一种新的重叠变换域抗窄带干扰技术

李冲泥,胡光锐
(上海交通大学电子工程系,上海 200030)

摘 要: 本文采用改进的重叠变换域中值滤波算法进行变换域抗干扰处理.该算法既考虑到直接序列扩频信号的特点,同时又利用重叠变换的特性对变换域系数进行了二次滤波.该算法节省处理时间,并且不需要有关干扰的先验知识,系统性能不会随干扰频率变化而变化,因而是一种很稳健的处理方法.

关键词: 重叠变换; 变换域处理; 中值滤波
中图分类号: TN914.42 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 01-0117-03

A New Lapped Transform Domain Narrow-band Interference Excision Technique

LI Chong-ni; HU Guang-rui
(*Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai* 200030, *China*)

Abstract: A novel communication receiver which uses lapped transform (LT) incorporating modified median filter (MMF) algorithm is designed for narrow-band interference excision. The LT domain MMF algorithm takes full advantages of the direct sequence spread spectrum signal, as well as the characteristics of LT, performing the transform domain filtering twice. The first filtering locates the position of interference and mitigates most of them. The second filtering is performed in a small neighborhood of the located interference. So LT domain MMF algorithm can completely mitigate the interference without distorting the desired signal. Simulation results demonstrate the improved BER performance and increased robustness of our receiver.

Key words: lapped transform; transform domain excision; median filter

1 引言

众所周知,扩频通信系统最重要的应用就是抗干扰[1].在许多情况下,扩频系统所固有的扩频增益可以提供足够的抗干扰能力.但在强干扰情况下,则要借助信号处理技术来提高系统的性能,以弥补扩频增益的不足,变换域处理技术就是其中的一种.在变换域处理中,一个重要的问题是选取一种合适的变换,使信号和干扰得以有效的分离.在传统傅立叶变换中,由于基函数的长度受到变换域频带数目的限制,导致严重的频谱泄露.重叠变换[2]的引入解决了这个问题.在重叠变换中基函数的长度为 $L=2KM$,其中 M 为变换域频带的数目,K为重叠因子[3].对于给定的带宽,由于基函数的长度增加和变换时所做的重叠处理,重叠变换可以明显改善滤波器的阻带衰减性能,并在干扰功率增强时不表现出明显的性能恶化.值得一提的是重叠变换的鲁棒性,当研究干扰频率变化对各种变换的影响时,重叠变换的BER性能并没有象DFT那样表现出对干扰频率的敏感性.这种特性具有非常大的实用价值,因为对被干扰方来讲,根据不能保证干扰频率是固定的或已知的.目前已存在有效的算法来实现这种变换[3],相对FFT算法只增加少量的计算量.重叠变换的这些特点,使其在抑制窄带噪声的应用中有非常好的前景.本文利用重叠变换把信号映射到变换域进行处理,与文[2]不同的是,本文利用干扰和信号在变换域的不同形态,采用了一种改进的中值滤波(MMF)算法来抑制干扰.与文[2]相比,这种方法不需要有关干扰的先验知识,如干扰频率、相位等,增强了系统的鲁棒性.

2 改进的中值滤波算法及仿真结果

设接收机所收到的信号 $x=s+w+j$.其中 $s=d(n)c$, $d(n)$是经过BPSK调制的传输信号,取值为1或-1;c 是伪随机信号.假设每一信息比特被一完整长度的伪随机序列所扩频,接收信号是按切谱速率采样所得.w 是均值为零的加性高斯白噪声,其双边谱密度为 $N_0/2$.多音连续波干扰 $j(n)=\sum_{j=1}^{J}A_j\cos(\delta\omega_j n+\theta_j)$,其中 A_j 表示干扰幅度,$\delta\omega_j$ 是干扰与载波的频率差,θ_j 是均匀分布在$[0,2\pi)$上的随机相位.

众所周知,扩频信号极易受到窄带干扰的影响,而窄带信号的能量相对于扩频信号来说集中在很窄的频段中,它们的谱表现为脉冲形状.因此可以考虑把中值滤波应用于抑制窄带干扰.但对于直接序列扩频信号来说,由于信号本身是振荡的,其时域取值范围为[1 -1],频域分量按包络 $\sin x/x$ 进行变化,使用中值滤波器处理就会给信号本身带来失真.考虑到重叠变换的特殊性及窄带干扰的幅度谱一般明显高于信号的谱,可以修改中值滤波算法以便进行变换域去干扰处理.

