

物联网技术在医疗器械远程监控与管理中的应用研究

姚文静 李小宁 缪星星 吴山丹

浙江纽若思医疗科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 随着人口老龄化加剧与医疗信息化推进,传统医疗器械管理模式面临效率低、响应滞后等问题。本文聚焦物联网技术在医疗器械远程监控与管理中的应用,首先剖析物联网技术基础与系统需求,并从总体架构、数据采集、传输、处理存储及应用层模块展开系统设计,进而分析其在高风险生命支持类设备、慢性病管理类设备及医疗设备资产智能化管理中的核心应用,最后结合ICU设备监控与家用医疗设备管理案例验证应用效果。因此,物联网技术可显著提升医疗器械管理效率,降低运维成本,保障医疗服务连续性,为医疗信息化发展提供技术支撑。

关键词: 物联网技术; 医疗器械; 远程监控; 管理系统

引言: 随着人口老龄化不断加剧及医疗信息化进程持续推进,医疗器械管理模式暴露出效率低、响应滞后等诸多问题,难以满足现代医疗的复杂需求。物联网技术凭借其融合感知、通信与数据处理的优势,为医疗器械管理带来了新的变革契机。本文就深入探究物联网技术在医疗器械远程监控与管理中的应用,从技术基础、系统设计、核心应用及实际案例等多维度展开分析,为医疗信息化发展提供新思路。

1 物联网技术基础与相关理论

1.1 物联网技术概述

物联网技术是融合感知、通信、数据处理的综合体系,核心架构分感知、网络、应用层。感知层靠传感器采集物理世界数据,医疗场景中,医疗专用传感器(如心电传感器等)能精准采集器械参数,精度达0.01级,满足高可靠性需求。网络层负责数据传输,适配医疗场景的通信协议各有长处,LoRaWAN传输距离远,适合家用设备远程上传;5G切片技术时延低,可实时监控ICU设备;蓝牙医疗版抗干扰,用于院内移动设备传输。应用层结合业务需求转化数据,为远程监控与管理提供基础。

1.2 医疗器械远程监控与管理需求分析

医疗器械远程监控与管理系统要围绕医疗业务核心构建。首先是设备状态实时监控,医疗机构要掌握关键参数,参数超阈值(如呼吸机气压波动 $\pm 5\%$)立即预警,防诊疗中断。其次是数据合规管理,医疗数据涉隐私,系统要符合法规,实现全生命周期追溯与脱敏。远程运维也很关键,可远程调试与升级,减少80%现场运维次数。此外,应急响应不可或缺,设备异常10秒内推送告警,联动应急流程,保障服务连续性^[1]。

2 基于物联网的医疗器械远程监控与管理系统设计

2.1 系统总体架构设计

系统采用分层架构设计,共分为感知层、网络层、平台层与应用层。感知层由医疗传感器与设备接口组成,连接各类医疗器械,如心电监护仪、家用血糖仪等,实现设备运行参数与患者生理数据采集。网络层融合LoRaWAN、5G、蓝牙医疗版等协议,根据应用场景动态选择传输方式,例如院内设备优先采用5G切片技术,家用设备采用LoRaWAN。平台层为核心处理层,集成边缘计算与云计算能力,边缘节点负责本地实时数据处理,如设备异常快速识别;云端平台承担海量数据存储与深度分析,存储容量达PB级,支持千万级设备接入。应用层面向不同用户群体,开发医护端APP、运维管理系统与患者端小程序,各层通过标准化接口对接,确保数据流通顺畅,架构可扩展性强,可兼容新增医疗器械类型。

2.2 数据采集模块设计

数据采集模块以“高精度、低功耗”为设计原则,分为硬件与软件两部分。硬件方面,选用医疗级传感器,如心电传感器采用差分放大技术,抑制工频干扰,采集频率达250Hz,确保心电信号准确;设备运行状态传感器采用霍尔元件,监测设备电流、电压变化,精度达0.1A、0.01V。传感器与医疗器械通过标准化接口(如RS485、USB-C)连接,支持即插即用。软件方面,开发数据采集驱动程序,实现传感器与设备的数据交互,同时具备数据预处理功能,如去除异常值(通过 3σ 准则识别)、数据格式转换(将模拟信号转为数字信号),并采用周期采集与事件触发采集相结合的方式:常规参数按1分钟/次周期采集,关键参数(如ICU设备参数)按1秒/次采

