

文章编号: 1671-6833(2015)03-0030-04

基于 HKG-07A 红外脉搏传感器的智能睡眠唤醒仪

李晓媛¹, 孟昕元², 苏星¹, 魏健平¹, 陈雪美¹, 牛云玲¹

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南机电高等专科学校 自动控制系, 河南 新乡 453003)

摘要: 为了提高学生和上班族午睡的效率, 减少传统医用睡眠监测仪给使用者带来的不便, 在研究人体脉搏和睡眠状态相关性的基础上, 设计了一种基于 HKG-07A 红外脉搏传感器的智能睡眠唤醒仪. 该装置仅通过实时监测手指脉搏信号, 传输至单片机实现系统控制, 采用支持向量机算法(SVM)构建个人睡眠状态分类数据库, 自适应地实现睡眠状态的分类预测, 结合定时和语音模块实现报警和唤醒功能.

关键词: 脉搏传感器; 支持向量机 SVM; 有效睡眠定时; 智能睡眠监测

中图分类号: TP277 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-6833.2015.03.007

0 引言

睡眠是身体机能自我修复和排毒的重要时段, 随着人们生活节奏的加快, 睡眠不足或质量下降已经成为普遍的社会问题. 临床上使用最广泛的多道睡眠图(PSG)被视为诊断呼吸暂停综合征(OSAHS)的“金标准”^[1], 监测信号包括脑电、心电、肌电、脉搏波、眼动、体位变动、呼吸和血氧等10余个通道的生理参数. 虽然这种专业设备能够实现准确监控患者的睡眠质量和诊断睡眠疾病, 但是错综复杂的感应器连线和长时间连续监测会给患者造成心理和生理不适, 并且数据分析需要专业技术人员, 其推广和普及受到较大制约. 为了解决 PSG 使用费昂贵、操作复杂和技术要求高的问题, 以检测参数简化和使用新兴分析技术为主要特色的便携式睡眠监测仪(PMDs)得到迅速发展^[2-3]. 由于不同的 PMDs 记录不同数量和类型的生理参数, 且根据记录参数设计独特的分析软件, 因此造成 PMDs 具有敏感性和特异性, 并非适用所有人. 总之, 这些专用的医用设备监测的生理参数较多, 从价格和技术上不适用于普通上班族的智能睡眠唤醒. 2012年由 Zeo 公司赞助开发的一款预测睡眠周期的设备^[4]可测量脑电波和眼动, 通过蓝牙与 iPhone 设备连接, 在睡眠者处于浅睡阶段时轻柔地唤醒, 从而减轻醒来后昏沉的感觉. 这项研究开启了“智能闹钟”的新时代, 但

售价相对昂贵, 且长期利用无线传输对大脑是否具有损害还没有明确定论.

因此, 笔者在研究人体脉搏和睡眠状态相关性的基础上, 采用了一种仅通过检测手指脉搏信号的简单技术, 利用单片机进行支持向量机(SVM)学习算法来实现睡眠状态自适应预测, 并结合定时和语音模块实现智能睡眠唤醒功能, 有效提高上班族和学生的午休质量和效率.

1 睡眠状态监测基本原理

研究表明: 脉搏波和心电信号 R-R 间期存在内在关联性^[5], 睡眠过程中心率变异性在不同睡眠分期呈现相应的变化模式^[6]. 健康的人从清醒状态进入睡眠状态时脉搏明显减慢, 而脉搏频率可以间接反映人的睡眠状态^[7]. 智能睡眠唤醒仪的主要功能是识别从清醒进入睡眠状态的时间段, 因此实时监控心脏脉搏并找到合适的表征睡眠状态的脉搏阈值是该设备需要解决的关键问题.

根据午睡时间短的特点, 本设计将国际通用的睡眠分期简化为觉醒期、睡眠期和快速眼动期, 进入有效睡眠的时间点定义为从觉醒期进入到睡眠期的时间点. 采集受试者午休过程脉搏变化数据, 利用统计分析方法得到不同睡眠阶段脉搏频率之间的差异性, 从而确定由觉醒期到睡眠期的脉搏阈值, 定义该时间为进入有效睡眠的起点.

