

基于红外传感器的配网作业人员生理指标 数据采集与告警系统

周苗[†]

(国网黄石供电公司城区供电中心,湖北 黄石 435000)

摘要:由于配网作业环境复杂,及时掌控作业人员的各项生理指标,可有效降低安全事故发生的概率。基于此,利用红外传感器,提出了生理指标数据采集与告警系统设计方案。系统从总体上分为硬件和软件部分,硬件部分主要由数据采集模块、无线通信模块以及告警模块构成,各模块之间协调作业,将采集到的生理指标数据通过 ZigBee 网络传送至数据中心,由数据中心统一分析和处理;软件部分实现了配网作业人员血氧饱和度、脉搏和体动数据的计算,配合硬件实现各项生理指标数据的采集。系统性能测试结果表明:所提系统可取得理想的数据采集精度,可针对异常数据发出告警提醒,同时具有超强的续航能力。

关键词:红外传感器;生理指标数据;无线通信模块;告警模块;血氧饱和度

中图分类号:TD511

文献标识码:A

Data Acquisition and Warning System of Physiological Indicators of Distribution Network Operators Based on Infrared Sensors

ZHOU Miao[†]

(Centre of Supply, State Grid Huangshi Electric Power Company, Huangshi, Hubei 435000, China)

Abstract: Due to the complex operation environment of distribution network, timely control of various physiological indicators of operators can effectively reduce the probability of safety accidents. Based on this, the design scheme of physiological index data acquisition and alarm system is proposed by using infrared sensors. The system is generally divided into hardware and software parts. The hardware part is mainly composed of a data acquisition module, a wireless communication module and an alarm module. Each module coordinates the operation and transmits the collected physiological index data to the data center through the ZigBee network for unified analysis and processing by the data center. The software part realizes the calculation of blood oxygen saturation, pulse and body movement data of distribution network operators, and realizes the collection of physiological index data with hardware. The performance test results show that the proposed system can achieve ideal data acquisition accuracy, can issue alarm to abnormal data, and has strong endurance.

Key words: infrared sensor; physiological index data; wireless communication module; alarm module; blood oxygen saturation

近年来,国家电网发展速度逐步加快,需要的作业人员越来越多,安全问题始终是最受关注的话题。在执行变电站配网作业时,多种不确定因素将

会导致作业人员心理和身体各项生理指标下降,易产生疲劳感,使注意力下降、失误率增加、面对突发事件反应过慢,从而增加配网作业人员事故发生的

概率。配网作业对工作人员身心会产生特异性和非特异性的危害,这将会直接或间接地导致事故发生。鉴于配网作业的特殊性,对作业人员的各项生理指标进行实时采集、分析与告警是十分有必要的,可以及时发现异常,采取相应的措施从根本上避免安全事故的发生。

对此,吕学宾等^[1]提出了一种施工作业人员安全管控及评价系统设计方案。该系统整体架构为分层式,采集施工作业人员的面部信息建立个人档案,对后续的安全培训结果、施工作业过程是否规范以及身体生理指标是否合格等各项安全管控指标进行量化处理,从而达到对施工作业人员生理指标安全管控与评价的目的。徐一菲等^[2]针对有限空间内作业人员的生理指标数据进行监测。在作业人员手腕处选取信号采集最佳位置,利用光电容积脉搏波获取作业人员的脉搏、心率、振幅等各项生理指标数据;将脉动生理信息监测设备佩戴在作业人员手腕处,实时获取并监测作业人员的生理指标,从而降低危险发生的概率。

由于上述两种方法仅仅实现了作业人员生理指标数据的采集与监测,对于异常数据并没有相应的告警系统。基于此,本文提出了基于红外传感器的配网作业人员生理指标数据采集与告警系统设计方案。系统由硬件和软件两部分组成,硬件部分实现了生理指标数据采集、传输和分析,软件部分则实现了血氧饱和度、脉搏以及体动数据的计算。两部分相互配合,实现对配网作业人员生理指标数据的采集与告警。通过展开系统性能测试,结果验证了本文系统具有较高的数据采集精度,同时针对异常数据可及时发生告警提醒,从而降低安全事故发生的概率。

1 配网作业人员生理指标数据采集与告警系统设计

配网作业人员生理指标数据采集与告警系统主要由数据采集模块、无线通信模块以及告警模块组成,各模块之间协调作业,实现对配网作业人员生理指标数据的采集与告警,具体架构如图 1 所示。

