

可穿戴设备中低功耗蓝牙技术的数据传输效率优化方案

庞开鑫¹, 卢安升²

¹成都大汇智联科技有限公司 四川成都

²海南科路数据科技有限公司 海南海口

【摘要】在可穿戴设备广泛应用的当下，低功耗蓝牙技术作为数据传输的关键纽带，其数据传输效率对设备整体性能有着决定性影响。本方案精准聚焦这些痛点，通过优化数据处理流程、改进通信协议细节、合理调整硬件配置等一系列有效措施，力求实现传输效率的显著提升与功耗的大幅降低，确保数据实时且准确地传输，为可穿戴设备的持续发展提供坚实的技术支撑。

【关键词】可穿戴设备；低功耗蓝牙；数据传输；效率优化；功耗控制

【收稿日期】2025 年 3 月 5 日

【出刊日期】2025 年 4 月 6 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250179

Optimization scheme of data transmission efficiency of low-power Bluetooth technology in wearable devices

Kaixin Pang¹, Ansheng Lu²

¹CHENGDU DAHUI ZHILIAN TECHNOLOGIES CO., LTD, Chengdu, Sichuan

²Hainan Kelu Data Technology Co., Ltd., Haikou, Hainan

【Abstract】In the current era of widespread wearable device applications, low-power Bluetooth technology serves as a critical link for data transmission. Its efficiency significantly impacts the overall performance of these devices. This solution precisely addresses these pain points by optimizing data processing workflows, refining communication protocol details, and reasonably adjusting hardware configurations. These effective measures aim to achieve a notable improvement in transmission efficiency and a substantial reduction in power consumption, ensuring real-time and accurate data transmission. This provides solid technical support for the continuous development of wearable devices.

【 Keywords 】Wearable device; Low power Bluetooth; Data transmission; Efficiency optimization; Power consumption control

引言

随着物联网与智能硬件技术的快速发展，可穿戴设备如智能手表、健康监测手环等已广泛融入日常生活。但在实际应用中，数据传输效率不足严重影响设备使用体验，如运动数据延迟记录、健康监测数据丢失等问题频发。如何在保障低功耗特性的同时提升传输效率，成为可穿戴设备发展亟待解决的关键问题。本研究致力于探索有效的优化方案，为可穿戴设备性能提升提供技术路径。

1 传输效率问题

在可穿戴设备丰富多样的日常使用场景里，低功耗蓝牙技术的数据传输效率问题愈发突出，对用户体验与设备功能拓展造成了严重影响。以智能健康手环这一常见的可穿戴设备为例，当用户投身于运动时，设

备肩负着实时将心率、步数、卡路里消耗等多维度数据传输至手机 APP 的重任^[1]。实际传输过程中却频繁遭遇数据延迟的困扰，这直接导致运动轨迹记录出现不连贯的状况，原本流畅的运动路径被截断，呈现出断断续续的折线图，极大地降低了运动记录的准确性与参考价值。心率曲线也变得异常波动，无法精准反映用户真实的心率变化趋势，在运动强度监测与健康评估方面产生误导。

深入探究造成这些问题的根源，呈现出多层面的复杂因素。从设备内部的处理能力来看，可穿戴设备受限于自身的体积与功耗限制，其搭载的处理器性能相对有限。在处理大量传感器数据时，数据打包、加密等必要操作会耗费大量时间，严重制约了数据传输的及时性。在进行复杂的加密运算时，处理器需要反复调用

不同的算法模块,在模块间频繁切换与协调,这一过程极大地拖慢了处理速度,使得数据在设备内部的处理环节就已产生明显延迟。

低功耗蓝牙的通信协议在数据包管理方面存在固有缺陷。传统的通信协议采用固定的数据包大小设置与传输间隔模式,无法灵活适应千变万化的数据传输需求。在紧急健康数据传输场景下,如用户突发身体不适,需要及时将大量关键的健康数据传输至医疗监护平台时,固定的小数据包难以满足短时间内传输大量数据的要求,导致关键信息无法及时送达^[2]。而在常规数据传输场景中,过大的数据包又会因占用过多信道资源,在复杂的传输环境中增加丢包风险,降低传输的可靠性。这些传输效率问题对可穿戴设备的发展带来了诸多负面效应。从用户体验的微观视角来看,数据延迟和丢失直接降低了用户对设备的信任程度。当用户满心期待通过设备获取准确的运动记录与健康数据,却发现运动轨迹混乱、健康数据缺失时,必然会对设备的实用性产生强烈质疑,进而影响产品在用户群体中的口碑传播,阻碍产品的进一步推广与普及。

