

文章编号 1004-924X(2002)06-0552-07

# 小波变换在微型光谱仪光谱信号处理中的应用

陈刚,温志渝,杨桂荣,黄尚廉  
(重庆大学光电工程学院,重庆 400044)

**摘要:**针对所研制的微型光谱仪的光谱信号与噪声的特点进行了分析,研究了小波变换处理方法对不同半宽高斯谱峰的影响,并对不同的小波基处理结果进行了分析和比较。结果表明:利用 Mallat 分解算法,采用小波基 db6 或 coif3,对获取的微型光谱仪光谱信号进行 8 次分解,直接将分解系数中的低频成分  $a_8$  以及高频成分  $d_1$  和  $d_2$  置为零,在重构信号中能较好地去除高频噪声和低频背景。

**关键词:**小波变换;微型光谱仪;信号处理;光谱信号

中图分类号:O438 文献标识码:A

## 1 引言

在光谱分析中主要关心的是图谱中峰的形状、大小和位置特征,即需要了解信号的局部特征<sup>[1]</sup>。然而在实际光谱获取过程中,光谱仪器各子系统噪声信号的引入以及仪器本身的影响(例如仪器函数)导致了信号的畸变,使实际测得光谱图中的峰值发生形状、大小或是位置的改变。谱峰位置的改变直接影响到所检测光谱的波长准确性,同时光谱形状的变化导致光谱半宽度变大,从而使光谱仪器的光谱分辨率降低。对于微型光谱仪器系统,由于系统自身光能输入相对较弱,特别是在对弱光进行检测的情况下,光谱探测系统本身的噪声对光谱信号的影响很大。因此在对光谱信号进行分析之前必须对获得的原始信号进行相应的预处理,以使噪声和无用信号对有用光谱信号的影响控制到最小。小波变换在信号处理中已经得到了广泛的应用,由于微型光谱仪自身的特点,在信号处理方面有一定的特殊性,因此有必要对其进行深入的研究,本文主要是以离散小波进行微型光谱仪光谱信号处理的研究。

## 2 小波变换

相对于傅立叶变换而言,小波变换具有优良

的频域局域性和时域局域性,这是傅立叶变换不能做到的。因此小波在时频分析中有着傅立叶变换不可取代的优势。

离散信号常用的小波分解算法是 Mallat 算法。利用该算法将任一个离散信号分解,信号每次分解为低频  $a_i$  和 高频  $d_i$  两部分,由(1)式和(2)式给出<sup>[2]</sup>。

$$a_{m+1}(n) = \sum_k \tilde{h}(2n-k) a_m(k), \quad (1)$$

$$d_{m+1}(n) = \sum_k \tilde{g}(2n-k) d_m(k), \quad (2)$$

$$a_m(n) = \sum_k h(n-2k) a_{m+1}(k) + \sum_k g(n-2k) d_{m+1}(k). \quad (3)$$

信号的重构由式(3)给出。利用小波分解和重构来消除噪声的最简单方法是:将分解信号中的高频系数直接置零,然后对信号进行重构,这样就可以得到去除了高频噪声的信号。

## 3 小波变换滤噪及其对光谱信号的影响

小波变换具有很好的时域和频域局域性,小波变换还拥有丰富的小波基<sup>[3-4]</sup>,并且小波变换和傅立叶变换相比计算时间短<sup>[1]</sup>,因此是一种良好的信号处理工具。下面主要讨论各种小波基对于微型光谱仪信号处理的效果和其对谱峰位置和空间半宽的影响。

收稿日期:2002-04-12;修订日期:2002-09-13

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(No. 09476023);国家 863 资助项目(2002AA431180);国家自然科学基金资助项目(No. 69836050);教育部科学技术重点项目(No. 99105)

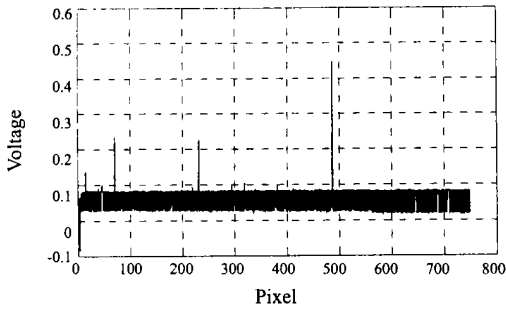


图 1(a) CMOS 图像传感器的噪声信号

Fig. 1(a) Noise of CMOS imaging sensor.