配网作业人员在执行任务时,都会佩戴 1 个数据采集终端,该终端主要由血氧饱和度传感器^[3]、脉搏传感器以及体动传感器组成。三个传感器将采集到的生理指标数据,通过无线通信模块中的 ZigBee 网络^[4]上传到工业以太环网中,整合后最

终传送至数据中心;由数据中心的服务器实现对采集数据的分析处理、异常检测以及告警等功能。

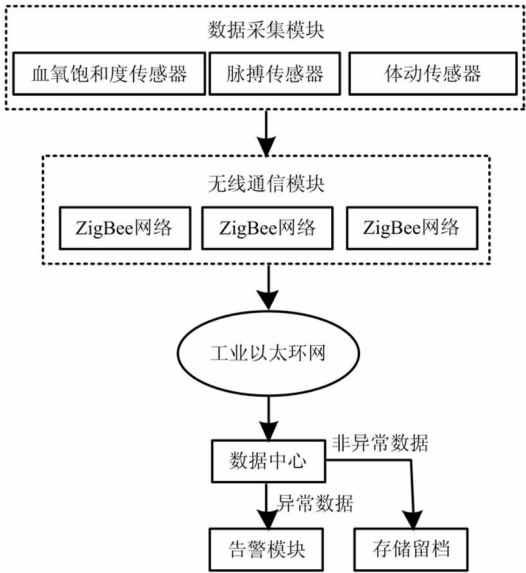


图 1 配网作业人员生理指标数据采集与告警系统架构

1.1 系统硬件设计

1.1.1 数据采集模块

数据采集模块的主要作用是采集配网作业人员的各项生理指标数据,然后经由 ZigBee 网络传送至数据中心。数据采集模块的主要构成如图 2 所示。

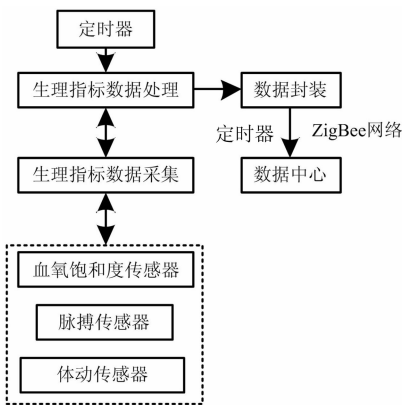


图 2 数据采集模块结构图

数据采集模块的血氧饱和度传感器、脉搏传感器和体动传感器采用了模块化^[5]的设计思路,即每个传感器之间互不干扰,删除其中一个任意传感器均不会对其他两个传感器产生任何影响。

1.1.2 无线通信模块

无线通信模块主要凭借 ZigBee 网络在采集模

利用线性函数经验公式对血氧饱和度展开计算,如式(1)所示:

$$S = M_1 + M_2 L \quad (1)$$

式中, M_1 、 M_2 分别表示经验常数项,通过实际应用环境定标确定; L 表示血氧饱和度的特征值^[11],可通过线性回归算法计算得到。

对于人体血氧饱和度的红光光强信号和红外光透射光强信号,红外传感器可实现全方位采集。从本质上来讲,这两个信号是存在某些相关性的独立序列^[12],分别用 $R = (r_1, r_2, \dots, r_N)$ 和 $I = (i_1, i_2, \dots, i_N)$ 进行表示,其中, r_N 表示经过 N 次采样后,获得的红光光强信号, i_N 表示经过 N 次采样后,得到的红外光透射光强信号。为使 2 个序列整合在一起,本文引入一元线性回归方程^[13],计算公式为:

$$I = A + BR \quad (2)$$

式中, A 、 B 均表示回归系数。

通过最小二乘法计算 A 和 B 的具体值:

$$A = \bar{I} - B\bar{R} \quad (3)$$

$$B = \frac{\sum_{N=1}^N (r_N - \bar{R})(i_N - \bar{I})}{\sum_{N=1}^N (r_N - \bar{R})^2} \quad (4)$$

