

文章编号:1000-582X(2003)06-0078-03

# 小波变换在视觉诱发电位信号提取中的应用\*

何庆华<sup>1,2</sup>, 彭承琳<sup>2</sup>, 吴宝明<sup>1</sup>, 朱凌云<sup>3</sup>(1. 第三军医大学大坪医院野战外科研究所, 重庆 400042; 2. 重庆大学生物工程学院, 重庆 400044;  
3. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

**摘要:**在基于视觉诱发电位脑机接口研究中,需要在强噪声背景下迅速准确地提取出微弱的视觉诱发电位信号。对信号进行小波分解,分析诱发电位信号及噪声在不同尺度上的分布特点,选择诱发电位信号能量相对集中且能较好反映信号主要特征的频带设计了小波时频滤波器。小波时频滤波器结合少量次累加平均,可提高信噪比,提取出视觉诱发电位信号。实验表明,平均刺激9~20次就能提取出信号。本方法能准确快速地提取出有明显特征的诱发电位信号,有利于提高脑机接口通信速度及正确率。

**关键词:**小波变换;视觉诱发电位;脑机接口  
**中图分类号:**R318

**文献标识码:**A

脑-机接口(Brain-computer interface, BCI)是基于脑电信号实现人脑与计算机或其他电子设备通讯和控制的系统,它不依赖于脑的正常输出通路(外周神经系统及肌肉组织),是一种全新的通讯和控制方式,其中一个重要用途是为思维正常但有运动障碍的人提供与外部环境进行交流和控制的途径<sup>[1-4]</sup>。

近年来,脑机接口研究发展迅速,在国际上引起极大的重视,但目前该技术还存在通讯速度低、效果不稳定等技术障碍。如何提高脑机接口通讯的正确率、稳定性及通讯率,成为需致力解决的问题。视觉诱发电位是神经系统接受如图像或闪光等视觉刺激,在大脑皮层产生的特定电活动。视觉诱发电位信号的稳定性相对较好,比较容易检测,笔者开展了视觉诱发电位用于脑机接口的实验研究。

采用计算机编程,在屏幕产生多种刺激模式图案,屏幕上闪烁的不同图案代表多种选择,受试者通过注视其中一个目标来作出选择。头皮电极采集枕骨粗隆部位的诱发电位信号,分析诱发电位信号,可以判别出受试者注视的目标。

信号放大和数据采集系统采用荷兰 Biosemi 公司生产的 Active One 多导生理信号采集系统,采样频率设为 512 Hz。

在头皮表面检测到的诱发电位信号属于微弱信号,它始终淹没于背景噪声之中,背景噪声主要是自发脑电、肌电及 50 Hz 工频电磁波在人体上的感应电势。为了提高脑机接口的通讯率,要尽可能增加屏幕上可供选择的目标数。当屏幕上可供选择的目标增多时,目标相应变小,目标间距也减小,视觉诱发电位信号也变小,信噪比更低。累加平均法是电生理测量中加强信噪比最常用的方法:即记录多次刺激产生的诱发电位,以施加刺激的时刻为参考点,进行累加平均,以平均波形代表所要提取的信号。但如果单纯采用累加平均的方法,累加次数比较多时,比如上百次才能得到可靠的波形,信号提取的时间太长(当刺激频率为 4 Hz,累加平均 100 次,就需要 25 s),显然是不适合于脑机接口实际应用,因此必须寻求一种快速有效的信号提取方法。

## 1 方法

### 1.1 小波变换原理及算法

小波变换是傅立叶变换的新发展,小波变换系数能反映信号在时域及频域的局部信息。小波分析相当于数学显微镜,具有放大、缩小和平移的功能。小波分析是将时域和频域结合起来的时频分析方法,在生物

\* 收稿日期:2003-02-20

作者简介:何庆华(1970-),女,四川剑阁人,第三军医大学野战外科研究所助理研究员,重庆大学博士研究生,主要从事生物医学信号处理。

医学信号处理方面有广阔的应用前景,特别适合于像诱发电位这类非平稳信号的处理<sup>[5]</sup>。

设  $x(t)$  是平方可积函数(记作  $x(t) \in L^2(R)$ ),  $\psi(t)$  是被称为基本小波或母小波的函数。则

$$WT_x(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt = \langle x(t), \psi_{ab}(t) \rangle \quad (1)$$

称为  $x(t)$  的小波变换,式中  $a > 0$  是尺度因子,  $b$  是位移因子,其值可正可负。符号  $\langle x, y \rangle$  代表内积。

$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{t-b}{a} \right)$  是基本小波的位移与尺度伸缩。

