

文章编号:1004-9037(2012)05-0635-04

# 单导心电监护中不同电极模式的自动识别方法

张晓明<sup>1</sup> 刘红星<sup>1</sup> 刘铁兵<sup>2</sup> 管 群<sup>2</sup> 李 萍<sup>2</sup> 汤黎明<sup>2</sup>

(1. 南京大学电子科学与工程学院, 南京, 210093; 2. 南京军区南京总医院, 南京, 210002)

**摘要:** 电极脱落、电极混用等不正常电极模式会影响采集的心电信号的质量, 导致误诊。人工判断电极模式是否正常过于依赖人的经验。为此对单导心电采集中4种电极模式的自动识别方法进行研究, 定义了表征不同电极模式的心电信号的数字特征, 结合基于LDA的特征降维和最近邻分类器来实现自动识别。实验表明, 所提出的自动识别方法对单导心电设备4种电极模式的自动识别有效, 对电极脱落的正确识别率可达到100%。

**关键词:** 单导心电监护; 电极模式; 自动识别; 特征降维

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

## Automatic Identification of Different Electrode Patterns in Single-Lead ECG Monitoring

Zhang Xiaoming<sup>1</sup>, Liu Hongxing<sup>1</sup>, Liu Tiebing<sup>2</sup>, Guan Qun<sup>2</sup>, Li Ping<sup>2</sup>, Tang Liming<sup>2</sup>

(1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210093, China;

2. Nanjing General Hospital of Nanjing Military Command, Nanjing, 210002, China)

**Abstract:** Some of the abnormal electrode patterns, such as electrode fall-off, mixed use of different electrodes, can seriously affect the ECG signal quality, even resulting in wrong diagnosis. Artificial identification of the electrode patterns depends on personal experiences. Hence, the automatic identification method for four kinds of electrode patterns in single-lead ECG monitoring is studied. Firstly, eight digital indices for distinguishing different electrode patterns are defined. Secondly, the LDA-based feature dimension reduction and the nearest neighbor classifier are adopted to complete the identification process. Experiments show that the proposed automatic identification method for different electrode patterns in single lead ECG monitoring is effective, with successful identification rate of 100% for electrode fall-off.

**Key words:** single-lead ECG monitoring; electrode patterns; automatic identification; feature dimension reduction

## 引 言

在国民经济不断发展的背景下, 人们对于生活质量的要求逐年提高, 健康也自然而然地成为人们关注的焦点。近年来, 市场上兴起的一种便携式单导心电监护设备得到了一定范围的家用普及。普通用户在得到便携实时心电监测的同时, 却也经常提出设备监测操作复杂、心电信号质量不佳等问题。一定程度上, 这是由于心电监护中对于操作人员的

要求较高造成的。医院的心电监护中, 专业医护人员对于电极的合理安置、不同电极模式的合理选择和识别具有丰富的经验。而这样的操作显然对于普通百姓要求过高。本文将就单导心电监护设备的不同电极模式的自动识别问题进行讨论。文献[1-5]介绍了国内的医护人员如何人工判断心电电极模式的一些经验, 尚未见讨论电极模式自动识别的文献。在国际上电极模式的自动识别技术主要应用在了疾病的自动诊断领域<sup>[6-7]</sup>, 仅有文献[8]提到了电极最佳位置的自动识别但也是仅局限于肌电信号,

因此本研究具有一定的理论和现实意义。

## 1 单导心电监护流程

典型的单导心电监护设备,其数据采集部分包括:监测电极、模拟放大调理电路、AD转换、计算机等,如图1所示<sup>[9]</sup>。其中,监测电极一般为3个电极:正电极、负电极、人体地或者叫右腿驱动电极。若将正电极连在左胳膊(LA),负电极连至右胳膊(RA),右腿电极连至右腿(RL),则如图2所示<sup>[10-11]</sup>。

