

基于物联网的老年人摔倒检测系统的设计

程明琨, 常新省, 陈佩江*, 李震, 刘新, 高建政, 余尚岷

临沂大学机械与车辆工程学院, 山东 临沂

收稿日期: 2024年9月20日; 录用日期: 2024年10月27日; 发布日期: 2024年11月5日

摘要

老年人身体机能和反应能力下降, 日常活动中极易发生摔倒, 往往由于救助不及时, 造成更严重的后果。针对这个问题, 本文介绍了一种基于物联网的老年人摔倒检测系统, 该设计利用陀螺仪传感器, 通过分析反映人体姿势的加速度值和能量变化, 一旦出现异常情况时, 凭借物联网技术可以及时告知医院进行救治。跌倒检测器可随身佩戴, 不影响老年人的日常生活; 另一方面也减轻了跌倒带来的对子女和社会的压力, 这对保障老年人的生命健康具有重要的意义。

关键词

摔倒检测, 物联网技术, 陀螺仪传感器, 数据采集

Design of an IoT-Based Fall Detection System for the Elderly

Mingkun Cheng, Xinxing Chang, Peijiang Chen*, Zhen Li, Xin Liu, Jianzheng Gao, Shangmin Yu

School of Mechanical and Vehicle Engineering, Linyi University, Linyi Shandong

Received: Sep. 20th, 2024; accepted: Oct. 27th, 2024; published: Nov. 5th, 2024

Abstract

The decline in physical function and reflexes of the elderly is very prone to falls in daily activities, often due to the lack of timely rescue, resulting in more serious consequences. In order to solve this problem, this paper introduces a fall detection system for the elderly based on the Internet of Things, which uses a gyroscope sensor to analyze the acceleration value and energy changes of the human posture, and once there is an abnormal situation, the hospital can be informed in time for treatment with the help of the Internet of Things technology. The fall detector can be worn anywhere and does

*通讯作者。

文章引用: 程明琨, 常新省, 陈佩江, 李震, 刘新, 高建政, 余尚岷. 基于物联网的老年人摔倒检测系统的设计[J]. 传感器技术与应用, 2024, 12(6): 782-788. DOI: 10.12677/jsta.2024.126086

not affect the daily life of the elderly; On the other hand, it also reduces the pressure on children and society caused by falls, which is of great significance for protecting the life and health of the elderly.

Keywords

Fall Detection, Internet of Things Technology, Gyroscope Sensors, Data Acquisition

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

到 2035 年, 中国将进入重度老龄化社会, 60 岁及以上老人占总人口的比例超过 30%, 达 4.2 亿人。假如老人摔倒救助不及时, 患病者可能面临严重后果, 甚至危及生命。关注老年人的健康一直都是社会焦点, 如何实时、准确地对摔倒行为进行检测成为科研人员的一项重要课题。

针对如何准确检测老年人摔倒并及时发射出求救信号, 物联网技术在解决该问题上有了广泛的应用。国外研究往往聚焦于传感器网络和可穿戴设备, 并且利用人工智能算法对传感器进行实时分析, 国内研究也在积极开发不同传感器的摔倒检测系统, 而且国内研究者在数据处理和算法优化方面取得了一些进展。

本文将利用物联网技术, 实时地监控与记录老人的行为, 通过陀螺仪传感器, 一旦出现摔倒等异常情况, 第一时间触发报警信号。以最准确的判断、最快的速度通过发短信、打电话、发邮件等方式联系到医护人员或家属, 确保老人得到及时地救治, 避免造成不可挽回的损失。出于减少对人力资本的消耗。

2. 总体设计

本设计所提出的老年人摔倒检测系统是基于物联网技术进行实现的, 系统能通过陀螺仪传感器等在用户发生倒时, 能够及时有效的发射求救信号, 确保用户能够获得精确及时有效的救援, 从而为用户提供全方位的安全检测。

