

The Sleep Quality of Real-Time Monitoring System Based on Fiber-Bragg-Grating

Yasong Shen, Li Xia*, Chi Cheng, Chen Liu, Deming Liu

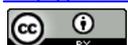
School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Access System, Wuhan
Email: [*xiali@hust.edu.cn](mailto:xiali@hust.edu.cn)

Received: Jan. 20th, 2014; revised: Feb. 23rd, 2014; accepted: Mar. 1st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

For empty nesters and bedridden patients, a sleep quality real time monitoring system based on fiber Bragg grating (FBG) is designed and implemented. Using FBG as the sensing elements, the pressure can be converted into the wavelength drift. Wavelength Division Multiplexing (WDM) technique is utilized to form the sensor network on the basis of combining 20 FBGs with different peak wavelength. Fiber grating sensor demodulation instrument (Micron Optics SM-125) is used to achieve a frequency of 2 Hz data collection, and then connected to the computer, data processing and function realization using LabVIEW programming. By using LabVIEW program modules for real-time analysis and computing the experimental data collected, the real time monitoring system of sleep quality with two functions of turnover per unit time and the sleep position has been realized ultimately.

Keywords

Fiber Bragg Grating; Sleep Quality Monitoring; Sleep Position; Turnover; LabVIEW Software

基于光纤光栅的睡眠质量监测系统

沈亚松, 夏 历*, 程 驰, 刘 陈, 刘德明

华中科技大学光学与电子信息学院, 下一代互联网接入系统国家工程实验室, 武汉
Email: [*xiali@hust.edu.cn](mailto:xiali@hust.edu.cn)

*通讯作者。

收稿日期：2014年1月20日；修回日期：2014年2月23日；录用日期：2014年3月1日

摘要

针对空巢老人和卧床病人，设计了基于LabVIEW的睡眠质量实时监测系统。采用光纤布拉格光栅(FBG)作为传感单元，将压力转换为波长漂移，随后通过合理的选取不同峰值波长的20个FBG，使用波分复用技术来构成整个传感网络。使用光纤光栅传感解调仪(Micron Optics SM-125)实现频率为2HZ的数据采集，并将其与计算机连接，数据处理及功能实现采用LabVIEW程序编写。最终实现了睡眠位置、单位时间内翻身次数的睡眠质量实时监测的功能。

关键词

光纤布拉格光栅；睡眠质量监测；睡眠位置；翻身；LabVIEW软件

1. 引言

目前，光纤传感技术正在快速的发展和完善，光纤传感器被广泛的应用于电力、化工、建筑工程和航天航空等多个领域之中[1]。随着社会老龄化引起老年人口的日益增加和医疗费用的不断增长，采用光纤传感技术对空巢老人和卧床病人等需要监护的群体进行实时的健康监测逐渐受到人们的关注，国内外也有相关方面的研究成果。美国的 W. B. Spillman 等人采用空间分布的多模光纤传感器制作的床，成功的实现了对病人的呼吸和心跳频率的测量[2]。中国天津理工大学的高华等人将基于 FBG 的传感器嵌入可穿戴的衣物之中，能够对人体的心音等进行测量[3]。除此之外还可以将光纤传感器嵌入汗衫[4]、枕头[5]及其它纺织物[6]之中，对相应的健康参数进行测量。

人体长时间不能翻身或者因不舒服而引起的不断翻身，都需要及时的发现和进行处理。更进一步，为了防止老人或病人从床上跌落，对于睡眠的位置也需要进行实时确认。针对这个研究课题，本文提出了一种基于 FBG 的睡眠质量监测系统。采用 FBG 作为传感节点，使用波分复用的技术进行组网，然后通过 LabVIEW 程序将数据引入到计算机中，并进行分析处理，最终实现了睡眠位置、单位时间内翻身次数的睡眠质量实时监测的功能。

