

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2015.19.039

· 技术与方法 ·

基于蓝牙 4.0 的便携式睡眠监测仪的研制*

文 安 禹东川[△] 宋 媛 王新军 陈鸿雁

(东南大学学习科学研究中心 江苏 南京 210096)

摘要 目的:实时监测睡眠状况,从而帮助人们特别是老人找到影响睡眠的原因。**方法:**设计了一个低功耗便携式睡眠监测仪,它是通过加速度传感器采集腕动信号、蓝牙 4.0 低功耗无线传输、Micro-SD 卡存储、上位机显示等实现对睡眠状态的检测。为了验证睡眠监测仪的准确性,本文采用了视频分析方法,并且对不同人群进行监测。**结果:**研制的睡眠监测仪具有便携低功耗等特点,能够准确监测睡眠状态。**结论:**睡眠监测仪的研制对使用者特别是老人帮助很大,能够帮助使用者方便适时了解自己的睡眠状况,找到影响睡眠原因和改善睡眠质量方法。

关键词:睡眠监测;腕动;便携;蓝牙 4.0;低功耗

中图分类号:Q-337 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2015)19-3743-04

Research of Portable Sleep Monitor based on Bluetooth 4.0*

WEN An, YU Dong-chuan[△], SONG Yuan, WANG Xin-jun, CHEN Hong-yan

(Learning Science Research Center, Southeast University, Nanjing, Jiangsu, 210096, China)

ABSTRACT Objective: Monitor the condition of sleep in real time, so as to help people especially the elderly find reasons of affecting sleep. **Methods:** Design a low power portable sleep monitor. It is through the acceleration sensor to collect wrist movement signal, Bluetooth 4.0 to achieve low power wireless transmission, Micro-SD to store data, computer monitoring software to display sleep information, as so it can monitor the condition of sleep. In order to verify the accuracy of sleep monitor, this paper use video analysis method and the sleep monitor has monitored different people. **Results:** The sleep monitor developed is portable and it has the advantages of low power consumption and other characteristics, and it can accurately monitor the condition of sleep. **Conclusions:** The sleep monitor developed helps the users especially the elderly a lot, and it can help users to realize their own condition of sleep in time, find the reasons of affecting sleep and the methods of improving sleep quality.

Key words: Sleep monitor; Wrist movement; Portable; Bluetooth 4.0; Low power

Chinese Library Classification(CLC): Q-337 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2015)19-3743-04

前言

随着现代生活节奏越来越快,生活压力越来越大,越来越多人睡眠不足,出现了各种睡眠问题。为了及早发现睡眠问题,目前采用比较多的方法是多导睡眠监测和心率变异性睡眠监测,但是其过程复杂、费用昂贵等无法满足临床普及性及实用性^[1]。因此新的睡眠监测原理以及研发便携式监测装置具有重要意义。1992年, Cole等人通过大量实验表明用腕活动次数估计睡醒和用多导睡眠图监测系统估计比较得到的睡醒一致率为93.2%,相关度为0.90^[2,3],为采集腕动信号对睡眠监测提供了有力的依据,但其实验复杂且功耗大,无法普及使用。

基于上述分析,本文研制了便携式睡眠监测仪,该系统可

实现无干扰睡眠监测,且采用了低功耗的蓝牙 4.0 技术(无线传输),为睡眠监测的家庭应用提供了有益探索,特别是针对于老人有着重要的意义,老人经常被睡眠障碍困扰,而且行动不便,医院医疗费用高^[4]。实验表明本睡眠监测仪的研制的确有助于睡眠问题的发现。

