

多模态传感器融合的防跌倒智能拐杖开发

夏闽海

国投健康养老产业发展（盐城）有限公司 江苏盐城

【摘要】本研究提出了一种基于多模态传感器融合的防跌倒智能拐杖设计方案。通过集成加速度计、陀螺仪、压力传感器等多种传感器，实时监测使用者的步态、运动状态与姿态变化。利用传感器数据融合技术，智能拐杖能够准确识别步态不稳和跌倒风险，并及时采取干预措施，如发出警报。该系统不仅提高了跌倒检测的精度，还增强了实时响应能力，显著提升了老年人群体的安全性。通过实验验证，智能拐杖在实际应用中展现了较高的稳定性和可靠性，为老年人群体提供了更加安全、智能的辅助工具，具有广阔的应用前景。

【关键词】多模态传感器融合；防跌倒；智能拐杖；跌倒检测；数据融合

【收稿日期】2025 年 4 月 17 日

【出刊日期】2025 年 5 月 19 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250179

Development of anti-fall intelligent cane based on multimodal sensor fusion

Minhai Xia

SDIC Healthy Aging Industry Development (Yancheng) Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu

【Abstract】 This study proposes a design scheme of anti-fall intelligent cane based on multimodal sensor fusion. By integrating various sensors such as accelerometers, gyroscopes, and pressure sensors, it can real-time monitor the user's gait, movement status, and posture changes. Using sensor data fusion technology, the intelligent cane can accurately identify gait instability and fall risks, and take timely intervention measures such as issuing alarms. The system not only improves the accuracy of fall detection but also enhances real-time response capability, significantly improving the safety of the elderly population. Experimental verification shows that the intelligent cane exhibits high stability and reliability in practical applications, providing a safer and more intelligent auxiliary tool for the elderly, which has broad application prospects.

【Keywords】 Multimodal sensor fusion; Anti-fall; Intelligent cane; Fall detection; Data fusion

引言

老年人群体面临着较高的跌倒风险，跌倒已成为影响其健康和生活质量的重要因素。传统的防跌倒设备如简单的拐杖和手杖，虽然能够提供一定的帮助，但在精确监测和及时干预方面存在局限性。随着传感器技术的发展，多模态传感器融合成为提升跌倒检测精度的重要手段。利用加速度计、陀螺仪和压力传感器等多种传感器的数据融合，不仅可以实时监控使用者的步态变化、姿态变化，还能在跌倒发生的高风险状态下及时作出响应。本文旨在提出一种基于多模态传感器融合的防跌倒智能拐杖方案，通过技术创新为老年群体提供更为智能、安全的解决方案，改善他们的生活质量，减少跌倒带来的风险。

1 多模态传感器技术在防跌倒智能拐杖中的应用

多模态传感器技术在防跌倒系统中应用广泛，通

过结合加速度计、陀螺仪和压力传感器等多种传感器，能够全面监测使用者的步态、运动状态及姿态变化。加速度计实时检测步伐的节奏与力度，及时发现异常步态并降低跌倒风险；陀螺仪则测量角度变化，分析平衡状态；压力传感器监测拐杖与地面接触压力，进一步验证步态稳定性。多种传感器的数据互补性有效提升了跌倒检测的精度，使智能拐杖能够更准确地识别高风险状态并及时干预，显著增强防跌倒系统的可靠性。

多模态传感器技术的优势不仅体现在各类传感器的互补性上，还在于其对环境 and 用户个体差异的适应能力。在实际应用中，每个用户的运动方式、步态和身体状况均存在差异，单一传感器往往无法应对复杂的个体需求。然而，融合多种传感器的数据，可以使得系统对用户的状态进行更细致的监测。对于步态不稳的老年人群体，单一的加速度计可能无法准确检测其跌

倒前的预警信号,而结合陀螺仪的数据,则能够更清楚地识别出平衡失调的迹象,提前发出警报,从而有效降低跌倒发生的概率。传感器之间的协同作用也可以提高系统在复杂环境下的适应性,例如在不平坦的地面、不同速度的步伐等情况下,系统能够自适应调整其检测和反馈策略,增强了防跌倒系统的实时性与精准性。

