板信号分解项中载频与干扰信号中心频率相同的项, 从而构成实际相关处理的 UWB 模板信号, 即进行如下的相关处理:

$$\hat{d} = \int_0^{T_b} S_{\text{rec}}(t) [S_{\text{temp}}(t) - \sum_{i=1}^M X_i \Phi_i(n)] dt = \int_0^{T_b} S_{\text{rec}}(t) S'_{\text{temp}}(t) dt \quad (11)$$

不失一般性, UWB 系统的调制方式采用 BPM 调制方式, 则可根据判决量 $\hat{d}$ 的符号极性来进行原始信息的恢复。从式(11)中可以看出: 由于 UWB 接收模板信号 $S_{\text{temp}}(t)$ 将随机干扰与之相“冲突”的子脉冲分量实时的去除, 从而显著的抑制了随机干扰对 UWB 系统的干扰, 提高了系统的误码性能。

3 仿真和比较

对本文提出的 AMRTW 方法进行了系统仿真, 仿真中考虑在某一时刻, 只存在 IEEE802.11a WLAN 的干扰和同时存在 IEEE802.11a WLAN 的干扰和窄带干扰的两种条件, 对于 UWB 接收机分别采用 MRTW 方法和 AMRTW 方法进行了性能仿真和比较。

仿真中, UWB 信号采用 BPM 调制, 没有进行跳时编码, 传输速率为 200 Mbit/s; 窄带干扰的中心频率取为 3.75 GHz, 带宽取为 100 MHz (-40 dB), 且窄带干扰的干信比取为 20 dB, AMRTW 方法将接收模板信号进行 11 阶分解, 各信号项的载频分别为: 3.2、3.4、3.6、3.75、3.9、4.1、4.3、4.5、4.7、4.9、5.1 (GHz), AMRTW 方法通过模板信号修正单元, 将上述子分量中与干扰中心频率相同的子分量去除, 构成最终接收模板信号。当同时存在 IEEE802.11a WLAN 和中心频率为 3.75 GHz 的干扰时, UWB 系统最终的接收模板信号波形的时域和功率谱通过仿真计算, 结果如图 2 所示。从图 2 中可以看出, UWB 系统的接收模板信号的频谱在 5.1 GHz 和 3.75 GHz 附近发生了显著的衰落, 从而对此处的随机干扰产生抑制作用。

两种干扰条件下, UWB 系统的误码率的计算机仿真结果如图 3 和图 4 所示。从图 3 中可以看出, 当只存在 IEEE802.11a WLAN 的干扰时, MRTW 方法与 AMRTW 方法性能上几乎相同, 且同时优于传统模板方法(未采用任何抗干扰措施); 但从图 4 中可以明显看出, 在同时存在 IEEE802.11a WLAN 的干扰和窄带干扰的条件下, AMRTW 方法对干扰的抑制能力明显优于 MRTW 方法。