集,设备异常时触发高频采集,确保数据全面且高效。

2.3 数据传输模块设计

数据传输模块采用“多协议融合+双链路备份”方案,保障数据传输稳定性。针对不同场景选择协议:院内高实时性需求场景(如ICU)采用5G切片技术,通过网络切片隔离医疗数据传输通道,带宽保障100Mbps以上,时延控制在1毫秒内;家用医疗设备场景采用LoRaWAN协议,模块功耗低于10mA,一节电池可支持设备连续工作1年;院内短距离移动设备(如输液泵)采用蓝牙医疗版,传输距离10米内,抗干扰能力提升30%。同时,模块引入“5G+有线宽带”双链路备份,当5G信号中断时,自动切换至有线宽带,切换时间小于1秒。此外,传输过程采用端到端加密(TLS1.3协议),密钥每小时更新一次,防止数据泄露,保障医疗数据传输安全^[2]。

2.4 数据处理与存储模块设计

数据处理与存储模块兼顾实时性与安全性,采用“边缘+云端”协同处理模式。边缘处理部分部署在院内边缘网关,搭载轻量级AI算法(如基于决策树的故障识别算法),可在1秒内分析设备参数,识别故障类型,准确率达92%以上,实现设备异常快速响应。云端处理部分基于医疗专用云平台,采用分布式计算架构,支持并行处理千万级设备数据,通过深度学习算法(如LSTM)分析数据趋势,预测设备运维需求,如根据CT机使用频次与运行参数,提前1个月预测维护时间。存储方面,采用“热数据+冷数据”分层存储:近3个月的实时监控数据存储在SSD热存储区,访问时延低于10ms;3个月以上的历史数据迁移至HDD冷存储区,降低存储成本。同时,存储系统具备容灾备份功能,采用两地三中心架构,数据丢失风险低于0.001%,符合医疗数据高可靠性要求。

2.5 应用层模块设计

应用层模块按用户角色划分为三大子系统,满足不同使用需求。医护端APP面向临床医护人员,核心功能包括设备状态监控、告警接收与患者数据查看,界面简洁直观,设备异常时以红色弹窗+声音告警提示,医护人员可一键查看异常参数与处置建议,同时支持多设备批量管理,提升工作效率。运维管理系统供设备运维团队使用,具备设备台账管理、运维计划生成、远程调试等功能,系统可根据设备运行数据自动生成运维工单,分配至对应运维人员,并跟踪工单进度,运维完成率提升至95%。患者端小程序针对家用医疗设备用户,支持查看个人健康数据(如血糖变化曲线)、接收健康建议与预约诊疗服务,同时具备数据分享功能,可将数据一键发送至主治医生,实现医患协同管理,提升患者健康管理积

极性。

3 物联网技术在医疗器械远程监控与管理系统中的核心应用

3.1 高风险生命支持类设备的远程监控

高风险生命支持类设备,像呼吸机、ECMO(体外膜肺氧合)、心电监护仪等,它们的稳定运行直接关系到患者的生命安危,对这些设备进行远程监控是医疗器械远程监控与管理系统的核心应用场景之一,重点在于解决设备故障预警与实时干预问题。在技术实现层面,借助高精度传感器,以每秒一次的频率采集设备的运行参数,确保数据的及时性和准确性^[3]。采集到的数据通过5G切片技术实时传输至边缘网关,这种传输方式不仅速度快,而且能有效保障数据传输的稳定性。边缘节点搭载了先进的故障识别算法,当检测到异常情况,例如呼吸机气道压力骤降10cmH₂O时,能在1秒内迅速触发告警机制。告警信息会同时推送至医护端APP与ICU大屏,让医护人员第一时间知晓设备异常。同时,系统还会联动设备应急模式,如呼吸机自动切换至备用气源,为患者争取宝贵的救治时间,最大程度降低设备故障对患者生命的影响。

3.2 慢性病管理类设备的远程管理

慢性病管理类设备,涵盖家用血糖仪、血压计、睡眠呼吸机等,其远程管理聚焦于慢性病患者的居家健康监测以及医患之间的协同合作。这些设备内置了LoRaWAN模块,具备自动上传监测数据至云端平台的功能。以血糖仪为例,每次测量完成后,仅需1分钟就能将血糖值、测量时间等关键数据上传至系统。睡眠呼吸机每晚也会自动上传睡眠时长、呼吸暂停次数等重要数据。云端搭载的AI算法会对这些上传的数据进行深度分析,捕捉数据的变化趋势。若发现患者的血糖连续3天高于7.0mmol/L,或者呼吸暂停次数每小时超过15次,系统会立即生成个性化的建议,比如提醒患者调整饮食结构、优化呼吸机的压力参数等,并将这些建议精准推送至患者与医生的终端,实现医患之间的有效沟通和协同管理,提升慢性病的治疗效果。