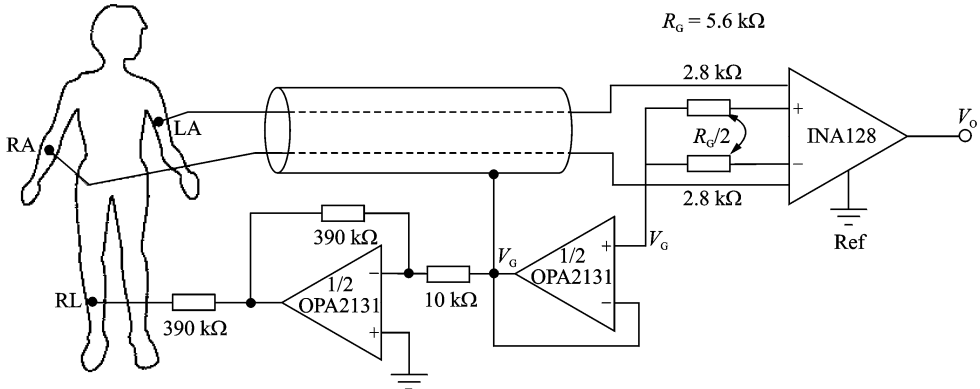


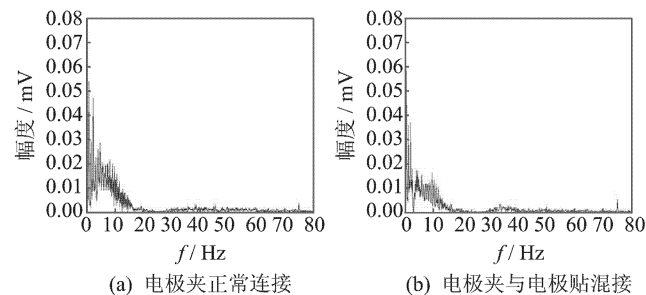
图2 单导心电采集监测电极与模拟电路连接示意图

## 2 心电信号特征参数

文献[12]利用小波包分解提取各频段的能量作为特征。本文通过观察采集的大量4种电极连接模式下的心电信号的频谱,提出了自己的一组参数作为识别的原始特征集。

图3为4种电极模式下采集的心电信号频谱的示例。从图3(d)中可看出,正负电极脱落模式,所测已不为生物电,脱落电极相当于一个天线,各种干扰和噪声最复杂;对图3(c)所示右腿电极脱落模式,比较图3(a,b)两种情况,共模负反馈不能到达,各种干扰和噪声成分较大;对图3(a)和图3(b)所示的正常模式和电极混用模式,频谱最相似,相对而言,电极混用模式下的低频稍弱一点。综合考虑,定义了如下8个特征参数作为原始特征:

(1) 特征1、特征2、特征3分别为:0~45 Hz 频



段能量,50 Hz 能量,大于55 Hz 频段能量。

(2) 特征4、特征5、特征6分别为:0~45 Hz 频段能量在以上3个频段总能量中的占比,50 Hz 能量在3个频段能量中的占比,大于55 Hz 频段能量在3个频段能量中的占比。

(3) 特征7为熵指标。将信号频域谱线*i*的幅值 $A_i$ 除以频域所有谱线的幅值之和得到该谱线的广义“概率”值 $p_i$ ,定义频谱熵指标 $H = -\sum_i p_i \log p_i$ 。此熵指标反映了频域信号能量的集中和分散程度,频谱能量分布越分散,则熵越大;图3(d)所示情况下的熵指标应最大。

(4) 特征8为重心频率。在信号频域定义谱重心频率 $f_g = \frac{\sum f_i A_i}{\sum A_i}$ ,此指标为整体上反映信号频率高低的一个指标。

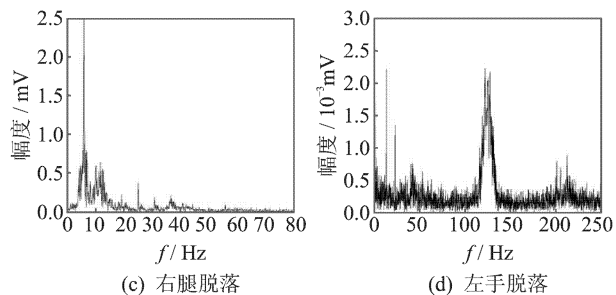


图3 4类电极模式的典型频谱分布

### 3 心电特征参数的降维与电极模式分类器

#### 3.1 心电特征参数的降维

第2节定义的8个特征参数必有一定的相关性,可通过特征变换来进一步降维,以提高分类识别的效率和可推广性。本文采用基于可分性判据的方法来进行特征变换降维,具体方法如下<sup>[13]</sup>:

(1)对获得的4类电极模式的用于学习的8维特征样本,分别求样本类内离散度矩阵 $S_i$ 、总类内离散度矩阵 $S_w$ 、样本类间离散度矩阵 $S_b$

$$S_i = \sum_{x \in X_i} (x - m_i)(x - m_i)^T, i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$S_w = P_1 S_1 + P_2 S_2 + \dots + P_i S_i + \dots \quad (2)$$

$$S_b = \sum_{i=1}^D P_i (m_i - m)(m_i - m)^T \quad (3)$$

式中: $X_i$ 为第*i*类的样本子集; $m_i$ 第*i*类的样本子集的均值向量; $S_i$ 为第*i*类样本的类内离散度矩阵; $P_i$ 为第*i*类样本个数占总样本个数的比例; $S_w$ 为总类内离散度矩阵; $D$ 为类别数,这里为4; $m$ 为总均值向量; $S_b$ 为类间离散度矩阵。