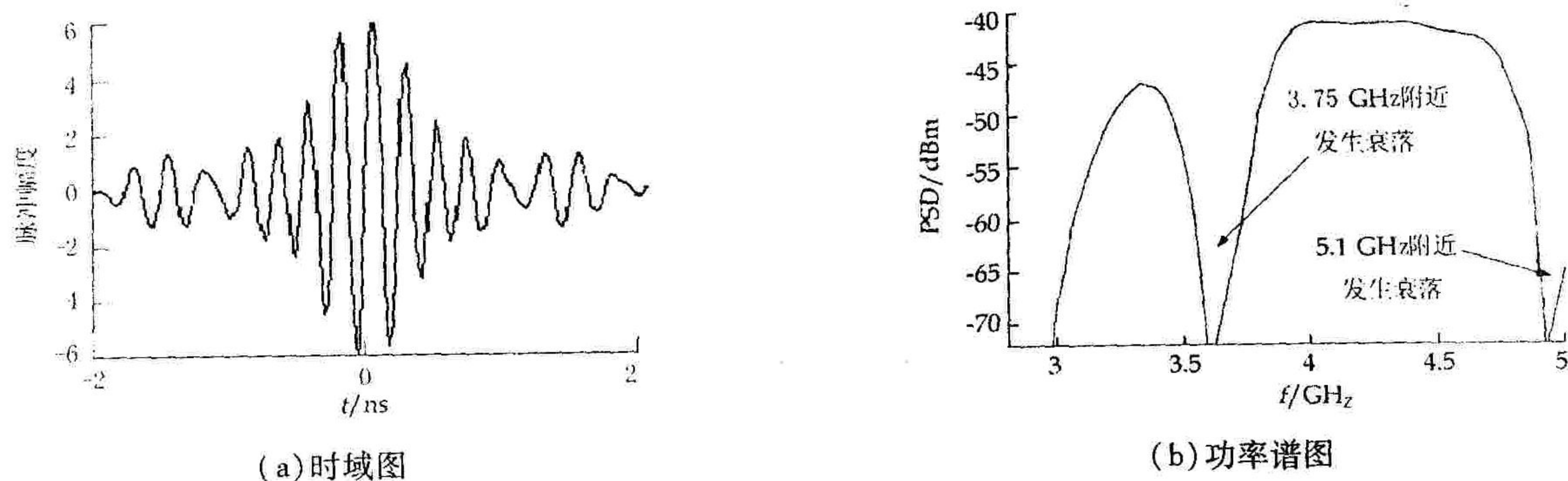


图2 同时存在 IEEE802.11a 干扰和随机窄带干扰时,AMRTW 方法形成的最终发射波形的时频图

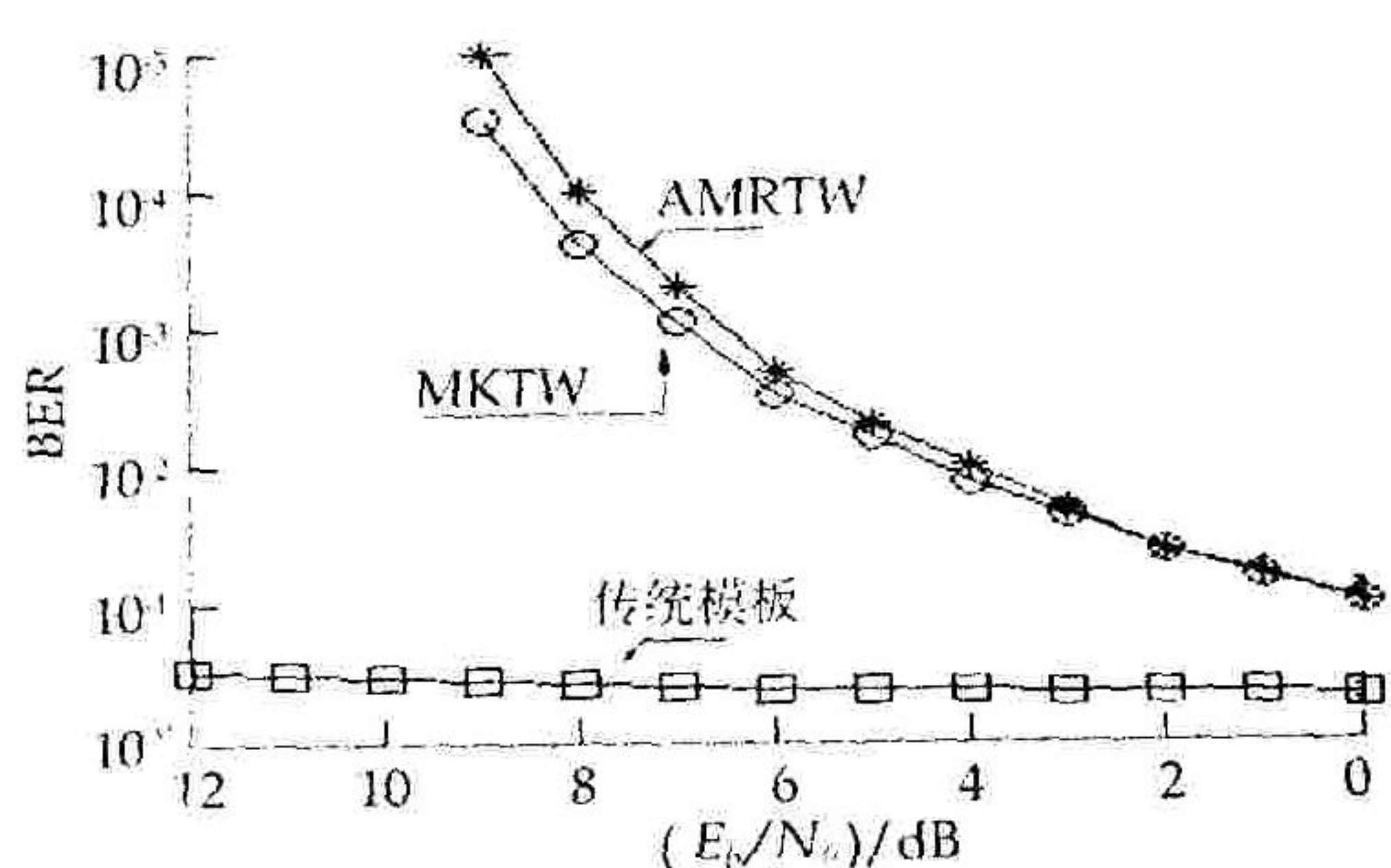


图3 AWGN 信道中存在 IEEE802.11a 干扰时各种方法的误码率性能仿真图