式中, $\bar{I}$ 、 $\bar{R}$ 分别表示 I 和 R 的均值^[14]。

进一步整理得到:

$$L = \frac{B \sum_{N=1}^N i_N}{\sum_{N=1}^N r_N} \quad (5)$$

将 M_1 、 M_2 和 L 的值代入到式(1)中,即可计算得到血氧饱和度的精确数值,配合硬件实现数据采集。

2.2 脉搏数据采集

本文利用极值法获取配网作业人员脉搏跳动数据。为了精准获取人体脉搏跳动数据,在序列 I 中,凭借极值法^[15]可以找到相邻的 2 个极大值点,分别用 P_1 和 P_2 来表示。考虑到配网作业人员工作环境的特殊性,认定脉搏正常起伏区间为 60~150 次/min。设定数据采集模块的采样频率为 250 Hz,当满足条件 $P_2 - P_1 \geq 100$ 时,认定该点为脉搏有效采集位置。对于配网作业人员脉搏跳动数据的计算,本文通过式(6)来实现:

$$\rho = 60 \times \frac{250}{P_2 - P_1} \quad (6)$$

将计算得到的脉搏数据配合硬件设备,实现对脉搏数据的采集。

2.3 体动数据采集

人体加速度与运动状态下的能量消耗呈现很好的线性关系,因此,本文利用加速度传感器计算配网作业人员的能量消耗,以此判断作业人员是否疲劳作业,明确工作强度。加速度 a 与能量消耗 E 之间的线性关系,用式(7)表示为:

$$E = 1.294a + 77.988 \quad (7)$$

a 的值通过加速度传感器确定,代入式(7)即可计算得到配网作业人员的能量消耗情况。如果计算结果高于预先设定的有效能耗阈值,则判断该次动作有效,计算一分钟内发生有效动作的次数,进而得到配网作业人员的能耗,通过分析固定时间内作业人员的能耗情况即可判断其工作强度。

对比采集结果和设定阈值,如果超过阈值则通过告警模块向外界发出报警。

3 系统性能测试

为了验证本文系统在实际应用中是否同样合理有效,与引言中的提到的安全管控及评价系统和脉动生理信息监测设备进行了系统性能测试。

3.1 系统续航能力测试

首先,从系统续航能力方面对三种算法展开性能测试。实验中,利用三种系统分别采集施工作业人员的各项生理指标,当采集数据总量均为 4.0×10^9 T 时,对比三种系统的续航能力,结果如图 6 所示。

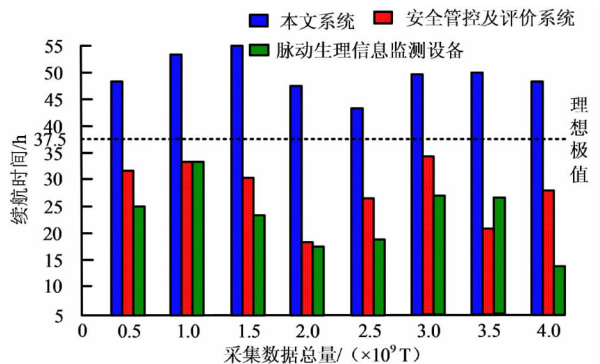


图 6 三种系统续航能力对比结果

通过观察图 6 可以看出,本文系统的续航时间明显高于其他两种系统,同时高于理想极值,最高达到了 55 h,其他两种系统均低于理想极值,安全管控及评价系统最高为 34.8 h,脉动生理信息监测设备最高为 34 h。

不仅如此,从图中还可以看出,生理指标数据采集的数量并不会影响采集系统的续航能力。因

此得出结论,无论采集数据总量怎样变化,本文系统的续航能力是最强的。这是由于本文方法配置了生理信号控制器模块,可自动调节采集模块启动模式,在一定程度上提高了数据采集效率和数量,以此提高系统续航时间。