(2)求白化变换矩阵 $B$ 及白化变换后的样本 $Y$ 。基于 $S_w$ 的特征值分解,确定消除原分量相关性的K-L变换矩阵 $U=(u_1, u_2, \dots, u_D)$ 和归一化矩阵 $\Lambda^{-1/2}$ ( $\Lambda$ 是 $S_w$ 的本征值对角矩阵),则有

$$B = U\Lambda^{-1/2} \quad (4)$$

$$Y = B^T X \quad (5)$$

(3)求白化变换后样本的类间离散度矩阵 $S_b'$ 。

(4)基于 $S_b'$ 的特征值分解,确定K-L变换的本征向量 $U'$ 和本征值 $\Lambda'$ ,取*d*个最大本征值对应的本征向量为 $W$ ,即 $W=[u_1, u_2, \dots, u_d]$ ,本文取*d*=3。

(5)求特征变换降维后的最终样本 $Y_1$ 。令 $Y_1=W^T Y$ 则得到降维后的样本。

#### 3.2 电极模式的分类识别

基于降维后的学习样本,可以设计分类器,以对心电电极4种连接状态进行分类识别。本文采用简单有效而被广泛采用的近邻法来进行分类。即将降维后的学习样本作为标准样本,将每次新获得的8维原始样本通过预先确定的降维矩阵降维为待检样本;然后,在标准样本中找出与待检样本距离最近的样本,将其类别确定为待检样本的类别。

### 4 实验与结果

实验采用作者自主设计的单导心电采集设备进行数据采集,设备如图1所示。实验中人体心电信号采集电极的4种模式具体形式是:(1)电极夹

与人体按规范连接;(2)左手电极采用电极夹、右手电极采用电极贴、右腿驱动电极采用电极夹,模仿电极混接模式;(3)左右手电极采用电极夹按规范连接,右腿驱动电极断开;(4)右手与右腿驱动电极采用电极夹按规范连接,左手电极断开。每种状态下共采集同一位志愿者的50组数据,采样率均为1 kHz,采样长度为5 000个点。

采用4种状态下的前30组数据进行学习。按第2节的方法计算这些数据的原始特征,形成8维的原始特征向量。按第3节的方法分别求出白化变换矩阵 $B$ 、本征向量 $U'$ 和本征值 $\Lambda'$ ;从式(6)中的最后3个特征值很大可知,降维后的维数应取*d*=3。降维后的最终学习样本集 $Y_1$ (3×120矩阵)见图4。从图4中可知,第1,2两类(正常模式与混接模式)的学习样本紧致性差,边界不太清楚;第3,4两种导联脱落的情况,紧致性好,它们之间及它们与第1,2种电极模式之间的边界很清晰。

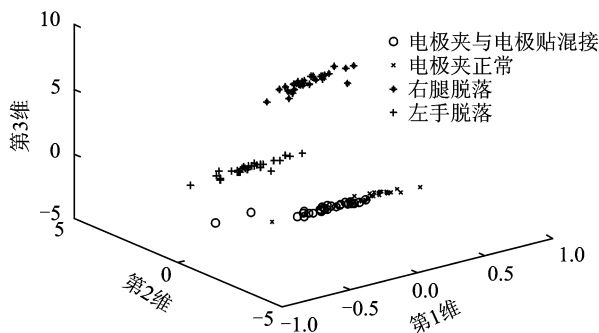


图4 4类电极模式在三维空间中的分类

用4种状态下的后20组数据进行分类测试。首先计算每组数据的8个原始特征,基于学习阶段确定的降维矩阵对每个样本进行降维,这里降为3维;然后与标准样本——学习样本进行一一比对。结果显示:第1类、第2类电极模式各样本状态识别准确率分别为95%,60%,第3,4类电极模式各样本状态识别准确率都能达到100%。其中,第1类模式中误识的5%被识别为第2类模式,第2类电极模式中误识的40%被识别为第1类电极模式。

$$\Lambda' = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0161 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.8778 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12.4356 \end{bmatrix}$$

