

文章编号 :1001-2486(2001)04-0098-04

DS/FH 中窄带干扰的变换域处理方法研究*

王世练 鄢书跃 路军 张尔扬

(国防科技大学电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

摘要 :分别给出了 DS/FH 混合扩频系统中窄带干扰的两种变换域处理方法。具体分析了基于频域 FFT 和时频域 M-PWD 分析的被干扰谱线检测与抑制算法,为避免谱泄漏,在变换处理之前加窗处理。给出了不同处理算法情况下系统误码率的数字仿真结果。

关键词 :DS/FH ;窄带干扰 ;FFT ;修正伪 Wigner 变换

中图分类号 :TN911.7 **文献标识码** :A

Research on Transform Domain Narrowband Interference Suppression Method in Hybrid DS/HF System

WANG Shi-lian, WU Shu-yue, LU Jun, ZHANG Er-yang

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :This paper presents two transform domain approaches to suppress the narrowband interference in a hybrid direct sequence frequency hopping spread spectrum system. Different algorithms used in determining and suppressing the interfered frequency bins are studied in detail, based on FFT frequency domain and MPWD time-frequency domain respectively. To avoid spectral leaking of the power, windowing can be performed prior to transformation. The simulated numerical results of the system bit error probability under different adaptive algorithms are provided.

Key words :DS/FH ;narrowband interference ;FFT ;modified pseudo wigner distribution

DS/FH 混合扩频通信具有较强的抗干扰能力,已经广泛地应用于军用通信卫星、地面战术通信的各个领域。虽然提高扩展比可以一定程度地对付某些人为干扰和自然干扰,在不可能无限制地提高系统工作扩展比的情况下,当系统所面临的窄带干扰功率相比扩谱信号功率较大时,其工作性能将受到严重影响。解决 DS/FH 中的抗窄带干扰问题对于进一步提高通信系统的战场生存能力具有重要意义。

DSSS 中的抗窄带干扰技术的研究已引起了国内外专家的广泛重视,时域自适应干扰对消、非线性滤波、变换域处理等技术相继出现并日趋成熟^[1-4]。Kumpumaki, T. J. 于 1997 年给出了以 FFT/IFFT 为基础的 DS/FH 窄带干扰抑制方法^[5]。

本文首先给出以 FFT 变换和修正伪 wigner 变换为基础的两种不同的变换域干扰抑制方法,比较其优劣,讨论几种被干扰谱线的自适应抑制准则及相应的算法,最后给出了不同方案 and 不同算法的系统误码率数字仿真结果。

1 系统模型

扩频系统中窄带干扰的抑制可分为时域自适应滤波和变换域处理,变换域处理的优势在于能够同时处理多个干扰且可进行快速自适应调整,适用于干扰特性未知且经常变化的情况。DS/FH 混合扩频系统对抑制干扰的收敛速度提出了更高的要求,时域 RLS 等优化算法的收敛速度很难适应快跳频的要求,特别是对于干扰特性随跳频点而时变的情况。变换域处理对于 DS/FH 中的干扰抑制将更具生命力。

图 1 给出了基于 FFT 频域处理的抑制窄带干扰的接收机框图,其中 $u(t)$ 为一防止频谱泄漏的时间

* 收稿日期 :2001-01-11
基金项目 :国防科技重点实验室项目资助(2000JS63.3.1.KG0111)
作者简介 :王世练(1976-)男,博士生。

窗。其前提是在一个频率跳变点内干扰信号的特性保持不变^[5]。

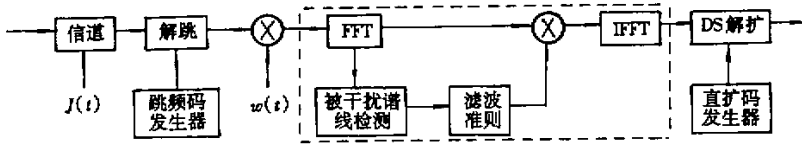


图 1 基于 FFT 的频域处理

Fig.1 Frequency domain process based on FFT

对于 DS/FH 系统中所面临的时变干扰,其干扰特性随跳频点而变化,而 FFT 变换不可能同时表征时间和频率特征,被干扰谱线的检测与滤波将受跳频速率的限制。时频分析作为有效的变换工具可比较全面地反映信号谱分量在时间频率域的瞬时变化情况,可有效地用来检测被干扰谱线,特别是对于快跳频情况下的快变化窄带干扰。图 2 给出了基于修正的平滑 wigner 分布(MPWD)的变换域抗窄带干扰方法,其中 MPWD 具有很好的时频分辨率且计算量小。基于几何重心的坐标平移,文献 4 给出了修正 Cohen 类时频分布的通用计算方法。

