

# 表面肌电信号采集与降噪处理 \*

付 聪 李 强 李 博

(西南科技大学信息工程学院 四川 绵阳 621010)

**摘要** 目的:本文以设计的表面肌电(sEMG)信号采集系统为基础,探讨 sEMG 信号中的降噪处理问题。方法:结合 sEMG 信号的噪声影响情况,首先利用带通滤波器消除肌电信号频带外噪声,再通过频谱插值法来抑制工频干扰分量,最后使用小波分析方法来削弱肌电信号频带内噪声。结果:通过对检测 sEMG 信号的降噪处理,信号噪声得到明显抑制。结论:所设计采集系统能够获得满意的 sEMG 信号检测效果,所采用降噪方法能够有效提高 sEMG 信号的质量。

**关键词** 表面肌电信号 采集 降噪

中图分类号:R318.04 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2011)20-3951-03

## Detection and Noise Reduction of Surface Electromyography Signal\*

FU Cong, LI Qiang, LI Bo

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, 621010, Mianyang, China)

**ABSTRACT** Objective: The noise reduction of surface electromyography (sEMG) signal was explored using the designed signal detection system. **Methods:** According to the noise influence, the band-pass filter was used to eliminate the low and high frequency noise, and the spectrum interpolation method was utilized to reduce the power line interference, then, the wavelet analysis algorithm was applied to attenuate the residual noise. **Results:** The noise interfere in the detected sEMG signal could be suppressed. **Conclusion:** The sEMG signal could be collected using the detection system and the satisfying denoising effect could be acquired.

**Key words:** Surface electromyography; Detection; Noise reduction

**Chinese Library Classification:** R318.04 **Document code:** A

**Article ID:** 1673-6273(2011)20-3951-03

### 前言

表面肌电 (surface electromyography, sEMG)信号是从皮肤表面获取的关于肌肉活动的微弱生物电信息,能够为肢体活动状态分析、神经肌肉功能分析及病理分析等研究提供有效帮助。由于受到检测仪器、环境和肌肉自身生理特性等多种因素的影响,sEMG 信号在采集过程中势必会引入干扰噪声,使得难以直接对其进行分析研究,因而需要对采集到的 sEMG 信号进行降噪处理,以提高信号质量<sup>[1]</sup>。

根据噪声产生途径,影响 sEMG 信号的噪声因素大致可分为五类,包括检测仪器的固有噪声、移动伪迹噪声、环境噪声、工频干扰、因生理特性引入的噪声等。那么,在降噪过程中就可按照噪声的生成情况来处理,并结合硬件处理和软件分析两方面手段,即,一方面通过优化电路设计与采用屏蔽等措施来提高采集电路的性能,但并不能从根本上消除噪声;另一方面还需要采用信号分析算法来弥补硬件降噪方式的不足,以达到进一步削弱噪声对 sEMG 信号干扰的目的<sup>[1-2]</sup>。数字滤波器<sup>[3]</sup>、自适应滤波算法<sup>[4]</sup>、小波分析方法<sup>[4,5]</sup>、维纳滤波算法<sup>[6]</sup>以及经验模态分解技术<sup>[7]</sup>等软件方法在肌电信号降噪处理中得到了较好应用。针对工频干扰,传统的陷波方法不能保留工频处的有效肌电信息,频谱插值法<sup>[7,8]</sup>、独立分量分析方法<sup>[9]</sup>则能有效地解决

这个问题。

虽然许多降噪方法得以使用,但还需要根据具体的信号采集系统选择合适的处理方式。以所设计的 sEMG 信号采集系统为基础,并考虑到处理方法的特性,本文拟结合不同算法的优势来尽可能地降低噪声,即,运用带通滤波器来去除肌电信号有效频带外的噪声,采用频谱插值法来削弱信号中的工频噪声,再使用小波分析法来削弱有效频带内的噪声,从而达到提高 sEMG 信号质量的目的。

### 1 原理与方法

#### 1.1 表面肌电信号采集

我们设计了一套 sEMG 信号采集系统,其构成如图 1 所示<sup>[10,11]</sup>。其中,表面电极采用差分配置方式,且多通道检测电极间保持一定距离,信号调理电路通过蓄电池供电,采用两级放大方式并使用模拟带通滤波器来削弱电路噪声;调理后的模拟 sEMG 信号通过 NI 公司 PCI-6221 数据采集卡转换成数字信号,并设计采集软件来实现数据的存储与显示等。图 2 即为使用四通道表面电极时的 sEMG 信号采集软件界面示意。由于所采用的数据采集卡可提供 16 个模拟输入通道,还可根据具体情况调整 sEMG 信号的采集通道数。