1 系统框架

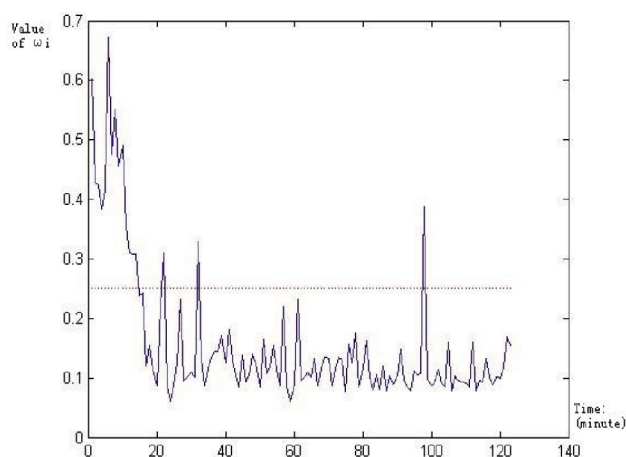
本系统主要包括 MPU-6050 工作电路构成的数据采集模块、STM32F103 单片机电路构成的数据处理模块、Micro-SD 电路构成的数据存储模块、CC2540 单片机电路构成的数据传输模块以及睡眠分析上位机构成的数据分析模块。并且为实现睡眠决策算法参数优化,本文采用了视频睡眠分析方法^[5]。系统设

* 基金项目:中国妇幼保健中心合生元母婴营养与健康研究项目(2014FYH022)

作者简介:文安(1988-),男,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式生物医学,电话:15195875572, E-mail: 742927468@qq.com

△ 通讯作者:禹东川,博士生导师,主要研究方向:儿童发展评测与干预,电话:025-83795547, E-mail: dcyu@seu.edu.cn

(收稿日期:2015-01-16 接受日期:2015-02-09)

图4 ω_i 曲线Fig. 4 Curve of ω_i

3 睡眠算法实现

3.1 睡眠算法

我们通过统计单位时间(一分钟)内的腕活动次数来表示当前状态。采用的是过零检测方式,即加速度值和参考值(0.05 g)相比较,每过参考值一次就计数一次。单位时间(一分钟)内的过参考值次数就被当做腕活动次数值^[10]。

在前人相关研究成果基础上并考虑到算法的实时性,本文采用了如下线性睡眠状态决策算法^[11]:

$$R_i = P(k_2 A_{i-2} + k_1 A_{i-1} + k_0 A_i + k_{+1} A_{i+1} + k_{+2} A_{i+2}) \quad (1)$$

其中为第 i 分钟腕活动次数, $k_0=1$ 、 k_2 、 k_1 、 k_{+1} 、 k_{+2} 、P 为待定参数, R_i 为当前睡眠判断结果。为了应用方便,本文利用参数优化方法确定参数使得当 $R_i < 1$ 时,判断为睡眠,当 $R_i \geq 1$ 时,判断为觉醒^[12]。为标定上述参数(k_2 、 k_1 、 k_{+1} 、 k_{+2} 、P),本文采用了视频帧差法^[13]实现。

3.2 视频睡眠分析

3.2.1 帧差法检测 帧差法利用了时空图像的灰度和梯度信息,通过逐像素点灰度的比较,直接求取前后两帧图像之间各像素的灰度差的平均值,进而判断运动信息。帧差法具有实现简单、运算速度快、对缓慢变换的光照不敏感等特点。对于分辨率为 $w \times h$ 的图像来说,帧差法^[14]计算如下:

$$D_k = \frac{\sum_{x=1}^w \sum_{y=1}^h |f_{k+1}(x,y) - f_k(x,y)|}{w \times h} \quad (2)$$

其中 $f_k(x,y)$ 、 $f_{k+1}(x,y)$ 分别为第 k 帧和第 k+1 帧(x,y)像素点的灰度值。 D_k 为相邻两帧的帧差。

3.2.2 睡眠状态判定 在视频的一分钟 60 秒,每秒 25 帧,一分钟 1500 帧。取 ω_i 为第 i 分钟 1500 帧的平均帧差值,并分析得到视频睡眠分析的 ω_i 曲线,示例如图 4 所示:

经过多次实验和经验,设定睡眠阈值为 0.25,即当时判定为觉醒状态,时判定为睡眠状态^[15]。

3.3 睡眠决策参数优化

实验同步测量 MPU-6050 加速度信号和 D_k ,通过前文分析可以得到 A_i 、 ω_i 。

令 $Y_i = \frac{\omega_i}{T}$, 其中 $T=0.25$ 。由多元线性回归拟合算法^[16],利用

输入输出数据对 $\{R_i, Y_i\}$ 对参数进行优化,参数优化过程变为当 $\varphi = \sum (Y_i - R_i)^2$ 为最小时,获得最优化参数^[17,18]。通过大量真实测试数据最终拟合后得到各项系数为 $k_2=0.06$, $k_1=0.24$, $k_0=1$, $k_{+1}=0.22$, $k_{+2}=0.04$, $P=0.0046$ 。