2. 实验装置

FBG 具有灵敏度高、结构简单、可组网以及价格便宜等优点，因此被广泛的应用于基于应力或温度等参量的传感领域之中。当外界的参量发生变化时，FBG 的峰值波长会产生与参量变化相应的漂移，从而可以通过峰值波长的数据处理就能够得到要测的参量变化。为了实现将轴向的压力转换为光纤方向上的应力，我们采用如图 1 所示的结构。使用一种比较常见的 PVC 板为支撑体，将单个 FBG 放置在其中的一面上，栅区位于 PVC 板的中间区域。之后在光栅及其周边区域，使用环氧树脂 AB 胶进行涂覆，起到固定 FBG 的作用，同时也能够对光栅起到一定的保护作用。当人体压在 PVC 板上时，由于压力的作用，PVC 板的中间部位相对于两端会产生形变，进而会拉伸 FBG，这样就实现了由轴向压力向光纤方向的应力的转换[7]-[10]。同时由于 FBG 位于 PVC 板的下面，和人体并没有直接的接触，因此能够有效的排除人体体温对 FBG 波长的影响，提高了该睡眠质量系统的测量精度。

如图 2 所示，将 20 个不同峰值波长的 FBG 传感节点串联在一起，按照波长从小到大排为 4 列 5 行的传感网络。系统的光源和解调功能都由光纤光栅传感解调仪(Micron Optics SM-125)提供，其工作频率

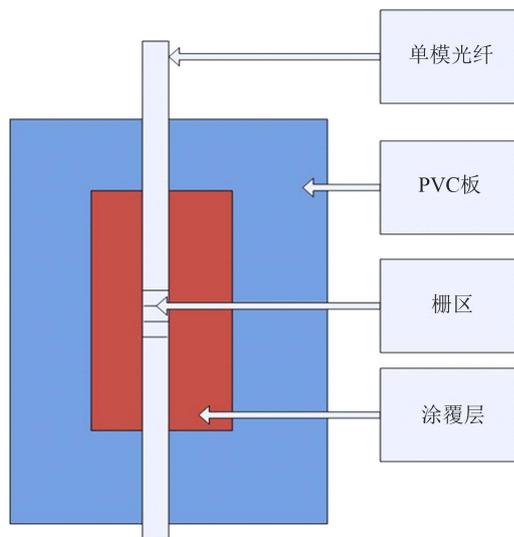


Figure 1. The illustration of single sensor node.
图 1. 单个传感节点结构示意图

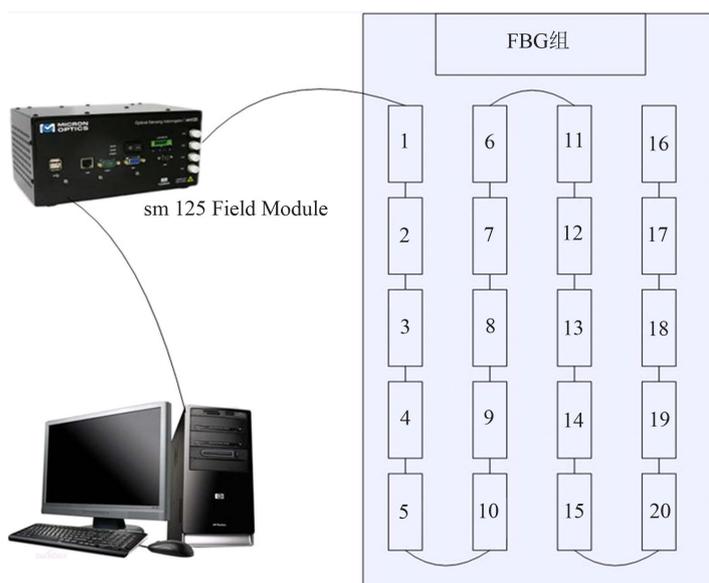


Figure 2. The illustration of experimental set up.
图 2. 实验装置示意图

为 2 HZ。SM-125 发出 1520 nm 到 1590 nm 波段的激光，光会依次进入 20 个传感节点，在每个节点中，对应于该 FBG 峰值波长的光都会被反射回来，重新回到 SM-125 中，SM-125 自身携带的基于法布里—波罗的解调部件会实时的解调出当前的全光谱。然后将 SM-125 采集到的数据传输到计算机上进行处理，我们这里采用 LabVIEW 软件编写数据处理和功能实现的程序，实现睡眠位置显示和翻身次数测量两个功能。

