

电力作业现场可穿戴安全保障系统设计与实现

常政威¹, 彭倩¹, 张泰¹, 谢晓娜²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 成都信息工程大学控制工程学院, 四川 成都 610025)

摘要: 高海拔、高寒地区紫外线强烈、缺氧、温差大, 电力现场作业人员在此类恶劣环境下的人身安全难以保障, 甚至存在生命危险。设计和实现了一种可穿戴安全保障系统, 采用智能手表实现人体生理体征检测, 以无线可穿戴式网关为环境监测和数据通信中心, 集中管理可穿戴设备信息, 并与后台服务器进行远程数据交换, 实现对作业人员周围环境及自身体征状况的实时监测、健康预警和安全管理等功能。

关键词: 可穿戴系统; 安全保障; 信息处理网关; 安全管理软件

中图分类号: TP319 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2020)03-0043-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.03.009

Design and Implementation of Wearable Safety Guarantee System for Electric Power Operation Site

Chang Zhengwei¹, Peng Qian¹, Zhang Tai¹, Xie Xiaona²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610025, Sichuan, China)

Abstract: There are strong ultraviolet rays, lack of oxygen and large temperature difference in the areas with high altitude and extremely cold climate. The safety of electric power operators is difficult to be guaranteed and even life-threatening in such a harsh environment. A wearable safety guarantee system is designed and implemented, which uses smart watch to detect the physiological characteristics of human body. The wireless wearable gateway is used as the environment monitoring and data communication center to centrally manage the wearable device information and exchange the remote data with the background server. The system can perform real-time monitoring, health warning and safety management of the working environment and physical signs of operators.

Key words: wearable system; safety guarantee; information processing gateway; safety management software

0 引言

在高海拔、高寒等电力作业现场, 由于高度缺氧、紫外线照射和温差变化大等影响, 对工作人员安全评价和管理难度加大, 迫切需要一种能够在恶劣环境下保障电力作业人员安全的装置, 辅助现场人员对复杂环境和自身体征状况及时感知, 进行团队沟通和安全管理。

南京邮电大学开展了一种可穿戴式消防交互设备系统设计研究^[1], 对消防员灾害状态下的身体机

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(恶劣电力作业环境的可穿戴安全保障技术 2019YFG0131)

能、活动轻度、体温和呼吸率等进行监测。电子科技大学开展了可穿戴技术在企业现场设备维护作业及在心血管远程监护中的应用研究^[2-3]。中国电力科学研究院将可穿戴技术运用到安全帽和电子手表上, 结合后台监护系统实现对电力作业人员的安全监护, 对人员的不安全行为及时进行警告, 发生安全事故时及时开展应急救援^[4]。电网企业现有的电力作业现场通信终端具备音视频录制、4G通信功能, 已内置重力传感器、震动模块、GPS定位, 但不具备环境数据采集功能; 此外, 近场通信对讲机和应急单兵终端不可穿戴, 功能单一且使用方式落后, 难以保障恶劣环境下作业人员的安全。

下面设计和实现了一种基于可穿戴设备和物联

网技术的恶劣电力作业环境安全保障系统,采用能够监测心电的智能手表和监测大气环境的可穿戴通信网关,实现电力现场作业人员健康和环境状况的监测预警、可穿戴设备/可视终端及后台的安全高效通信等功能,以保障工作人员的职业健康安全和安全生产。

1 系统架构设计

考虑到高原等恶劣环境工作现场的情况复杂,现场安全保障需要的功能点众多,设计了一种可扩展的可穿戴安全保障架构,使用无线可穿戴式网关,集中管理个体所有的可穿戴设备信息,并与后台服务器进行数据交换,如图1所示。

该系统由可穿戴信息采集设备、信息处理网关、应用系统3部分组成。可穿戴信息采集设备采集工作人员心电、脉搏、体温、血氧、血压等生命体征信息,通过 ZIGBEE、蓝牙、WiFi 无线网络传输等方式与信息网关进行信息传输。信息处理网关主要由网络通信、数据处理与集中管理模块构成。数据处理是整个系统架构的核心模块,主要承担数据接入、显示、转换、存储等任务以及内置语音对讲、GPS 定位、环境信息(紫外线强度、气压、温度等)采集和 4G 通信等功能。应用系统提供健康管理、信息援助与协同决策功能。

1.1 信息采集装置

智能手机实施方案如图2所示,采用业务分离及模块化的设计思路,将可穿戴智能手表分为手表模组与生理信号采集两部分。在智能手表模组部分,完成智能手表的常用功能,如操作系统、蓝牙传