\* 基金项目:西南科技大学博士研究基金资助项目(08zx0110)

作者简介:付聪(1981-)男,硕士,主要研究方向:信号与信息处理、计算机应用

电话:0816-6089080 E-mail: fucong@swust.edu.cn。

(收稿日期:2011-03-15 接受日期:2011-04-10)

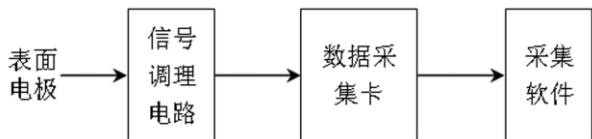


图 1 sEMG 信号采集系统构成  
Fig. 1 Illustration of the sEMG signal detection system

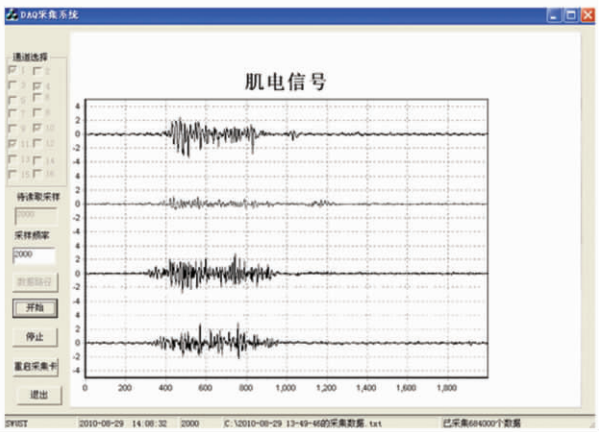


图 2 sEMG 信号采集软件界面  
Fig. 2 Interface of the sEMG signal detection software

1.2 表面肌电信号的降噪方法

针对采集到的含噪 sEMG 信号,本文综合利用数字带通滤波器、频谱插值法和小波分析算法来进行降噪处理。

由于 sEMG 信号主要分布在 500Hz 以下的频带范围内,可设计一个带宽为 20~500Hz 的 Butterworth 带通滤波器来实现消除采集信号中的高频和低频噪声,以保留肌电有效频带内的信息。

针对工频干扰,传统的陷波器方法因将信号中的所有 50Hz 信息全部去除而影响了肌电信息的完整性;独立分量分析和自适应滤波方法在处理工频噪声时,需要构造相应的 50Hz 参考信号<sup>[1,4,9]</sup>,增加了信号处理的复杂度。考虑到在频域上能够方便地获取信号所包含的频率信息,那么,利用频谱插值法则可方便地实现工频相关成分的分析处理。频谱插值法是先先将 sEMG 信号频谱中的 50Hz 及其相关谐波分量去除,再利用附近的频率信息来对所去除频率点进行估计插值,最后作谱反变换,获取的时域信号即为抑制工频干扰后的 sEMG 信号<sup>[7,8]</sup>。

在利用数字带通滤波器去除带外噪声和利用频谱插值法削弱工频干扰后,还需要利用小波分析法来抑制肌电频带内噪声。假设 sEMG 信号频带内噪声表现为高斯白噪声过程,则 sEMG 信号可描述为:

$$f(k)=s(k)+\varepsilon \cdot e(k),k=1,\cdots,N$$
 (1)

其中  $f(k)$  表示含噪观测信号,  $s(k)$  表示源信号,  $e(k)$  表示独立同分析的高斯白噪声信号,  $\varepsilon$  表示噪声水平,  $N$  表示信号的长度。利用小波变换多尺度分析的特点将观测信号进行分解,从而获得相应的小波低频系数和高频系数,进而选取合适的小波系数进行阈值处理,抑制表现为噪声信息的小波系数;最后将处理后的小波系数进行重构,就可从观测信号中得到降噪后的源估计信号<sup>[5,12]</sup>。小波系数的阈值处理包含硬阈值和软阈值两种处理方式,硬阈值方式是将绝对值小于阈值的小波系

数置零并直接保留剩余的小波系数,软阈值方式也是将绝对值小于阈值的小波系数置零,不同的是将剩余的小波系数向零趋近,以使得信号表现平滑,即:

$$C_i=\begin{cases} \operatorname{sgn}(C_i)(|C_i|-\delta), & |C_i|>\delta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$
 (2)

