

一种新颖的消噪算法及其在通信中的应用

陈新富, 易克初, 谷春燕

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文提出了一种自适应变窗长平滑滤波的消噪算法, 它依据信号在小波变换域和时域的幅度分布特性, 把信号分成特性不同的时间片段, 然后按片段信号的特性采用自适应变窗长平滑滤波的方法, 对经过内插处理后的高采样率信号进行消噪处理. 这种方法非常适合分段连续或分段平稳信号的消噪处理, 仿真结果表明该算法具有良好的性能. 本文将该算法应用于扩频通信系统中脉冲干扰的消除, 仿真结果说明这种算法与脉冲置零法相比, 性能得到了较大的改善.

关键词: 噪声消除; 小波变换; 抗干扰; 自适应变窗长平滑滤波

中图分类号: TN911.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 10-1472-04

A Novel De-noising Algorithm and Its Applications to Communication

CHEN Xin-fu, YI Ke-chu, GU Chun-yan

(Key Lab on ISN, Xidian University, Xi'an, Shanxi 710071, China)

Abstract: This paper proposes a novel de-noising algorithm using a smoothing window with adaptively varying length. After the signal to be processed is segmented according to its properties in time domain and wavelet transform domain and interpolated into a higher sampling rate, a median and linear filter is employed to estimate the noise and then the estimate is removed out from the signal. The algorithm is particularly suitable for de-noising of segmentwise continuous or segmentwise stationary signals. Computer simulation results suggest that the algorithm has very good performance for de-noising. The algorithm is applied to anti-jamming in a spread spectrum communication system, and computer simulation shows that its performance is much better than that of setting pulse to zero method in anti-pulse jamming.

Key words: de-noising; wavelet transform; anti-jamming; length adaptive varying smoothing window

1 引言

任何系统, 包括雷达、通信和控制系统, 只要涉及到信号的传输, 则必须考虑传输信道噪声对信号的影响. 如果这些噪声为白噪声且信号是平稳的, 则可以用线性滤波的方法进行有效的处理. 但是, 实际中有许多情况并不满足这种条件, 如矩形脉冲信号、图像的边缘信号以及通信系统中的人为干扰等, 因此必须应用非线性滤波^[1]或变换域滤波^[2]的方法进行处理, 其中比较常用的非线性滤波为中值滤波. 它具有既保留信号的奇异点又使信号的变化轨迹在连续段比较平滑, 所以在信号处理尤其是语音信号处理中得到了广泛的应用^[3].

由于信号和噪声在小波变换域的区别特征比时域中明显得多, 并且小波变换非常适合于信号的奇异性分析, 近年来人们提出了很多基于小波变换的信号消噪和信号增强算法^[4]. 这些算法利用信号和噪声在小波变换域的明显不同特性, 采用阈值滤波法得到高信噪比的信号, 实际上它们也和基于付立叶变换的算法一样把窗选信号当作一个整体进行处理, 在小波变换域进行滤波. 这种方法在处理时强时弱的信号时, 阈

值比较难确定, 消噪效果就不理想, 所以又提出了时变的小波消噪算法^[5]. 由于小波变换要求信号的采样率至少为奈奎斯特频率的两倍, 并且对于奇异信号需要多次映射才能达到比较好的效果, 而对于连续信号的起始点和结束点的定位一般是无能为力的, 这使得基于小波变换的消噪算法在实时信号处理中难以采用, 应用场合受限制.

本文提出了一种基于信号局部特性的自适应变窗长平滑滤波的消噪算法, 它首先依据信号在小波变换域和时域的幅度分布特性, 把信号分成特性不同的时间片段, 然后根据各个时间片段信号的特性采用自适应变窗长平滑滤波的方法, 对经过内插处理后的高采样率信号进行消噪处理. 它适合于分段连续、分段平稳信号的消噪处理, 计算机仿真结果表明, 该算法具有良好的性能.

