

# 智能呼吸运动监测系统的设计

邵芳 廖博雯

浙江水利水电学院 计算机科学与技术学院, 中国·浙江 杭州 310018

**摘要:**呼吸贯穿人体的整个生命周期, 是人体生命体征的核心指标之一, 呼吸运动的监测在疾病诊断、健康管理等领域具有重要价值。然而, 传统呼吸监测技术受限于设备复杂、佩戴不适、价格昂贵及数据分析能力薄弱等问题, 难以满足智能健康管理和现代精准医疗的需求。论文从功能设计的角度, 结合传感器技术及物联网技术探讨智能呼吸运动监测系统的功能需求分析及系统设计, 旨在为相关领域的研究与实践提供参考。

**关键词:**呼吸监测; 传感器; 系统设计

## Design of Intelligent Respiratory Movement Monitoring System

Fang Shao Bowen Liao

Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, School of Computer Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang, 310018, China

**Abstract:** Respiration runs through the whole life cycle of the human body and is one of the core indicators of human vital signs. The monitoring of respiratory movement has important value in disease diagnosis, health management and other fields. However, the traditional respiratory monitoring technology is limited by the problems of complex equipment, uncomfortable wearing, high price and weak data analysis ability, which is difficult to meet the needs of intelligent health management and modern precision medicine. This paper discusses the functional requirements analysis and system design of intelligent respiratory movement monitoring system from the perspective of functional design, combined with sensor technology and Internet of things technology, in order to provide reference for research and practice in related fields.

**Keywords:** respiratory monitoring; sensors; system design

## 0 前言

在人们对个人的健康需求普遍提升以及人们逐渐从被动医疗到主动健康的转变的大背景下, 为群众提供“全方位全周期”的健康服务已经迫在眉睫。另外, 在新型冠状病毒肺炎在全世界范围内大流行期间也对人体重要生理参数的远程、连续实时的监测技术展现出重大需求。因此在智慧医疗领域中, 利用小型化、便捷化的柔性无线电子设备对人体多种生命体征如呼吸运动的实时持续监测, 并用来诊断与防治多种疾病已经是该领域中的研究热点之一。

比起已报道的大量的心脏、体温以及血糖等方面的监测技术研究<sup>[1-3]</sup>, 呼吸运动的监测相关研究受到较少的关注, 在技术上的创新也比较少。众所周知, 呼吸是每个人的本能, 包括吸入和呼出并贯穿着人类的整个生命活动周期, 它不仅维持着个体的正常的生命, 同时也可以作为评估个体健康状况的关键指标之一。临床上, 呼吸生物力学和功能监测可以有效应用于包括阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征、慢性阻塞性肺疾病、哮喘、肺动脉高压、各种心血管疾病等人类多种疾病的早期识别、辅助诊断和治疗<sup>[4-6]</sup>。此外, 新冠肺炎病人临床上也会表现出呼吸困难, 呼吸的频率和幅度都会增加的病症, 实时远程监测人群的呼吸参数对新冠肺炎疾病的发作、诊断及康复阶段的病情提供科学有效的信息。因此,

有效监测呼吸运动对健康监测和预测人类疾病, 甚至挽救人类生命具有重大意义。

目前, 已经有多种商业化的呼吸监测设备投入到医院的医疗诊治中, 且针对呼吸运动监测的便捷化、小型化、适合日常居家使用等需求, 研究人员已经开发了基于不同形式、不同原理的可穿戴式呼吸运动监测系统。从形式上, 绝大部分是将内置有呼吸传感器的弹性带或智能服装绑在胸、腹部或者手腕处, 这些传感器在使用过程中不能与皮肤紧密接触, 往往会产生运动伪影, 测量结果不够精确; 从原理上, 便携式呼吸运动监测系统大多基于以下原理: 基于心电及脉搏信号估算呼吸频率、基于机械压力形变的光纤光栅传感器、基于电磁感应的呼吸感应体积描记技术以及基于鼻孔处气流温度、湿度的变化等。例如, 孟琨等通过多导睡眠呼吸记录监测系统 (Polysomnography, PSG) 多通道同时监测呼吸、动脉血氧饱和度、脑电图、心电图、心率等生理指标, 是国际公认的诊断 OSAHS 的金标准<sup>[7]</sup>; Sohn 等基于心电信号来估算呼吸频率, 根据心电信号计算心跳、脉搏等生命体征信息, 然后再基于已知的呼吸频率与脉搏、心跳的对应关系对呼吸频率进行估算<sup>[8]</sup>。Zhou 等开发了一个低功耗的、可同时监测心电图、呼吸、脉搏、血氧、血压和温度等生理参数的小型可穿戴式人体传感器网络监测系统, 但是在测量