输、屏驱动、存储等;在生理信号采集部分,完成心电、心率、血氧、体温的采集和数据预处理。两者通过并口进行通信,生理信号采集部分将生理信号采集和预处理完毕后传输给智能手表,在智能手表上通过专业的健康分析算法进行显示。健康信息可通过蓝牙同步至手机和可穿戴网关,用户通过手机或后台进行日常健康管理。

1.2 信息处理网关

信息处理网关是数据汇聚、处理和输出的关键设备。监测信息包括生命体征信息、位置信息与环境信息,它们包含不同具体指标,来源于不同的可穿戴设备。以生命体征信息为例,包含心电、脉搏、体温、血氧、血压等指标。信息处理网关接收处理数据信息后,将结果通过 4G 网络上传至后端服务器,系统将数据可视化后在 Web 端显示其结果。后台管理系统主要负责对现场作业人员设备信息的汇总、分析、管理、存储及反馈,可进行环境监测、健康分析与异常报警。

网关系统硬件结构如图3所示,可穿戴安全保障网关主要分为电源、语音对讲及信息处理模块3部分。电源模块采用 12 V 锂电池供电,并具有系统供电稳压及充放电管理,它直接供给语音对讲和信息处理模块。语音对讲模块主要完成团队作业时的近场沟通;信息处理模块可分为传感器、网络传输、近场网关与基本信息4部分。传感器集成了环境感知模块和 GPS,可定位作业人员地理信息位置,并采集当地的环境情况(温湿度、大气气压、紫外线等);网络传输主要采用 4G 模组,用于本地信息与后台的交互;近场网关采用蓝牙和 WiFi 模组,主要用于集成和扩展可穿戴设备;NFC作为个体标识,用手

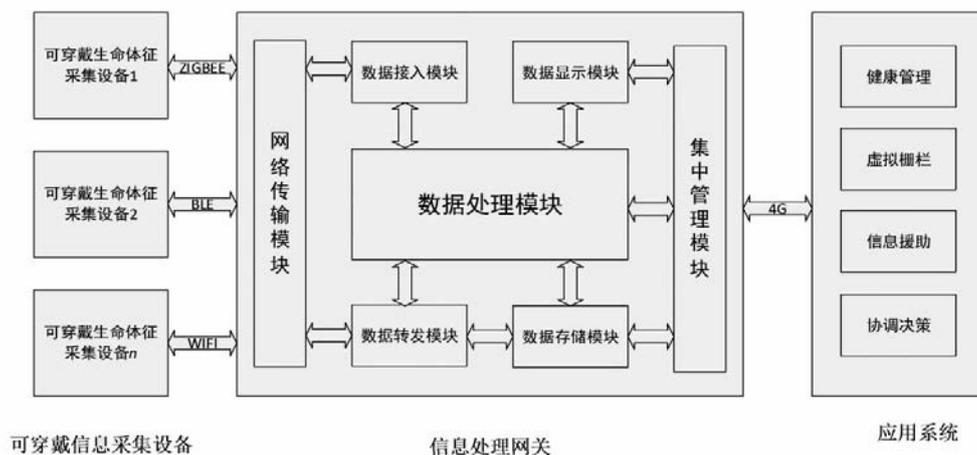


图1 可穿戴电力作业安全保障系统架构

表扫描后可读取其人员基本信息,存储模组将完成本地的一些历史数据存档。

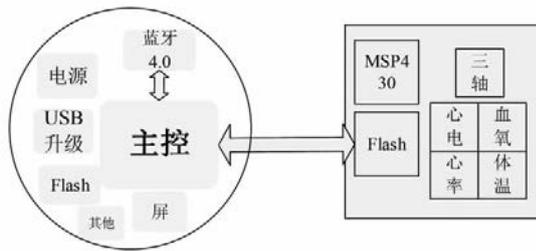


图2 智能手表实施方案

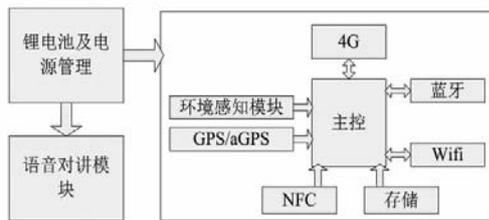


图3 网关系统硬件结构

2 人员健康状态评价

基于采集的气象环境和人体生理体征信息,如何进行人员健康状态评价是本系统的关键。下面先介绍特征因子提取,然后通过机器学习的方法进行生命状态评价分类,并以疲劳度为例进行人体安全度判别。

2.1 生理体征衡量指标

人体生理信号分为周期性生理信号和非周期性生理信号两类^[5]。人体周期性生理信号有 PPG(脉搏波)、ECG(心电信号)等,可以反映人体疲劳和压力情况;非周期性信号如体温、血压可直接反映人体生命体征状态^[6]。非周期性信号是能够表征生命状态的特征因子,但由于其往往数据量大,需要进行时频分析,预处理得出特征因子。