军用通信系统必须考虑人为干扰对系统性能的影响, 由于人为干扰具有干扰强度大、出现与否具有随机性等特点, 对系统性能的影响比自然界的噪声影响要大的多, 常常使接收机不能正常工作. 如果把人为干扰看成有用的信号, 把实际通

信的信号看成背景噪声,对干扰进行估计以便进行抵消处理,则可以有效地削弱强干扰,使接收机能正常地进行信号检测(解扩解调)。但是,消噪算法在通信系统中应用时,算法的复杂度和硬件代价是一个关键问题。由于小波消噪算法要求系统的采样率至少为系统带宽的两倍,计算量大,实际应用有一定的难度,本文提出的算法有利于避免这类问题。本文对所提算法应用于通信系统去脉冲干扰的方案进行了计算机仿真研究,结果表明该算法优于文献[6]提出的干扰区间内干扰脉冲直接置零的方法。

2 基于信号特性分段的自适应变窗长平滑滤波消噪算法

一般的噪声抵消算法是把一段窗选信号作为一个整体来处理,这隐含了信号是短时平稳的假设,即在窗选时间内平稳。这个假设使得消噪的性能受窗长(实质上是采样率)与窗的位置的制约,实际效果不理想。如果能检测到窗选信号内的特性变化点,并以此为分界点,对不同特性的信号片断进行不同的处理,则不但可以达到较好的消噪效果,还可以消除窗长与窗的位置的影响。下面我们就介绍这样一种消噪方法。

2.1 依特性不同的信号分段算法

付立叶变换一直是信号分析的基本工具,采用短时付立叶变换分析非平稳信号由于测不准原理的限制,常常不能很好地反映信号的非平稳特性,不能对非平稳信号进行有效、合理的分段。小波变换使用一种时频特性更合理的局部基,通过改变平移和展缩系数,可以达到“变焦距”的目的,它对信号的奇异性即奇异点的位置和奇异度的大小的分析非常有效。也就是说,可以在小波变换域,根据小波系数的分布特点,对信号进行分段,对不同的段采用不同的处理方法,达到依特性不同的信号自适应处理的目的。

设信号为 $y(n)$, 其 2^j 尺度的小波系数为 $C(n)$ 和 $D(n)$, 经过分析和实验,发现 $C(n)$ 和 $D(n)$ 与 $y(n)$ 的特性具有如下关系: (1) $C(n)$ 跟踪信号的包络变化; (2) 在信号的奇异点位置,如果 $y(n) - y(n-1) > 0$, 则 $D(n) > 0$, 如果 $y(n) - y(n-1) < 0$, 则 $D(n) < 0$, 并且其值的大小和 $|y(n) - y(n-1)|$ 的大小成正比; (3) 在信号的连续点, $D(n)$ 大致表现为均值等于 0, 方差等于噪声方差的白噪声特性。依据关系(2)、(3), 以奇异点为分界点可以把信号分成幅度特性不同的几段,但是这两个关系不适用连续信号的分段,比如升余弦窄脉冲叠加白噪声和余弦镶边的矩形窄脉冲叠加白噪声的情况。对此,我们引入信号短时平均幅度分布函数,即把短时平均幅度分布函数呈现均值大且比较恒定、方差较小的连续段划归一类,把短时平均幅度分布函数呈现均值连续变化,方差较小的连续段划归另一类。此外,为了消除噪声的影响,我们采取计算小波系数的近似部分的短时平均幅度分布函数的方法进行处理。需要注意的是计算短时平均幅度分布函数的窗长的选取问题,窗长太长容易模糊信号的分界点,窗长太短则受噪声影响大。由于连续信号的起止点值和噪声的值非常接近,比较难确定其准确的位置,在此我们采用语音处理中的语音起止点检测算法) 短时能量和过零率的方法,确定脉冲的起止