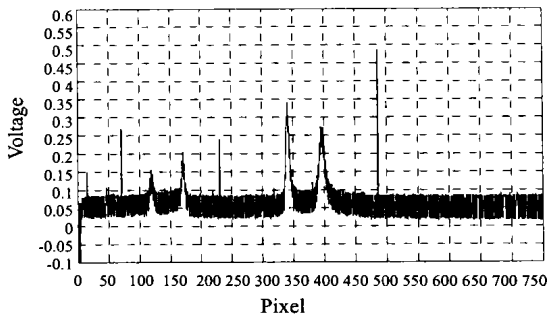
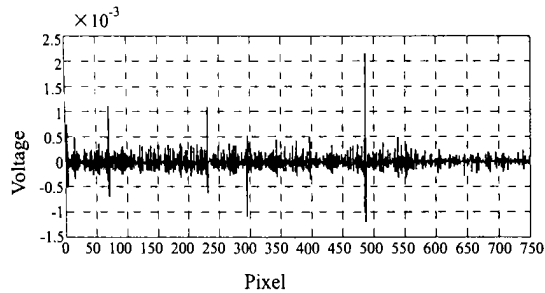


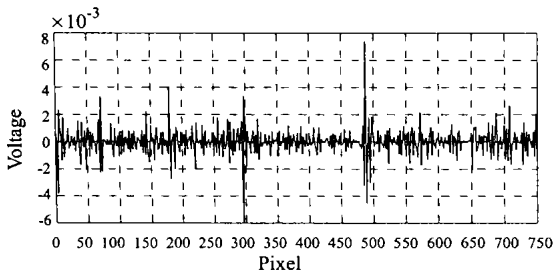
图 1(b) 采集的汞灯光谱信号

Fig. 1(b) Obtained Hg lamp spectrum.

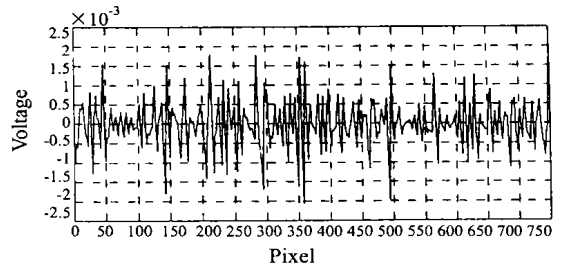
为了解噪声在小波分解系数中的分布情况,采用 db2 小波基对图 1 中的噪声信号,进行了分解,并单独利用每一层的小波分解系数进行信号的重构,如图 2 所示。



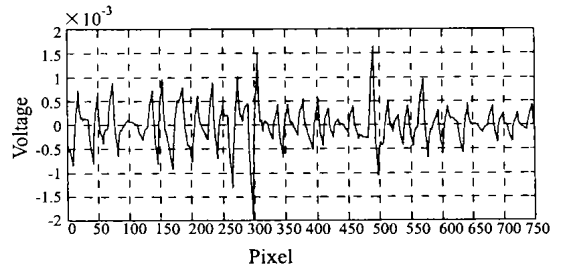
(a) d1



(b) d2



(c) d3



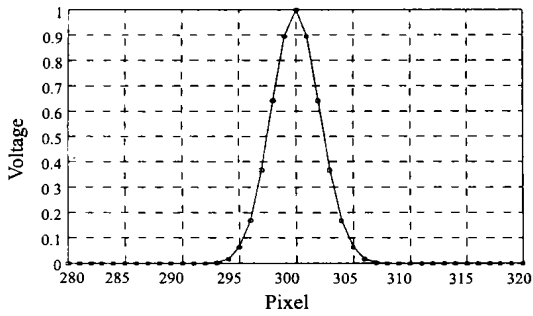
(d) d4

图 2 噪声信号在 db2 分解 5 次后各层分解系数重构信号

Fig. 2 Decomposition coefficient of the noise with db2 wavelet.