最终得到睡眠决策算法为如下:

$$R_i = 0.0046 \times (0.06 A_{i-2} + 0.24 A_{i-1} + A_i + 0.22 A_{i+1} + 0.04 A_{i+2}) \quad (3)$$

根据式(3)睡眠决策算法编写的睡眠分析上位机分析睡眠,对腕动信息如图 2 所示的得到如图 3 所示的睡眠信息,由图和各项实验数据表明式(3)睡眠决策算法是可行的。

4 实验检测及讨论

基于上述研制的便携式睡眠监测仪实现了对不同年龄正常人群的睡眠监测特别是对老年人睡眠进行监测,其中包括 24 名 5-8 岁儿童(男女各半)、28 名 20-28 岁成年人(男女各半)、26 名 60-75 岁老年人(男女各半)。由于研制的睡眠监测仪大小重量和手表差不多,被试普遍反应其便携不会影响睡眠,而且被试测试完后还有电量,体现了其低功耗特点,这为本睡眠监测仪的实用性和推广提供了有力的保障^[9]。实验一共监测了被试 1211 小时(儿童 386 小时,成年人 423 小时,老年人 402 小时)睡眠,通过视频跟踪分析得到睡眠状态与睡眠监测仪监测结果一致性,儿童达到 88.2%,成年人达到 90.8%,老年人达到 93.7%。实验结果表明本睡眠监测仪的确能够正确地监测睡眠状况。

由以上数据表明,本睡眠监测仪对儿童监测的准确率偏低,主要是因为儿童精力旺盛,又处在长身体时期,有一定的多动性,虽然处于熟睡阶段但有一些的动作,比如挠脸、蹬腿等,这些因素都影响了睡眠监测仪的监测睡眠的正确率。而老年人容易失眠多梦,睡眠时比较安静,觉醒时动作比较大,比如反复翻身等,睡眠监测仪显示睡眠和觉醒区别明显,所以监测老年人正确率比较高。实验监测一个 62 岁被试,睡眠监测仪得到的睡眠状态与视频跟踪分析得到的睡眠状态一致性达到 98.6%。

本睡眠监测仪的研制对老人意义很大。老年人睡眠易受环境干扰因素影响,晚上觉醒次数及时间增加,睡眠潜伏期延长,总睡眠时间及睡眠效率降低。而睡眠障碍对老年人危害最大,易引起烦躁不安、头痛、心律失常等甚至加重心脏病和高血压等疾病等疾病。本睡眠监测仪的监测能够准确反映老人睡眠状态,有利于找到影响睡眠原因,给老人调整作息时间,屏蔽睡眠干扰等提供了有力的参考,也为家人关心老人健康状况医生治疗老人睡眠障碍提供了有效的依据^[20],实验也表明本睡眠监测仪对老人被试睡眠质量提高有了极大的帮助。

5 结论

本文介绍了腕动睡眠监测仪系统的设计过程以及监测实验和结果。本睡眠监测仪体积小、重量小、低功耗故具有便携、低功耗等特点,非常有利于推广和使用。通过设计的睡眠监测仪使用者能够知道自己睡眠时间、觉醒时间和睡眠效率等,从

而了解自己的睡眠状况,发现自己的睡眠问题,找到影响睡眠的原因,对使用者特别是老年人提高睡眠质量有很大的帮助。

参考文献(References)

