可穿戴设备的人体生理参数实时监测技术与应用

骆志坚

聚融医疗科技(杭州)有限公司 浙江杭州 311305

摘要: 随着人们对健康管理重视程度的不断提高以及物联网、传感器等技术的飞速发展,可穿戴设备的人体生理参数实时监测技术日益成为研究热点。本文系统阐述了可穿戴设备人体生理参数实时监测技术的原理,深入分析了包括生物传感器技术、数据传输技术、数据处理与分析技术在内的关键技术,探讨了其在医疗健康、运动健身、特殊行业等领域的应用,同时剖析了当前面临的挑战,并对未来发展趋势进行了展望,旨在为该技术的进一步发展和广泛应用提供参考。

关键词: 可穿戴设备; 人体生理参数; 检测技术

引言

在当今社会,人们对自身健康状况的关注度持续提升,对健康管理的需求也日益多样化和个性化。同时,物联网、传感器、微电子、通信等技术的快速进步,为可穿戴设备的发展奠定了坚实基础。可穿戴设备凭借其便捷性、实时性和连续性等特点,能够实现对人体生理参数的实时监测,为人们提供及时、准确的健康信息,在医疗健康、运动健身、特殊行业等领域展现出巨大的应用潜力。人体生理参数蕴含着丰富的健康信息,通过对心率、血压、体温、血氧饱和度、脑电等生理参数的实时监测,可以及时发现人体的健康异常,实现疾病的早期预警、健康状态评估和个性化健康管理。可穿戴设备的人体生理参数实时监测技术融合了多学科知识,其发展不仅有助于推动医疗健康产业的变革,也将为人们的生活方式带来深刻影响。因此,深入研究该技术具有重要的理论和现实意义。

一、可穿戴设备人体生理参数实时监测技术原理

可穿戴设备人体生理参数实时监测技术主要基于生物医学工程原理,通过各种类型的传感器感知人体生理信号,并将其转换为电信号或其他可处理的信号形式,再经过信号调理、数据采集、传输和处理等环节,最终实现对生理参数的准确测量和分析^[1]。不同的生理参数监测原理有所差异,例如心率监测通常利用光电反射或透射原理,通过检测血液对光的吸收和反射变化来获取心率信息;血压监测则可采用示波法、脉搏波传导时间法等原理;体温监测多基于热电效应或红外辐射原理;脑电监测是通过电极采集大脑神经元活动产生的电信号。

这些原理的应用使得可穿戴设备能够从不同角度获取人体生理信息,为健康监测提供丰富的数据支持。

二、可穿戴设备人体生理参数实时监测关键技术

(一) 生物传感器技术

生物传感器是可穿戴设备实现生理参数监测的核心部件,其性能直接影响监测结果的准确性和可靠性。目前,用于人体生理参数监测的生物传感器种类繁多,按检测原理可分为电化学传感器、光学传感器、压电传感器、热传感器等^[2]。电化学传感器常用于检测体液中的化学成分,如血糖、乳酸等;光学传感器在心率、血氧饱和度等参数监测中应用广泛,具有非侵入式、操作简便等优点;压电传感器可用于监测人体的运动状态和生理压力;热传感器则适用于体温监测。随着技术的不断进步,生物传感器正朝着微型化、集成化、智能化和高灵敏度方向发展,以满足可穿戴设备对传感器体积小、功耗低、精度高的要求。例如,柔性可拉伸传感器的出现,使得传感器能够更好地贴合人体皮肤,提高佩戴的舒适性和监测的准确性。

(二) 数据传输技术

可穿戴设备采集到的生理数据需要及时传输到终端设备(如智能手机、智能手表、云端服务器等)进行处理和分析,因此数据传输技术至关重要。目前常用的数据传输技术包括蓝牙、Wi-Fi、ZigBee、NFC等短距离无线通信技术,以及4G、5G等移动通信技术^[4]。蓝牙技术具有功耗低、连接方便等特点,广泛应用于可穿戴设备与智能手机之间的数据传输;Wi-Fi技术传输速率高,适用于大量数据的快速传输,常用于将可穿戴设备数据上传至云端服务器;ZigBee技术具有自组网能力强、功

耗低等优势,适合在智能家居等场景中实现多个可穿戴设备之间的数据交互;NFC技术则主要用于近距离的数据快速传输和设备配对。此外,随着物联网技术的发展,低功耗广域网(LPWAN)技术,如NB-IoT、LoRa等,也开始应用于可穿戴设备数据传输,为远距离、低功耗的数据传输提供了新的解决方案。