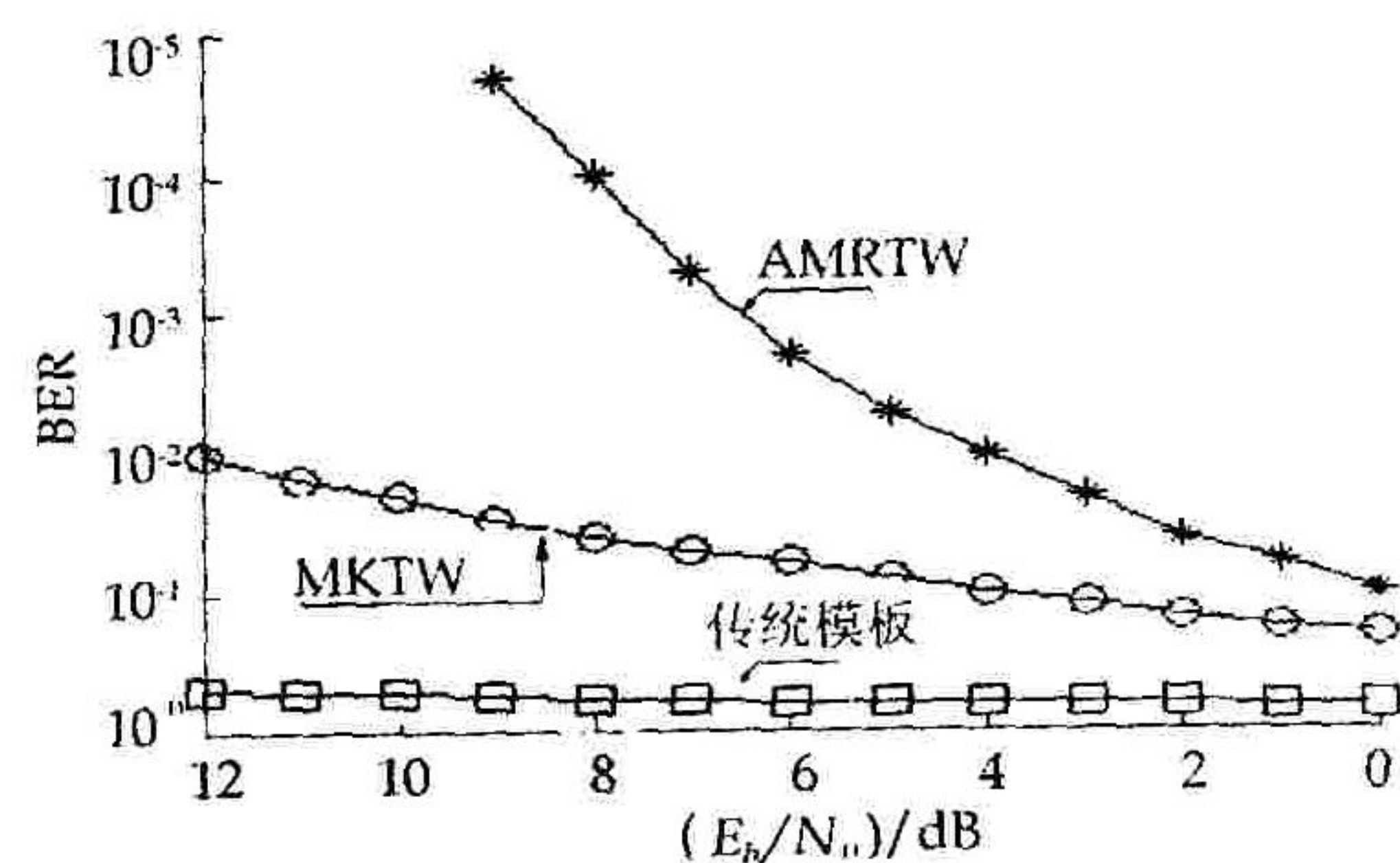


图4 AWGN 信道中同时存在 IEEE802.11a 干扰和窄带干扰时各种方法的误码率性能仿真图

仿真结果表明:通过自适应的测频和自适应的模板信号分解,较准确的将干扰信号分量从接收模板信号中恰当的去掉,提高了 UWB 接收机的抗干扰能力,AMRTW 方法抑制随机窄带干扰的能力明显优于 MKTW 方法。