点。为了比较准确地确定脉冲的起止点,短时窗的长度需要根据采样率和性能要求确定。综上所述,得到了一个依特性不同的信号分段算法,其流程如图 1 所示。

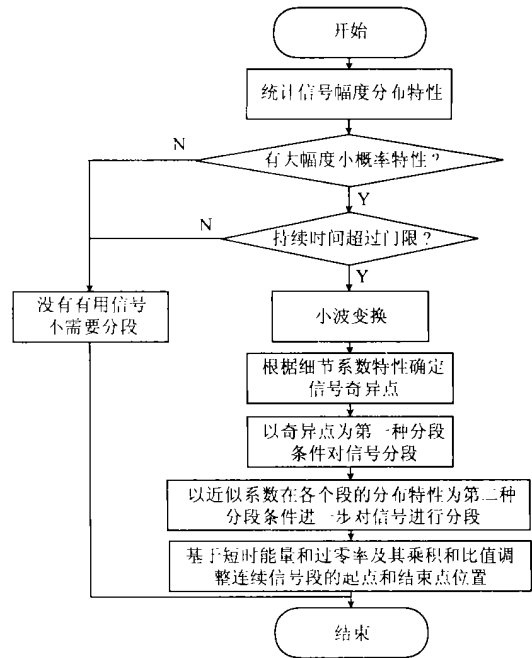


图 1 依信号特性分段流程图

2.1.2 内插、变窗长平滑滤波

对于连续或平稳的信号,平滑滤波可以消除噪声对信号的影响。在采样率一定的情况下,平滑效果和平滑窗长度是矛盾的。平滑窗长度越短,平滑效果越差,但是信号估计值的误差越大;平滑窗长度越长,平滑效果越好,但是信号的突变点和极值点容易模糊,在这些点附近的估计误差很大。解决这个问题的方法之一是提高采样率,使信号前后样点的变化率缩小,但是提高采样率使得系统输入输出的数据量以及前级处理的计算量增加。改善平滑效果而又不增加系统前级的复杂度一个有效的方法是使用内插提高采样率,但是这种方法还是不能解决信号的突变点附近估计误差比较大的情况。

实际上,所要解决的减少信号的突变点和极值点附近的估计误差,亦即保留信号的突变点和极值点的问题与语音基音轨迹跟踪的情况很相似^[7],可以用类似的方法如中值滤波等解决。由前面讨论可知,平滑窗长度影响平滑效果,而不同特性的信号允许采用不同的平滑窗长度以达到比较好的平滑效果。在 2.1.1 节已经依信号的不同特性把信号进行了分段,所以在此可以采用变窗长的自适应中值滤波和线性平滑滤波,其中窗长是根据信号幅度的变化率的大小自适应的确定的,这样就可以做到不同信号的自适应最佳处理。为了改善信号特性分界点的消噪效果,我们采用前后向预测技术进行处理,这对于信号特性缓慢变化的连续信号非常有意义,它可以削弱信号分界点不精确所造成的误差。另外还采用和小波变换消噪所采用的多次映射的方法进行处理,即信号内插后经过多次变窗长的自适应中值滤波和线性平滑滤波,以进一步改善平滑效果。其中内插倍数为 8,为了消除 $\sin(x)/x$ 在边界的

效应,对 $\sin(x)/x$ 序列进行了加 Hamming 窗处理.

2.1.3 仿真结果

对以上算法的消噪性能,进行了计算机仿真,其结果如图 2 所示,其中 (a) 是原始信号, (b) 为受噪声污染的信号, (c) 为算法消噪结果.

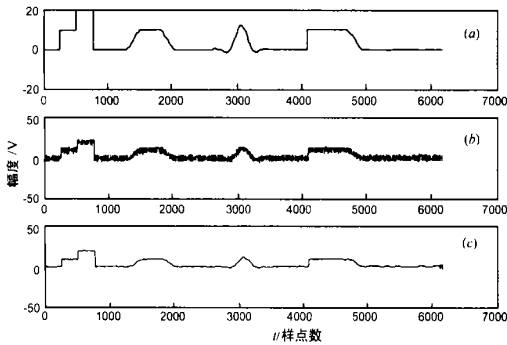


图 2 算法消噪仿真结果

由图 2 可知: (1) 对于连续和奇异信号,分段算法均能比较准确地确定信号的起始点和终止点,说明所提的分段算法可以依信号特性对信号进行正确的分段; (2) 消噪后的信号的信噪比得到了较大的提高,尤其是对于有奇异点、分段连续可导的信号,算法可以大大减少在信号奇异点和极值点附近的估计误差,证明了内插、依信号特性的自适应变窗平滑滤波对于改善消噪性能是有效的.