3. LabVIEW 程序设计

LabVIEW 作为一种完整的软件开发环境，能够实现数据采集处理、仪器控制通信以及图形化显示界面等诸多功能[11]。图 3 为整个数据处理程序的流程示意图，总共包含 8 个部分。图 4 为睡眠质量监测系

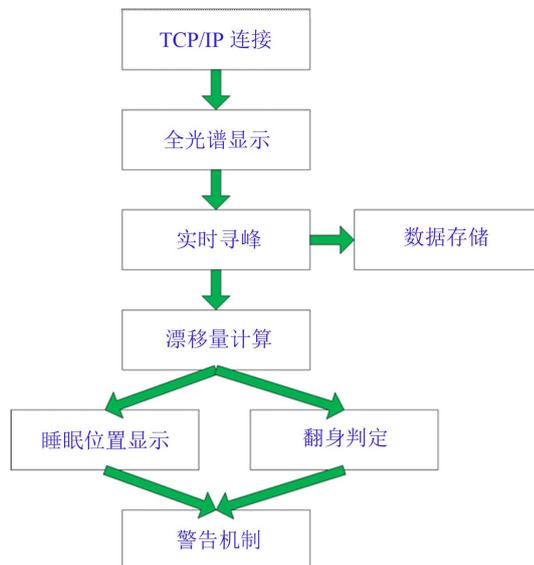


Figure 3. The program flow diagram
图 3. 程序流程示意图

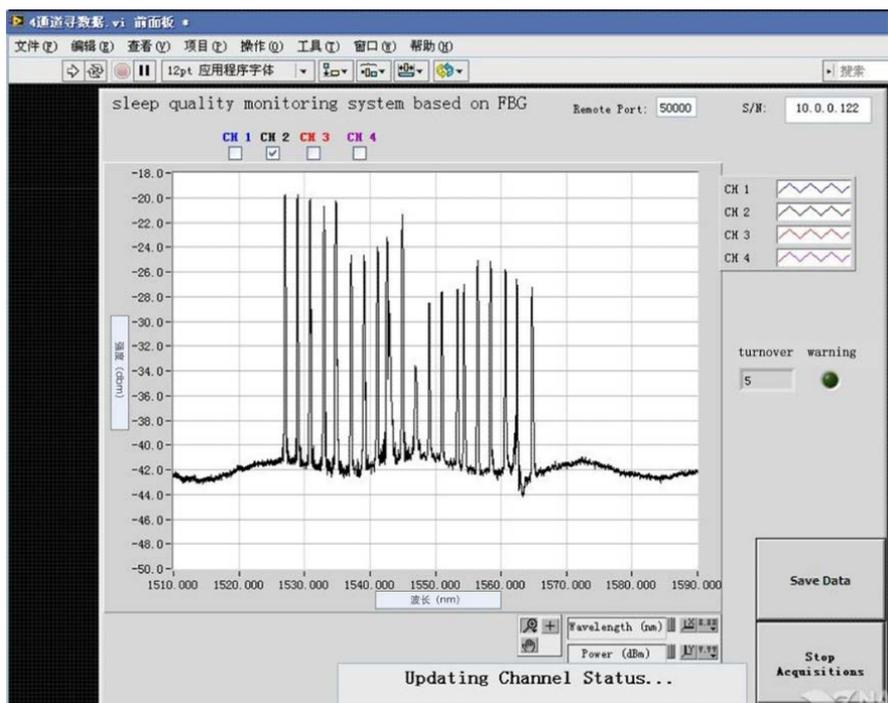


Figure 4. The front panel of program
图 4. 程序前面板图

统程序前面板，可以看到整个系统实时的全光谱图。

FBG 传感单元基本的数据测量就是峰值波长的漂移量，因此实时准确的寻峰进而得到峰值波长值是本程序中最重要的一环[12]-[14]。这里采用了分段求最大值的算法，获得 20 个 FBG 实时的峰值波长。得到实时的峰值波长之后，就可以求得各点的波长漂移量。通过 LabVIEW 内置的强度图，将实时的漂移量数值显示出来。由于波长漂移量与传感节点所受的压力成正相关，因此就可以模拟出当前的人体睡眠位

