基于小波变换多阈值信号的检测方法

何永，文成林

（杭州电子科技大学自动化学院，浙江 杭州 310018）

**摘要：**小波变换是常用的信号处理的工具，为了减小基于小波变换的双阈值检测方法的误报率，提出了宽度阈值。其思想是，一个真正的峰，压缩再重构之后不仅会有较长的脊，而且还会有较长的宽度，但是来自噪声和脉冲干扰的峰很少有这种现象。文中通过仿真对双阈值检测算法和多阈值检测算法进行了比较。由结果来看，宽度阈值的设定有效去除了由干扰产生的峰信号，从而验证了增设宽度阈值的必要性和有效性。

**关键词：**双阈值；宽度阈值；多阈值

**中图分类号：**TN401 **文献标识码：**A **文章编号：**

0 引 言

肌电信号在生理本质上具有非平稳特性，在单纯的时域、频域分析方法中，往往将非平稳特性简化考虑，将肌电信号视为短时平稳信号或时不变信号进行分析，忽略了肌电信号在随时间变化过程中所包含的关联信息[1]。然而采用时频分析方法可以克服这个缺点。在肌电信号的检测问题中，主要任务就是确定肌肉反应的瞬态峰信号，其中峰到达的时刻尤为重要。虽然肌电信号有各种的形状，但是他们全都包含瞬时峰，利用该峰特性，可以提高检测性能。正如文献[2]中采用的双阈值检测算法，检测性能相比单纯的时域、频域分析方法有了很大的提升。但是在生产生活中，由于人为及机器设备本身存在的误差，不可避免的会在信号中带来脉冲干扰，而对于这个问题，无论是单阈值还是双阈值都无法解决。为此，本文在双阈值检测算法的基础上增设了宽度阈值，进而形成了多阈值检测算法。

1. 现存检测类型

传统的信号检测的方法是在时域和频域对信号进行处理，如频谱分析、时域平均方法等，这些方法多数会归到单阈值检测。现在流行的有小波分析理论、神经网络等，这些方法多数也是通过阈值的设定来去掉噪声信号，尤其是在文献[2]中的双阈值检测方法。

* 1. 单阈值检测方法

采用平均与细节这两个线性变换对已知的信号进行多分辨率分解。思想是一个特别形状的峰，在一个或多个分辨率级重构的信号上会得到较大的数值（信号重构中我们只考虑平均变换）。然后，选择高于某一阈值的局部最大值作为可能的峰信号保留下来。这种单个阈值的方法操作起来比较简单，但是他的缺点就是保留的噪声太多，误报率比较高，精度太差。对于在精度要求比较高的生产活动中，这种单个阈值的检测方法显然不能满足要求。

* 1. 双阈值检测方法

低信噪比的情况下，同样采用平均与细节这两个线性变换对已知的信号进行多分辨率分解，在不同分辨率重构的信号之间结合单阈值检测方法保留下来的峰信号来识别脊。脊的长度被定义为峰最大

**收稿日期：**

**基金项目：**国家自然科学基金重点项目(No.61333005)

**作者简介：**何永（1992-），男，陕西宝鸡人，信号检测、故障诊断及预测。

值跨重构信号在相同位置的数目。这个思想是，一个真正的峰，压缩再重构之后会有较长的脊，而来自噪声的峰没有这个现象。为了增加在脊长阈值中需要被处理的可能的峰，可以适当调小高度阈值。然而较低的阈值也降低了精度，尤其在低信噪比的信号中。为了提高精度，而不能太多的影响可能的峰的数目，长度较短的脊被认为是来自噪声[2]。

虽然双阈值算法已经有了较好的检测效果，但是这两个阈值之间的相互影响，也会出现这样的情况：一个是脊的长度较短，但恰好它又是一个峰信号，这种信号被滤掉，出现漏报情况；二是信号中的脉冲干扰信号被当做峰信号保留下来，出现误报。为了解决这样的漏报和误报问题，尤其是对于脉冲干扰信号，我们提出了第三个阈值，宽度阈值，将其与双阈值检测方法结合形成多阈值检测方法。