- [1] 王波帆,任衍镇,黄妙妃,等.小学生睡眠模式及睡眠疾病相关症状调查研究[J].中国全科医学,2014,17(29):3480-3483
Wang Bo-fan, Ren Yan-zhen, Huang Miao-fei, et al. Sleep Patterns and Sleep Disorders Related Symptoms in Pupils[J]. Chinese General Practice, 2014, 17(29): 3480-3483
- [2] Jean-louis G, Kripked D F, Mason W J, et al. Sleep estimation from wrist movement quantified by different actigraphic modalities [J]. Journal of Neuroscience Methods, 2001, 105(2): 185-191
- [3] Cole RJ, Kripke DF, Gruen W, et al. Automatic sleep/wake identification from wrist activity[J]. Sleep, 1992, 15(5): 461-469
- [4] Sano A, Picard R W, Stickgold R. Quantitative analysis of wrist electrodermal activity during sleep [J]. International Journal of Psychophysiology, 2014, 94(3): 382-389
- [5] 吴彤云,李朝晖,李冬梅.一种基于视频分析的值班人员睡眠检测算法[J].电视技术,2013,37(7):171-173
Wu Tong-yun, Li Zhao-hui, Li Dong-mei. Attendant Sleep Detection Algorithm Based on Content Analysis [J]. Video Engineering, 2013, 37(7): 171-173
- [6] 吴锋,周玉彬,成奇明.便携式睡眠监测系统的研制[J].医疗卫生装备,2008,29(11):20-22
Wu Feng, Zhou Yu-bin, Cheng Qi-ming. Research of Portable Sleep Monitoring System[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2008, 29(11): 20-22
- [7] 冯智勇,曾瀚,张力,等.基于陀螺仪及加速度计信号融合的姿态角度测量① [J].西南师范大学学报(自然科学版),2011(4):137-141
Feng Zhi-yong, Zeng Han, Zhang Li, et al. Measured on a gyroscope and accelerometer signal integration posture angle ① [J]. Southwest China Normal University (Natural Science), 2011(4): 137-141
- [8] Qian Z H, Liu D. Survey on data transmission in Bluetooth technology [J]. Journal of China Institute of Communications, 2012, 33(4): 143-151
- [9] Tamura T, Masuda I. Device Connectivity Technologies Using Short-distance Wireless Communications [J]. FUJITSU Sci. Tech. J, 2013, 49(2): 213-219
- [10] Rosenberger M E, Haskell W L, Albinali F, et al. Estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip or wrist[J]. Medicine and science in sports and exercise, 2013, 45(5): 964
- [11] Ellis K, Kerr J, Godbole S, et al. A random forest classifier for the prediction of energy expenditure and type of physical activity from wrist and hip accelerometers[J]. Physiological measurement, 2014, 35(11): 2191
- [12] Radgui A, Demonceaux C, Mouaddib E, et al. Optical flow estimation from multichannel spherical image decomposition [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2011, 115(9): 1263-1272
- [13] 高飞,蒋建国,安红新,等.一种快速运动目标检测算法[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2012,35(2):180-183
Gao Fei, Jiang Jian-guo, An Hong-xin, et al. A fast detection algorithm for moving object [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2012, 35(2): 180-183
- [14] Xu X, Teng F, Zhang C, et al. Investigation of polarization nonreciprocity in dual-interference fiber optical gyroscope[J]. Optical Review, 2014, 21(5): 486-489
- [15] Aguiar M, Campos L, Santos C, et al. Comparing a combination of validated questionnaires with Level III portable monitor in the diagnosis and severity of sleep apnea [J]. European Respiratory Journal, 2014, 44(Suppl 58): P2247
- [16] Hotta J. Biological information management module, sleep monitor, and control apparatus: U.S. Patent Application 13/800,461 [P]. 2013-3-13
- [17] Welch W A, Bassett D R, Thompson D L, et al. Classification accuracy of the wrist-worn gravity estimator of normal everyday activity accelerometer[J]. Medicine and science in sports and exercise, 2013, 45(10): 2012-2019
- [18] Trost S G, Zheng Y, Wong W K. Machine learning for activity recognition: hip versus wrist data [J]. Physiological measurement, 2014, 35(11): 2183
- [19] Tsukahara M, Sakao S, Jujo T, et al. The Accuracy and Uncertainty of a Sheet-type Portable Monitor as a Screening Device to Identify Obstructive Sleep Apnea-hypopnea Syndrome [J]. Internal medicine (Tokyo, Japan), 2014, 53(12): 1307
- [20] Gill A I, Schaughency E, Gray A, et al. Reliability of home-based physiological sleep measurements in snoring and non-snoring 3-year olds[J]. Sleep and Breathing, 2013, 17(1): 147-156