置。如图 5 所示，该图为实测的一个人平卧时的睡眠位置显示效果，从图中可以较清晰的看到人体的主体位于传感床垫的第 2 列。图中颜色的深度正比于该位置所对应的传感节点所产生的波长漂移量，通过颜色的深度就可以直观的看出各个位置所受到的压力分布情况。这样一来，就实现了睡眠位置实时监测的功能。

为了实现睡眠翻身次数的测量，下面以一分钟为例，对本系统中使用的判定算法进行说明。光纤光栅解调仪的采样频率为 2 Hz，因此一分钟之内每一个传感节点都得到 120 个实时峰值波长值，以 λ_{ij} 进行表示，其中 i 为该传感节点的序号， i 的值为 1 到 20 之间的整数； j 为采样时间点的序号， j 的值为 1 到 120 之间的整数。按照 i 和 j 由大到小的顺序排列，可以得到一个 20 行 120 列的矩阵，如式(1)所示。

$$A = \begin{pmatrix} \lambda_{1,1} & \lambda_{1,2} & \cdots & \lambda_{1,120} \\ \lambda_{2,1} & \lambda_{2,2} & \cdots & \lambda_{2,120} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{20,1} & \lambda_{20,2} & \cdots & \lambda_{20,120} \end{pmatrix} \quad (1)$$

以 t_j 时刻的波长值减去上一时刻 t_{j-1} 时刻的峰值波长值就得到了 t_j 时刻的波长漂移量 $\Delta\lambda_{i,j}$ ，既对 A 矩阵进行列运算式(2)，可以得到式(3)中的波长漂移量的矩阵 B ：

$$B_{i,j} = A_{i,j} - A_{i,j-1} \quad (2)$$

$$B = \begin{pmatrix} \Delta\lambda_{1,1} & \Delta\lambda_{1,2} & \cdots & \Delta\lambda_{1,120} \\ \Delta\lambda_{2,1} & \Delta\lambda_{2,2} & \cdots & \Delta\lambda_{2,120} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta\lambda_{20,1} & \Delta\lambda_{20,2} & \cdots & \Delta\lambda_{20,120} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$\Delta\lambda_{i,j}$ 的值可能是正的也可能是负的，它的绝对值大小表征的是该传感节点相对于上一采样时刻产生的变化情况，对该矩阵中的各个值取绝对值，得到矩阵如式(4)：

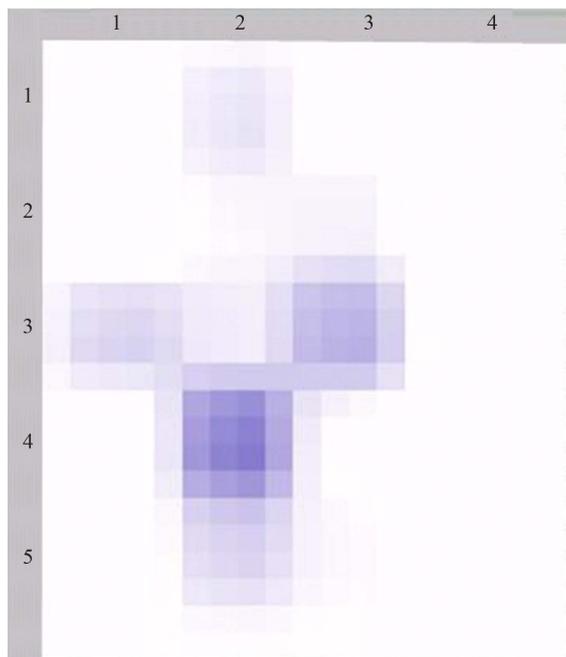


Figure 5. The drawing of sleep position test
图 5. 睡眠位置测试图

$$C = \begin{pmatrix} |\Delta\lambda_{1,1}| & |\Delta\lambda_{1,2}| & \cdots & |\Delta\lambda_{1,120}| \\ |\Delta\lambda_{2,1}| & |\Delta\lambda_{2,2}| & \cdots & |\Delta\lambda_{2,120}| \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ |\Delta\lambda_{20,1}| & |\Delta\lambda_{20,2}| & \cdots & |\Delta\lambda_{20,120}| \end{pmatrix} \quad (4)$$

