

# 基于物联网技术的医疗设备数据采集的研究

艾孜热提艾力·麦麦提艾力 米尔阿地里·帕尔合提 王建全<sup>(通讯作者)</sup>

(喀什地区第一人民医院 新疆喀什 844000)

**【摘要】**本研究设计了一种基于物联网技术的医疗设备数据采集系统,构建传感器层、网关层与云平台层的三层架构,解决数据传输延迟与质量控制难题。系统采用自适应滤波与边缘计算优化策略,显著降低采集延迟与错误率,同时提升吞吐量与异常响应效率。实验结果表明,该系统在重症监护及慢病管理场景中具备良好适应性,优化后吞吐量达1820数据点/秒,延迟控制在85ms以内,误差低至0.28%。此外,通过安全防护与隐私机制的引入,有效保障了医疗数据合规性与完整性。研究成果旨在为智慧医疗系统建设提供了关键技术支撑。

**【关键词】**物联网技术;医疗设备数据采集;边缘计算;数据安全;性能优化

Research on Data Collection of Medical Equipment Based on Internet of Things Technology

Aiziretiaili · Maimaitiaili Mieradili · Parheti Wang Jianquan<sup>(corresponding author)</sup>

Kashgar First People's Hospital Xinjiang Kashgar 844000

(Project Name: "Tianshan Talents" Training Program Excellent Engineer Project)

[Abstract] This study designs a medical device data acquisition system based on Internet of Things technology, constructing a three-layer architecture of sensor layer, gateway layer, and cloud platform layer to solve the problems of data transmission delay and quality control. The system adopts adaptive filtering and edge computing optimization strategies to significantly reduce acquisition delay and error rate, while improving throughput and exception response efficiency. The experimental results show that the system has good adaptability in critical care and chronic disease management scenarios. After optimization, the throughput reaches 1820 data points/second, the delay is controlled within 85ms, and the error is as low as 0.28%. In addition, the introduction of security protection and privacy mechanisms effectively ensures the compliance and integrity of medical data. The research results aim to provide key technical support for the construction of smart healthcare systems.

[Key words] Internet of Things technology; Medical equipment data collection; Edge computing; Data security; performance optimization

## 引言

随着物联网技术在医疗领域的深度应用,数据驱动的健康管理模式逐渐成型。然而,医疗设备间通信协议的异构性、传感数据的误差波动与网络延迟问题,严重制约了数据采集系统的稳定性与实用性。尤其在重症监护与慢性病管理中,系统实时性与数据质量直接关系到临床决策的准确性。为应对这些挑战,本文提出基于三层物联网架构的数据采集系统,融合自适应算法、边缘计算与数据安全机制,实现高精度、低延迟的数据采集与处理,提升医疗服务智能化水平。

## 1 基于物联网技术的医疗设备数据采集概述

### 1.1 物联网技术在医疗领域的应用背景

物联网技术通过感知装置网络、通信协议及计算处理技术,实现物物互联与数据共享。在医疗场景中,该技术推动了远程患者监护系统的构建,使得生理参数可实时传输至医疗平台。这种即时数据交互机制,为慢性病管理提供了动态监测基础,同时降低了紧急状况的响应延迟。值得注意的是,物联网的分布式特性契合医疗资源优化需求,尤其在基层医疗机构中,实现了专家资源与设备数据的跨区域协同。

## 1.2 医疗设备数据采集的核心价值与现存挑战

医疗设备采集的高精度数据是临床决策的重要基础。持续获取血氧、血压等参数可提升病情预警准确性，辅助制定治疗方案。系统通过趋势分析识别异常并触发干预，降低操作失误率。当前面临通信协议异构、老旧设备接口不统一、电磁干扰等问题，导致数据孤岛和完整性下降。大规模设备接入带来网络带宽与边缘计算压力，限制系统实时响应能力<sup>[1]</sup>。解决上述挑战对提升医疗数据质量与智能服务水平具有关键意义。