对于多模态传感器在防跌倒智能拐杖中的应用,数据融合技术是关键。单一传感器的局限性使得多传感器数据的协同工作变得尤为重要。数据融合技术能够将来自不同传感器的信号进行综合处理,进一步提升跌倒检测的准确性。结合加速度计与陀螺仪数据,可以通过联合算法分析使用者的运动轨迹、重心变化及步态异常等指标,识别跌倒风险的信号^[1]。而压力传感器的加入,则能够提供对拐杖使用者支撑情况的实时反馈,避免系统因外部扰动或步态变化而产生错误判断。通过这种方式,智能拐杖能够实现全面、实时的监控,为老年人群体提供更高的安全保障。

2 数据融合算法与跌倒检测精度的提升

数据融合算法是多模态传感器技术成功应用的核心技术之一。通过对来自不同传感器的数据进行合理的融合,可以大大提高防跌倒智能拐杖的检测精度和响应速度。传统的跌倒检测方法往往依赖于简单的信号处理和算法,而在实际应用中,跌倒检测不仅需要高精度的判断,还必须考虑到复杂多变的环境因素。为此,采用数据融合技术,可以通过多种算法将传感器数据综合处理,准确捕捉到跌倒事件发生前后的微小变化,提供更加准确的预警。数据融合算法的优化能够处理不同传感器之间的异质性和不确定性,消除噪声数据,提高系统的整体可靠性。

为了提高跌倒检测的精度,研究者们提出了多种数据融合算法,例如卡尔曼滤波算法、粒子滤波算法、贝叶斯滤波算法等,这些算法能够根据传感器的数据特征,进行优化处理。卡尔曼滤波算法在连续时间的动态估计中具有较好的表现,能够有效地从多个传感器获取的数据中去除噪声,获得更加平滑和精确的运动轨迹。粒子滤波算法则能够处理非线性系统,特别适用于复杂的跌倒检测环境,在面对突发状况时,能够及时更新系统状态^[2]。贝叶斯滤波算法通过概率模型对多个传感器的数据进行处理,提供最优的估计结果。这些算法通过对数据的合理融合,能够有效地提高跌倒检测的精度,减少误报和漏报现象。

数据融合算法的有效性不仅体现在精度的提升,还在于其对多样化环境的适应能力。在实际使用中,老

年人可能面临多种复杂的环境因素,如地面不平、行走速度变化等,这些因素都可能影响传感器的测量精度。通过数据融合算法,系统能够根据不同的环境变化,自适应调整检测策略,准确识别不同步态下的跌倒风险。在不平坦地面上行走时,智能拐杖可以根据传感器提供的数据调整算法,以便更好地适应外部条件,减少由于环境因素导致的误报或漏报情况。数据融合还可以根据老年人群体的个体差异进行定制化调整,不同的步态、体重、身体状况都可以通过调整算法的权重进行优化。这些优点使得防跌倒智能拐杖在多种复杂环境下仍然能够保持高精度的跌倒检测能力。

3 智能拐杖设计与实现方案

智能拐杖的设计与实现方案涉及多个领域的技术,包括传感器技术、嵌入式系统、算法设计和用户交互设计等。为了实现防跌倒功能,智能拐杖必须能够实时收集用户的运动数据,并根据数据分析结果做出智能决策。设计之初,智能拐杖必须具备良好的舒适性与人机交互性,确保用户在使用过程中的安全和便捷。在硬件设计方面,智能拐杖需要集成加速度计、陀螺仪、压力传感器等多种传感器,确保其能够全面采集用户的运动数据。传感器的选择应兼顾传感精度、功耗、体积等因素,以保证系统的稳定性和长时间使用的可行性。

在嵌入式系统设计方面,智能拐杖需要搭载高效的处理单元,能够快速处理来自多个传感器的数据并执行融合算法。处理单元不仅需要具备高性能的计算能力,还需满足低功耗的要求,以确保智能拐杖能够持续工作而不频繁充电。在数据处理和融合方面,系统需要实时对多个传感器的数据进行优化,采用合适的算法判断是否存在跌倒风险。一旦检测到异常情况,智能拐杖应能够即时发出警报或采取其他有效措施,如发送紧急求救信号,确保用户的安全^[3-7]。智能拐杖的设计还需考虑用户的操作简便性,例如提供清晰的视觉和听觉反馈,帮助老年人快速理解设备状态,提升用户的体验感。