收稿日期:1998-10-13;修订日期:1999-01-05

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

MMF 算法可以依据干扰的宽度及幅度大小有选择的去除干扰.其输入输出可以表示如下

$$y_i=\begin{cases}x_i, if\ |y_i-x_i|<T\\ y_i, 其它, y_i=median(x_i|j=i-k,\cdots,i+k)\end{cases}\quad(1)$$

其中 x、y 分别对应着信号的输入输出序列,参数 k 确定窗宽,T 为阈值参数.任何脉冲只要其幅度足够大并且宽度小于 k 就会被中值滤波器滤掉.而信号本身的振荡由于幅度起伏小于阈值被保留,这就达到了去除窄带干扰的目的.在仿真中应用上述方法,效果并不尽如人意.进一步研究表明,这种不稳定性是由于重叠变换造成的.由于 LT 要对输入数据进行重叠处理,对任意一段信号而言,其变换域都同时对应着两组变换系数.这两组系数既有不同又相互对应,两者结合起来反应了输入信号的变换域特性.研究单音干扰的 LT 域变换系数可以发现,当干扰频率或相位发生变化时,其变换域系数会呈现出如图 1 所示的几种变化.对图 1 左边的两种情况(简称为 A 型干扰)而言,干扰所对应的两组变换系数幅度都很大且基本相等,应用上述 MMF 算法可以得到很好的效果,但观察图 1 右边的两种情况(简称为 B 型干扰),可以发现干扰所对应的一组变换系数幅度大,另一组则相对较小,这时采用上述 MMF 算法就会发现,包含在幅度较小的那一组系数中的干扰成分不能被消除.这和阈值 T 的设置有关,如果 T 过大则不能完全除去 B 型干扰,但 T 过小则有可能破坏信号本身的起伏.针对这种现象并考虑到两组变换域系数之间的对应关系,进一步修改 MMF 算法如下.

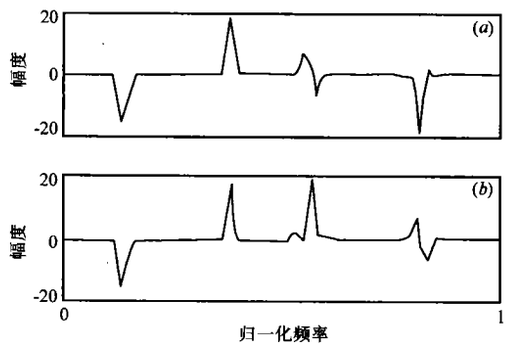


图 1 单音干扰在 LT 域的变换系数

(1)首先设定一个大的阈值 T_1,对两组变换域系数求平方得到 X_1、X_2.求平方的目的是进一步突出干扰.

(2)对 X_1、X_2 分别做中值滤波,并把幅值发生变化的位置分别记录在序列 idx1、idx2 中.

(3)比较位置记录序列 idx1、idx2,如果发现两组变换系数变动位置不统一时,e.g. $p\in$ idx1 and $p\notin$ idx2,这表明有 B 型干扰出现,此时就在 X_2 中以 p 为中心,宽度 L 范围内再做一次中值滤波,这次阈值定为 T_2($T_2<T_1$).

(4)对得到的两组变换域系数求均方根.

图 2 显示了多音干扰情况下使用 MMF 算法的处理效果.其中干扰为三个单音构成的多音干扰,与载频的频率差分别为 0.18、0.35 和 0.5.以 X_2 为例,当一次滤波结束后,频率差为 0.18 和 0.35 的干扰成分被滤除,而频率差为 0.5 的干扰成分则没有被滤除,这时就需要在此邻域进行二次滤波,从图 2(c)可以看出二次滤波得到了很好的效果.

改进后的 MMF 具有很多优点.如果适当的设置阈值 T_1,那么在没有干扰存在时滤波算法不会执行,这就避免了使有用信息产生不必要的失真.而当干扰存在时,中值滤波算法被激活,二次滤波的阈值 T_2 可以定为 T_1 的一半,这样既可以有针对性地滤除剩余的干扰成分又不会对滤波范围之外的信号造成失真,从而有效地提高了系统性能.通过阈值的设置可以省去传统方法中定位干扰的过程,不管是多音干扰还是单音干扰都可以一次去除而不用对系统进行任何修改,大大缩短了处理过程.