3 在通信系统中的应用

通信系统所受到的干扰大体可以分为两类:宽带干扰和窄带干扰,其中宽带干扰除了自然界本身存在的白噪声干扰外,还有人为施加的时域窄脉冲干扰.白噪声干扰对通信系统性能的影响可以很容易预测并通过适当的方法(如增大发射

功率)解决,但是人为施加的时域窄脉冲干扰一般具有功率大、出现与否具有不可知性等特点,因而对系统造成的影响难以预测,其危害更大.

如果把人为施加的时域窄脉冲干扰看作有用的信号,而正常通信的信号看成干扰信号,采用本文第 2 节提出的消噪算法,得到时域窄脉冲干扰的估计,然后从接收信号中减去该估计值就可以削弱干扰.一般情况下人为施加的时域窄脉冲干扰的特点是:出现的时机和持续时间具有随机性、幅度很大等,第 2 节所提出分段算法可以很容易把它独立成段.另外为了适应干扰的随机性的特点,我们增加了干扰信号的检测处理过程:统计接收信号的幅度分布函数,即得到其幅度的统计直方图,如果有少量幅度很大(至少为平均幅度的 10 以上),并且持续时间超过了门限值,则认为检测到干扰信号,需要进行消噪处理;如果有少量幅度很大(至少为平均幅度的 10 以上),但持续时间没有超过门限值,则认为是自然界的冲击干扰,直接把该段信号置 0;否则按正常的接收信号进行处理.这样处理的目的是在减少有用信号能量损失的条件下,降低干扰信号的漏检率.

本文提出的算法可在扩频通信系统用于消除很强的脉冲干扰.众所周知,当干扰脉冲的幅度比扩频信号的幅度还要强得多时,即使它的持续期很短时,例如比一个 PN 码片(chip)的时长还短 4 至 5 倍,它也可以使接收机解扩失效.不过这种干扰可以采用脉冲置零技术有效地消除而对信号几乎没有损害.但是,如果干扰脉冲比一个 PN 码片的时长还要长得多,脉冲置零技术会使信号受到严重的损害而可能导致误码.这时采用本文提出的方法,则既可有效地减小干扰的影响而又较少损害有用信号.图 3 是这种应用的计算机仿真结果.其中系统的扩频倍数为 32,干扰脉冲波形有两种,其中 (a) 和 (c) 为高斯脉冲干扰; (b) 和 (d) 为矩形脉冲干扰.它们的脉冲宽