收稿日期: 2015-01-17; 修订日期: 2015-03-03

基金项目: 河南省教育厅科学技术重点研究项目(14A120003); 郑州大学大学生创新实践项目

作者简介: 李晓媛(1972-), 女, 河南偃师人, 郑州大学副教授, 主要从事生物信号处理和智能控制方面的研究, E-mail: lixiaoyuan@zzu.edu.cn.

1.1 实验设计和数据采集

实验选择 50 名 (18 ~ 30 岁) 身体健康、无精神障碍的大学生或上班族作为受试者。每位受试者采用医院提供的睡眠监测仪连续监测 3 d 午休过程 (1 h 左右), 同时采用 HKG-07A 红外脉搏传感器同步采集午睡过程的脉搏频次, 采样周期 30 s。以专业的睡眠监测仪得到的睡眠分期时间点作为验证本文 SVM 自学习预测的评价标准。

1.2 用 SVM 进行睡眠状态分类预测

本设计利用支持向量机 (SVM) 构建预测睡眠状态的神经网络模型, 输入向量为脉搏频次时序变化序列, 输出为预测的睡眠状态, 具体实验步骤为:

(1) 数据的预处理。为了消除个体差异, 采集每位受试者在清醒安静状态 5 min 的平均脉搏作为基准数据, 所有输入向量均为脉搏频率变化量。

(2) 训练样本和测试样本建立。输入向量集 $X_i = [X(1), X(2), \dots, X(n)]$ 为连续 10 min 脉搏变化时序, 采样周期为 30 s。输出 $Y(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻的预测状态 ($Y=0$ 清醒, $Y=1$ 睡眠)。实验样本由受试者连续 3 d 监测数据构成, 分别在不同的睡眠状态随机选取 70% 样本构成训练集, 剩余 30% 作为测试集。

(3) SVM 分类预测模型构建^[8]。SVM 分类预测系统包括离线分类器学习和在线预测两个子系统。采用 LibSVM 支持向量机库中的训练函数得到分类器模型如图 1 所示。

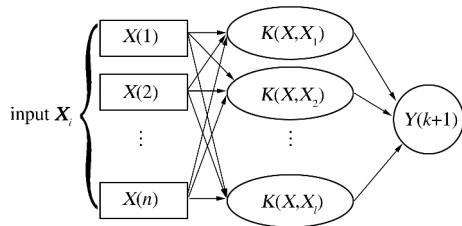


图 1 SVM 分类预测模型

Fig. 1 The SVM predictive model for classification

训练样本的核函数选用 RBF 函数, 采用交叉验证选择 SVM 最佳惩罚参数 c 和核函数参数 g , 训练得到 SVM 模型。模型最优分割面的法向量 w 和分割阈值 b 由公式 (1) 和 (2) 计算得到, 存储在单片机中作为分类函数的计算参数。

$$w = \sum_{i=1}^l \alpha_i Y_i \Phi(X_i). \quad (1)$$

$$Y_i (w \cdot \Phi(X_i) + b) = 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0. \quad (2)$$

式中: Φ 为训练样本 X_i 的非线性映射; α_i 为拉格朗日算子。在线预测睡眠状态的分类函数为

式 (3)。

$$f(X) = \text{sgn}\{w \cdot \Phi(X_i) + b - 1 + \xi_i\}. \quad (3)$$

基于 SVM 的睡眠状态分类预测流程如图 2 所示。

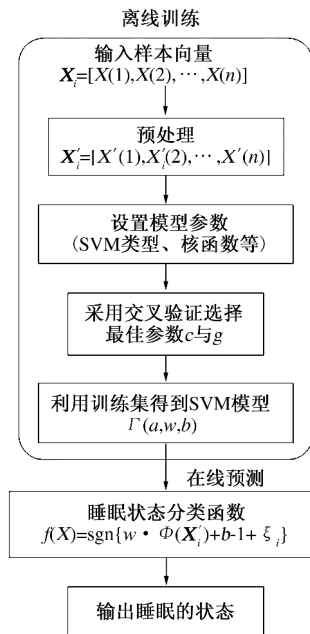


图 2 基于 SVM 的睡眠状态分类预测流程

Fig. 2 Flow chart of classification and prediction for sleeping status based on SVM