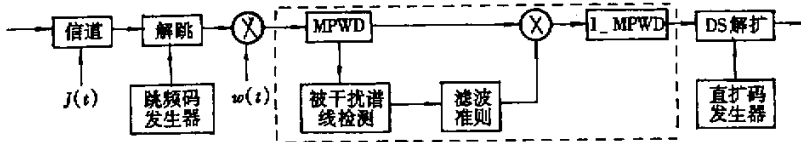


图 2 基于 MPWD 的时频域处理

Fig.2 Time-frequency domain process based on modified pseudo wigner distribution

图 3 给出了正弦扫频干扰和线性扫频干扰的频域特征及其在时频域的平面特征。由此可见,干扰信号的时变性在时频域上得到了很好的体现,而在频域处理这样的干扰信号经试验证明是无能为力的。

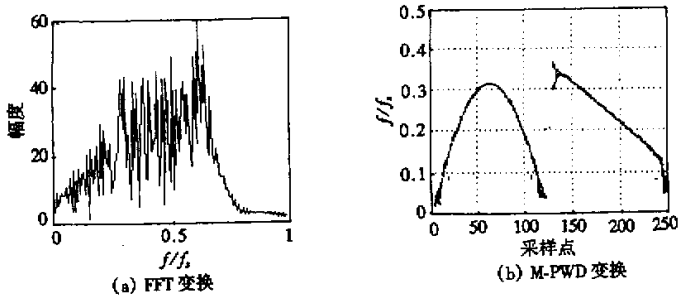


图 3 时变信号的变换域特征提取

Fig.3 Time vary signal's character extraction in transform domain

2 算法分析

无论采取何种信号变换方式,变换域内被干扰谱线的检测及陷波算法直接决定抗干扰处理的性能。其中变换域的陷波算法主要有谱线幅度置零法和非置零法,同时保持相位信息。下面主要分析干扰谱线的检测算法。

设 DS/FH 系统的直扩增益为 L_c ,共 P 个跳频点,每个跳频点内有 M 比特信息。进一步假设,在一个跳频点内完成频域处理,在一跳频周期内完成时频域处理。则每次处理的谱线幅值为 $\{c_i | i = 1, 2, \dots, P\}$ 。

... , N } , 对于频域变换 $N = L_c \cdot M$, 对于时频变换 $N = L_c \cdot M \cdot P$.

2.1 一阶矩法

记被干扰谱线的检测门限为 Level , 仅从谱线的均值特征判断是否为干扰谱线 , 即

$$\text{Level} = \theta \cdot \mu = \theta \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_i \quad (1)$$

其中 θ 为门限优化因子。

2.2 二阶矩法

在文献 [2] 中提出了根据 DS 谱线的二阶统计特性来决定检测门限

$$\text{Level} = \mu + \beta \cdot \sigma \quad (2)$$

其中 β 为优化因子。但对于 DS/FH 系统直接得到扩谱信号的统计特性是比较困难的 , 为此可选择 $\{c_i\}$ 来估计二阶矩

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (c_i - \mu)^2} \quad (3)$$

2.3 中值滤波法

以上两种检测算法均由 $\{c_i\}$ 的整体统计特性确定门限 , 实际上可由谱线的局部特征实时确定检测门限。应用中值滤波 (MF) 取窗口宽度 $L = 2 \cdot k + 1$, 其中 k 为幅度超过由 (1) 决定的门限的连续谱线数目。

$$\text{Level}(i) = \varphi \cdot M_i, M_i = \text{Median}\{c_j \mid j = i - k, \dots, i, \dots, i + k\} \quad (4)$$

φ 为优化因子。相应的置零陷波算法为

$$c_i = \begin{cases} c_i, & c_i < \text{Level}(i) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

3 仿真结果分析

取定位报告系统 (PLRS) 信号的连续波形式 , $L_c = 19$, $P = 8$, $M = 104$, 直扩伪码为 m 序列 , 伪码速率为 5Mbps , 跳速为 512 跳/秒。以高斯白噪声信道 (AWGN) 为实际传输信道 , 反变换处理 (IFFT 或 LMPWD) 之后的还原信号经同步匹配滤波器实现相关接收 , 计算系统误码率 (P_e) 并以此作为衡量抗干扰处理的优劣。