1. 多阈值检测

本文中我们使用下面式子模拟肌电信号合成原始数据：

 （1）

其中，是在时间0处的瞬时峰信号，是第个瞬时峰信号的位置，是信号中瞬时峰的数量，是方差为的高斯白噪声，是人或机器产生的随机的脉冲干扰。是随机选择的位置，且取决于瞬态信号的稀疏性。稀疏性定义为无信号样本在总样本中的分数(仅噪声样本)。如果信号长度为，则每一个的数据样本都完全平均的包含一个瞬时峰信号。因此数据的整个长度是。

在这里由于信号是瞬态的，所以信噪比不同于传统的定义，因为信号的能量或功率取决于信号的密度：在固定时间间隔内，如果有更多的信号，那么能量或功率会增加。因此，在信噪比的定义中使用瞬时平均功率的概念：

 （2）

是瞬时信号的支持区间，是高斯白噪声的方差。对于高斯白噪声，功率就是方差。

因此，由公式（1）结合（2）产生的数据信号如图1所示。



图1 合成信号图

其中蓝色虚线表示合成信号中的峰，绿色表示脉冲干扰所在的位置，红色表示合成信号中峰极大值所在的位置。

对于上面给出的时间离散的信号，我们利用平均与细节这两个线性变换对信号进行压缩，然后只采用平均信息对原始信号进行重构。对于两次分解之后的重构，相当于相邻四个时刻对应数据值和的平均，又由于假设原始信号中的噪声为高斯白噪声，所以噪声的均值为零。基于上面的假设，我们定义峰宽度为：一个峰从开始到结束包含的采样点的个数。这个思想是，一个真正的峰，压缩再重构之后会有较长的宽度，而来自噪声的峰很少有这种现象。这里我们在二次分解重构的信号中设置峰的宽度阈值，可以进一步去掉在前两步中保留下来的噪声的峰，从而降低检测结果的误报率。

下面我们对多阈值检测方法中的各个阈值进行介绍。

* 1. 高度阈值

由于模拟峰信号的长度是已知的，所以分解次数最大取。我们选择高度阈值为

  （3）

其中表示次分解重构之后信号中的最大值，是 “阈值系数”，这里我们取，就是高度阈值。对于不同分辨率级的信号，有不同的高度阈值。图2为对原始数据进行分解重构后使用高度阈值去噪的结果。由图可以看出，小波变换会将峰保留下来，而噪声会被去掉。



图2 原始信号分解重构并去噪的结果

* 1. 脊长阈值

低信噪比的情况下，在不同分辨率重构的信号之间结合高度阈值保留的峰信号来识别脊。脊的长度被定义为峰最大值跨重构信号在相同位置的数目。这个思想是，一个真正的峰，压缩再重构之后会有较长的脊，而来自噪声的峰没有这个现象。为了增加在脊长阈值中需要被处理的可能的峰，可以适当调小第一个阈值。然而较低的阈值也降低了精度，尤其在低信噪比的信号中。为了提高精度，而不能太多的影响可能的峰的数目，长度较短的脊被认为是来自噪声[1]。

脊长阈值的选取受到分解次数的影响，所以定义脊的长度阈值为：

  （4）

其中是脊长度阈值系数，我们取得到脊长度阈值。不超过的那些位置上的峰被去掉，在剩余的脊中，每个脊对应一个峰信号。峰的位置由脊上分解重构后的峰最大值的位置来估计。所以经过高度阈值和脊长阈值去噪之后检测的结果如图3所示。由图可以看出，双阈值检测保留了干扰信号。



图3 双阈值检测结果

图中圆圈表示合成信号中峰信号的位置，绿色星号表示干扰信号的位置，红色星号表示检测结果。

* 1. 宽度阈值

经过前两个阈值的筛选，大部分的峰信号保留了下来，但也可能保留下了假的峰信号，使得检测结果有较大的误报率。为了解决这个问题，我们利用前面定义的宽度。峰信号的长度为，又由于高斯白噪声的均值为零，所以为了尽可能的减小噪声的干扰，我们取宽度阈值：