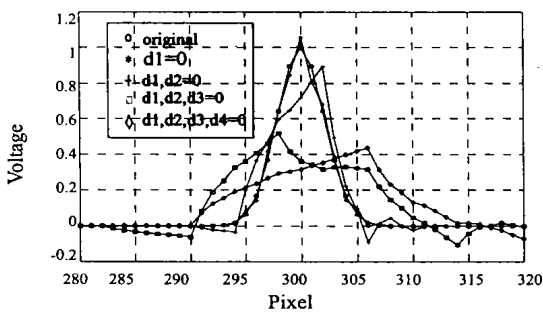
考查上述滤波方法对光谱峰值的影响,针对高斯峰进行了分解重构,看其峰值位置和半宽的变化。由于谱线越窄对应的频率就越高,为了解消除高频信号对光谱峰值及半宽度的影响,应对工作光谱波段中半宽最小的光谱峰进行考察,高斯型谱线为了保证光谱信号的正确恢复,在进行空间采样时,其半宽内应有 5 个采样间隔<sup>[5]</sup>,因此构建一个半宽内有 6 个采样点的高斯峰,如图 3 所示。

由图 3,可以看出 db2 在 d1, d2 = 0 时,其波形已经变换很大,经过模拟发现 db6 和 coif3 小波基具有较好的性质,从图 3 和表 1 可以看出当 d1, d2 = 0 时,重构信号较好地保持了原有高斯峰型。由前面对 CMOS 光电阵列探测器噪声的分析可知, d1, d2 包含的绝大部分的噪声信号,因此利用 db6 和 coif3 小波基进行小波变换进行强制性滤波(直接令 d1, d2 = 0),可以在不影响光谱有用信号的同时得到较好的去噪效果。

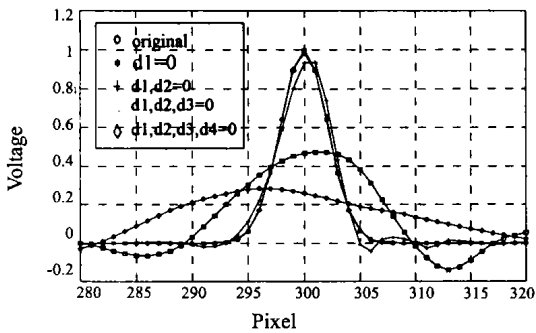


(a) 半宽 5 个像元的高斯峰

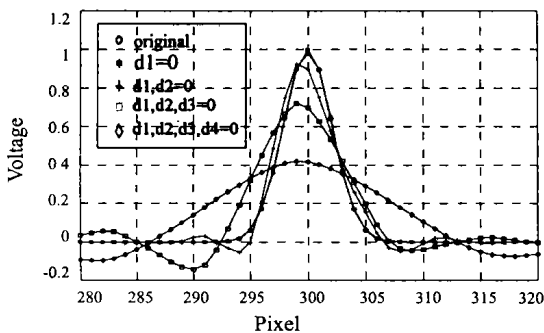
(a) Gauss peak with the half-width of 5 pixels.



(b) db2



(c) db6



(d) coif3

图 3 采用不同小波基去除高频信号对高斯型谱峰的影响

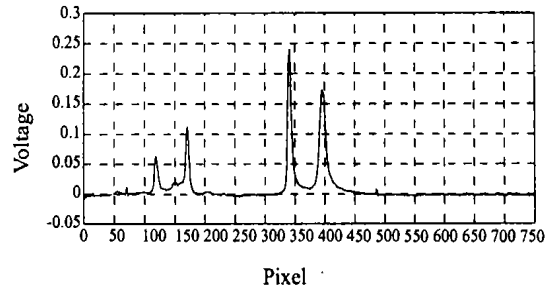
Fig. 3 Influences on the Gauss peak caused by wavelet filter.