## 5 结束语

本文定义了表征单导心电采集设备不同电极模式的 8 个特征,并结合基于可分性判据的特征降维和近邻法分类,形成了自动识别心电电极 4 种电极模式(正常模式、电极混用、右腿驱动导联脱落、正负导联脱落)的一种途径。实验显示,所提方法对两种电极脱落的模式可达到 100% 的识别率,误识率为 0;对正常电极模式和电极混接模式,识别率分别可达 95% 和 60%。由于电极混接模式对心电质量危害较小,本来就接近正常模式,若将之和正常模式归为一大类,则对正常电极模式大类的准确识别率也达到 100%。

### 参考文献:

- [1] 张新兰,张新蓉. 用监护仪监护心电图应注意的问题[J]. 中国医学装备,2007,4(4):44-45.  
Zhang Xinlan, Zhang Xinrong. How to measure an accurate cardiogram in using medical monitoring equipment [J]. China Medical Equipment, 2007, 4(4):44-45.
- [2] 刘均娥. 判断心电电极接触良否的方法及其原理[J]. 中华护理杂志,1996,31(6):364-365.  
Liu Jun'e. Judgement method and principle of ECG electrode contact [J]. Chinese Journal of Nursing, 1996,31(6):364-365.
- [3] 郑新玲. 使用一次性心电图电极片应注意的问题[J]. 医疗装备,2002,15(10):21.  
Zheng Xinling. Question should be concerned in the use of disposable ECG electrodes[J]. Medical Equipment, 2002,15(10):21.
- [4] 刘志华,宋建平,汪康平. 心房电极头脱位的心电图表现[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志,1997,11(1):50-51.  
Liu Zhihua, Song Jianping, Wang Kangping. Electrocardiographic manifestation of atrial electrode dislocation [J]. Chinese Journal of Cardiac Pacing and Electrophysiology, 1997,11(1):50-51.
- [5] 郝红伟,马伯志,李路明,等. 基于双电极的心电测量方法及仪器[J]. 航天医学与医疗工程,2007,20(5):372-375.  
Hao Hongwei, Ma Bozhi, Li Luming, et al. Method and instrument for ECG measurement based on two electrodes [J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2007,20(5):372-375.
- [6] Jacquin A, Causevic E, John E R. Automatic identi-

fication of spike-wave events and non-convulsive seizures with a reduced set of electrodes [C]// 29th Annual International Conference of the IEEE. Lyon: Engineering in Medicine and Biology Society, 2007: 1928-1931.

- [7] Chin Fook Joo, Fang Qiang, Zhang Tao. A fast critical arrhythmic ECG waveform identification method using cross-correlation and multiple template matching [C]// 2010 Annual International Conference of the IEEE. Buenos Aires: Engineering in Medicine and Biology Society, 2010: 1922-1925.
- [8] Nishihara K, Kawai H, Gomi T. Investigation of optimum electrode locations by using an automatized surface electromyography analysis technique [J]. Biomedical Engineering, 2008,55(2): 636-642.
- [9] 吕英俊,杨雪. 便携式医疗监护仪的研制[J]. 仪器仪表学报,2005,26(8):484-487.  
Lu Yingjun, Yang Xue. The research and design of portable medical measure equipment [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8): 484-487.
- [10] Texas instruments precision low power instrumentation amplifiers [EB/OL]. <http://focus.ti.com.cn/cn/docs/prod/folders/print/ina128.html>, [2010-08-11]/[2011-05-09].
- [11] Boyle J, Bidargaddi N, Sarela A. Automatic detection of respiration rate from ambulatory single-lead ECG [J]. Information Technology in Biomedicine, 2009, 13(6): 890-896.
- [12] 徐涛,王祁. 基于模式识别的传感器故障诊断[J]. 控制与决策,2007,22(7):783-786.  
Xu Tao, Wang Qi. Sensor fault diagnosis based on pattern recognition [J]. Control and Decision, 2007, 22(7):783-786.
- [13] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,1999:12.  
Bian Zhaoqi, Zhang Xuegong. Pattern recognition [M]. 2nd Ed. Beijing: Qinghua University Press, 1999:12.

**作者简介:**张晓明(1987-),男,硕士研究生,研究方向:嵌入式系统与智能信息处理,E-mail:zhangxiaoming\_ee@163.com;刘红星(1968-),男,教授,研究方向:智能信息处理;刘铁兵(1972-),男,高级工程师,研究方向:生物医学信号采集;管群(1974-),女,副主任医师,研究方向:妇产科;李萍(1973-),女,副主任医师,研究方向:心脏外科;汤黎明(1965-),男,高级工程师,研究方向:智能医疗设备。