(三) 数据处理与分析技术

采集到的人体生理数据往往包含噪声和干扰,需要经过数据处理与分析才能提取出有价值的信息。数据处理技术主要包括信号滤波、降噪、特征提取等。信号滤波用于去除数据中的噪声,常见的滤波方法有均值滤波、中值滤波、高斯滤波等;降噪技术可采用小波变换、独立成分分析等方法,进一步提高信号质量;特征提取是从处理后的数据中提取出能够反映生理参数特征的参数,如心率变异性、脉搏波特征等。在数据处理的基础上,利用数据分析技术对生理数据进行解读和评估,包括统计分析、机器学习、深度学习等方法。机器学习算法,如支持向量机、决策树、随机森林等,可用于疾病诊断、健康风险评估等;深度学习算法,如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体LSTM、GRU等,在处理时间序列的生理数据方面具有独特优势,能够实现复杂生理信号的准确识别和预测。

三、可穿戴设备人体生理参数实时监测技术的应用

(一) 医疗健康领域

在医疗健康领域,可穿戴设备人体生理参数实时监测技术发挥着重要作用。它可用于慢性病管理,如糖尿病患者可通过佩戴具有血糖监测功能的可穿戴设备,实时监测血糖变化,及时调整饮食和治疗方案;高血压患者可利用血压监测可穿戴设备,长期记录血压数据,为医生诊断和治疗提供依据^[1]。对于术后康复患者和老年人,可穿戴设备能够实时监测心率、呼吸、体温等生理参数,一旦出现异常及时发出预警,方便医护人员或家属采取相应措施。此外,可穿戴设备还可应用于远程医疗,医生通过云端获取患者的生理数据,实现远程诊断和健康指导,打破地域限制,提高医疗资源的利用效率。例如,AliveCor公司推出的KardiaMobile 6L心电图监测设备,用户仅需将手指放在设备的电极上,即可在30秒内获取一份六导联心电图,并通过手机应用将数据发送给医生进行分析诊断。

(二) 运动健身领域

在运动健身领域,可穿戴设备成为人们的得力助手。它能够实时监测运动过程中的心率、运动步数、运动距

离、消耗卡路里等参数,帮助运动者了解自身运动强度和运动效果,科学合理地安排运动计划^[4]。例如,跑步爱好者可通过佩戴智能运动手表,实时监测心率变化,将心率控制在合理区间,避免运动过度或运动不足;健身教练可利用可穿戴设备收集学员的生理数据,为学员制定个性化的健身方案。此外,一些高端可穿戴设备还具备运动姿态监测功能,能够分析运动者的跑步姿势、游泳动作等,及时纠正不良运动习惯,预防运动损伤。如佳明(Garmin)推出的Forerunner系列智能运动手表,除了具备基本的心率、步数监测功能外,还能通过内置的传感器分析跑步动态数据,包括步频、步幅、垂直振幅等,为跑步爱好者提供专业的运动分析和指导。

(三) 特殊行业领域

在特殊行业领域,可穿戴设备人体生理参数实时监测技术也具有重要应用价值。例如,在军事领域,士兵佩戴的可穿戴设备能够实时监测其心率、血压、体温、运动状态等生理参数,指挥官可通过远程监控系统掌握士兵的身体状况和作战能力,及时调整作战策略,保障士兵的生命安全;在矿山、化工等高危行业,工作人员佩戴的可穿戴设备可实时监测其生理参数和工作环境参数(如有害气体浓度、温度、湿度等),一旦出现异常及时发出警报,预防安全事故的发生;在航空航天领域,可穿戴设备可用于监测宇航员在太空飞行过程中的生理状态,为航天医学研究提供数据支持。如美军开发的“战术无线电人体区域网络”(TR-HAN)项目,通过可穿戴设备实时监测士兵的生理参数和位置信息,提高了作战指挥的科学性和有效性。

四、可穿戴设备人体生理参数实时监测技术面临的挑战

(一) 传感器性能与舒适性问题

尽管生物传感器技术取得了显著进步,但目前传感器的性能仍有待进一步提高。部分传感器在准确性、稳定性和可靠性方面还存在不足,例如一些可穿戴血压监测设备的测量误差较大,无法满足临床诊断的要求。以光电式血压传感器为例,其易受外界光照、皮肤表面状态等因素干扰,导致测量结果与实际血压值存在较大偏差。此外,传感器的舒适性也是影响用户体验的重要因素。为了实现长时间佩戴,传感器需要具备良好的贴合性和透气性,但目前许多可穿戴设备在设计上还无法很好地兼顾传感器性能和佩戴舒适性。