表 1 小波变换滤波对光谱峰值位置和光谱空间半宽的影响

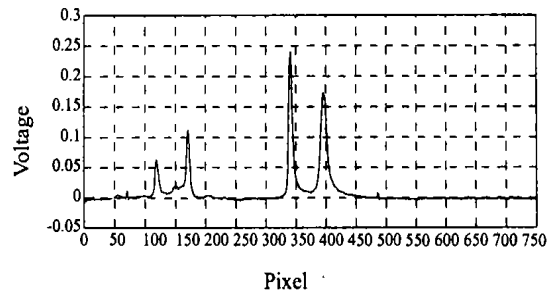
Table 1 Influence on the peak position and half-width by wavelet transform

Wavelet	d1 = 0		d1, d2 = 0		d1, d2, d3 = 0		d1, d2, d3, d4 = 0	
	Position error	Half width error	Position error	Half width error	Position error	Half width error	Position error	Half width error
db6	0	0	0	0	+1.5	+7	-3.5	+18
coif3	0	0	-1	+1	-1	+3	-1	+10

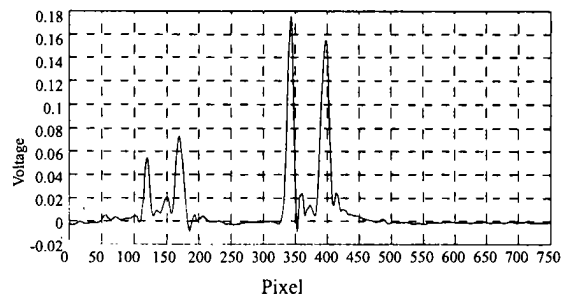
下面是采用 db6 和 coif3 小波基,对图 1 (b) 中的信号进行强制性滤波,分解 6 次,分别令  $d1 = 0$ ;  $d1, d2 = 0$ ;  $d1, d2, d3 = 0$ ;  $d1, d2, d3, d4 = 0$  的处理结果。



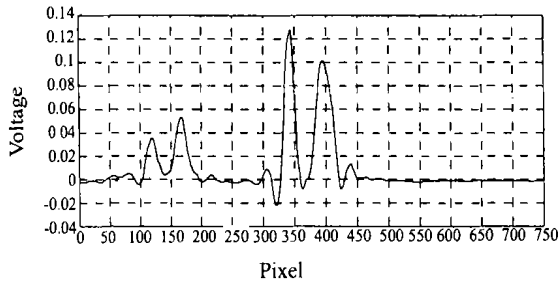
(a) d1 = 0



(b) d1, d2 = 0



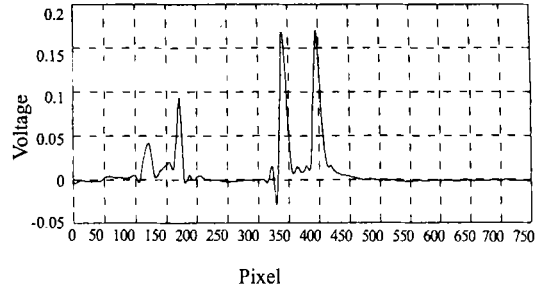
(c) d1, d2, d3 = 0



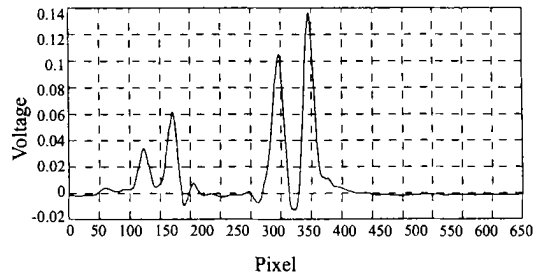
(d)  $d_1, d_2, d_3, d_4 = 0$

图 4 利用 db6 小波进行强制性去噪

Fig. 4 Noise reduction with db6 wavelet.



(c)  $d_1, d_2, d_3 = 0$



(d)  $d_1, d_2, d_3, d_4 = 0$

图 5 利用 coif3 小波进行强制性去噪

Fig. 5 Noise reduction with coif3 wavelet.

