

文章编号:1004-9037(2013)06-0000-00

基于小波包变换的自适应阈值抑制窄带干扰

朱立为 蒋品群

(广西师范大学电子工程学院,桂林,541004)

摘要:为了进一步提高直接序列扩频通信系统的窄带干扰抑制能力,本文实现了基于小波包变换的自适应阈值抑制窄带干扰算法。通过分析直扩信号在小波包分解后的能量分布特点,来设定自适应阈值以定位和剔除窄带干扰。解决了干扰判决阈值难以确定的问题。自适应阈值能够迅速跟踪和准确定位窄带干扰所在的子带,并对干扰的强度变化具有自适应的特点。仿真结果表明,该阈值抑制算法使直接序列扩频通信系统的抗干扰性能得到进一步提高。

关键词:小波包变换;干扰抑制;直接序列扩频

中图分类号: TN914

文献标志码: A

Adaptive Threshold Based on Wavelet Packet Transform for Narrow band Interference Suppression

Zhu Liwei, Jiang Pinqun

(College of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin, 541004, China)

Abstract: To further improve the ability of the direct sequence spread spectrum system restraining the narrowband interference, Realized adaptive threshold suppressing the narrowband interference is realized basing on wavelet packet transformation. Through analyzing the power spread of the DS signal in wavelet packet transform, the thesis sets the adaptive threshold to orientate and reject the narrow-band interference. And the problem that the threshold is hard to settle is resolved. The adaptive threshold can quickly track and accurately locate the contaminate subsidiary-band, and be adaptive for the interference changing. Finally, the results of simulation show that the anti-jamming ability of the DSSS is further improved by the threshold algorithm.

Key words: wavelet packet transform; interference suppression; direct sequence spread spectrum;

引 言

直接序列扩频(Direct sequence spread spectrum, DSSS)通信(简称直扩通信)系统本身已经具有一定的抗窄带干扰能力,但当干扰超过接收机的干扰容限时, DSSS 通信系统将不能正常工作^[1]。虽然可以用提高其扩频增益办法来消除窄带干扰影响,但这样会使系统占用较大的带宽,而且扩频增益受系统复杂度的限制不可能无限制的增加。因此,通常采用信号处理技术在解扩前对窄带干扰

进行抑制。目前直扩频系统中窄带干扰抑制的方法主要有线性预测滤波法和变换域抵消法^[2]。线性预测滤波法是通过预测出窄带干扰信号,并将其从接收信号中去除的时域抵消方法。变换域抵消法是运用傅里叶变换、小波变换及小波包变换等手段,把信号从时间域转换到变换域中,然后进行干扰抑制的方法。这种方法的原理是使有用信号与窄带干扰信号在变换域中相互正交,或者相对“平坦”些,然后将受干扰的子带变换系数置零或者用自适应滤波的方法来进行处理^[3]。采用小波包变换的变换域抵消法,在变换中准确定位窄带干扰所

在的子带十分重要。在一些相关的文献中,大都采用固定的阈值进行干扰定位。对于类型和干信比都不同的窄带干扰,采用统一固定的阈值进行定位,效果会不太理想。因此,本文提出利用自适应阈值方法来定位窄带干扰,以解决干扰定位难的问题。

1 基于二进小波变换的窄带干扰抑制算法

1.1 信号的小波包变换

在高分辨率小波分析中, $L^2(R)$ 空间被逐层分解,如将 V_0 分成 V_1 和 W_1 ,再将 V_1 分成 V_2 和 W_2, \dots ,其中 $V_0 = V_{11} \oplus W_1, V_1 = V_{21} \oplus W_2$,及 $V_0 = \bigoplus_{j \in Z^+} W_j$ 。对同一尺度 j, V_j 为低频空间, W_j 为高频空间。这种分解仅是将 V_j 逐级往下分解,而对 W_j 不再作分解。 W_1 与 W_2 相比较, W_1 对应最好的时域分辨率,但有着最差频域分辨率。这在既想得到好的时域分辨率又想得到好的频域分辨率的场合是不能满足需要的。虽然时域-频域分辨率之间都要受到不定原理的制约,但是可根据实际的需要在二者之间取一个好的折中^[4-5]。