(二) 数据安全与隐私保护问题

可穿戴设备采集的人体生理数据涉及个人隐私信息,

一旦泄露可能会对用户造成严重影响。在数据传输和存储过程中,面临着网络攻击、数据窃取等安全风险。目前,可穿戴设备的数据安全和隐私保护机制还不够完善,例如部分设备的通信协议存在漏洞,容易被黑客攻击。一些采用老旧蓝牙协议的可穿戴设备,黑客能够通过简单的技术手段获取设备与终端之间传输的生理数据。一些应用程序在数据存储和管理方面缺乏严格的安全措施,导致用户数据泄露事件时有发生。某些健康监测类APP在用户不知情的情况下,将用户的心率、睡眠等数据打包出售给第三方机构,严重侵犯了用户的隐私权益。

(三) 数据准确性与标准化问题

由于人体生理参数的个体差异较大,且受到多种因素的影响,如运动、饮食、情绪等,可穿戴设备采集的数据准确性存在一定波动。即使是同一用户在不同时间、不同状态下,同一设备采集到的生理数据也可能存在较大差异。此外,目前可穿戴设备行业缺乏统一的数据标准和规范,不同品牌、不同型号的可穿戴设备采集的数据格式和内容各不相同。以心率数据为例,有的设备以每分钟心跳次数直接记录,有的设备还附带心率变异性等衍生数据,且数据存储格式有CSV、JSON等多种类型,这给数据的整合、分析和应用带来了困难。在医疗领域,不同设备数据的不兼容,使得医生难以综合判断患者的健康状况,严重限制了可穿戴设备在医疗等领域的进一步发展,阻碍了可穿戴设备从消费级产品向医疗级产品的跨越升级。

(四) 设备续航与智能化问题

可穿戴设备通常体积较小,电池容量有限,而传感器采集、数据处理和传输等功能都需要消耗大量电量,导致设备续航能力不足,影响用户的使用体验。当前市场上主流的智能手表,即使采用低功耗芯片和优化算法,在开启全天心率监测、GPS定位等功能后,续航时间也仅能维持1-2天,频繁充电给用户带来极大不便。同时,虽然目前可穿戴设备已经具备了一定的智能化功能,但在数据解读和健康指导方面还不够智能,无法为用户提供个性化、精准化的健康建议。

五、可穿戴设备人体生理参数实时监测技术的未来发展趋势

未来,可穿戴设备人体生理参数实时监测技术将在多维度迎来创新发展。在传感器层面,纳米、柔性及

MEMS等新型传感器技术不断突破,推动生物传感器朝着高精度、高灵敏度、低功耗与小体积演进,通过高度集成化实现多生理参数同步监测;数据安全领域,厂商将加大投入,借助先进加密、身份认证与访问控制技术,结合严格的数据管理规范 and 隐私政策,筑牢数据传输与存储的安全防线;行业标准方面,相关组织与部门加速制定统一规范,统一数据格式、采集方法与质量要求,打破设备间的数据壁垒;技术融合维度,人工智能与大数据深度介入,实现疾病早期预测、个性化健康管理 with 精准医疗;设备性能上,新型电池技术与低功耗电路设计提升续航能力,强大的数据分析处理功能结合用户数据生成个性化健康与运动方案,并实现与智能家居、智能医疗系统的互联互通,全方位提升用户健康管理的便捷性与智能化水平。

结论

可穿戴设备的人体生理参数实时监测技术作为一种新兴技术,在医疗健康、运动健身、特殊行业等领域展现出广阔的应用前景。尽管目前该技术还面临着传感器性能与舒适性、数据安全与隐私保护、数据准确性与标准化、设备续航与智能化等诸多挑战,但随着物联网、传感器、人工智能、大数据等技术的不断发展和创新,这些问题将逐步得到解决。未来,可穿戴设备人体生理参数实时监测技术将朝着高性能、高安全、标准化、智能化的方向发展,为人们的健康管理和生活质量提升提供更加有力的支持,推动医疗健康产业和相关领域的快速发展。

参考文献

- [1]黄龙.基于ZigBee和物联网人体生理参数监测系统研究[D].淮北师范大学,2024.
- [2]曹莹瑜,高尊,黄军芬,等.基于神经网络模式识别的人体大便便意识识别模型研究[J].北京石油化学学院学报,2024,32(01):60-64.
- [3]高铁成,刘银萌,王峥,等.面向重症患者的可穿戴人体多生理参数无线监测设备[J].天津工业大学学报,2023,42(04):77-82.
- [4]朱靖达.可穿戴人体多生理参数监护系统[D].东南大学,2018.