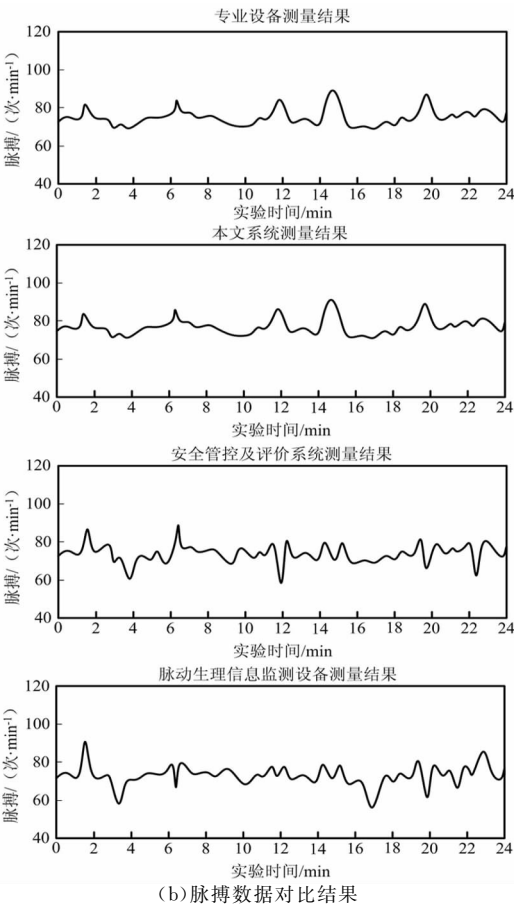
3.2 采集数据精准度测试

接下来对三种系统采集数据的精准度进行测试,采集数据主要为血氧饱和度、脉搏和体动数据。为了实验的公平性和合理性,选取 10 位测试人员,分别佩戴专业设备和三种实验设备进行运动。实验共进行 100 次,结果取平均值。将体动数据转换为能耗,测试结果如图 7 所示。

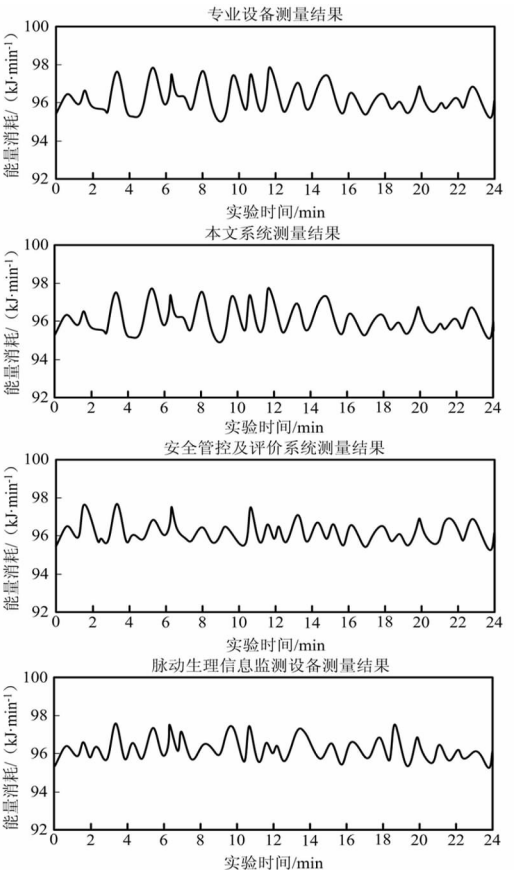
从图 7 中可以看出,本文系统测量结果与专业设备测量结果完全相同,而其他两种系统均出现了不同程度的误差。因此得出结论,利用本文系统采集作业人员生理指标数据,可保证其具有较高的精准度。

3.3 系统告警功能测试

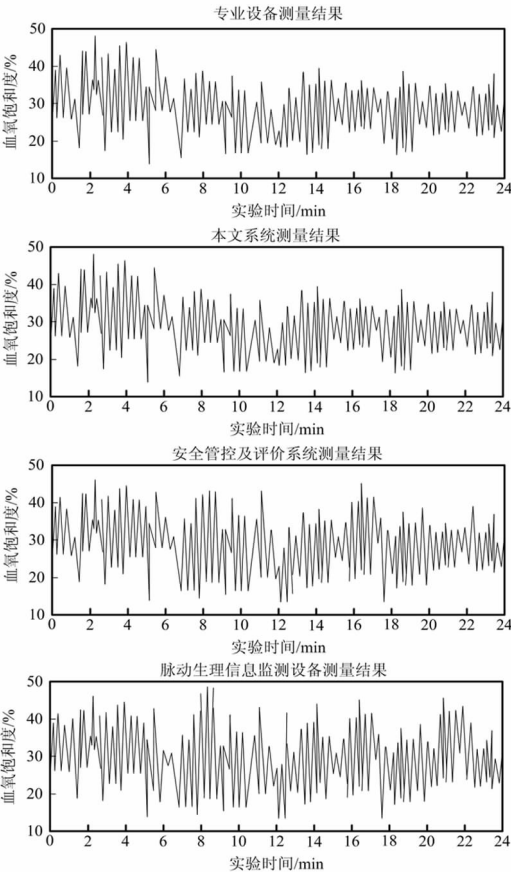
最后对本文系统的告警功能展开测试。选取 8 位测试人员(4 男 4 女),利用本文系统分别测量正常状态下和慢跑 15 min 后测试人员的血氧饱和度、脉搏和能耗,告警结果如表 1 所示。