2 智能睡眠唤醒仪设计

智能睡眠唤醒仪由 HKG-07A 脉搏传感器、STM32 单片机、显示模块、数据存储模块和 ISD4004 语音报警模块构成, 系统的结构如图 3 所示。午休过程中采集受试者的脉搏时序变化信号, 研究脉搏信号与睡眠状态的关系, 采用 SVM 网络学习自适应提取表征受试者进入睡眠状态的脉搏阈值, 启动定时系统, 达到有效睡眠时间系统会自动发出报警信号唤醒睡眠者。

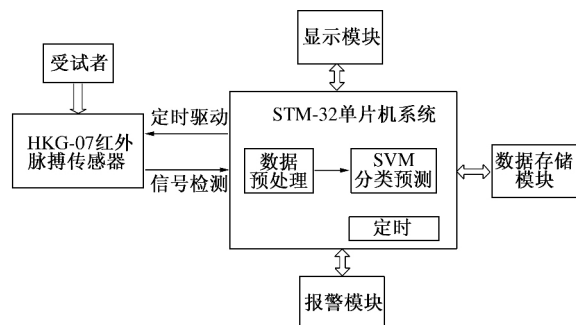


图 3 睡眠唤醒装置的系统结构图

Fig. 3 The structure of intelligent sleep alarm system

2.1 脉搏信息的采集

采用 **HKG-07A 红外脉搏传感器** 检测人体脉搏率, 利用特定波长红外线检测由于心脏跳动而引起的手指尖内微血管容积发生的变化, 经过信号放大、调理、整形输出同步于脉搏跳动的脉冲信号, 输出脉冲波形如图 4 所示(电源电压 $U_{cc} = 5\text{ V}$).

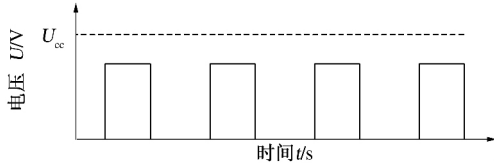


图 4 **HKG-07A 红外脉搏传感器** 的输出波形图

Fig. 4 The output waveform of HKG-07A

2.2 STM32 单片机控制系统

由于智能睡眠仪需要存储大量的训练样本,

且实时预测受试者的睡眠状态, 因此本系统采用处理速度快和功能强大的 STM32 F103VET6 控制芯片, Cortex-M3 内核, 处理速度可达 72 MHz, ROM 和 RAM 容量大. 将构建的训练样本采用 LibSVM 库中的训练函数得到分类器, 实时预测新采集的测试样本表征的睡眠时相. 如果进入睡眠则启动定时装置, 按照设定的有效睡眠时间报警唤醒睡眠者.

2.3 脉搏显示与语音报警模块设计

显示电路采用四位 LED 数码管动态显示, 与 STM32 芯片的 P1 口连接; 语音报警电路由 ISD4004 芯片加上音乐蜂鸣器组成. 报警电路触发信号由单片机的 P3.4 口直接产生, 报警音乐可自主录制和选择. 其外围设备的连接如图 5 所示.