将矩阵 C 中的元素按照公式(5)对每一列的元素进行累加,得到 1 行 120 列的矩阵 D,如公式(6)所示:

$$n_j = |\Delta\lambda_{1,j}| + |\Delta\lambda_{2,j}| + \cdots + |\Delta\lambda_{20,j}| \quad (5)$$

$$D = (n_1 \quad n_2 \quad \cdots \quad n_{120}) \quad (6)$$

D 矩阵内的元素 n_j 值的大小表示整个传感系统相比于上一时刻产生的波长变化程度,该值越大则说明此时刻与上一时刻相比整个传感系统所受压力的大小和分布情况有越大的变化。

当某一时刻 j , 躺在睡眠质量监测系统上的人体进行翻身活动时, 波长变化程度明显增加, 所以 $n_j > n_{j-1}$; 翻身活动结束后, 波长变化程度降低, 有 $n_j > n_{j+1}$ 。如果将 n_j 按照时间的顺序拟合成一条曲线的话, 一次翻身行为在曲线上的表现形式就是一个波峰的出现。但是曲线上的所有波峰并不都是翻身行为, 因为有可能存在的一些小幅度的波动同样会产生一些较小的波峰, 因此我们需要对曲线中的波峰进行一定条件的选取判断, 最终将符合条件的波峰的数目确定为翻身的次数。

由上述的分析和系统的工作原理可知判定曲线上的波形是否是由翻身引起的波峰有三个条件:

- 1) 存在极大值, 即 $n_j > n_{j-1}$ 且 $n_j > n_{j+1}$ 。
- 2) n_j 大于阈值 α , α 的值等于全部 n_j 的平均值的 $3/2$, 这里通过使用这一个阈值

$$\alpha = \frac{3 \sum_{j=1}^{120} n_j}{2 \times 120}$$

对波峰进行选择, 去除掉一些较小的波动产生的极大值。

- 3) n_j 与 n_{j-1} 或者 n_{j-2} 相比具有明显的增大, 即 $n_j - n_{j-1}$ 或者 $n_j - n_{j-2} > \beta$, β 的值由 n_j 与平均值的差决定, 表明这一时刻相对上一时刻具有比较大的变化, 使用这个阈值

$$\beta = \frac{n_j - \sum_{j=1}^{120} n_j / 120}{2}$$

对波峰的判定, 避免将一个较连续的翻身行为计算为几次翻身。

在 LabVIEW 程序中使用系统提供的数学模块, 按照上述的步骤对采集到的数据进行处理, 依次对上述的三个条件进行判定, 就可以得出在此一分钟之内总共出现的符合条件的波峰个数, 也就得到了翻身的次数。

实验中对一分钟之内的翻身次数进行测试, 测得实时峰值波长漂移量的值随时间变化的曲线如图 6 所示, 从 34 秒到 94 秒这一分钟之内, 实验者躺在床垫上进行测试。由于人体卧在床上时并不能处于完全静止的状态, 人的呼吸、心跳以及身体自然的小动作都会使得一些 FBG 传感器的波长值的大小处于时时变化中, 这个变化值虽然比较小, 但是由于人体会同时压在多个传感器上, 从而将这个变化值放大, 使得测得实时峰值波长漂移量的值的最小值也不会为 0。我们可以将这个数值称为基数值, 它的大小因人而异并且随时间也会有轻微的波动, 但是由于这个数值一直度存在, 因此对我们的寻峰没有任何的影响。使用上述的三个条件进行筛选, 在第 47、66、74、81 和 86 秒出现符合条件的波峰, 因此在这 1 分钟之内, 可以判定卧床者完成了 5 次翻身动作。