表 2 db6 小波基强制性滤噪对实际谱线的影响

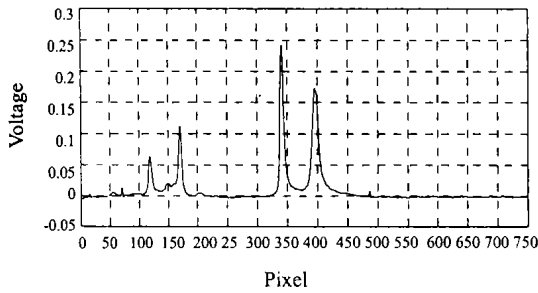
Table 2 Influence on the peak position and half-width by db6 wavelet

	Wave-length	Wave-length	Wave-length	Wave-length
	404.66nm	546.07 nm	546.07 nm	576.96 nm
	Position	Half-width	Position	Half-width
(a)	118	7	171	6
(b)	120	7	171	7
(c)	120	9	169	13

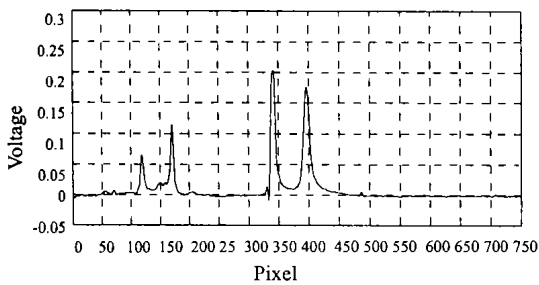
表 3 coif3 小波基强制性滤噪对实际谱线的影响

Table 3 The influence on the peak position and half-width by coif3 wavelet

	Wave-length	Wave-length	Wave-length	Wave-length
	404.66nm	546.07 nm	546.07 nm	576.96 nm
	Position	Half-width	Position	Half-width
(a)	119	7	171	6
(b)	119	7	171	6
(c)	121	14	171	9



(a)  $d_1 = 0$



(b)  $d_1, d_2 = 0$

比较 db6 和 coif3 强制去噪的结果可以看出, 在位置以及半宽 coif3 的效果要优于 db6。除了极个别项外 coif3 滤波的峰值位置改变小, 半宽增加小。因此对所设计微型光谱系统光谱信号采用小波算法去噪时, 可以采用 coif3 小波基进行分解, 并令  $d_1 = 0, d_2 = 0$ , 然后进行信号的重构。

#### 4 小波变换消除光谱信号中的背景信号

在光谱信号中往往会出现一些无用的信号,

这些信号使真实的谱线发生一定的畸变。利用小波的分解和重构还能消除一部分无用的低频信号,消除光谱信号中的趋势项或是曲线背景。同样首先对去除光谱信号中的低频部分对高斯信号的影响进行讨论。

以下的讨论主要是针对微型光谱仪谱峰的特点,关心的是去除低频成分后对最宽和最窄谱线的位置和半宽度的影响,因为这种信号在低频的成分较多,在去除低频时影响可能较大。在实测的谱峰中最宽的半宽度为 21,因此对这一半宽宽度的高斯谱峰进行去除小波分解系数中低频成分

再进行重构,其结果见图 6 可以看出在采用 db6 和 coif3 进行 10 次分解后,直接将  $a_{10}$ 、 $d_{10}$  及  $d_9$  置零后,重构的信号和原始的高斯信号差别很小,故此时不会对高斯光谱信号造成太大的影响,只是谱线的高度发生了较小的变化;同样对于空间半宽度较小的高斯光谱信号进行类似的处理,其结果见图 7,在将  $a_{10}$  和  $d_{10}$  置零后的重构结果对原始光谱信号影响很小,因此在对光谱信号进行 9 次分解,将  $a_9$  置零然后重构,这样可以消除光谱信号中低频背景,并且不会对信号中有用部分造成影响。

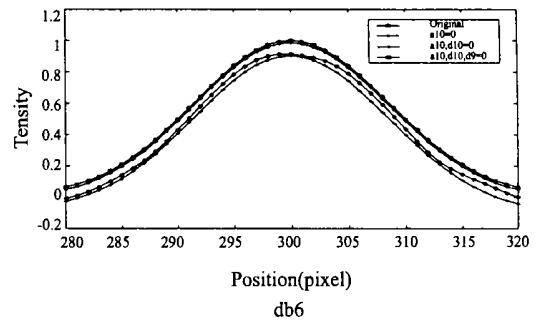
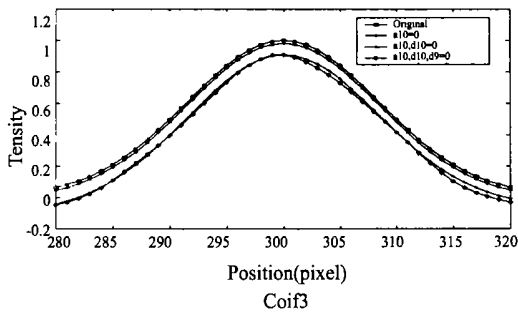


图 6 对于半宽度为 21 的高斯信号利用不同小波基进行分解重构时去除低频成分后的结果

Fig. 6 Reducing the low frequent component of Gauss signal with a half width of 21 by wavelet transform.