3.3 医疗设备资产的智能化管理

医疗设备资产的智能化管理主要针对医院的大型设备,如CT机、核磁共振仪,以及移动设备,像输液泵、心电仪等,旨在解决设备定位困难、闲置率较高、运维不及时等问题。系统采用RFID与北斗定位技术相结合的创新方式,为每台设备配备无源RFID标签,其读取距离可达5米。在院内的关键位置部署RFID阅读器,能够实时追踪设备的位置,定位精度高达1米。对于大型固定设

备,则通过物联网传感器监测其使用频次与运行状态,例如获取CT机日均使用次数、设备温度等详细数据。云端平台会根据设备的位置信息和使用数据,进行科学合理的设备调度,如将闲置的输液泵调配至需求科室,提高设备的使用效率。同时,系统还能自动生成运维计划,根据核磁共振仪的运行时长,提前2周提醒相关人员进行维护,确保设备的正常运行,延长设备的使用寿命。

4 物联网技术在医疗器械远程监控与管理系统中的实际应用案例分析

4.1 案例一:重症监护室(ICU)设备远程监控系统

某三甲医院为提升ICU设备管理水平,部署物联网远程监控系统。系统配置方面,院内部署5G边缘网关3台,覆盖整个ICU区域,接入20台呼吸机、30台心电监护仪与5台ECMO设备;云端搭建医疗专用平台,具备数据存储、分析与告警功能;医护端配备平板APP与ICU大屏,实现多终端监控。系统运行中,传感器实时采集设备参数,5G切片技术保障数据传输时延低于1毫秒,边缘节点实时分析数据,当呼吸机气压波动超过 $\pm 5\%$ 时,立即触发声光告警,推送信息至医护人员APP。应用效果显示,系统运行6个月内,设备故障预警准确率达92%,远程运维次数占比从10%提升至60%,减少运维人员现场工作时间;设备downtime从每月12小时减少至8.4小时,保障ICU诊疗工作连续开展,获得医护人员满意度达90%。

4.2 案例二:家用医疗设备远程健康管理系统

某医疗科技公司针对慢性病患者,开发家用医疗设备远程健康管理系统,在某社区开展试点应用。系统配置上,为500名糖尿病患者配备物联网血糖仪(支持LoRaWAN传输),为200名睡眠呼吸暂停患者配备智能

呼吸机;搭建区域医疗云平台,对接社区医院HIS系统;开发患者端小程序与医生Web端系统。患者使用设备测量后,数据自动上传至云端,AI算法分析数据并生成报告,医生通过Web端查看患者数据,远程调整治疗方案,患者通过小程序接收健康建议^[4]。试点1年后,患者月度血糖监测频次从3次提升至4.2次,血糖控制达标率从60%提升至85%;睡眠呼吸暂停患者呼吸暂停次数每小时平均减少8次,患者住院率降低20%;社区医生远程接诊量占比从5%提升至23%,有效缓解社区医疗资源紧张问题,得到患者与医生广泛认可。

结束语

本文围绕物联网技术在医疗器械远程监控与管理中的应用展开研究,通过技术基础剖析、系统设计、核心应用分析与案例验证,充分体现物联网技术对医疗器械管理的革新作用。未来,需进一步推动医疗物联网标准统一,加强AI与区块链技术融合应用,优化数据安全防护体系,同时拓展系统在基层医疗机构的应用,助力医疗资源均衡配置,为医疗信息化高质量发展提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]钮靖,王秋红,张琪.基于物联网技术的远程智能医疗数据传输系统设计[J].电子世界,2020,(22):160-161.
- [2]邓鹏鹰.基于物联网技术的智能医疗在健康检测仪中的应用[J].无线互联科技,2020,17(07):25-26.
- [3]陈慧军.物联网技术在医疗器械管理中的应用研究[J].模具制造,2024,24(07):216-218.
- [4]白文华,王成,张乐.物联网技术在可移动医疗设备管理中的探索及应用[J].中国医院管理,2023,43(02):72-74.