随位移因子  $b$  移动,可分析信号在不同时段的成分。尺度因子  $a$  的变化不仅改变小波函数的频谱结构,而且也改变窗口的大小和形状,从而在时域和频域以不同的分辨率分析信号。不同尺度的小波变换相当于用一组带通滤波器对信号进行处理,带宽随中心频率的变化而自动调节,中心频率越低其带宽越窄,中心频率越高其带宽越宽,能同时探测出信号的低频缓变部分和高频突变部分。

Mallat 提出了离散二进小波变换,其一维快速分解与重建算法为:

$$\begin{cases} A_{j+1}^d f = \sum_k h(k-2n) A_j^d f \\ D_{j+1}^d f = \sum_k g(k-2n) A_j^d f \end{cases} \quad (2)$$

$$A_j^d f = \sum_k h(n-2k) A_{j+1}^d f + \sum_k g(n-2k) D_j^d f \quad (3)$$

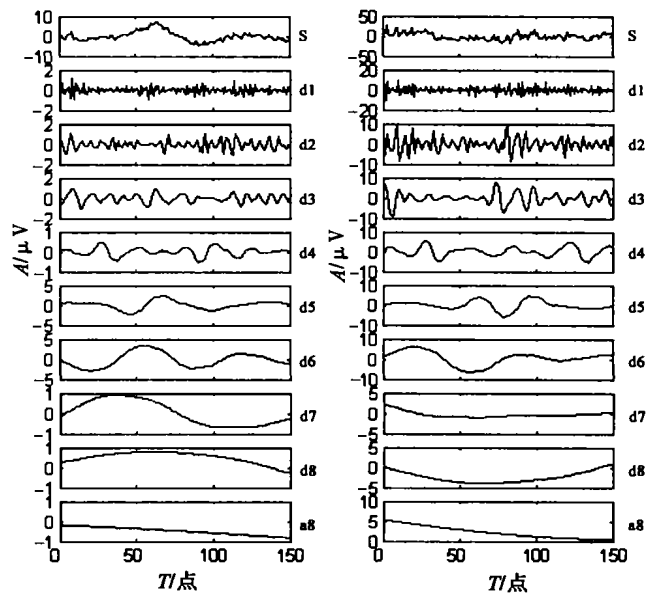
上式中  $h(n)$  和  $g(n)$  称为共轭镜像滤波器组,分别对应于低通和高通滤波器的单位脉冲响应。式(2)为小波分解公式,信号  $f(t)$  可从  $j$  尺度到  $j+1$  尺度进行逐步分解。原始信号  $f(t) = A_0^d f$ , 其小波分解为  $\{A_j^d f, (D_j^d f)_{1 \leq j \leq J}\}$ ,  $J$  为某一整数,  $A_j^d f$  是在尺度  $2^j$  下分解得到的逼近信号,  $D_j^d f$  是尺度  $2^j$  下分解得到的细节信号。式(3)为小波重建公式。

### 1.2 小波变换用于诱发电位提取

提高信噪比是诱发电位信号提取的本质问题。阈值方法是常用的小波去噪方法<sup>[6]</sup>,对于有噪信号进行小波变换,信号重建时将低于阈值的小波系数设置为 0。但这种方法不适合诱发电位的提取,因为诱发电位的幅度远低于自发脑电及其它噪声的幅度。在脑机接口应用中,目的是检测诱发电位信号是否存在。一种比较直接的方法是选择与能反映诱发电位主要特征的尺度上的细节或逼近信号,进行重建,以达到增强信号,抑制噪声,提高信噪比的目的。

诱发电位信号与刺激之间存在一定的锁时关系,

通常认为噪声与诱发电位信号无关,每次记录到的诱发电位信号比较相似。因此对诱发电位进行累加平均处理,可以在一定程度上提高信噪比。平均信号能在较大程度上反映诱发电位信号的特征。研究中选用 5 阶 Daubechies 小波 db5,它是具有紧支撑的正交小波,其小波波形与诱发电位有一定的相似性。对 80 次累加平均信号及单次原始信号进行小波分解  $\{d1 \sim d8, a8\}$ ,如图 1 所示,  $A$  为幅值,  $T$  为采样点数,图中从上至下依次是信号时域波形及信号小波分解  $d1 \sim d8, a8$  的波形。  $d1 \sim d8$  尺度 1~8 上的细节信号,  $a8$  是尺度 8 上的逼近信号。从小波分解的波形可以看出,  $d1 \sim d4$  主要是与自发脑电有关的高频扰动,  $d8$  和  $a8$  主要是低频干扰,与基线漂移有关。