其中  $C_i$  为小波系数,  $\delta$  为设定的阈值,  $\operatorname{sgn}()$  为取符号函数<sup>[5,12]</sup>。

2 实验与分析

利用前述所设计的信号采集系统来检测健康男性受试者手臂上的 sEMG 信号,并将信号采样率设置为 2000Hz。图 3 为采用单个差分电极时的检测位置示意,且参考电极置于手腕处。实验前,使用酒精将受试者检测位置处的皮肤擦拭干净,并利用绑带辅助电极的固定,实验过程中,受试者手臂动作作收缩过程。

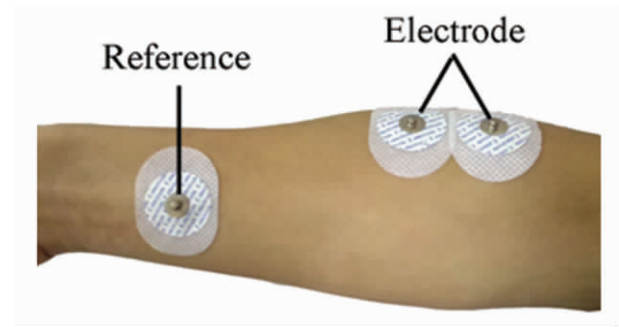


图 3 单通道表面电极位置示意  
Fig. 3 Illustration of the single channel surface electrode location

采集到一组受噪声干扰较为明显的 sEMG 信号中的部分数据如图 4(a)所示,从图中可以看出,该段 sEMG 信号受到大量噪声干扰,从而造成难以提取满意的肌肉动作活动段信息。为提高信号质量,利用本文所述方法进行降噪处理。通过带通滤波器去除肌电信号频带外噪声,采用频谱插值法抑制信号中的工频成分干扰,进而结合动作 sEMG 信号波形采用 db2 作为小波母函数<sup>[13]</sup>,通过小波软阈值分析方法削弱肌电信号频带内噪声,处理结果如图 4(b)所示。为更加清楚地观察降噪效果,将该十秒信号中的后 0.5 秒数据单独列出,如图 4(c)所示,图中可看出存在有明显的工频成分,图 4(d)即为对应的降噪信号中的后 0.5 秒数据。从降噪实验结果来看,所采用方法能够有效削弱噪声对 sEMG 信号的影响,达到了提高信号质量的目的。

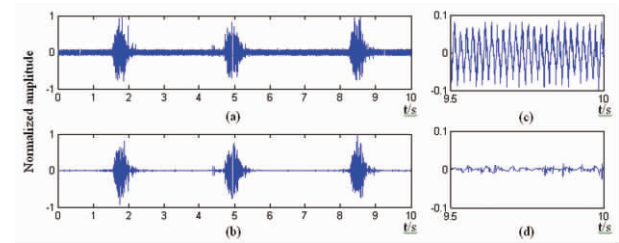


图 4 sEMG 信号降噪实验  
Fig. 4 Noise reduction experiment of the sEMG signal

3 结束语

本文以所设计的 sEMG 信号采集系统为基础,针对检测到

的含噪 sEMG 信号,分别利用数字带通滤波器、频谱插值法和  
小波分析法对肌电信号带外噪声、工频干扰和肌电信号带内噪  
声进行处理,获得了满意的降噪效果。实验结果表明,所采用方  
法能够有效提高信号质量,sEMG 信号中的动作活动段信息得  
到了明显增强。通过该降噪处理,能够方便地对 sEMG 信号进  
行进一步的分析研究。

#### 参考文献(References)

- [1] 李强. 表面肌电信号的运动单位动作电位检测[D]. 合肥:中国科学技术大学,2008  
Li Qiang. Study on the detection of motor unit action potentials in surface electromyography[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2008(In Chinese)
- [2] Clancy EA, Morin EL, Merletti R. Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography [J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2002, 12(1): 1-16
- [3] Mello RGT, Oliveira LF, Nadal J. Digital Butterworth filter for subtracting noise from low magnitude surface electromyogram [J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2007, 87(1): 28-35
- [4] Ortolan RL, Mori RN, Pereira RR, etc. Evaluation of adaptive/nonadaptive filtering and wavelet transform techniques for noise reduction in EMG mobile acquisition equipment [J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation, 2003, 11(1): 60-69
- [5] Jiang CF, Kuo SL. A comparative study of wavelet denoising of surface electromyographic signals [C]. Proceedings of the 29th annual international conference of the IEEE EMBS, 2007: 1868-1871
- [6] Ascherio G, Gizdulich P. Denoising of surface EMG with a modified Wiener filtering approach [J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2010, 20(2): 366-373
- [7] 李强, 李博, 杨基海. 基于谱插值与经验模态分解的表面肌电信号

