

· 康复医学工程 ·

基于表面肌电信号的手指运动模式识别系统*

王人成¹ 郑双喜¹ 蔡付文¹ 姜力² 朱德有³ 刘宏² 李芳¹

摘要 目的:建立一套基于表面肌电信号(sEMG)的手指运动模式识别系统。方法:研发了基于有源电极的 sEMG 检测装置和包含信号采集、分析、离线识别和在线识别模块的配套软件。结果:该系统能够同时采集 4 个通道 sEMG 数据,用 16 种时域、频域和时频域方法对其分析,并可以对 7 种 sEMG 特征提取及分类方法进行对比研究,还能在线控制假手。结论:本系统为多指、多自由度假手 sEMG 控制方法的研究提供了一个实验平台,该系统不仅可以用于手指运动模式识别,而且也可以用于人体其他运动模式的 sEMG 特征提取方法和分类器的对比研究。

关键词 表面肌电信号;模式识别;手指运动;多指多自由度假手

中图分类号:R68, R318, R49 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2008)-05-0410-03

Recognition system of finger movement pattern based on sEMG/WANG Rencheng, ZHENG Shuangxi, CAI Fuwen, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2008, 23(5): 410—412

Abstract Objective: To construct a recognition system of finger movement pattern based on sEMG. **Method:** A sEMG-detection device based on active electrodes were developed and set up a support software system including signal-sampling, signal-analysis, off-line recognition and on-line recognition modules. **Result:** Four channels sEMG signals can be sampled simultaneously and be analyzed by 16 methods of time domain (TD), frequency domain and time-frequency domain. The system can also make a contrastive research on 7 approaches of sEMG features extraction and classification. Moreover, it has the ability of controlling the multi-fingered robot hand on line. **Conclusion:** The system provides an experimental platform for the sEMG researches on multi-fingered and multi-DOF prosthetic hand controlling. It can not only be used to recognize the finger movement pattern but can also be used to extracting sEMG features from human's other body movement pattern and doing contrastive study on classifier.

Author's address Division of Intelligent and Biomechanical System, State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing, 100084

Key words surface electromyography; pattern recognition; finger movement; multi-fingered and multi-DOF prosthetic hand

随着科技的进步和人民生活水平的提高,只有一个自由度、只能实现简单张合动作的假手已经不能满足使用者对假手性能的需求,因此仿人灵巧手技术被应用于假手的研究,多指、多自由度假手的研究成为当今各国研究的热点问题^[1]。将灵巧手应用于假手有两个难点:一是灵巧手的体积和重量过大;一是控制系统复杂,仿生控制难度大。目前采用高性能微型驱动器和欠驱动机构等新技术制造的灵巧手已经接近人手大小^[2],有很多研究机构正在开展利用表面肌电信号(surface electromyography, sEMG)^[3]、脑电、语音等信号^[4]进行多指多自由度假手的仿生控制研究。

sEMG 控制的假手因其操作简单、实时性和仿生性好,而得到了广泛的应用。肌电假手控制方式有:①阈值控制;②比例控制;③模式识别控制。前两种方法是利用 sEMG 功率作为控制参数,方法简单,可靠性高,但是只能适用于单自由度假手或者多关节上肢假肢的串行或者固定模式控制。模式识别控

制是利用模式识别技术从较少通道 sEMG 中,识别出能够控制较多自由度的信号,是比较有前途的多指、多自由度假手控制方法^[5]。

为了系统地研究多指、多自由度假手 sEMG 模式识别方法,本研究建立了基于 sEMG 的手指运动模式识别系统。

1 系统组成和功能

基于 sEMG 的手指运动模式识别系统由 sEMG 检测装置(系统硬件)和系统软件组成。如图 1 所示,系统硬件由自行研制的有源 sEMG 电极、USB 接口

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(50435040),国家科技支撑计划资助项目(2006BAI22B03),黑龙江省教育厅资助项目(1512225)

1 清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室,北京,100084

2 哈尔滨工业大学机器人研究所

3 黑龙江工程学院

作者简介:王人成,男,副研究员

收稿日期:2007-06-08



图 1 sEMG 手指运动模式识别系统

的 A/D 数据采集卡和 PC 机等组成^[6]。系统软件由信号采集、信号分析、离线识别和在线识别 4 个子系统组成。

1.1 信号采集子系统

信号采集子系统主要用于 sEMG 采集、显示和存储,在数据采集前可以对采样频率、采样时间和放大倍数等参数进行设置,并且还可以对信号进行基线飘移、工频信号干扰和高低通滤波等预处理来去除 sEMG 中的干扰信号。