本系统采用三层式结构, 分别为: 陀螺仪传感器、微孔制器和远程服务器层。这些层次之间通过不同的网络技术实现通信。鉴于蓝牙技术已成为智能手机的标准配置, 并且 Android 智能手机系统对蓝牙开发的适配已相当成熟, 开发蓝牙程序相对简便, 因此, 传感器层与智能手机层之间的数据传输采用蓝牙技术。智能手机层与远程服务器层之间的通信则采用 TD-LTE 技术[1]。系统设计的简图框架如图 1 所示。

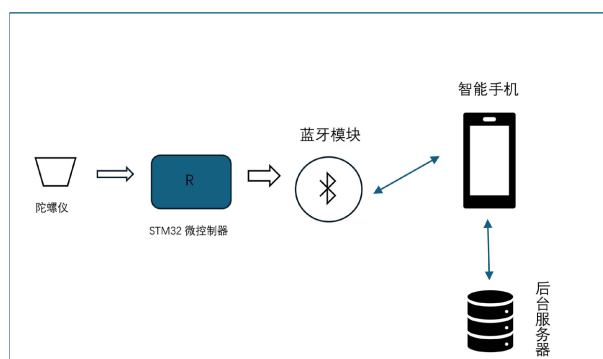


Figure 1. Schematic diagram of the main frame

图 1. 主要框架简图

1) 传感器层级

该层级负责采集人体相关数据，并将数据传输至智能手机层级以供分析。传感器层级主要装备有六轴陀螺仪传感器，可以全方位采集用户的角速度、加速度以及其他信息。之后可以采用蓝牙技术，将所采集的各项数据按照所设定的参数格式发送至智能手机层级。

2) 智能手机层级

① 数据收集：智能手机层级需整合来自各传感器的数据，并依据这些数据执行跌倒检测。

② 定位功能：跌倒监护系统必须在用户跌倒时迅速而准确地定位具体位置。

③ 紧急呼救机制：一旦系统检测到跌倒事件，智能手机层级应能立刻通过短信将跌倒位置发送给紧急联系人，并自动拨打紧急呼救电话。

④ 远程数据传输：被监护人的健康数据应上传至远程服务器进行存储和备份，以便未来被监护人或其亲属查询历史记录。

3) 服务器层级：该层级包括两个部分：一是紧急联系人，负责接收系统发出的呼救短信；二是远程服务器，用于存储用户的个人数据，以便后续健康状况分析。

3. 跌倒检测模块

跌倒监测技术虽多样，但主要可归为两大类：非穿戴式与穿戴式监测。非穿戴式监测主要依赖于图像识别技术，通过在用户常活动的区域安装摄像头来采集图像数据。随后，通过图像识别处理分析用户的身体状态，以判断是否发生跌倒[2]。尽管此方法能有效识别跌倒事件，但其应用范围有限，尤其对于经常在户外活动的用户而言，此方法并不适宜。穿戴式监测则利用陀螺仪来获取三维空间内的加速度信息，并与预设阈值进行比较以判断跌倒事件。然而，该方法依赖单一的加速度数据，可能导致误判率较高。

跌倒监测功能使用更全面的参数分析，如角度、加速度、角速度、心率及其变化率，以综合判断用户是否发生跌倒。心率变化率计算为相邻两次心率的绝对差值除以 10 秒。由于心率剧烈波动可能表示心脏疾病，系统在心率异常时会发出预警，帮助用户更好地了解健康状况。为了设定跌倒时各项参数的阈值，为了确定跌倒时各项参数的阈值，本研究构建了人体模型，如图 2 所示。