的过程中需要多条导线进行数据传输、大大降低了使用的便捷性,而且无法得到呼吸强弱、呼吸暂停时间、呼吸模式等更进一步的呼吸特征详细信息<sup>[9]</sup>。但这些系统价格昂贵、体积庞大,外接多条导线,并不适合居家使用,也无法满足互联网+时代的个性化医疗需求。近年来,随着柔性可穿戴技术的发展,高分子柔性类皮肤材料,因其具有良好的类皮肤生理和机械属性、理化性质可调、导电性、生物组织相容性等优异性能而广泛应用于电子皮肤、个性化健康医疗、人机交互、人工智能等领域<sup>[10,11]</sup>。因此,论文设计一种基于柔性传感器结合机器学习的呼吸运动监测系统,对加快推进柔性生理传感监测技术与相关产业的发展具有重要科学价值和现实意义。

## 1 功能需求分析

该智能呼吸监测系统的定位在于普通大众能够使用便宜、简单、便捷的微型设备随时随地实时监测呼吸运动,并能够对呼吸频率、呼吸模式准确进行识别,从而对相关疾病进行辅助诊断。具体来说,智能呼吸运动监测系统需要满足以下几个功能。

### 1.1 呼吸信号的采集功能

呼吸运动包括吸入和呼出贯穿着人类的整个正常的生命周期,是身体健康状况的关键指标,能够作为阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征、哮喘、肺动脉高压或心血管疾病的识别和辅助诊断,因此了解测试人员的呼吸频率、呼吸模式等呼吸相关信息,对相关疾病的诊断具有非常重要的意义。

### 1.2 无线传输和数据存储功能

本系统通过传感器采集到数据之后,一方面需要基于蓝牙无线传输将数据传输到上位机进行低延迟、高可靠性的监测,并通过动态宽带分配、前向纠错编码及自适应跳频技术将呼吸信号的传输丢包率保持在低位。另一方面,为了进行呼吸质量的分析以及呼吸模式的识别,满足临床诊断与长期健康管理的需求,需要该监测系统具有数据存储功能。

### 1.3 实时监测与模式识别功能

本系统需要实时监测呼吸运动并采集相关数据,这些数据还需要经过进一步处理以及机器学习方法对呼吸模式(正常呼吸、反常呼吸、潮式呼吸、腹式呼吸、间停呼吸以及呼吸暂停)进行分类,这样以便满足异常报警需求和临床疾病识别需求。

### 1.4 异常报警功能

为了保障患有呼吸相关疾病的被测人员的安全问题,呼吸运动状况的监测及呼吸异常及时准确的报警功能对被测人员来说异常重要。智能呼吸监测系统的异常报警功能可实时识别呼吸暂停、低通气等异常事件,通过动态阈值与 AI 算法降低误报率,触发声光报警、移动端推送报警等,并自动存储报警前后完整数据片段,支持历史数据查看功能。

## 2 系统设计

智能呼吸监测系统总体框架主要包括呼吸信号采集、无线传输和数据存储、实时监测与模式识别以及异常报警模块组成。其中柔性传感器采用自制的绿色高分子水凝胶电阻式传感器,该传感器具有良好的柔韧性、导电性、环境稳定性和生物相容性。将该传感器贴片至于鼻孔处、胸部和腹部,同时监测鼻孔处的湿度以及胸腹部的传感器的变形情况。传感器将采集到的信号传输至 STM32 主控模块,主控通过异步串行通信接口向蓝牙射频单元转发数据,同时主控将数据写入存储模块进行存储以供后续的呼吸质量分析。

### 2.1 传感器信号采集

呼吸信号的采集是呼吸运动监测系统的核心功能,为精准掌握被测人员状态,实现对人体呼吸活动的连续、无创、高精度监测,论文采用柔性压阻传感器,并将其放置于胸腹部,通过胸廓和腹部形变、鼻气流波动等特征捕捉呼吸波形信息。

### 2.2 无线传输和数据存储

呼吸运动传感器通过信号处理电路对采集的模拟呼吸信号首先使用放大器放大,然后使用低通滤波器去除噪声。采用模数转换器将处理后的模拟信号转换为数字信号进行后续处理。转换后的信号传输到微控制器,使用 Python 开发的一维卷积 1D-CNN 模型进行进一步分类处理。随后,将分类结果发送到一个定制的低功耗蓝牙模块中。将采集到的数据采用分布式架构进行存储,以供后续的呼吸质量分析,并满足临床诊断与长期健康管理的存储需求。