(b) 脉搏数据对比结果



(c) 体动数据对比结果



(a) 血氧饱和度数据对比结果

图 7 三种系统数据采集精准度对比结果

表 1 本文系统告警结果

测试人员	血氧饱和度/%		脉搏/(次·min ⁻¹)		能耗/(kJ·min ⁻¹)	
	正常状态	慢跑 15 min	正常状态	慢跑 15 min	正常状态	慢跑 15 min
1	无	告警	无	告警	无	告警
2	无	无	无	告警	无	无
3	无	无	无	告警	无	告警
4	无	告警	无	告警	无	无
5	无	无	无	告警	无	无
6	无	无	无	告警	无	无
7	无	告警	无	告警	无	无
8	无	无	无	告警	无	告警

通过表 1 可以看出,在正常状态下,本文系统测量得到的血氧饱和度、脉搏和体动数据均在正常范围内,不会发生任何告警提醒;而在慢跑 15 min 后,脉搏数据变化最为明显,逐渐超出正常值范围,系统发出告警提醒;而血氧饱和度和能耗在慢跑 15 min 后,部分测试人员出现异常,本文系统发出告警提醒,并传送至数据中心,提醒工作人员多加关注,避免发生安全事故。

4 结 论

由于变电站配网作业的特殊性,本文在红外传感器的基础上,提出了生理指标数据采集与告警系统设计方案。本文系统共分为硬件部分和软件部分,两部分相互协作,采集配网作业人员各项生理指标数据,经由无线通信模块将数据传送至数据中心,由数据中心进行统一处理分析,对异常数据及时发出告警提醒。系统性能测试结果表明,本文系统测量结果与专业设备测量结果非常接近,同时具有非常理想的续航能力,为配网作业人员提供了安全保障。

参考文献

[1] 吕学宾,赵信华,张泽卉,等. 变电站施工作业人员安全管控及评价系统研究[J]. 电力系统保护与控制,2021,49(4): 21—27.

[2] 徐一菲,金龙哲,魏祎璇,等. 有限空间作业人员生理状态监测设备研制[J]. 中国安全科学学报,2021,31(3):82—89.

[3] 俞泳波,程林祥,连厚泉,等. 用于人体呼气检测中 CH₄ 气体检测的激光器温控系统设计[J]. 激光杂志,2022,43(1): 8—11.

[4] 袁晓芳,刘成,孙林辉,等. 应急场景下矿工生理指标评估的试验研究[J]. 煤炭工程,2020,52(5):167—171.

[5] 杨振中,虞学军,赵亚丽,等. 密闭环境人体热学生理指标与主观评分相关性的实验分析[J]. 航天医学与医学工程, 2020,33(5):402—408.

[6] 孟燕华,孙贵磊,逢方铭,等. 高处作业人员位置与生理信号相关性分析[J]. 工业安全与环保,2021,47(4):45—48.

[7] 安启启,杨杰,王兴明,等. 高温高湿环境下人体热生理模型的检验及应用[J]. 西安科技大学学报,2021,41(2):253—261.

[8] 麻琛彬,张政波,王晶. 基于深度学习的生理异常检测研究综述[J]. 计算机工程与应用,2021,57(10):10—25.

[9] 景国勋,王敏. 基于生理指标的噪声对作业人员认知绩效的影响研究[J]. 煤矿安全,2021,52(8):243—247.

[10] 任慧明,张元志,王贻坤,等. 基于空间频域成像的人体皮肤组织光学和生理参数的提取[J]. 中国激光,2022,49(5): 194—203.

[11] 胡姗,燕达,江亿. 建筑中人员在室时空特征的指标定义与调研分析[J]. 建筑科学,2021,37(8):160—169.

[12] 朱亦鸣,蓝常玉,彭建盛,等. 基于时钟树机制的太赫兹人体安检采集系统研究[J]. 光学技术,2021,47(3):282—287.

[13] 万生鹏,熊新中,张思军,等. 基于弯曲光纤传感头的脉搏采集系统[J]. 激光与光电子学进展,2021,58(5):119—125.

[14] 孟晓静,贾开发,张大卫. 高温作业环境下人体生理状态模糊综合评价[J]. 安全与环境学报,2021,21(4):1630—1635.

[15] 郭毅博,孟文化,范一鸣,等. 基于可穿戴传感器数据的人体行为识别数据特征提取方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2021,33(8):1246—1253.