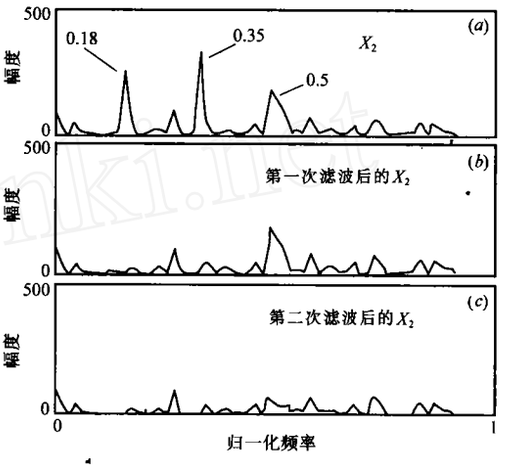


图 2 改进的中值滤波算法

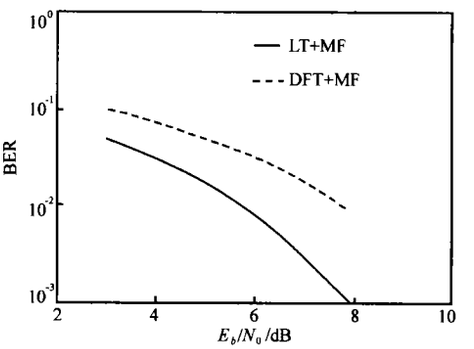


图 3 接收机 BER 性能

在仿真实验中,我们应用重叠变换域的中值滤波算法对直接序列扩频信号进行了抗干扰处理.图 3 给出了多音干扰(三个单音信号)情况下的系统性能.作为比较我们也给出了采用 DFT 的处理结果,其中 JSR = 20dB,干扰与载波的归一化数字频率差分别为 0.5、0.35、0.18.可以看出由于 LT 的基函数更长,因此比 DFT 有更好的抗干扰能力.图 4 显示了本文所描述的系统性能随干扰与载波的频率差变化的情况.其中 JSR = 20dB,Eb/N_0 = 6dB.可以看出采用 MMF 算法可以保持系统性能的稳定,而采用 DFT 变换域的阈值算法时,系统的 BER 随干扰频率变化.当 M = 16 时,由于第 K 个基函数所对应的中心频率为 $(2K+1)\pi/32$,因此使干扰的中心频率从 0 变到 0.1,其间经过了两个基函数所对应的中心频率,$\pi/32$ 和 $3\pi/32$.当干扰频率偏离这两个频率时,采用 DFT 变换域传统

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

阈值算法的系统 BER 要变大，这就是 DFT 的频谱泄露造成的.但如果仍然采用 DFT 变换，用改进的阈值算法中值滤波算法则可以明显使系统性能趋于稳定.

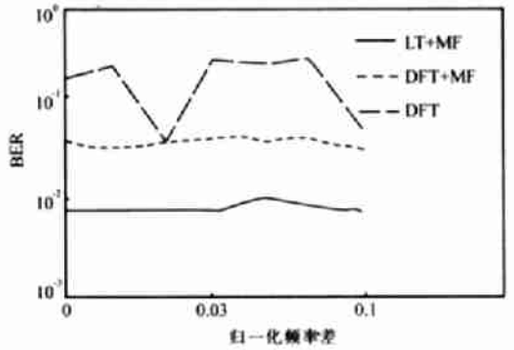


图 4　干扰频率变化对系统性能的影响

3　结论

本文所提出的 LT 变换域的 MMF 算法，充分利用了同一干扰所对应的两组重叠变换域系数既有不同又相互对应的特点，提出了对变换域系数进行二次滤波的概念，从而彻底消除干扰的影响.仿真实验证明，该算法可以很大程度地提高系统的鲁棒性和 BER 性能.

参考文献

[1] L. B. Milstein. Interference rejection techniques in spread spectrum communications. Proceedings of IEEE, 1988, 66(1): 657 ~ 671

[2] M. J. Medley. Adaptive narrowband interference suppression using linear transform and multirate filter banks. Ph. D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Dec 1995

[3] H. S. Malvar. Signal Processing with Lapped Transforms. Boston, MA: Artech House, 1992

[4] L. Pitas, A. N. Venetsanopoulos. Non-Linear Digital Filters. Kluwer Academic Publishers, 1990



李冲泥　1972 年生.现为上海交通大学电子信息学院博士研究生.1994 年与 1996 年分别获得西北工业大学电子工程系学士和硕士学位.主要的研究兴趣包括：扩频通信系统的抗干扰技术，小波理论及其应用，变换域信号处理，自适应滤波，图像及语音增强和识别，移动通信卫星中的多址技术等.

胡光锐　上海交通大学电子工程系教授，博士生导师.主要的研究兴趣包括：语音识别，神经网络，通信系统的抗干扰研究，协同学和混沌神经网络在语音识别中的应用等.

（上接第 131 页）

参考文献

[1] B. K. P. Horn and B. G. Schunck. Determining Optical Flow. Artificial Intelligence, 1981, 17: 185 ~ 203

[2] B. Lucas and T. Kanade. Optical navigation by the method of differences. In Proc. 7th Int. Joint. Conf. Artificial Intelligence, 1985: 981 ~ 984

[3] E. H. Adelson and J. R. Bergen. The extraction of spatiotemporal energy in human and machine vision. In Proc. IEEE Workshop on Visual Motion, 1986: 151 ~ 156

[4] J. K. Kearney, W. B. Thompson, etc. Optical flow estimation: An error analysis of gradient-based methods with local optimization. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(2): 229 ~ 244

[5] E. P. Simoncelli and E. H. Adelson, etc. Probability distributions of optical flow. In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1991: 310 ~ 315

[6] D.-G. Sim and R.-H. Park. Robust reweighted MAP motion estimation. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(4): 353 ~ 365

[7] S. V. Fogel. Estimation of velocity vectors fields from time varying image sequences. CVGIP: Image Understanding, 1991, 53: 253 ~ 287

[8] J. L. Barron, D. J. Fleet, etc. Systems and experiment: Performance of optical flow techniques. Int. J. Comp. Vision, 1994, 12(1): 43 ~ 77

[9] W. B. Jonathan. Improved accuracy in gradient-based optical flow estimation. Int. J. Comp. Vision, 1997, 25(1): 5 ~ 22

[10] 徐建华编著.图像处理与分析.科学出版社，1992

[11] 吴立德著.计算机视觉.复旦大学出版社，1993

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net