1.2 信号分析子系统

信号分析子系统主要用于对采集到的 sEMG 进行时域、频域和时频域的分析。目前软件中包含的时域分析方法有:全波整流 (full-wave rectification, FWR)、短时平均能量 (short-time average energy, STAE)、绝对值积分 (integral absolute value, IAV)、平均绝对值 (mean absolute value, MAV)、短时上升过零间隔 (short-time rise zero-crossing interval, ZCI)、过零点数 (zero crossings, ZC)、斜率变化率 (slope sign changes, SSC)、均值 (mean value, MV)、方差 (variance, VAR)、均方根 (root mean square, RMS)、移动平均值 (moving average, MOV) 和自相关分析等;频域分析方法有:自回归模型估计功率谱 (power spectrum)、功率谱密度 (power spectrum density, PSD) 等;时频域分析方法有:短时傅立叶变换 (short-time fourier transform, STFT)、小波变换 (wavelet transforms, WT) 等。

1.3 离线识别子系统

离线识别子系统主要用于模式识别方法的对比研究。离线识别子系统主要包含 sEMG 特征提取方法和分类器,而且特征提取方法和分类器的参数可以根据需要进行设置。目前包含的特征提取方法有:时域特征 (TIME, 包括 IAV, SSC, ZC 和波形长度 4 个参数)、小波变换 (WT)、自回归模型系数 (autoregressive coefficients, AR)、倒谱系数 (cepstrum, CEP)、小波包分解 (wavelet packets transform, WPT)、短时傅立叶变换 (short-time Fourier transform, STFT);分类器有:误差反向传播神经网络 (back-propagation neural network, BP)、径

向基神经网络 (radial basis function neural network, RBF)、隐马尔可夫模型 (hidden Markov models, HMM)、概率神经网络 (probability neural networks, PNN)、学习矢量量化网络 (learning vector quantization network, LVQ)、支持向量机 (support vector machine, SVM) 和模糊神经网络 (fuzzy neural networks, FNN)。

1.4 在线识别子系统

在线识别子系统可以对 sEMG 进行动态采集与在线识别,主要用于假手的实时控制。在线识别子系统的主界面及其包含的 sEMG 特征提取方法和分类器与离线识别子系统基本相同。

2 实验举例

基于表面肌电信号的手指运动模式识别系统可以用于 sEMG 信号采集、分析和识别,下面通过一个对比研究不同 sEMG 特征提取方法和分类器组合的识别效果的实验,来介绍其主要功能和操作流程。

2.1 实验对象

结合日常生活中人手的功能,实验中对 6 种手指运动模式进行了辨识,即:拇指伸、拇指屈、拇指食指松开、拇指食指对捏、平掌和强力抓取。

实验对象为 8 名健康的志愿者,其中男性 4 名,女性 4 名。4 名男性实验者的平均年龄为 24.5 ± 1.70 岁,平均体重为 63.5 ± 10.80 kg,平均身高为 1.73 ± 0.04 m;4 名女性实验者的平均年龄为 24 ± 0.5 岁,平均体重为 50 ± 2.4 kg,平均身高为 1.62 ± 0.03 m。实验对象均身体健康,无骨骼、肌肉等相关病史。

2.2 实验流程

实验时将 4 个电极分别放置在拇短伸肌、指伸肌、指浅屈肌和尺侧腕屈肌 4 块肌肉肌腹的表面,利用信号采集子系统分别采集 8 名实验对象的 sEMG 信号,采样频率为 2400 Hz,采样时间为 3 s。实验中,对于每个实验对象,每种手指动作重复做 50 次,每次动作的 sEMG 数据分别采集并按类别保存在 PC 机的相应文件夹内,共可得到 300 组数据,其中训练样本为 180 组,测试样本为 120 组。

采用离线识别子系统进行动作识别。主要操作步骤为:①建立用户信息,并根据信号噪声情况选择预处理方法;②根据研究需要每次选择一种分类器和特征提取方法的组合;③调入某个实验对象的 6 类手指动作共 180 组数据样本,并进行样本合并,生成训练样本文件;④单击“训练”按钮,根据状态栏的提示信息,完成特征值的提取、教师信号的确定和分类器的训练;⑤分类器训练完成后,打开用于测试的

120 组数据样本进行辨识,选中需要辨识的数据样本,单击“辨识”可以对测试样本进行逐个辨识。

2.3 结果及讨论

图 2 是 8 名实验对象动作识别正确率的均值和

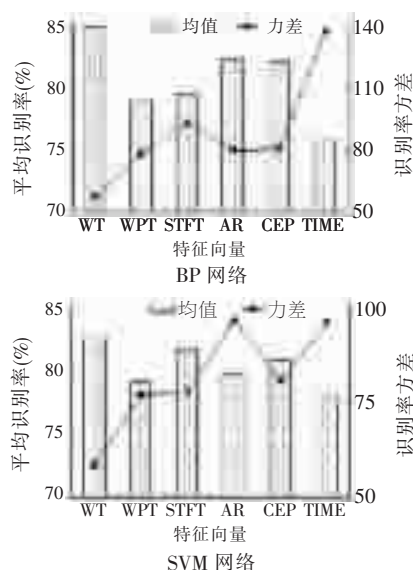
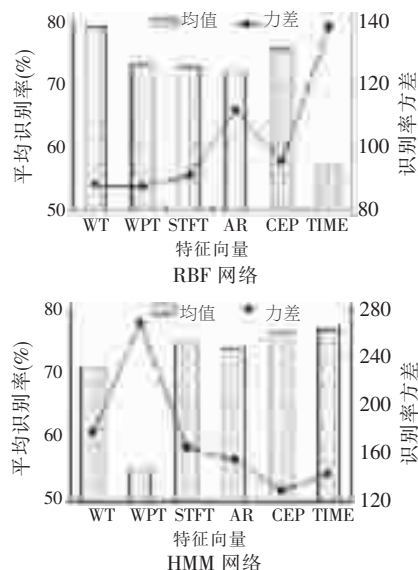