例如心电数据^[7],时域特征因子选用 HR(心电 R 波数)和 SD(R 波间隔标准差);频域特征因子选用 HF(高频段功率值)、LF(低频段功率值)及 VLF(极低频段功率值)为特征因子。

2.2 生命状态评价分类

系统传感器采集人体的心电、心率、血压等特征参数,通过时频分析、多尺度熵分析等方式预处理提取出特征因子向量,并将其划分为训练样本集和测试样本集,利用机器学习中的多分类支持向量机

(DAG-SVMS)根据训练样本集来确定最优多分类超平面算法。标定模块利用得到的多分类器模型对测试样本集进行处理,完成样本数据的特征分类,其具体步骤如图4所示。其中,算法标定模块流程如图5所示。

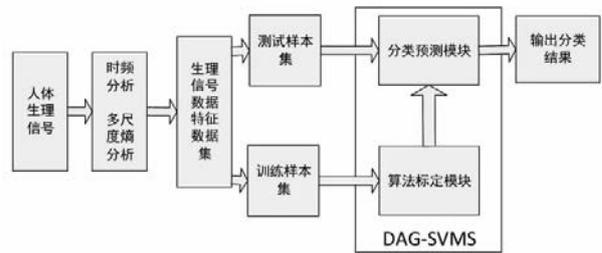


图4 DAG-SVM 实施思路

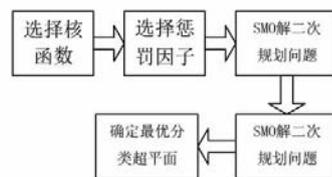


图5 算法标定模块流程

2.3 人员安全度判别

作业人员安全度判别方法流程如图6所示^[7],将人员的疲劳度等级 G_n 分为5级,即状态良好、轻度疲劳、疲劳、比较疲劳及非常疲劳,分别对应 G_1 至 G_5 ,取值为1~5。根据 X 对作业人员疲劳程度进行判别, X 越小,安全度越高,其中 f 的取值在0和1之间。

如前所述,作业人员心电数据指标包括时域指标和频域指标。基于心电的差异性原理,通过心率变异度等指标进行人员的疲劳度判别。将支持向量机 SVM 与心电数据相结合,其中,SVM 的训练过程为:采集电力工作场景下已作业疲劳和未作业疲劳人员的心电数据,得到数据集;对数据集提取心电数据指标,包括时域指标和频域指标;将提取心电数据指标的输入 SVM 完成训练和标定。

基于智能手表的惯性传感数据采集^[7],运动数据指标包括作业时间 WT、作业程度 WD、状态系数 K 、跌倒姿态 P1、坠落姿态 P2。其中,作业时间 WT 为记录的累计持续振动时间,WD 为运动数据的均方差, K 为抬手状态时间的归一化系数。

生理信号很大程度上是精神疲劳,作业姿态统计和应急识别的结果很大可能是体力疲劳,本方法基于自身生理信号与作业姿态融合的方式对作业人员疲劳程度进行判别,对疲劳程度识别更准确。

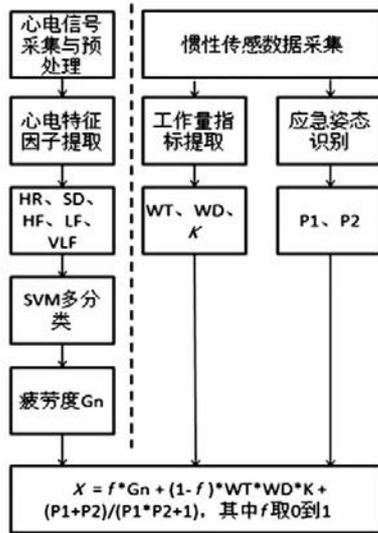


图 6 作业人员安全度判别方法流程

3 安全管理软件系统

采用大数据分析,基于工作人员健康采集数据,结合历史数据和环境参数,实时监测和预测作业人员的健康状态、疲劳度分析及预警,防范人身意外,为人员分工、作业计划时间安排及劳动防护提供辅助决策。基于地理信息和人员定位,可视化显示人员作业点位置、任务协作和人员健康实时状态。将数据存储和处理均放在服务器端,可穿戴手表与网关之间通过蓝牙通信,网关通过 4G 网络及虚拟专用网,接入服务器。

作业人员通过手机终端与个体可穿戴网关相连,可获取环境信息、定位信息、健康信息,同时可连接后台服务器以推送综合信息。普通用户的健康数据信息通过 APP 收集后以加密接口方式与平台进行通信,平台管理员通过管理后台对平台数据进行管理。手机 APP 与可穿戴网关、后台服务器的网络通信架构如图 7 所示。