2 优化策略设计

优化数据处理环节是提升传输效率的核心路径之一。引入高效的数据压缩算法,如 Lempel-Ziv-Welch (LZW) 算法,能够显著减少数据量,为数据传输减负。以健康监测数据为例,其中存在大量的重复信息,如在一段时间内心率数据的小幅波动可能会产生相似的数值。通过 LZW 算法,该算法能够敏锐识别数据中的重复字符串,并将其巧妙替换为更短的代码,经过实际测试,可使数据量降低 40% 以上,从而大幅缩短数据传输所需的时间^[3]。构建数据预处理机制至关重要。在传感器采集数据后,立即对其进行初步分析与筛选,精准剔除无效数据,仅保留并传输有效信息,进一步减轻传输负担。在运动数据采集过程中,由于传感器可能受到外界震动、人体运动的不规则性等因素影响,会产生部分异常数据。通过精心设计的预处理规则,能够快速识别并过滤掉这些异常数据,避免其占用宝贵的传输带宽,确保传输的数据均为真实、有效的运动信息。

在通信协议改进方面,大胆突破传统固定的数据包大小和传输间隔模式,构建动态自适应的传输机制。根据数据类型和实际应用场景,灵活调整数据包大小。对于实时性要求极高的心率数据,因其变化迅速且对及时性要求苛刻,采用较小数据包高频次传输的策略,能够更精准、及时地捕捉心率的瞬间变化。当用户处于

剧烈运动状态时,心率可能在短时间内快速攀升,此时小数据包高频次传输能够实时反映这一变化,为用户提供准确的心率监测^[4]。而对于运动轨迹等批量数据,因其具有数据量大、连续性强的特点,采用大数据包集中传输的方式,可有效减少传输次数,提高传输效率。

为实现这一动态调整过程,建立智能的动态调整模型。该模型综合考虑设备当前的负载情况,包括处理器的繁忙程度、内存占用率等因素,以及所处的环境状况,如信号强度、干扰程度等。通过实时采集这些数据,并运用先进的算法进行分析运算,智能确定最优的传输间隔,从而有效减少数据冲突,提升传输的稳定性。在人员密集区域,众多设备同时传输数据,设备负载较高,模型能够自动识别这一情况,适当增加传输间隔,避免数据拥堵,确保数据传输的有序进行。优化天线设计,从材料选用到结构布局进行全面创新。采用新型的天线材料,如具有高增益、低损耗特性的复合材料,结合精心设计的天线结构,如多频段、自适应调谐的天线结构,能够显著增强信号强度和抗干扰能力,确保在复杂环境下仍能稳定传输数据。通过提高信号的接收和发送效率,减少信号在传输过程中的衰减与干扰,为数据传输提供坚实的硬件保障。

3 方案实施验证

为了严谨、科学地验证优化方案的有效性,精心搭建了专门的测试平台。该平台具备高度的仿真能力,能够精准模拟可穿戴设备在实际使用中可能遭遇的多种复杂场景,涵盖安静室内环境、人员密集的公共场所、电磁干扰强的工业环境等。测试设备选用市场上主流的智能手环和与之适配的手机,确保测试结果具有广泛的代表性和实际应用价值^[5]。在安静室内环境的测试中,优化前,手环向手机传输 100 组心率数据需耗时约 8 秒,功耗为 12mW,丢包率为 5%。这一数据反映出在相对理想的环境下,未优化的设备在数据传输方面仍存在一定的效率问题。经过优化后,传输时间大幅缩短至 5 秒,功耗降至 8mW,丢包率几乎为 0。优化后的算法和硬件配置协同工作,使得数据处理和传输流程得到极大优化,减少了不必要的等待时间和能耗,显著提升了数据传输的效率与稳定性。

在人员密集的模拟公共场所测试中,优化前数据传输速率极不稳定,平均速率仅为 20kbps,功耗高达 15mW,丢包率更是飙升至 12%。这一数据充分展现了传统设备在复杂环境下传输性能的不足。而优化后,平均速率提升至 35kbps,功耗降低到 10mW,丢包率成功控制在 3% 以内。通过动态调整通信协议,使设备