 （5）

此处为宽度的 “阈值系数”，我们取，就是宽度阈值。

对于二次分解重构的结果设置宽度阈值，继续去除假阳性并与图2中的（2）对比，如图4所示。



图4 宽度阈值设置前后的比较

上图中宽度阈值的设置有效去除了二次分解重构信号里面由干扰形成的峰信号。

图5展示了双阈值和双阈值基础上增设宽度阈值的检测的结果。从检测结果来看，宽度阈值的设置有效消除了由双阈值检测之后保留下来的假阳性，减小了检测结果的误报率，得到了更好的检测性能。



图5 检测结果对比

图中圆圈表示合成信号中峰信号的位置，绿色星号表示干扰信号的位置，红色星号表示检测结果。显然，在二阈值检测中增设宽度阈值之后，滤掉了干扰信号产生的峰，验证了宽度阈值的有效性。

1. 结束语

本文基于小波变换的双阈值检测技术，通过增设宽度阈值达到降低误报率的效果，从而形成了多阈值检测算法。从仿真结果来看，宽度阈值的设置有效的滤掉了由于人为和机器产生的脉冲干扰信号。因此，肌电信号的检测可以用多阈值方法进行检测，得到更好的检测效果。

该方法还有很多不足之处。一是多阈值方法中阈值的选取都是要通过仿真实验进行选取，本文中的对于阈值选取的实验次数较少，阈值大小并非最佳。二是该算法由于峰信号的特殊性，所以也只能用于含有峰形状的信号的处理中。

参考文献

[1] 阳光映, 罗志增. 小波变换在肌电信号预处理中的应用[J]. 杭州电子科技大学学报, 2005, 25(1): 14-17

[2] Zhao, Liu. Electromyographic Signal Processing With Application To Spinal Cord Injury[D]. Pasadena, California:California Institute of Technology, 2016: 30-84.

[3] 赵学智，叶邦彦，陈统坚.小波变换的尺度自适应选择[J].数据采集与处理，2004，19(1):46-50.

[4] 孙贵青，杨德森.小波变换在瞬态信号检测中的应用[J].哈尔滨工程大学学报，1998，19(1):42-46.

[5] 吴小培，冯焕清，周荷琴，等.基于小波变换的脑电瞬态信号检测[J].数据采集与处理，2001，16(1):86-89.

[6] 杨杉, 赵杉, 王建. 基于小波阈值处理的弱周期脉冲信号混沌检测[J]. 计算机仿真, 2014, 31(11): 332-335

[7] 夏均忠, 刘远宏, 冷永刚, 等. 微弱信号检测方法的现状分析[J]. 噪声与振动控制, 2011, (3): 156-161

[8] 罗志增, 李亚飞, 孟明. 二代小波变换在肌电信号消噪中的应用[J]. 计量学报, 2010, 31(3): 260-264

[9] 孙延奎. 小波分析及其应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2005: 2-20.

[10] 张德丰. MATLAB小波分析[M]. 北京:机械工业出版社, 2009. 313-320.

Detection Method of Multi - threshold Signal

Based on Wavelet Transform

He Yong，Wen Cheng-lin

（*School of Automation Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang 310018,China*）

**Abstract:** Wavelet transform is a commonly used signal processing tool, in order to reduce the false alarm rate of double-threshold detection algorithm after wavelet transform, the width threshold is proposed. The idea is that a true peak, after compression and reconstruction will not only have a long ridge, but also a longer width, but from the noise and pulse interference peaks rarely have this phenomenon. In this paper, the double-threshold detection algorithm and the multi-threshold detection algorithm are compared by simulation. From the result, the setting of the width threshold effectively removes the peak signal generated by the interference, thus verifying the necessity and validity of adding the threshold value.

**Key words:** double-threshold; width threshold; multi-threshold