智能拐杖的设计还需考虑多种智能功能,如GPS定位、语音提示、蓝牙通讯等。GPS定位功能可以在用户发生跌倒时快速确定其位置,并向紧急联系人或医疗服务机构发送求助信息。语音提示功能则可以在用户使用过程中提供实时的步态指导,帮助老年人更好地保持平衡,降低跌倒的风险。蓝牙通讯则可以使得智能拐杖与其他设备进行数据同步和信息传递,例如与智能手机、智能手表等设备的联动,进一步增强系统的智能性与互联性。通过这些设计,智能拐杖不仅具备

了防跌倒的基本功能,还能够为用户提供更丰富的服务,使得其在日常生活中更加得心应手。

4 实验验证与系统性能评估

为了验证防跌倒智能拐杖的设计和性能,实验验证与系统性能评估是至关重要的环节。通过实验数据的收集与分析,可以全面评估智能拐杖在实际环境中的表现,包括其跌倒检测的准确性、反应时间、系统稳定性等关键指标。在实验中,首先需要构建一个模拟跌倒场景,通过不同步态、速度、角度等条件进行测试,以验证传感器在多种情况下的适应性。通过数据分析,评估传感器数据的准确性与一致性,确保系统能够实时识别跌倒风险并及时发出预警信号。通过长时间的使用测试,评估智能拐杖在各种实际环境中的稳定性,如在室内、室外、不同地面类型等条件下的表现。

实验验证还需要评估数据融合算法的有效性。通过对不同数据融合算法的对比测试,可以明确哪种算法在跌倒检测中具有更高的精度和响应速度。卡尔曼滤波、粒子滤波、贝叶斯滤波等不同算法的比较可以揭示它们在实时性、精度和计算负担等方面的优劣,从而为后续优化提供数据支持^[8]。还需要对智能拐杖的使用体验进行评估,确保其在人机交互、佩戴舒适性等方面达到预期效果。通过这些实验与评估,可以对智能拐杖的设计进行全面优化,提高其在实际使用中的可靠性和效果。

系统性能评估的最后一步是进行大规模的现场测试。在真实环境中,智能拐杖面临的挑战更加复杂,包括各种外界干扰、用户个体差异等因素。必须通过大规模的用户测试,收集多样化的数据,进行系统性分析。通过对实验数据的回归分析和统计学验证,可以进一步提高系统的性能,为未来的推广应用提供依据。这些实验与评估为智能拐杖的进一步优化和完善提供了宝贵的经验。

5 结语

防跌倒智能拐杖的研发利用了多模态传感器融合

技术,有效提高了跌倒检测的精度和响应速度。通过加速度计、陀螺仪和压力传感器等多种传感器的协同作用,系统能够全面监测使用者的步态、平衡状态及姿态变化,实现实时预警和干预。这种创新的技术方案不仅提升了智能拐杖的功能性,还为老年群体提供了更为安全、智能的生活保障。未来,随着技术的进一步发展,智能拐杖将在跌倒预防和老年人健康管理方面发挥更大的作用,具有广阔的应用前景和社会价值。

参考文献

- [1] 林昭群,许露,韩泉鹏.融合多传感与云平台的智能拐杖系统设计与实现[J].中国宽带,2025,21(09):168-170.
- [2] 钟傲,霍彩虹,赵大洲,等.基于 STM32 和 GPS 技术的智能导盲拐杖设计[J].科学技术创新,2025,(11):216-219.
- [3] 刘世龙,谢典,唐志远,等.多功能智能拐杖系统设计[J].物联网技术,2024,14(04):138-140.[4]刘世龙,谢典,唐志远,等.智能导盲拐杖的语音交互方法[J].物联网技术,2024,14(03):128-130.
- [4] 胡斌,程浩轩,吴俊豪,等.基于物联网技术的老人智能拐杖设备[J].机电工程技术,2023,52(09):46-51.
- [5] 王瑞,高显斌,朱心旺,等.老年人智能拐杖的设计及应用[J].电子设计工程,2022,30(21):151-155+160.
- [6] 刘北北,杨子倩.面向视力障碍人群的智能拐杖设计研究[J].设计,2022,35(10):97-99.
- [7] 金旭,杨毅,洪镇南.基于无线充电模块的智能助老拐杖设计[J].新型工业化,2022,12(01):20-22.

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/>



OPEN ACCESS