图 2 各特征向量识别率的均值及方差比较

本文建立的基于表面肌电信号的手指运动模式识别系统,主要用于多通道 sEMG 采集、分析、离线识别和在线识别,不仅可以用于手指运动模式的识别,而且也可以用作人体其他运动模式 sEMG 特征提取方法和分类器的对比研究。

本研究利用上述 sEMG 平台进行了很多的手指运动模式识别实验,并且与哈尔滨工业大学开发的 HIT AR-I 型(有 14 个关节)和 II 型(有 13 个关节)两种欠驱动 5 指 3 自由度仿人假手原型样机进行了在线识别与控制实验。在实验中发现,识别率、识别结果稳定性及对识别算法敏感性的个体差异性比较大。因此,在下一步的工作中,不仅要继续寻找识别率高、个体适应性强的 sEMG 识别算法,而且还要探讨如何通过肌肉训练来提高 sEMG 的可分性,尤其

方差结果。从图中可以看出,具有相对较高的识别率和较小方差的分类器对应的识别方法为:BP-WT、AR 和 CEP;RBF-WT 和 CEP;SVM-WT、STFT 和 CEP;HMM-TIME、CEP 和 STFT。



是增加前臂截肢者实验,使 sEMG 模式控制技术早日走出实验室,为截肢者提供高性能的多指、多自由度假手。

参考文献

- [1] 王人成. 假肢技术的研究热点及发展趋势 [J]. 中国康复医学杂志, 2005,20(7): 483.
- [2] Huang H, Jiang L, Zhao DW, et al. The Development on a new biomechatronic prosthetic hand based on under-actuated mechanism [C]. IEEE International Conf. on Intelligent Robots and Systems, NJ: IEEE Press, 2006:3791—3796.
- [3] 李芳,王人成,姜力,等. 基于隐马尔可夫模型-径向神经网络的表面肌电信号识别[J].中国康复医学杂志,2006,21(11):1016—1018.
- [4] 宋超,姜力,赵大威,等. 基于 SPCE061A 的多自由度假手语音控制系统研究[J]. 机械与电子,2006, (10): 40—42.
- [5] 姜明文. 肌电假手触滑觉反馈技术的研究[D].北京:清华大学, 2006.
- [6] 王敬章. 表面肌电信号检测系统及在手指动作辨识中的应用 [D]. 北京:清华大学, 2005.

(上接 405 页)

- [3] Edmundson A, McIntosh J. Cognitive neuropsychology and aphasia therapy: putting the theory into practice. In: Code C, Muller D, Eds. The Treatment of Aphasia From Theory to Practice [M]. London, UK: Whurr Publishers Ltd, 1995. 137—164.
- [4] Suzanne JC, Doesborgh MA, Mieke WE, et al. Effects of semantic treatment on verbal communication and linguistic processing in aphasia after stroke: A randomized controlled trial[J]. Stroke, 2004, 35:141—146.
- [5] Butterworth BL, Howard D, McLoughlin PJ. The semantic deficit in aphasia: The relationship between semantic errors in auditory comprehension and picture naming[J]. Neuropsychologia, 1984, 22:409—426.
- [6] Drew RL, Thompson CK. Model-based semantic treatment for naming deficits in aphasia[J]. Journal of Speech, Language, and

- Hearing Research, 1999, 42:972—989.
- [7] 张清芳, 杨玉芳. 言语产生的认知神经机制 [J]. 心理学报, 2003,35(2):266—273.
- [8] 熊汉中, 柏晓利, 韩在柱, 等. 失语症患者图形命名中语音错误的产生机制[M]. 中国临床康复, 2004, 8(13): 490—491.
- [9] Biedermann B, Blanken G, Nickels L. The representation of homophones: Evidence from remediation [J]. Aphasiology, 2002, 16(10/11):1115—1136.
- [10] Howard D, Patterson KE, Franklin S, et al. The treatment of word retrieval deficits in aphasia: A comparison of two therapy methods[J]. Brain, 1985, 108:817—829.
- [11] 罗常培, 王均著. 普通语音学纲要(修订本)[M]. 北京: 商务印书馆, 2002.17.
- [12] 彭聃龄主编. 汉语认知研究[M]. 济南: 山东教育出版社, 1997. 9.