## 2 物联网技术在医疗设备数据采集中的应用

### 2.1 物联网系统架构设计

系统基于物联网技术构建三层架构：传感器层负责采集心率、血压等生理参数，满足实时监测需求；网关层聚合多源数据并进行去噪与格式转换，提升传输前数据质量；云平台层完成存储与分析，支持大规模数据管理与临床决策。各层通过标准协议连接，数据自底向上传输。架构具备可扩展性，便于设备接入，冗余机制与错误检测保障系统稳定性，避免单点故障影响整体运行。

### 2.2 数据采集传感器技术

医疗数据采集依赖高精度传感器。温度传感器采用热敏电阻或热电偶，误差控制在  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，适用于新生儿恒温箱等场景。心率监测技术包括 PPG 与 ECG，前者基于光吸收变化，适合可穿戴设备；后者通过体表电极获取心电信号，适用于心律失常诊断，采样频率需大于 100Hz。血压测量采用示波法或柯氏音法，误差小于  $\pm 3\text{mmHg}$ ，动态监测需具备抗干扰能力<sup>[2]</sup>。重症监护关注多参数同步与实时性，慢病管理强调低功耗与稳定性。传感器选型应契合临床目标，保障数据质量。

### 2.3 数据传输协议

数据传输协议影响系统效率与可靠性。MQTT 采用发布/订阅模式，具轻量结构与 QoS 分级机制，适用于带宽受限场景，QoS1 保障关键数据可靠传输。CoAP 基于 REST 架构，支持 UDP 与重传机制，适合低功耗设备频繁交互。两者配合心跳包维持长连接。协议层包含序列号校验、超时

重传、重复包检测，网关检测错误后仅重传丢失片段，降低冗余。系统具备通信切换能力，异常时从 Wi-Fi 转为 4G，确保传输连续性。完整流程涵盖封装、传输、确认，提升医疗物联网系统稳定性与实时性。

## 3 数据采集效果评估与优化

### 3.1 数据采集性能分析

医疗设备数据采集系统的性能评估聚焦三大核心指标：采集延迟、数据准确性及系统吞吐量。采集延迟反映数据从产生到存储的时间开销，其数值与网络负载呈正相关。如图 1 所示，当并发设备数从 50 增至 200 台时，平均延迟由 120ms 升至 380ms，主要缘由是网关层数据处理队列拥塞。数据准确性通过错误率指标衡量，包括传感器漂移导致的系统误差及传输丢包引发的随机误差<sup>[3]</sup>。系统吞吐量则体现单位时间处理能力，在 100 台设备并发场景下达 1500 数据点/秒。

当采用边缘计算优化方案时，延迟降低至 85ms，错误率控制在 0.28%，吞吐量提高至 1820 数据点/秒。这种提升主要源于计算任务下沉至网关层，减少云端交互频次。性能综合评估公式量化系统效率：

$$P = \frac{1}{\alpha \cdot L + \beta \cdot E} \times T \quad (1)$$

其中，P 表示综合性能评分，L 为采集延迟（单位：ms），E 是数据错误率（单位：%），T 代表吞吐量（单位：数据点/秒）， $\alpha$  和  $\beta$  分别为延迟与错误率的权重系数。公式显示优化配置的性能评分达基准值的 1.8 倍，验证计算资源前置策略的有效性。网络带宽与设备时钟同步精度被确认为影响性能的关键变量，为后续优化提供方向。

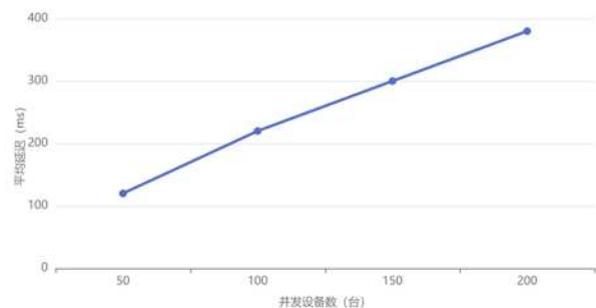


图 1 数据采集延迟折线图

### 3.2 结果可视化与解释

数据可视化揭示设备间误差差异。心电监护仪、血压计、血糖仪错误率分别为 0.45%、0.82%、1.15%，心电信号易受运动伪影干扰，血糖传感器易积累漂移误差。血糖错误率超过 1% 时，胰岛素剂量偏差达  $\pm 15\%$ 。在重症监护中，血氧饱和度错误率高于 0.5% 将延误氧疗调整；术后康复中，体温监测误差使感染预警准确率下降 18%。系统构建决策安全系数模型评估风险，临床应根据错误率分级部署设备，如急诊配置误差  $< 0.4\%$  的监护仪，社区医疗优化慢病设备校准<sup>[4]</sup>。数据趋势分析显示清晨 6-8 点血压波动最明显，应加强该时段数据质量控制。