参考文献:

- [1] Fernando, Ramire - Mireles. On The Performance of Ultra - Wide - Band Signals In Gaussian Noise and Dense Multipath [J]. IEEE Trans, on Vehicular Technology, 2001;50(1):224 - 247.
- [2] Zhao L, Haimovich A M. Capacity of M - ary PPM Ultra - Wideband Communications Over AWGN Channels [A]. Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Vehicular Technology, [C]. 2001, 1191 - 1194.
- [3] Lei Jiang, Yong - sheng Wang, Jian - xin Guo. The Capacity of M - ary PPM Ultra - Wideband Communications Over Multipath Channels [A]. Proceedings of 2005 IEEE MAPE [C]. 2005, 1606 - 1609.
- [4] US 47 Part15 Ultra - Wideband Operations FCC Report and Order [S].
- [5] Matti Hämäläinen, Veikko Hovinen, Raffaello Tesi. On the UWB System Coexistence With GSM 900, UMTS/WCDMA and GPS [J]. IEEE J Select. Areas On Commun, 2002;20(9):1712 - 1720.
- [6] Swami A, Sadler B M, Turner J. On the Coexistence of Ultra - Wideband and Narrow Band Radio Systems [A]. Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Military Communications [C]. 2001, 16 - 19.
- [7] Baccarelli E, Biagi M, Taglione L. A Novel Approach to In - Band Interference Mitigation in Ultra Wide Band Radio Systems [A]. Proceedings of 2002 IEEE International Conference on IWUWBS [C]. 2001, 297 - 301.
- [8] Itsik Bergel, Eran Fishler, Hagit Messer. Narrow - Band Interference Suppression In Time - Hopping Impulse - Radio Systems [A]. Proceedings of 2002 IEEE International Conference on IWUWBS [C]. 2002, 303 - 307.
- [9] Tetsushi Ikegami, Kohei Ohno. Interference Mitigation Study for UWB Impulse Radio [A]. Proceedings of 2003 IEEE 14th International Conference on PIMRC [C]. 2003, 583 - 587.
- [10] Lei Jiang, Yong - sheng Wang, Jian - xin Guo. A Novel Approach To Interference Mitigation For UWB Pulse Radio [A]. Proceedings of 2005 IEEE International Conference on WCNM [C]. 2005, 337 - 340.

(编辑:门向生)

Study of the Interference Mitigation for Ultra -wideband Communication Systems

JIANG Lei^{1,2}, WANG Yong- sheng¹, GUO Jian -xin²

(1. College of Electronics and Information , Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, Shaanxi, China;
2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, Shaanxi, Chi-
na)

Abstract: A novel approach named adaptive modified template waveform (AMRTW) is proposed in this paper, i. e. an adaptive frequency estimator is used to give the values of the interference frequency and interference band. Based on these values, the adaptive template signal resolving unit gives the rational signal constitutions for receiving template signal. And the UWB receiver modifies the receiving template signal with removing the interference signal component from the receiving template signal. The simulation results show that this new method is more efficient than MRTW method in interference mitigation for UWB pulse radio.

Key words: ultra wideband (UWB) ; interference mitigation; WLAN; narrow band interference (NBI)

(上接第 51 页)

- [7] Subrata Roy, Singh K P, Haribalan Kumar. Effective Discharge Dynamics for Plasma Actuators[R]. AIAA 3006 - 374.
[8] Chen Y, Mittra R, Harms P. FDTD Algorithm for Solving Maxwell's Equations in Rotationally Symmetries[J]. IEEE Trans Micro-
wave Theory and Techniques, 1996, 44(6): 832 - 839.
[9] 宋慧敏. 大气压等离子体流动控制实验研究与机理分析[D]. 西安: 空军工程大学工程学院, 2006.

(编辑: 姚树峰)

The Electric Field Simulation of Asymmetric Plasma Actuator

AN Zhi - yong, LI Yi - wen, LI Ying - hong, SONG Hui - rain

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The asymmetric plasma actuator can engender uneven electric field. The plasma moves in the action of electric field force, thus inducing the neutral gas flow through the charge exchange collision between plasma and neutral particle. This paper imitates the paraelectric acceleration process in electromagnetic field with FDTD, analyzes the paraelectric acceleration mechanism and provides a method of improving the paraelectric acceleration and optimizing the asymmetry plasma actuator configuration.

Key words: paraelectric accelerate ; plasma ; FDTD ; electric field intensity