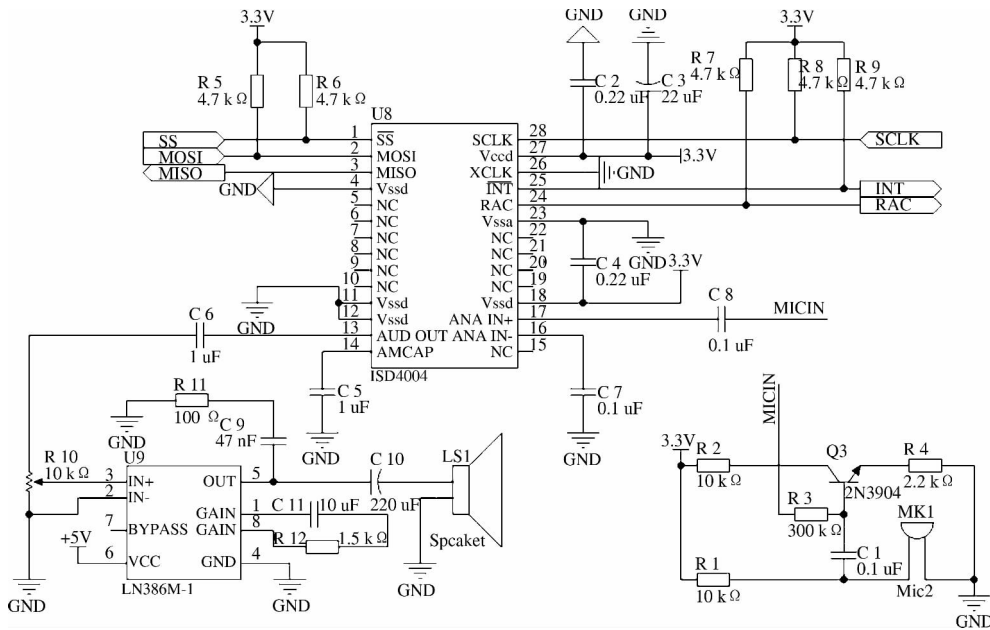


图 5 外围设备(**HKG07A**, ISD4004 和扬声器)连接

Fig. 5 The connection diagram for HKG-07A, ISD4004 and speakers

3 实验结果

3.1 睡眠时相与脉搏率的关系

采用医用睡眠监测仪和自主开发睡眠唤醒装置同步检测 50 名受试者连续 3 d 的午休过程, 分别统计不同睡眠时相连续 5 min 的平均脉搏率, 其脉搏频次分布如图 6 所示. 将 50 名受试者在清醒、睡眠和唤醒 3 种不同状态下的脉搏率分组, 利用单因素方差分析(one-way ANOVA) 检验睡眠时相对受试者脉搏率的影响, 分别计算组间、组内方差, 构建检验统计量 F , 取显著性水平 $\alpha = 0.05$, 得到睡眠时相对受试者脉搏率有显著影响($p <$

0.05). 进一步采用多重比较分析得到 3 种状态下的平均脉搏率均具有显著差异. 结果表明, 实验结果与文献 [8] 中得到的睡眠时相与脉搏率的关系一致.

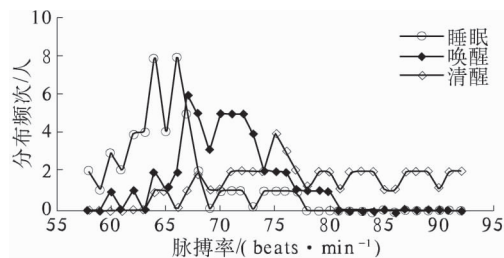


图 6 50 名受试者脉搏频数分布图

Fig. 6 The pulse frequent distribution of 50 subjects

3.2 基于 SVM 的实时睡眠时相判断

表 1 为 10 名受试者在两种睡眠监测仪同步记录时判断进入睡眠时相的时间点, 正确率是以医用睡眠仪为标准, 计算笔者开发的 SVM 实时预测的正确率。睡眠唤醒设备预测的进入睡眠的时间点均滞后, 可能是由于 SVM 预测设计时需要保证两次相同睡眠的预测结果才认为是有效的。平均预测的正确率为 85.6%, 且实际睡眠时间均大于设定睡眠时间, 实现了睡眠的有效定时。调查结果表明: 80% 以上的受试者被唤醒后表示没有不适的感觉, 且短暂的睡眠达到较好的休息效果。