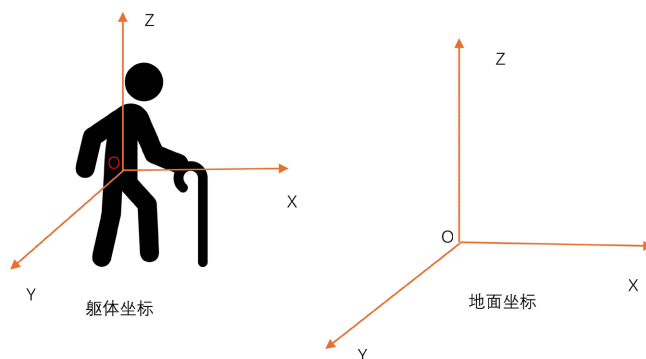


Figure 2. Axis diagram of human movement
图 2. 人体运动坐标轴图

将传感器戴在左手腕上，使其摆动：X 轴是前后方向，Y 轴是上下方向，Z 轴是左右方向。X 轴转的时候加速度数值设为 a_x ，角速度的数值设为 w_x ；Y 轴转动数值设为 a_y ，角速度设为 w_y ；Z 轴转的数值设为 a_z ，角速度设为 w_z 。这样，加速度和角速度加起来的总和就是 A 和 W 。总速度的公式为：

$$A = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

$$W = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}$$

在日常生活中，躯体和地面会形成两个角度，肢体运动会两个角度产生略微变化幅度，当发生不跌倒时，这两个角度就会较大变化[3]。利用这个角度参数，就能减少误判的情况发生。

$$P = (w_x^2 + w_z^2) / A$$

本项目选用低功耗、高精度的六轴陀螺仪传感器 MPU6050，以采集用户日常活动中的加速度、角度及角速度数据。此举旨在提升跌倒检测功能的精确度，并对用户的身体状况进行分析。跌倒时，身体动作会在倾覆方向上引起显著的加速度变化，产生较大的加速度值[4]。通过三轴加速度传感器，可以实时监测身体在 X、Y、Z 三个方向上的加速度值。将这些值与预先设定的阈值进行比较，并结合其他加速度数据以及身体角度信息，即可判断是否发生了跌倒。传感器的具体情况如图 3 所示。

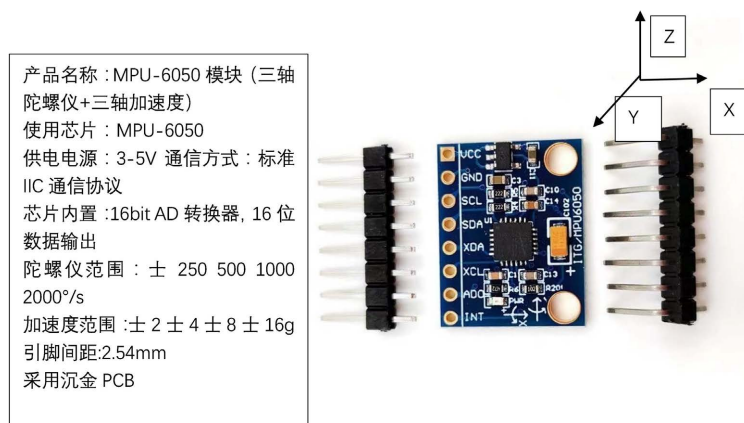


Figure 3. Gyroscope sensor

图 3. 陀螺仪传感器

在用户使用助行器行走的场景下分析跌倒过程，跌倒在一定高度向下发生一段位移，所以人在跌倒时对机体产生一定冲击力 F ，如式所示。

$$F = q \frac{mv}{\Delta t} = ma \times q$$

式中， q 为碰撞系数，由接触环境决定； m 为人体质量； v 为人机碰撞时刻的速度； Δt 为冲击时刻； a 为人的加速度。人机作用力 F 可分类摔倒状态和正常状态， m 和 q 在不同用户与环境下均会变化。为了使研究更有普遍适用性，选择更具有代表性且不受限于个体特征的加速度作为数据集。人体在失去平衡时易发生意外跌倒现象，在该过程中经历跌倒前状态、失衡状态、跌倒时状态和跌倒后状态 4 个运动状态，如图 4 所示。

跌倒前状态是人体开始失去平衡点的时段，在失衡状态发生后，人体重心出现偏移产生短暂的失重效果，加速度值接近于 0。在跌倒过程中，人体加速度值开始逐步增大达到一个峰值点即跌倒点，随后开始逐渐减少并具有一定波动。在跌倒发生后，加速度值变为稳定状态且趋于初始值。4 个状态阶段的加速度均存在明显特点，尤其是在跌倒发生状态过程中存在跌倒点，可以将加速度作为评判标准与跌倒风险值对应进行预测评估。