降噪处理[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(9): 3326-3328

- Li Qiang, Li Bo, Yang Ji-hai. Noise reduction of surface electromyography signal using spectrum interpolation and empirical mode decomposition [J]. Application Research of Computers, 2010, 27(9): 3326-3328(In Chinese)
- [8] Mewett DT, Reynolds KJ, Nazeran H. Reducing power line interference in digitised electromyogram recordings by spectrum interpolation[J]. Medical and Biological Engineering and Computing, 2004, 42(4): 524-531
- [9] 席旭刚, 加玉涛, 罗志增. 基于独立成分分析的表面肌电信号工频去噪[J]. 传感技术学报, 2009, 22(5): 675-679  
Xi Xu-gang, JIA Yu-tao, LUO Zhi-zeng. Power frequency noise-reduction of SEMG based on independent component analysis [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22 (5): 675-679(In Chinese)
- [10] 罗志增, 任晓亮. 肌电信号的拾取和预处理 [J]. 传感技术学报, 2004, 17(2): 220-223  
LUO Zhi-zeng, REN Xiao-liang. Detection and pretreatment of electromyography[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2004, 17(2): 220-223(In Chinese)
- [11] Hardalac F, Canal R. EMG Circuit Design and AR Analysis of EMG Signs[J]. Journal of Medical Systems, 2004, 28(6): 633-642
- [12] 杜浩藩, 丛爽. 基于 MATLAB 小波去噪方法的研究 [J]. 计算机仿真, 2003, 20(7): 119-122  
DU Hao-fan, CONG Shuang. The study on wavelet de-noising under the environment of MATLAB[J]. Computer Simulation, 2003, 20(7): 119-122(In Chinese)
- [13] Flanders M. Choosing a wavelet for single-trial EMG [J]. Journal of Neuroscience Methods, 2002, 116(2): 165-177

(上接第 3890 页)

- [11] Liu, N.K., Wang, X.F., Lu, Q.B. & Xu, X.M. Altered microRNA expression following traumatic spinal cord injury[J]. Experimental neurology, 2009, 219: 424-429
- [12] Yuva-Aydemir, Y., Simkin, A., Gascon, E. & Gao, F.B. MicroRNA-9: Functional evolution of a conserved small regulatory RNA [J]. RNA biology, 2011, 8: 45-51
- [13] Delaloy, C., et al. MicroRNA-9 coordinates proliferation and migration of human embryonic stem cell-derived neural progenitors[J]. Cell Stem Cell, 2010, 6: 323-335
- [14] Ziu, M., Fletcher, L., Rana, S., Jimenez, D.F. & Digicaylioglu, M. Temporal differences in microRNA expression patterns in astrocytes and neurons after ischemic injury, PloS one, 2011, 6: 47-54
- [15] Zhao C, Sun G, Li S, MicroRNA let-7b regulates neural stem cell proliferation and differentiation by targeting nuclear receptor TLX signaling[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2010, 7(5): 1876-1881
- [16] Zhou H, Guo JM, Lou YR, et al. Detection of circulating tumor cells in peripheral blood from patients with gastric cancer using microRNA

as a marker [J]. J Mol Med, 2010, 88(7): 709-717

- [17] T Tsujiura M, Ichikawa D, Komatsu S, et al. Circulating microRNAs in plasma of patients with gastric cancers [J]. Br J Cancer, 2010, 102 (7): 1174-1179
- [18] Link A, Balaguer F, Shen Y, et al. Fecal MicroRNAs as novel biomarkers for colon cancer screening [J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2010, 19(7): 1766-1774
- [19] Schetter AJ, Leung SY, Sohn JJ, et al. MicroRNA expression profiles associated with prognosis and therapeutic outcome in colon adenocarcinoma [J]. JAMA, 2008, 299(4): 425-436
- [20] Wang B, Hsu SH, Majumder S, et al. TGFbeta-mediated upregulation of hepatic miR-181b promotes hepatocarcinogenesis by targeting TIMP3 [J]. Oncogene, 2010, 29(12): 1787-1797
- [21] Nakajima G, Hayashi K, Xi Y, et al. Non-coding MicroRNAs hsa-let-7g and hsa-miR-181b are Associated with Chemoresponse to S-1 in Colon Cancer [J]. Cancer Genomics Proteomics, 2006, 3(5): 317-324