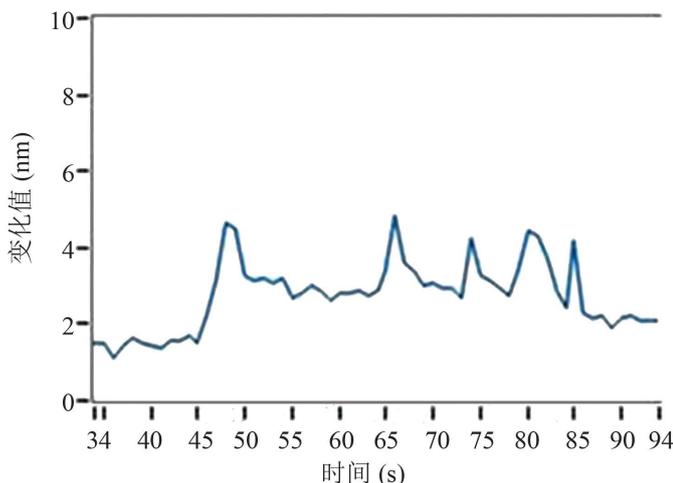


Figure 6. The measurement of the turnover times

图 6. 睡眠翻身次数测量曲线

4. 结语

本文提出并设计了一种基于 LabVIEW 图形设计语言和 FBG 传感单元的睡眠质量监测系统，介绍了该系统的实验装置组成以及通过寻峰和数据处理实现睡眠位置监测和翻身次数监测两项主要功能的程序设计，并通过实验验证了设计的可行性，为本设计的实际推广应用奠定了基础。

致 谢

本文获得国家科技支撑计划 - 智慧街道关键技术集成与应用示范项目(2012BAJ05B07)以及华中科技大学自主创新研究基金“空巢老人卧床健康监测光纤传感技术研究”资助。

参考文献 (References)

- [1] Willsch, R., Ecke, W. and Bartelt, H. (2002) Optical fiber grating sensor networks and their application in electric power facilities. *15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest*, Portland, 10 May 2002, 49-54.
- [2] Spillman, W.B., Mayer, M., Bennett, J., et al. (2004) A smart bed for non-intrusive monitoring of patients physiological factors. *Measurement Science and Technology*, **15**, 1614-1620.
- [3] Gao, H. Miao, C.Y. and Zhu, L.D. (2011) Research on the heart sound monitor system of the FBG intelligent clothing. *2011 International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (CASE)*, Singapore, 30-31 July 2011, 1-4.
- [4] Linti, C., Horter H. and Isterreicher, P. (2006) Sensory baby vest for the monitoring of infants. *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Cambridge, 3-5 April 2006, 135-137.
- [5] Victor Foo Siang Fook, Hao Jianzhong, Shiro Takahashi, et al. (1995) Fiber bragg grating sensor system for monitoring and handling bedridden patients. *Optical Communications*, **118**, 430-437.
- [6] Grillet, A., Kinet, D. and Witt, J. (2008) Optical fiber sensors embedded into medical textile for healthcare monitoring. *Sensors Journal*, **8**, 1215-1222
- [7] 吴朝霞, 吴飞 (2011) 光纤光栅传感原理及应用. 国防工业出版社, 北京, 1-17.
- [8] 黎敏, 廖延彪 (2008) 光纤传感器及其应用技术. 武汉大学出版社, 武汉, 116-136.
- [9] 朱小平 (2005) 光纤光栅传感技术理论及其实验研究. 硕士学位论文, 浙江大学, 浙江.
- [10] 赵勇 (2007) 光纤光栅及其传感技术. 国防工业出版社, 北京, 5-47.
- [11] 特拉维斯克林 (2008) LabVIEW 大学实用教程. 第三版, 电子工业出版社, 北京, 48-52.
- [12] Gani, A. and Salari, M.J.E. (2002) A LabVIEW based data acquisition system for vibration monitoring and analysis. *Student Conference on Research and Development*, 2002, 62-65.

- [13] Mallik, A. and Gupta S.D. (2009) Modelling of MEMS based temperature sensor and temperature control in a petrochemical industry using LabVIEW. 2009 *International Conference on Computer and Automation Engineering*, Bangkok, 8-10 March 2009, 287-292.
- [14] Ballal, P., Giordano, V., Dang, P., et al. (2006) A LabVIEW based test-bed with off-the-shelf components for research in mobile sensor networks. 2006 *IEEE International Conference on Control Applications, Computer Aided Control System Design*, 2006 *IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Munich, 4-6 October 2006, 112-118.