对一个信号 $f(t) (f(t) \in L^2(R))$ 进行小波包分解,分解的初始值由下式计算

$$a_0(n) = \langle f(t), \varphi(t-n) \rangle = \langle f(t), \psi_0^0(t-n) \rangle \quad (1)$$

式中: $a_0(n)$ 表示的是 $f(t)$ 在空间 $V_0 = W_0^0$ 中的“概貌”。把它当作一个树状滤波器组的输入信号。而对任意结点 (j, p) 有

$$d_j^p(n) = \langle f(t), \psi_j^p(t) \rangle \quad (2)$$

为 $f(t)$ 与基函数 $\psi^p(2^{-j}t-n)$ 作内积的结果,它是 $f(t)$ 在该结点处的小波包分解系数^[6]。

1.2 直扩信号的小波包分解

直扩信号的功率谱密度是相对平坦的,而窄带干扰的频谱却在某一频段内显示出尖峰特性。因此可以通过对直扩信号进行小波包变换,将干扰信号集中到尽可能少的时频单元中^[7]。

基于小波包变换的窄带干扰抑制算法中,含窄带干扰的直扩接收信号的小波包变换过程。实际上就是选择某一代价函数^[8-9],对信号进行小波包分解得到最优二叉树的过程。比较常用的代价函数如能量聚集度准则函数,其表示如下

$$G_{TC} = \sigma_p^2 / (\sigma_l^2 \sigma_r^2)^{1/2} \quad (3)$$

式中: σ_p^2 为父结点系数方差, σ_l^2, σ_r^2 分别为左右子结

点系数方差。

如果代价函数 G_{TC} 小于给定的门限 T ,说明对应的父结点主要由窄带干扰或者不包含窄带干扰的分量构成,该结点无需再进行分解了。反之,在分解层数 L 不超过最大分解层的情况下,应继续分解该结点。扩频信号是具有白噪声特征的信号,而算法中 G_{TC} 具有归一化的效果。因此对于不含窄带干扰的子带计算出来的 G_{TC} 应接近恒定值1。对于存在窄带干扰的子带, G_{TC} 应该大于1^[10]。

直扩信号小波包分解形成最优二叉树的算法步骤描述如下:

(1)计算输入的直扩接收信号的分解树根结点系数 $a_0(n)$,及其方差 σ_p^2 ;并以 $a_0(n)$ 作为根结点进行小波包分解。

(2)对某一结点进行二叉树分解。分别计算高频部分和低频部分的方差 σ_l^2 和 σ_r^2 ,然后计算能量聚集度 G_{TC} 。将 G_{TC} 与给定的门限 T 作比较;如果 $G_{TC} \geq T$,继续分解当前结点,如果 $G_{TC} < T$,则停止分解,合并该结点。

(3)获取下一层叶子结点,对下一层的每一个叶子结点进行步骤(2)运算。

(4)重复步骤(2),(3),直到分解层数 L 大于最大的分解层数;最终便可获得一个最优二叉树。

1.3 自适应阈值的设定

由小波变换的能量守恒性质可知,小波变换域的能量与原始信号的能量之间存在着等价性。而变换域的能量用变换系数方差来进行测度,因此各分解子带的方差分布也能反映出各个子空间能量的分布特点。

在式(3)中所表示的能量聚集度准则下,对直扩信号进行小波包分解后,得到一个最优的二叉树。查找此最优二叉树的所有叶子结点,并读取其小波包分解系数 $d_j^p(n)$,然后计算 $d_j^p(n)$ 的方差。将所有这些叶子结点的系数方差值构成一个集合 d_x 。对该方差值集合的统计规律进行分析,来设定自适应特征的阈值。

以单音干扰为例,分析干扰强度变化时,集合 d_x 的统计特征随之变化。如图1可知,当干信比增大时,集合 d_x 的离散程度也全随之增大。该集合的标准差随着干扰强度的增大而上升的最快,中值几乎保持不变。当然均值也有增加,但是幅度没有方差增长的快。