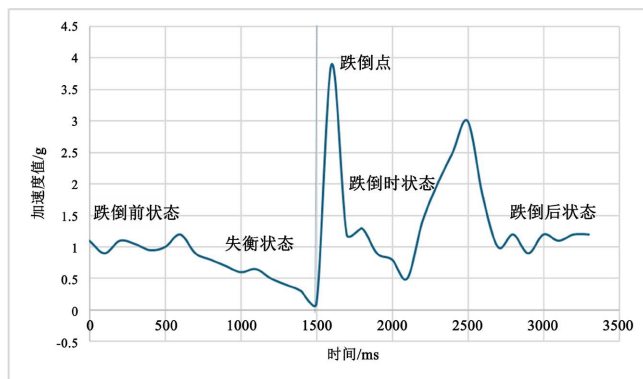


Figure 4. Motion state diagram
图 4. 运动状态图

4. 呼救功能模块

在跌倒监护系统中，呼救模块发挥着至关重要的作用。其功能的正常运作直接影响用户是否能及时获得医疗救助，从而避免进一步伤害。经过现实性考虑和实践，本系统采用了电话呼救和短信呼救两种方式，以确保呼救信息的有效传达，实现安全监护的目标。

1) 电话呼救方案

当跌倒监护系统检测到用户跌倒时，智能手机将立即启动电话呼救程序。系统会向紧急联系人发送包括用户跌倒位置的短信。如果被监护人意识清醒，也可以手动拨打呼救电话，通过系统中的紧急联系人界面快速拨打预设的紧急号码。这种方法比使用智能手机的拨号功能更省时，能缩短反应时间，确保被监护人迅速获得救助。

2) 短信呼救方案

在启用短信呼救功能之前，用户需先填写紧急联系人的电话号码。联系人可手机通讯录中已存储的，亦可手动添加。必须确保所输入的电话号码必须能够准确及时联系到所属亲属或相关救援机构。用户在初次登录时，可以测试所绑定联系号码是否可以接通，当用户老人发生跌倒时，可以确保通过该号码准确及时向所属亲属或救援机构发送求救信息，求救信息内容包括老年人身份信息，所处位置，以及最近救援机构或医院的位置，确保用户及时得到有效救助。

本系统的呼叫流程如图 5 所示。

5. 定位功能模块

老年人定位功能在可穿戴式健康监测系统中扮演着至关重要的角色。这一功能的主要目的是为了确保护老年用户在迷路或遇到紧急情况时，能够迅速而准确地确定他们的所处位置。当前，国内外所广泛应用的定位技术主要依靠三种，其分别为全球定位系统(GPS)定位、基站定位和辅助 GPS (AGPS)定位。

首先，GPS 定位技术通过卫星直接获取用户的地理坐标信息，从而实现定位。尽管 GPS 定位的精度是最高的，但它也存在一些问题。例如，GPS 模块的功耗较大，用户可能会出于隐私或电池续航的考虑而关闭 GPS 模块。此外，GPS 在室内环境下的定位精度通常不佳，这限制了其在某些场景下的应用。

其次，基站定位技术主要分为两种方式。第一种是通过检测用户手机所在位置，与其最近的三个基站构建位置网络，从而精准定位。这种方法依赖于基站的信号强度和距离计算，虽然在室外环境中表现尚可，但在室内或信号覆盖较差的区域则效果不佳。另一种基站定位方法是通过最近的一个基站获取数据，并结合谷歌网络服务进行定位。这种方法的优点在于只要有基站覆盖的区域，基本上都能实现定位。然而，其定位精度通常不如 GPS 定位。