表 1 10 名受试者午休睡眠状态预测结果
Tab.1 The predictive results of 10subjects

受试者	睡眠时间/min	检测仪睡眠点	睡眠唤醒睡眠点	正确率/%
男, 19	40	第 6 min	第 12 min	85
男, 22	50	第 12 min	第 20 min	84
男, 24	46	第 11 min	第 16 min	89
男, 28	44	第 12 min	第 14 min	95
男, 30	55	第 16 min	第 25 min	83
女, 24	45	第 9 min	第 15 min	86
女, 18	42	第 8 min	第 12 min	90
女, 27	52	第 12 min	第 22 min	80
女, 23	43	第 7 min	第 13 min	86
女, 24	38	第 4 min	第 8 min	89

4 结论

采用 STM32 和红外脉搏传感器完成了智能睡眠唤醒装置的设计。本系统通过 SVM 神经网络学习训练自动完成实时预测睡眠时相。虽然单纯利用脉搏率信号预测进入睡眠时相的时间精度不

够高, 但是适用于快速预测清醒和睡眠状态转变的时相, 完全满足智能睡眠定时的需要。与传统的睡眠监测方法相比, 本系统记录简单、操作方便、对睡眠影响小, 且实验结果表明, 实际睡眠时间均大于设定睡眠时间。笔者选取的样本没有涉及睡眠障碍患者, 可能导致对特殊人群的睡眠预测分类准确率下降。今后需要进一步扩充训练样本的类型和数量, 增加无线通讯模块, 实现睡眠时相的在线训练, 增加设备的灵活性。

参考文献:

- [1] 王宁宇, 张娟. 便携式睡眠监测仪发展现状[J]. 中国医学文摘耳鼻喉科学, 2010, 25(6): 302-304.
- [2] 张箭, 田学隆, 李一言. 基于 MSP430 的便携式睡眠监测仪的设计[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(11): 118-121.
- [3] 吴超, 江贵平. 基于 ZigBee 的便携式睡眠监测仪设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(2): 478-483.
- [4] SHAMBROOM J R, F&BREGAS S E, JOHNSTONE J. Validation of an automated wireless system to monitor sleep in healthy adults[J]. J Sleep Res, 2012, 21(2): 221-230.
- [5] 张爱华, 张妍, 王琦. 基于脉搏信号的心电特征研究[J]. 电子测量技术, 2009, 32(8): 8-11.
- [6] 庄志, 高上凯, 高小榕. 基于心率变异分析的睡眠分期方法[J]. 生物医学工程学杂志, 2006, 23(3): 499-504.
- [7] CHOI SANG J. Sleepy alarm system activated by heart pulse meter: USA 6791462132 [P]. 2004-09-14.
- [8] 王琛磊. 基于 DSP 的睡眠监测系统设计与实现[D]. 广州: 华南理工大学软件学院, 2013.

The Design of an Intelligent Sleep Timing Device Based on HKG-07A Infrared Pulse Sensor

LI Xiao-yuan¹, MENG Xin-yuan², SU Xing¹, WEI Jian-ping¹, CHEN Xue-mei¹, NIU Yun-ling¹

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Department of Automatic Control, Henan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453003, China)

Abstract: In order to improve the nap efficiency for students and office workers and reduce traditional sleep medical sleep monitor inconvenience to users, an intelligent sleep awake timer was designed using infrared pulse sensor HKG-07A. This instrument realizes the control system using single chip microcomputer only with real-time monitoring finger pulse signal. The support vector machine (SVM) algorithm was adopted to build the database of personal sleep state levels, then the sleep status was predicted and classified adaptively. Finally, the functions of alarm and waking up were realized in combination with timing and voice modules.

Key words: infrared pulse sensor; support vector machine; effective sleeptiming; intelligent sleep monitoring