根据系数方差值的分布特点,要设定一个大小合适的阈值,而且这个值肯定要大于不含干扰的叶

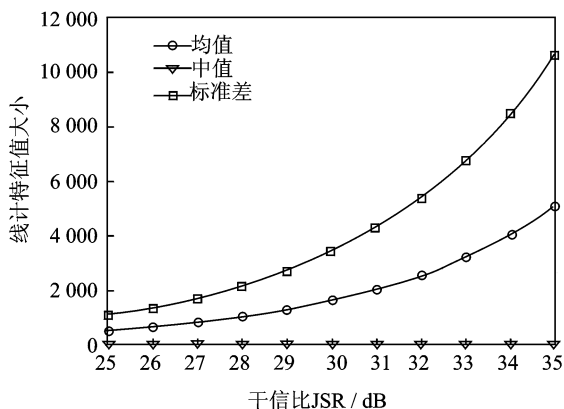


图 1 统计特征值随干扰强度的变化

子结点系数方差值。因此先选择一个值能反映出不含干扰的各个结点系数方差值大小,然后在这个值的基础上再加一个值,而且这个叠加值能体现含干扰时结点系数方差大且可能变化的特点。综合这两方面可以得出,选择集合 d_x 的中值与标准差作为阈值能够满足要求。即

$$T_h = \text{median}(d_x) + \text{std}(d_x) \quad (4)$$

式中: d_x 代表所有叶子结点系数方差值构成的集合, $\text{median}(d_x)$ 表示 d_x 的中值, $\text{std}(d_x)$ 表示 d_x 的标准差。

为了防止没有干扰存在时,阈值 T_h 可能会造成误判的情况,可以选用 $T_h = t \times \text{median}(d_x) + \text{std}(d_x)$ 作为窄带干扰定位剔除阈值。因为当没有干扰存在时,直扩信号进行小波包分解后,其能量在各叶子结点所代表子空间中分布是十分均匀的,所以叶子结点的系数方差值之间相差很小。因此集合 d_x 的中值 median 与集合中的元素(结点系数方差)相差很小。故在式(4)中,中值只要取倍数大于 $1(t > 1)$ 即可防止阈值 T_h 误判。

利用自适应阈值进行干扰子带剔除的算法步骤如下

(1)将叶子结点系数方差集合中的每一个元素与 T_h 比较。如果大于,则认为该元素对应结点主要由干扰信号构成,将小波包变换系数置零;否则,将其系数保留。

(2)然后进行小波包重构,得到去除窄带干扰后的信号。

2 实验仿真与分析

仿真系统中,DSSS 通信系统采用长度为 63 的 PN 码进行扩频,二进制相移键控(BPSK)调制方式采用 DB2(Daubechies 小波)进行分解,信号

通道为高斯白噪声通道。

因为扩频码长度为 63($10\log 63 = 17.99$ dB),因此系统本身具有一定的抗干扰容限。基于此,在仿真时,为了体现算法的抑制效果,干信比应适当的大于 17.99 dB。否则干扰信号对系统的干扰效果很差,在没有干扰抑制时,误码率也会很低,则体现不出算法的抑制效果。

2.1 小波包分解层数选择的仿真

仿真时信噪比取 10 dB,干扰信号的频率在信号载频左右(0.1 至 0.5 倍原信号带宽的范围内)随机选取,相位在 $[0, 2\pi)$ 间随机均匀分布。对于单音干扰,其干扰效果好,干信比取在 28~36 dB 之间变化,仿真结果如图 2 所示;而对窄带高斯白噪声干扰,其干扰效果欠佳,其干信比取在 38~46 dB 之间变化,其结果如图 3 所示。