变换处理之前加时间窗

$$u(n) = 0.54 + 0.46 * \cos(2n\pi/K) \quad (6)$$

对于不同的谱线检测算法 , 取相应的优化因子为

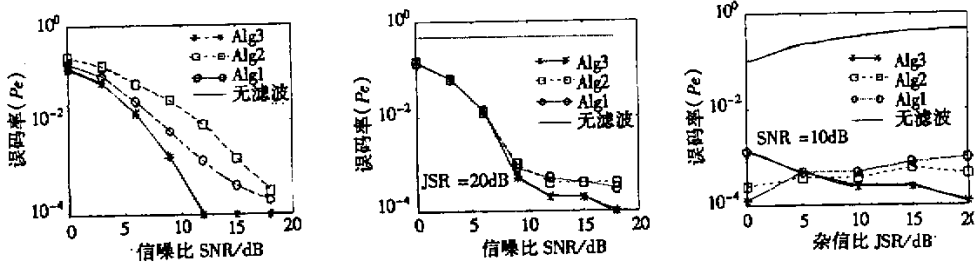
$$\begin{cases} \theta = 2.0, & \text{一阶矩法 (Alg1)} \\ \beta = 1.0, & \text{二阶矩法 (Alg2)} \\ \varphi = 5.0, & \text{中值滤波法 (Alg3)} \end{cases} \quad (7)$$

被干扰谱线的陷波取幅度置零或保持一定比例的检测门限两种方法 , 同时保持相位信息不变。

取多点频干扰为窄带干扰 , 在每个跳频间隔内出现一点频干扰 , 且其频率在 8 个跳频带宽内均匀分布。

为了验证陷波处理对 DS 信号的影响 , 给出了 AWGN 信道情况下经 FFT 频域处理前后的 DS/FH 系统性能 , 如图 4(a) 所示 , 可以看出中值滤波检测法 (Alg3) 的影响最小 , 而二阶矩检测法 (Alg2) 平均引入 2dB 的系统损失。图 4(b) 和图 4(c) 分别给出了固定 JSR = 20dB 和固定 SNR = 10dB 情况下的系统滤波性能 , 算法 3 的滤波性能最好。

对于不同的陷波方法 , 其性能如图 5 所示 , 保持一定比例检测门限 (这里取 Level/4) 的方法略好于置零法。图 6 比较了基于 FFT 的频域处理与基于修正伪 wigner 分布的时频域处理的滤波性能 , 对多点频干扰的抑制频域处理强于时频域处理。



(a) AWGN 信道下无干扰 (b) 固定干信比 JSR (c) 固定信噪比 SNR
 (a) AWGN without jammer (b) fixed JSR (c) fixed SNR

图 4 FFT 变换处理的滤波性能

Fig.4 Filtering performance of FFT process

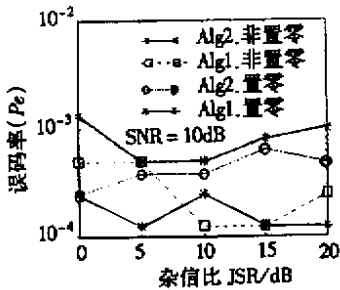


图 5 不同陷波方法的性能比较
 Fig.5 Different notching method's performance

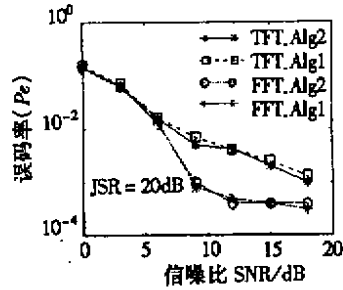


图 6 不同变换域处理的性能比较
 Fig.6 Different transform domain's performance

4 结论

本文主要分析了 DS/FH 系统中窄带干扰的变换域处理技术及其相应的滤波算法,从实际的数字仿真结果验证了其可行性。优化因子的最优选择及相应的理论分析、快跳频中时变干扰的时频域处理及其实现等尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] Rusch L A, Poor H V. Narrowband interference suppression in CDMA spread spectrum communications[J]. IEEE personal. Commun. Mag Third quarter. 1994 :14-27.
- [2] Sandberg D, Tzannes M A. Some alternatives in transform-domain suppression of narrowband interference for signal detection and demodulator[J]. IEEE. Trans. on. Com. vol.43 ,1995(12) 2055-2061.
- [3] Barbarossa S, Scaglione A. Adaptive time-varying cancellation of wideband interferences in SS communication based on time-frequency distribution [J]. IEEE Trans. S.P vol.47(4), April. 1999 957-965.
- [4] 王世练 张尔扬. 具高可读性的 Cohen 类时频分布及其在扩频通信中的应用[J]. 信号处理 2000(增刊) 69-74.
- [5] Kumpumaki T J, Isohookana M A. Narrowband interference rejection using transform domain signal processing in a hybrid DS/FH spread spectrum system[C]. Proceedings of MILCOM '97 conference 89-93.