(a) 平均信号 (b) 单次原始信号

图 1 平均信号及单次原始信号的小波分解

实验数据分析表明,诱发电位能量主要集中在  $d5, d6, d7$ ,该频带能较好地反映信号的主要特征,因此小波时频滤波器的实现方法是,按 Mallat 算法对信号进行小波分解,分解级数为 7 级,然后选择尺度 5、6、7 上细节的小波系数重建信号。在脑机接口应用中,不需要精确重建波形,所以滤波频带设置得较窄。由于记录到单次原始信号信噪比低,诱发电位信号的单次提取很困难,为了提高诱发电位信号识别的正确率和脑机接口控制的稳定性,有必要进行少量次的累加平均,提高信噪比,在此基础上进行小波时频滤波,进一步提高信噪比。

## 2 实验结果

用上述的小波时频滤波器结合累加平均方法对脑

机接口实验数据进行处理,用于提取视觉诱发电位信号。图2是一组实验波形,A为幅值,T为采样点数。信号经过10次累加平均处理后,再进行小波时频滤波。从原始信号波形可看出诱发电位信号淹没在噪声中,难以识别,经过10次累加平均后,信噪比有所提高,但仍存在一定的噪声,影响信号识别,平均信号经过小波滤波处理后,诱发电位波形特征显著,可以明显观察到N1、P1和N2波,信噪比进一步增强,容易识别出诱发电位信号。

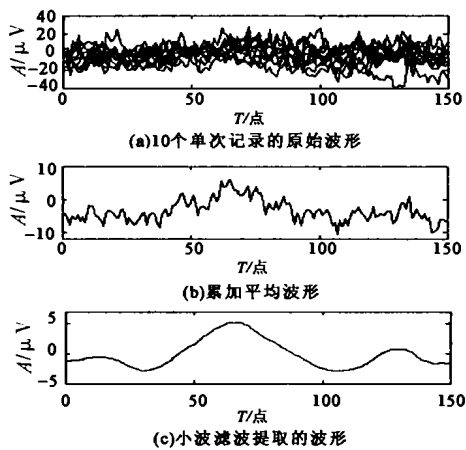


图2 实验波形

### 3 结论

实验表明,小波时频滤波器用于脑机接口信号提取,可以提高信噪比,处理后诱发电位波形明显,容易

识别,能满足脑机接口应用中准确识别出诱发电位波形是否存在的要求。同时,小波时频滤波与累加平均相结合,可大大减少累加平均的次数,平均刺激9~20次就能有效地提取出信号,缩短了提取视觉诱发电位所需的时间,有助于提高脑机接口的通讯速度。实验数据表明,视觉诱发电位的正确识别率在70%~100%之间,当屏幕上目标个数为12时,通讯率可达30 bit/min。

### 参考文献:

- [1] FARWELL L A, DONCHIN E. Talking off the Top of Your Head: A Mental Prosthesis Utilizing Event - related Brain Potentials[J]. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 1988, 70 (6): 510 - 523.
- [2] VAUGHAN T M, WOLPAW J R, DONCHIN E. EEG - based Communication: Prospects and Problems[J]. *IEEE Trans Rehab Eng*, 1996, 4(4): 425 - 430.
- [3] PFURTSCHELLER G, NEUPER C, GUGER C, et al. Current trends in Graz brain - computer interface (BCI) research[J]. *IEEE Trans Rehab Eng*, 2000, 8 (2): 216 - 219.
- [4] 何庆华,彭承琳,吴宝明. 脑机接口技术研究方法[J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2002, 25(12): 106 - 109.
- [5] 张绪省,成晓雄,朱贻盛. 用小波变换提取视觉诱发电位信号[J]. *北京生物医学工程*, 1996, 15(1): 6 - 14.
- [6] DONOHO D. De - noising by Soft - thresholding[J]. *IEEE Trans Inform Theory*, 1995, 41(3): 613 - 627.

## Application of Wavelet Transform in Visual Evoked Potential Extraction

HE Qing-hua<sup>1,2</sup>, PENG Cheng-lin<sup>2</sup>, WU Bao-ming<sup>1</sup>, ZHU Ling-yun<sup>3</sup>

- (1. Daping hospital & Surgery institute, The Third Military Medical University, Chongqing 400042, China;
2. College of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
3. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** It is required to extract the poor visual evoked potentials from strong noises accurately and quickly in the research of visual evoked potential based brain - computer interface. The distribution of evoked potential signal and noise in different scale was studied using wavelet time - frequency analysis. The wavelet time - frequency filter is constructed on the d5, d6 and d7, where energy is mainly distributed and the main characteristics of the VEP are reflected. Wavelet time - frequency filter and averaging method were used to improve signal/noise ratio. Experiments show that the VEP signal can be extracted within about 9 ~ 20 trials. The method can detect evoked potential with distinct characteristics effectively in a short time, which is in favor of improving communication accuracy and speed of brain - computer interface.

**Key words:** wavelet transform; visual evoked potential; brain - computer interface

(编辑 李胜春)