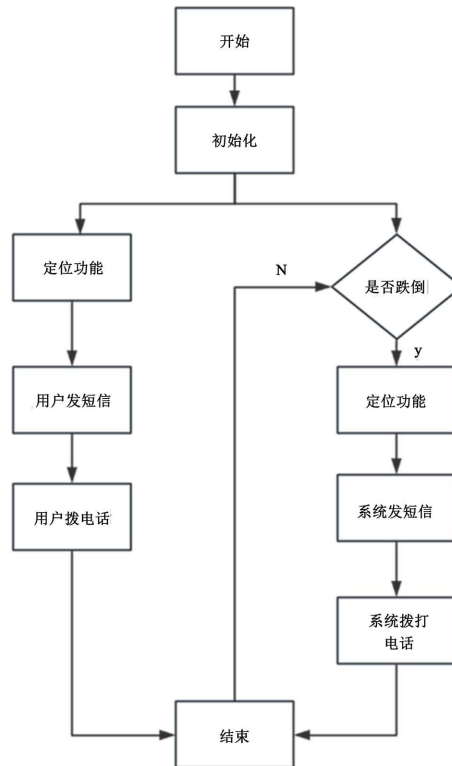


Figure 5. Flowchart for calling for help
图 5. 呼救流程图

最后，AGPS 定位技术则是将 TD-LTE 技术与传统卫星定位相结合，通过基站发送辅助信号来缩短 GPS 芯片获取卫星信号的时间。这种方法在定位精度上通常是最高，因为它利用了地面基站的辅助信号来加速卫星信号的获取过程。然而，AGPS 定位对硬件设备的要求相对较高，需要设备支持相应的技术标准和功能。

综上所述，老年人定位功能在可穿戴式健康监测系统中具有重要意义，而不同的定位技术各有优缺点。选择合适的定位技术需要综合考虑定位精度、功耗、硬件要求以及应用场景等因素。

本功能主要采用 GPS 定位，其流程如图 6 所示。

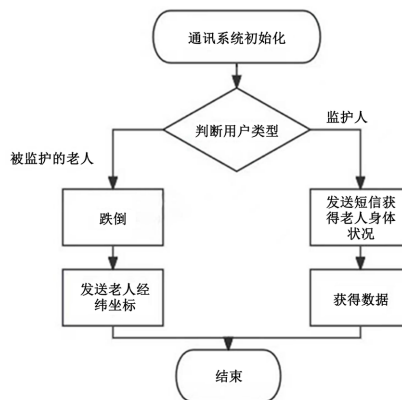


Figure 6. Positioning flowchart
图 6. 定位流程图

6. 结束语

本文所介绍的基于物联网的老年人摔倒检测系统，充分利用物联网技术实时数据传输和远程处理的特点，在老年人发生摔倒时检测到的身体上倾覆方向的显著性加速度变化，实现实时数据传输和远程处理，将传感器所采集到的数据传输到后台服务器层，待算法的分析后迅速将包含用户摔倒位置等求救信息发送给紧急联系人或就近医疗机构。该系统不仅为用户提供全方位准确及时救援，而且减轻家属的忧虑和担忧，对独立生活的老人的安全提供心理保障。另外，该系统可以将所收集的数据进一步备份记录，医疗工作人员可以从中分析跌倒的因素和方式，制定出更有效的预防措施和个性化护理计划，从而有望将该系统广泛应用于居家养老环境和养老机构。

基金项目

临沂大学 2024 年校级大学生创新创业项目(X202410452577)。

参考文献

- [1] 黄佳宝. 基于物联网的老年人跌倒监护系统设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中南财经政法大学, 2019.
- [2] 乔美生, 王忠. MEMS 传感器技术在人体摔倒检测中的应用[J]. 电声技术, 2017, 41(Z1): 156-160+165.
- [3] 鄢丽娟, 张彦虎. 老年人意外摔倒智能报警腰带系统的研究[J]. 电子技术与软件工程, 2018(24): 61-63.
- [4] 李逢琳, 刘忠富. 九轴传感器在老年人摔倒检测中的应用综述[J]. 山西电子技术, 2023(3): 108-110.