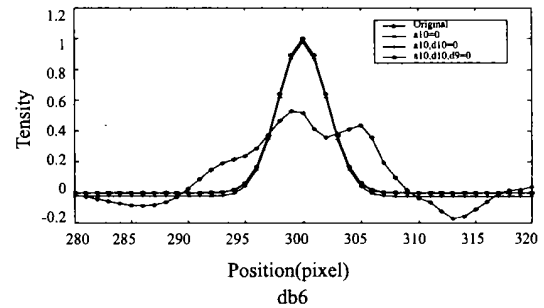
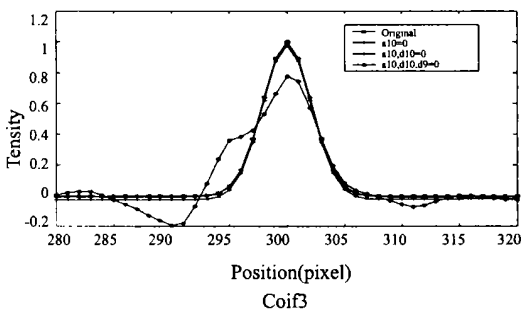


图 7 对于半宽度为 5 的高斯信号利用不同小波基进行分解重构时去除低频成分后的结果

Fig. 7 Reducing the low frequent component of Gauss signal with a half width of 5 by wavelet transform.