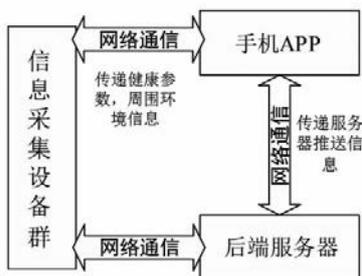


图 7 系统网络通信架构

4 系统实现及应用

可穿戴系统指标参数如表 1 所示。可穿戴智能手表可以实时监测作业人员心电、脉搏、呼吸、心率、体温,并通过无线通讯的方式向可穿戴网关传送信息。可穿戴网关具有语音对讲功能,保障团队协作过程中的通信正常。另外,可穿戴网关内置环境监测系统,能够测量高原温湿度、紫外线、大气气压。后台安全管理软件系统可进行日常人员健康状况的管理,防止恶劣天气出勤、晒伤、高原反应等。

表 1 可穿戴系统实现指标

模块名称	功能/性能指标	技术参数
体温检测	体温精度	$\leq \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$
心率检测 模块	心电/心率采集 最大振幅误差	$\leq \pm 10\%$
PPG 模块	PPG peak 捕捉率	99.6%
环境监测	气压采集精度	$\leq \pm 0.25\%$
环境监测	紫外线指数误差 (量程:0~15)	$\leq \pm 2$
安全管理 软件	计划管理、健康预警、 统计分析、辅助决策	人员健康度分析、 疲劳预警等

可穿戴设备的使用效果如图 8 所示,网关与可视化终端集成在臂章上,与智能手表无线通信。

使用该系统后,人员生命体征、环境信息、人员历史状况等进行了信息化展现,作业场景安全防护水平大大提高。



图 8 可穿戴设备使用效果

图9 为疲劳度的分析应用界面。

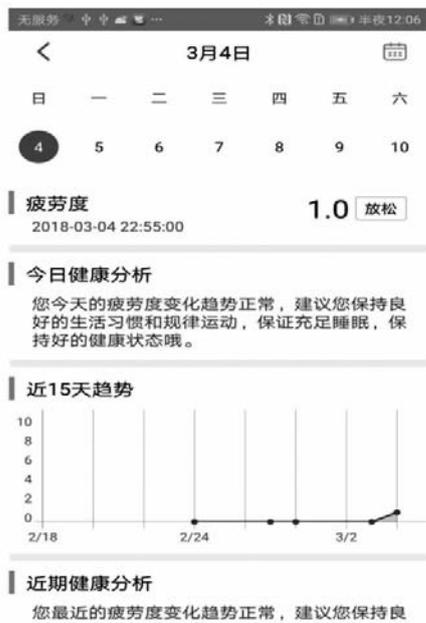


图9 疲劳度分析

5 结 语

研制了恶劣电力作业环境的可穿戴安全保障系统,包括心电健康智能手表和具备近场通信、远程通信和环境监测的可穿戴网关。提出和实现了基于生理特征信号的复杂环境人体健康管理算法,实现健康状态的实时评价和智能预警。

所研制的网关以臂章形式穿戴或手持系统与智能手表结合,可实现环境、生命体征、位置数据、运动数据等信息的实时采集,具有良好的适用性和扩展性,形成一套基于物联网、可穿戴技术的人

身安全和企业安全生产保障软硬件架构。该项目完成后进行产品试制,可应用于藏区电网调试、高海拔地区检修试验、智能变电站等作业现场,替代现场原有的对讲机等单一设备,提高现场安全管控的智能化和有效性。

参考文献

- [1] 吴学政. 消防员灾害现场可穿戴式交互设备系统设计研究[J]. 科技通报, 2018, 9(9): 234 - 237.
- [2] 侯丽君. 可穿戴远程健康监控系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [3] 相建南, 卢松柏. 移动与可穿戴技术在心血管远程监护的应用[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(增刊1): 1 - 5.
- [4] 郭雨松, 于振, 赵炜妹. 基于可穿戴技术的电力作业安全监护平台研究[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(1): 72 - 77.
- [5] Liang Qiancheng, Xu Lisheng, Bao Nan, et al. Research on Non - Contact Monitoring System for Human Physiological Signal and Body Movement[J]. Biosensors, 2019, 9(2): 58.
- [6] 李天博, 于梦浩, 吕毅, 等. 基于动态多生理参数的人体疲劳检测研究[J]. 信息技术, 2017(11): 121 - 124.
- [7] 国网四川省电力公司电力科学研究所, 成都信息工程大学. 一种作业人员安全度判别方法及设备: 中国, 201810128076.0 [P]. 2018 - 02 - 08.

作者简介:

常政威(1981), 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为人工智能;

彭 倩(1983), 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力安全管控。

(收稿日期: 2020 - 03 - 17)

为美好生活充电

为美丽中国赋能