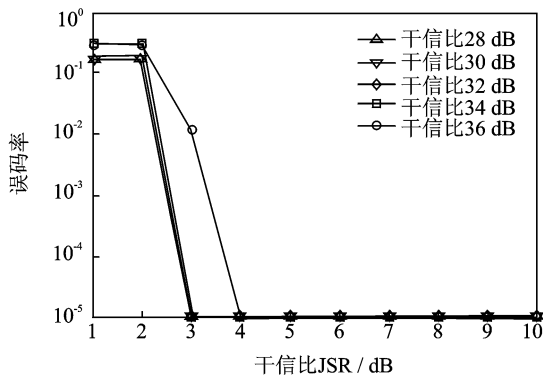


图 2 单音干扰

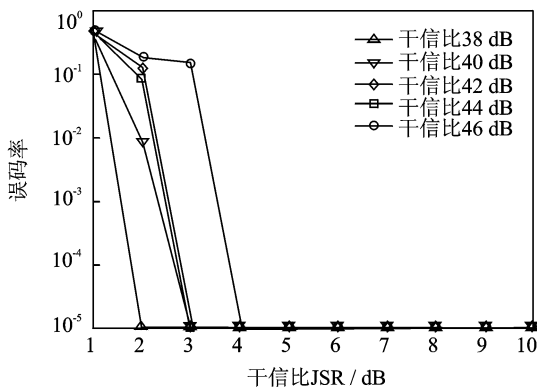


图 3 窄带干扰(占带宽 10%)

在不同的干信比条件下对 DSSS 系统进行仿真,结果如图 2 和图 3 所示。分解到第 5 层时,对不同类型的窄带干扰,其误码率已经很低了。所以可以把 5 层作为最大的小波包分解层数。

2.2 自适应阈值抑制窄带干扰仿真

分解门限 T 取 1,最大分解层数为 5 层时。利

用自适应阈值(这里 t 取 10)分别对单音干扰、双音干扰及窄带高斯白噪声干扰(占带宽的 10%)进行仿真,其结果如图 4~6 所示。因为窄带高斯白噪声干扰的效果不及单音和双音干扰,所以其干信比还要取大点。干信比选取 25~35 dB。

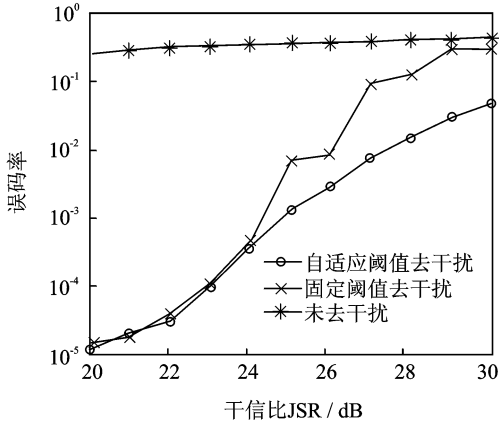


图 4 单音干扰时误码率

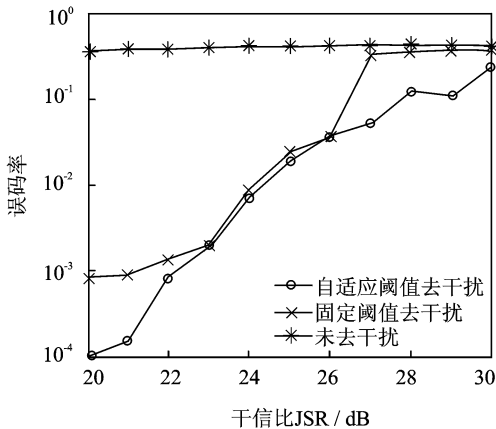


图 5 双音干扰时误码率

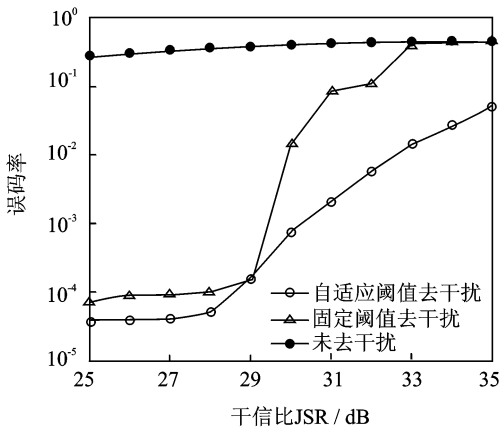


图 6 窄带高斯白噪声干扰(占带宽 10%)误码率

通过仿真可以发现,当干扰功率较低时,固定阈值也能起到干扰定位剔除作用,效果稍差一些。当干扰加强时,由于固定阈值本身不能随干扰变化而进行相应的调整,可能会造成误判而使误码率迅速增加。而自适应阈值却能够跟随窄带干扰的变化而变化,很好地定位和剔除窄带干扰。