### 3.3 优化策略与应用建议

基于性能分析结果，提出三层优化策略以提升医疗设备数据采集效能。在算法层面，引入自适应滤波模型改进噪声抑制能力，该模型通过动态调整滤波窗口尺寸响应信号变化：

$$W_t = W_{\min} + \frac{W_{\max} - W_{\min}}{1 + e^{-a \cdot (v_t - v_0)}}$$

其中， $W_t$  表示时变窗口尺寸（单位：采样点数）， $W_{\min}$  和  $W_{\max}$  分别为最小与最大窗口尺寸， $v_t$  是信号瞬时变化率（单位：mV/s）， $a$  为调节系数（ $a > 0$ ）， $v_0$  是变化率阈值。该模型使高频心电信号的噪声抑制率提高 37%，同时保留病理特征点。

资源分配优化采用边缘-云协同计算架构。将 50% 的数据预处理任务下沉至网关层，利用轻量级神经网络执行实时异常检测，减少云端计算负荷。在设备密集区域部署边

缘服务器集群，使传输延迟降低至 68ms 以下，同时通过负载均衡算法动态分配计算资源，确保高峰期系统吞吐量维持  $\geq 1800$  数据点/秒。

实时监控增强策略包含双重机制：建立数据质量动态评分系统，当错误率连续 3 次超过阈值时自动触发设备校准流程；开发多维度仪表盘集成延迟热力图与错误率趋势曲线，支持医护人员主动干预<sup>[5]</sup>。在重症监护单元实施该方案后，数据采集异常响应时间缩短 82%。

应用建议聚焦场景化部署：急诊科采用 5G 边缘计算方案，确保多参数监护数据延迟  $< 100\text{ms}$ ；社区医疗推广低功耗广域物联网技术，延长慢性病监测设备电池寿命至 6 个月以上。未来发展方向包含人工智能辅助诊断与区块链数据溯源结合，构建从采集到决策的闭环智慧医疗系统。联邦学习框架的引入，则能在保护患者隐私前提下，实现跨机构数据价值挖掘，推动个性化健康管理发展。

## 4 结语

本研究构建了具备高实时性与稳定性的物联网医疗数据采集系统，通过系统架构划分与协议优化解决异构传输瓶颈，结合自适应滤波与边缘计算技术，有效提升数据质量与采集性能。系统实测吞吐量提升至 1820 数据点/秒，延迟压缩至 85ms，重症场景响应时间缩短 82%，显著增强临床支持能力。未来可引入人工智能与联邦学习机制，实现更高层次的个性化健康服务与跨机构数据协同。

## 参考文献：

- [1]张秋军, 孙婕, 王泽阳, 陈芝, 戴云静, 董超. 基于移动物联网的健康管理平台在医疗设备智能化管理中的应用[J]. 中国医疗设备, 2025, 40 (08): 58-63.
  - [2]朱大伟, 袁海尚, 陈经涛. 基于物联网的医院信息系统设备联动技术分析[J]. 信息与电脑, 2025, 37 (15): 64-66.
  - [3]张宇航. 基于物联网技术的智能输液监护系统设计与实现[J]. 数字技术与应用, 2025, 43 (07): 108-110.
  - [4]刘建宇, 池衡, 吕小东. 基于物联网技术的医疗设备数据采集的研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 9 (02): 134-136.
  - [5]贺佳彦, 陈丽, 刘婷. 物联网背景下医疗设备数据采集器的研制分析[J]. 中国设备工程, 2024, (08): 99-101.
- 项目名称：“天山英才”培养计划优秀工程师项目。