### 2.3 实时监测与模式识别

分别使用决策树、支持向量机、朴素贝叶斯、卷积神经网络模型对采集的呼吸运动信号进行数据特征提取和分类。使用柔性呼吸传感器连续收集 6 种常见呼吸类型模式(正常呼吸、反常呼吸、潮式呼吸、腹式呼吸、间停呼吸以及呼吸暂停)为目标类别的数据集。之后每个样本按 80% : 10% : 10% 比例随机分为训练集、验证集和测试集。使用 80% 的数据来训练模型,然后用 10% 的数据对模型进行校准,最后采用剩下的 10% 进一步验证校准该模型,并评估不同模型下的分类精度、学习率以及损失函数,从而比较得出最优的分类模型,并在该模型算法的辅助下实现较精准的呼吸模式识别。最终达到能够在智能手机 APP 实时显示、诊断预警功能,并为医生的临床诊断提供有力的依据。

### 2.4 异常报警功能

呼吸监测系统的异常报警功能主要基于实时呼吸参数,如呼吸频率、幅度和呼吸波形形态的智能分析,实现呼吸暂停( $\geq 10$  秒)、低通气、呼吸节律紊乱等异常事件检测。一旦出现异常情况,依据临床优先级触发分级报警(红色/黄色警报),并且系统触发本地声光报警(RGB 指示灯、可调蜂鸣器)、移动端推送(含异常波形片段及趋势图)或与医院监护系统的联动报警。

### 3 结语

论文旨在解决普通人群无法通过便宜、简单、便捷的微型设备随时随地实时监测呼吸运动,无法实时获取呼吸频率、幅度及呼吸模式等信息,从而无法进行阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征在内的多种呼吸相关疾病的早期识别的问题,为此提出一种智能呼吸运动监测系统的设计构想。该智能呼吸运动监测系统的设计特色在于成本低廉、结构简单、便于携带以及操作简单,采用模块化设计将呼吸信号采集、无线传输和数据存储、实时监测与模式识别以及异常报警等功能融为一体,实现人体呼吸运动实时监测、呼吸模式识别及报警功能,从而保障被测人员的呼吸安全及相关疾病的早期诊断。

#### 参考文献:

- [1] 刘元建,李红利,张荣华,等.基于物联网的社区心电监护系统设计[J].传感器与微系统,2015(8):112-115.
- [2] 王晨,王聪,潘廷毅,等.基于物联网的校园大学生体温无线监测系统[J].电视技术,2020,44(10):64-66+72.
- [3] 蔡丽俊,朱志刚,余江渊,等.面向医疗物联网的便携式连续血糖监测系统研究[J].传感技术学报,2016,29(3):343-348.
- [4] 王卫之,王岩,李延忠,等.儿童阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者睡眠呼吸监测分析[J].临床耳鼻咽喉科杂志,2005,19(3):114-116.
- [5] 宋艳红.连续护理对慢性阻塞性肺疾病患者生活质量的干预效果研究[J].中国卫生标准管理,2017,8(7):174-175.
- [6] 侯晓平,王玉军,缪京莉,等.老年人心血管疾病与阻塞性睡眠呼吸暂停综合征的关系[J].中国临床保健杂志,2009,12(1):1-3.
- [7] 孟琨,孙玉发,王平.利用多导睡眠仪评估持续低流量吸氧对轻度阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征的治疗[J].中国临床保健杂志,2010,13(2):154-155.
- [8] Sohn K, Merchant F M, Sayadi O, et al. A Novel Point-of-Care Smartphone Based System for Monitoring the Cardiac and Respiratory Systems[J]. Scientific Reports,2017,7(1).
- [9] Zhou C, Tu C, Tian J, et al. A low power miniaturized monitoring system of six human physiological parameters based on wearable body sensor network[J]. Sensor review,2015,35(2):210-218.
- [10] 曹建国,周建辉,缪存孝,等.电子皮肤触觉传感器研究进展与发展趋势[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(1):1-13.
- [11] 张雨.基于柔性水凝胶的湿度传感器及其在健康监测中的应用[D].苏州:苏州大学,2021.

作者简介:邵芳(2001-),女,中国四川巴中人,本科,从事物联网工程研究。

课题项目:2022年浙江水利水电学院大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号:S2022114810101)。