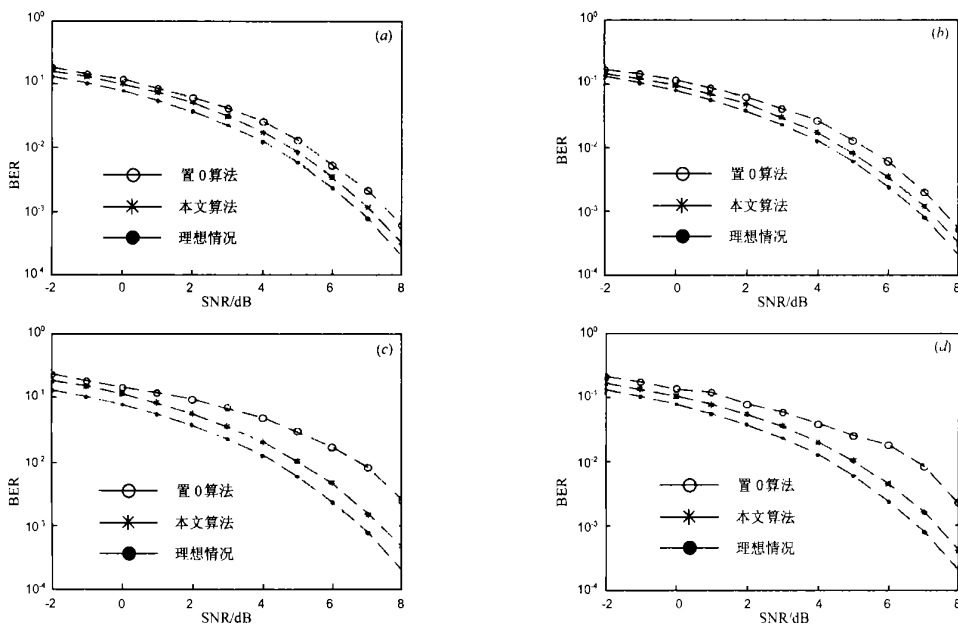


图 3 用于扩频通信系统抗脉冲干扰性能改善的仿真结果

度有两种,其中(a)和(b)脉冲持续时间为2个码片,而(c)和(d)的脉冲持续时间为4个码片.为了和文献[6]中直接置0方法的性能进行比较,图中同时给出了没有干扰时系统的性能和直接置0算法的性能.

由图3可以看出,本文的算法在各种情况下的性能均优于直接置0算法的性能,并且随着干扰脉冲持续宽度的增加,性能改善幅度也有一定的改善.主要原因是直接置0算法在抑制干扰信号的同时也削弱了有用信号的功率,相当于降低了信噪比.由此我们可以推知,如果干扰脉冲出现时间固定在信号能量比较强的区域(实现最佳干扰的情况),则我们的算法将比直接置0算法优越得多.另外还发现在相同干扰脉冲宽度的条件下,文献[6]直接置0算法和本文算法在高斯形状的干扰脉冲性能差距比矩形干扰脉冲大,原因是由于干扰脉冲的起始端和结尾端信号比较弱,文献[6]直接置0算法不能准确判定干扰脉冲的起止点.

4 结论

由上可以得到:(1)由于基于信号特性分段的自适应变窗长平滑滤波的消噪算法采用了信号分段和依信号特性的自适应变窗长平滑滤波等处理,它适合于分段连续、分段平稳信号的消噪处理,消噪效果不受窗长和窗位置的制约,具有易于硬件实现和消噪效果好的特性;(2)对于通信系统中的随机脉冲干扰,基于信号特性分段的自适应变窗长平滑滤波的消噪算法可以有效的抑制.实际上,信号分段算法也可以应用于其它需要消弱窗长和窗位置的影响的场合,如语音的基音同步声道模型参数的估计,而变窗长的思想则可以应用其它消噪算法中,如应用到小波消噪算法则可以降低滤波阈值选取的难度.

参考文献:

- [1] P Heinonen, S Kalli, V Turjanmaa, Y Neuvo. Generalized median filters for biological signal processing [A]. Proc. 7th Euro. Conf. Circuit Theory and Design [C]. 1985. 283- 286.
- [2] Ali N Akansu, Mehmet V Tazebay, et al. Wavelet and Subband Transforms: Fundamentals and Communication Applications[J]. IEEE Communication Magazine, 1997, 104- 115.
- [3] 杨行俊,迟惠生.语音信号数字处理[M].北京:电子工业出版社,1995.
- [4] Meyer Y. Wavelets Algorithms & Applications [M]. New York: SIAM, 1993.
- [5] Brani Vidakovic, Concha Bielza LoZoya. On time dependent wavelet denoising[A]. IEEE Trans On Signal Processing [C]. USA: IEEE, 1998. 2549- 2554.
- [6] Mehmet V Tazebay, Ali N. Aksansu. Adaptive subband transforms in time-frequency excisers for DSSS communications systems [A]. IEEE Trans on Signal Processing[C]. USA: IEEE, 1995. 276- 282
- [7] 易克初,田斌,付强.语音信号处理[M].北京:国防工业出版社,2000.

作者简介:



陈新富 男,1973年生于浙江金华,西安电子科技大学信号与信息处理博士生,主要从事语音和通信信号处理,感兴趣的领域有语音编码,小波分析,通信信号处理和第三代移动通信中的关键技术.

易克初 男,1943年生于湖南涟源,博士,西安电子科技大学教授,博士生导师,现任综合业务网国家重点实验室副主任,负责过十余个国家科研项目,获省部级奖4项、中国发明专利2项,发表学术论文100余篇,专著一本,目前感兴趣的领域有卫星通信、通信信号处理.