能够更好地适应复杂的传输环境,同时增强硬件抗干扰能力,有效抵御周围信号的干扰,从而实现了在复杂环境下传输性能的显著提升。

在严苛的工业环境模拟测试里,优化后的设备宛如一位坚韧不拔的勇士,展现出了极为出色的性能。当面对强电磁干扰这一棘手难题时,设备始终能保持稳定的数据传输状态,为数据的完整性筑牢了坚实防线。在精心模拟的工业场景之中,周围充斥着大量高强度的电磁干扰源,大型电机在持续运转过程中不断向外辐射强烈的电磁信号,高频焊机在工作时也会产生高频且剧烈变化的电磁场,这些干扰源相互交织,形成了一张复杂的电磁干扰网^[6]。传统设备置身于这样恶劣的环境之下,常常会不堪重负,频繁出现数据传输中断的情况,数据错误率也会大幅攀升,严重影响正常的工作进程。与之形成鲜明对比的是,经过深度优化的设备,依靠精心调校的硬件配置,例如采用了高抗干扰能力的信号接收器与屏蔽性能卓越的电路设计,搭配智能且高效的软件算法,能够敏锐地识别出干扰信号的特征,并迅速启动相应的抵御机制,进而确保数据得以准确、稳定地传输,为工业生产的顺利进行提供了可靠保障。

4 方案效果总结

优化方案在提升可穿戴设备低功耗蓝牙技术数据传输效率方面取得了令人瞩目的显著成效。从实际应用效果来看,不仅显著缩短了数据传输时间,让用户能够在第一时间获取最新的健康数据和运动记录,极大地提升了数据的及时性。丢包率的大幅降低确保了数据的完整性与准确性,用户无需再为数据缺失或错误而烦恼^[7]。功耗的大幅下降则有效延长了设备的续航时间,提升了用户的使用便捷性。这些改进综合起来,显著改善了用户的使用体验,增强了可穿戴设备在竞争激烈的市场中的竞争力。

在实际使用过程中,用户能够更及时、准确地获取健康数据和运动记录,无论是在运动过程中的实时监测,还是日常健康管理中的数据回顾,都能得到可靠的信息支持,极大地提升了设备的实用性^[8]。通过数据处理、通信协议和硬件配置等多方面的协同优化,为可穿戴设备性能提升提供了切实可行、行之有效的解决方案。该方案的成功实施,为可穿戴设备在更多领域的广

泛应用打开了新的大门,有望推动整个行业的技术升级与创新,为用户带来更多优质、高效的可穿戴设备产品。

5 结语

展望未来,随着5G、人工智能等新技术的发展,可将更多先进技术融入可穿戴设备数据传输优化中。利用人工智能算法实时分析环境和数据特征,实现更精准的传输策略动态调整;结合5G技术的高速特性,拓展可穿戴设备的应用边界。持续探索低功耗与高效率的更佳平衡点,推动可穿戴设备在医疗健康、工业监测等领域的深度应用,助力智能硬件产业迈向新台阶。

参考文献

- [1] 庞聪,刘斯睿,吴涛,等.基于低功耗蓝牙和超高频RFID等技术的节点地震仪移动终端平台[J/OL].大地测量与地球动力学,1-10[2025-04-19].
- [2] 吴仕兵,姜涛,蒋中海,等.带低功耗蓝牙功能的智能免维护吸湿装置研究[J].仪器仪表用户,2025,32(01):24-26.
- [3] 闫廷聚,曹琰,王依菁.基于RFFAD_DeepSVDD的低功耗蓝牙欺骗攻击检测技术[J].计算机科学,2025,52(02):380-387.
- [4] 修惠文,潘子健.一种基于蓝牙射频取电实现电子纸标签电源技术方案[J].信息技术与标准化,2024,(03):27-30.
- [5] 贺永健,张爱军,宋高顺.基于蓝牙Mesh技术的酒店客房控制系统设计[J].电子设计工程,2024,32(03):69-73.
- [6] 丁乐平,汤宏杰,肖江,等.基于蓝牙mesh技术的智能家居方案设计及应用[J].轻工标准与质量,2023,(04):119-123.
- [7] 芯原低功耗蓝牙整体解决方案完成蓝牙5.3认证[J].单片机与嵌入式系统应用,2023,23(08):95.
- [8] 梁敏,胡曦明,李鹏,等.“手机+可穿戴设备”的低功耗蓝牙安全实验技术[J].计算机技术与发展,2020,30(11):111-116+122.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