以下对经过预处理后的光谱信号进行消背景的处理,其中采用前面叙述的方法去除了高频的

噪声信号。

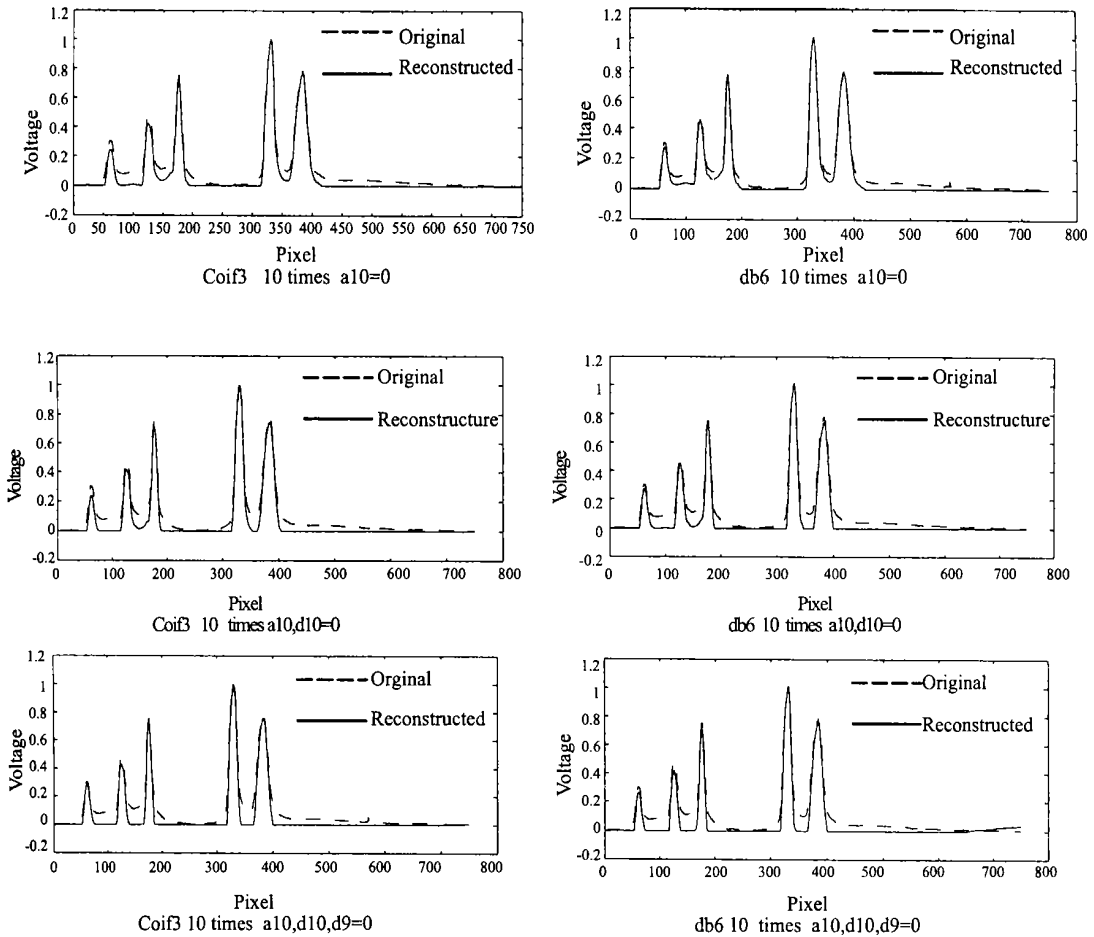


图 8 小波基进行分解重构时去除低频成分后的结果

Fig. 8 Reducing the low frequent component of spectrum signal by wavelet transform.

由图 8 可以看出,经过去除低频成分之后,原始谱线中的背景部分已经被扣除,各峰之间没有重叠的部分,因此得到了较好的去背景效果。其中在重构时,将重构信号中的小于零的部分置为零,因为光谱信号中的负值无物理意义。可以看出在采用 db6 和 coif3 作为小波基时进行 10 次分解,将 a10、d10 及 d9 置零(实际中可以分解 8 次将 a8 置零)后重构的信号可以很好去除信号中的背景。

### 5 结论

综上所述,在所研制的微型光谱仪中,对于高

频噪声和低频背景信号可利用小波分解重构消除。对于原始信号中的单个突变点,可以先采用窗口宽度为 3 的中值滤波器进行预处理,消除突变点的影响。然后利用 Mallat 分解算法采用小波基 db6 或 coif3,对信号进行 8 次分解,然后将分解系数中的低频成分 a8 以及高频成分 d1 和 d2 置为零,进行信号的重构,这样可以在不改变光谱信号中有用信号的同时去除高频噪声和低频背景信号的影响。对于不同的光谱信号可以利用小波的分解和重构,采用类似的方法达到去噪和消背景的目的。

**参考文献:**

- [1] 秦狭,沈兰荪.小波分析及其在光谱分析中的应用[J].光谱学与光谱分析,20(6):892-897.
- [2] 程正兴.小波分析算法与应用[M].西安:西安交通大学出版社,1998.
- [3] 郭云,山口泰,钟先信.基于小波理论的多分辨率的曲面构造[J].光学精密工程,2001,9(3):203-211.
- [4] 李正东,王晓菊,向武良,等.利用小波变换进行目标识别的方法研究[J].光学精密工程,2001,9(3):216-219.
- [5] 胡松.微小型光纤光谱仪的研究[D].重庆大学,2000.

**Application of wavelet in the spectrum signal processing of microspectrometer**

CHEN Gang, WEN Zhi-yu, YANG Gui-rong, HUANG Shang-lian

(College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** This article analyzes the properties of the signal obtained by microspectrometer and studies the influences caused by a wavelet transform on the Gauss peak with a different half-width. The results show that when the decomposition time is 8 by using the Mallat method, the high frequency noise and low frequency background can be reduced by letting the decomposition factors  $a_8$ ,  $d_1$  and  $d_2$  be zeros when reconstructing the spectrum signal.

**Key words:** wavelet transform; micro spectrometer; signal processing; spectrum signal

**作者简介:**陈刚,(1973-),男,1996年毕业于重庆大学应用物理系,获学士学位,1999年在重庆大学物理系获硕士学位,1999年至2002年在重庆大学光电工程学院攻读博士学位,现主要从事微系统方向的研究工作。