3 结 论

本文提出了一种基于小波包分解的自适应阈值抑制窄带干扰的算法,解决了干扰子带定位难及小波包的最优分解层数的问题。在文献[11]以及其他许多相关文献中,得到最优二叉树后,对于不同类型和强弱的窄带干扰使用固定的阈值来进行干扰定位。因而对窄带干扰的类型变化的适应较差。本文中提出的具有自适应特征的阈值能够随窄带干扰的类型和强弱的变化而变化。从而能够很好地定位窄带干扰,获得较好的干扰剔除效果。仿真结果表明,利用自适应阈值的方法比起固定阈值的方法在效果上有较大的提高。对不同类型窄带干扰,其干扰定位和剔除效果得到提升。

参考文献:

- [1] 张伟,姚天任. DSSS 中的窄带干扰抑制技术[J]. 通信技术,2002,9:24-27. 2002,23(9):24-27
Zhang wei, Yao Tianren. Narrow-band Interference Rejection Techniques in DSSS [J]. Communication Technology, 2002, 9: 24-27
- [2] 郭经红,程时昕. DSSS 系统中自适应小波包干扰抵消器[J]. 通信学报,2001,22(7):18-25
Guo Jinghong, Cheng Shixin. Adaptive wavelet packet interference exciser for DSSS communication systems [J]. Journal of China Institute of Communications, 2001, 22(7): 18-25
- [3] Bernard W, Samuel D S. Adaptive Signal Processing [M]. Beijing: China Machine Press, 2008
- [4] Boggess A, Narcowich F J. A first course in wavelets with fourier analysis [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2002
- [5] 陈永彬,张松. 小波域图像块修复[J]. 数据采集与处理,2009,24(5):650-654.
Chen Yongbin, Zhang Song. Image repairing research based on block-by-Block in wavelet domain [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2009, 24(5): 650-654.
- [6] 毕为民,唐炬. 基于熵阈值的小波包变换抑制局部放电窄带干扰的研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(5):128-131

- Bi Weimin, Tang Ju, Yao Chen-guo, et al. Simulation and experiment study on wavelet packet decomposition based on entropy threshold for DSI rejection of PD[J]. Proceeding of the CSEE, 2003, 23(5): 128-131
- [7] 刘刚, 杨杰, 汪立新, 等. 惯组野外测试时振动干扰的检测与提取[J]. 数据采集与处理, 2009, 24(增刊): 245-248.
- Liu Gang, Yang Jie, Wang Lixin, et al. Detecting and extracting vibration disturbance in IMU field testing [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2009, 24(S): 245-248.
- [8] Noel G, B J van Wyk. Wavelet packet tree selection for vibration data[J]. IEEE Africon 2004: 239-244
- [9] Akansu A N, Liu Y. On signal decomposition techniques[J]. Optical Engineering, 1991, 30(7): 912-919
- [10] 张平华, 王玲. 基于 ATF 的直扩通信干扰抑制技术 [J]. 数据采集与处理, 2006, 21(增刊): 82-85.
- Zhang Pinghua, Wang Ling. Interference rejection technology based ATF in DSSS[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2006, 21(S): 82-85.
- [11] 许国平, 江铭炎, 等. 基于小波包变换的直接序列扩频通信窄带干扰抑制技术[J]. 山东大学学报(工业版), 2005, 35(2): 36-40
- Xu Guoping, Jiang Mingyan, Yuan Dongfeng, et al. Suppression of narrow-band interference in DSSS systems based on wavelet packet transforms[J]. Journal of ShangDong University (Engineering Science), 2005, 35(2): 36-40
- 2004, 30 (4) : 239-244**
- 作者简介: 朱立为(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 数字信号处理、嵌入式应用方面, Email: 372433016@qq.com; 蒋品群(1970-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 数字信号处理、信号检测与自动控制。

袁东风

