

基于智能拐杖的老年人跌倒监测与紧急呼叫系统研究

崔婷婷 曹家齐 贾胤曈

北京柯飞金诚科技有限公司, 中国·北京 102442

摘要: 由于老年人跌倒具有隐匿性和救援迟缓等特点, 为此设计一种基于智能拐杖的跌倒检测及求救设备。该设备包含惯性传感器、定位模块以及无线通信模块等部件, 在检测到人体倾斜角度超过一定范围或者加速度超过设定值或者长时间保持不动时判定为发生跌倒并及时发出警报, 同时将位置以及个人情况发送出去。此设备可以有效提高对跌倒判断准确率以及急救速度从而为智慧养老的安全保驾护航。

关键词: 智能拐杖; 跌倒监测; 姿态识别; 紧急呼叫; 智慧养老

Research on Fall Detection and Emergency Call System for the Elderly Based on Smart Canes

Cui Tingting, Cao Jiaqi, Jia Yinze

Beijing Kefei Jincheng Technology Co., Ltd., China Beijing 102442

Abstract: Due to the concealed nature of falls among the elderly and delays in rescue, this study proposes a fall detection and emergency alert device based on smart canes. The device incorporates components such as inertial sensors, positioning modules, and wireless communication modules. It detects falls by identifying excessive body tilt angles, acceleration beyond preset thresholds, or prolonged immobility, then promptly triggers an alarm and transmits the user's location and personal information. This system effectively improves the accuracy of fall detection and accelerates emergency response, thereby enhancing safety in smart elderly care.

Keywords: Smart cane; Fall detection; Posture recognition; Emergency call; Smart elderly care

0 引言

跌倒是影响老年人自主生活乃至生命安全的重要因素, 在独自生活、外出或无他人照料时, 无法得到及时救助会导致不良后果发生。传统的手工护理方式不能做到 24 小时不间断监控, 而智能拐杖具有帮助行走以及便携的特点, 是老年人安全保障的一种新型设备。把摔倒检测、定位跟踪及求救等功能集成到拐杖中可以大大提高突发事件预警以及救援效率。因此, 本文主要对智能拐杖系统的相关需求、设计以及关键技术进行探讨。

1 系统需求分析

1.1 老年人跌倒监测需求

老年人易在起身、转身、上下楼梯、外出散步以及夜晚等活动时发生摔倒, 而这些动作突然且无一定规律。因此智能拐杖要持续监测用户的动作, 主要关注加速度、角速度、倾角以及静止时间等信息, 如使用三个加速度计与陀螺仪获取人体的姿态变化情况, 采样率为每秒 50-100 次, 以便及时发现突然发生的摔倒行为, 在加速度达到预定阈值, 拐杖倾斜角度大于 60 度并且有 3-10 秒的静止时间之后可以认为有可能发生了摔倒, 但也要排除正常的坐下、弯腰捡东西或者拐杖被放倒的行为以免造成过多的假

阳性结果从而降低检测的有效性和可靠性^[1]。

1.2 紧急呼叫与救援需求

跌倒发生后, 救援响应速度对老年人安全影响很大, 所以系统要有自动报警、手动求助以及定位等功能, 在检测到疑似跌倒后可以有 10 秒到 30 秒的时间进行判断, 如果用户没有取消报警, 则系统开始报警操作, 报警内容有用户信息、摔倒时间、GPS 或者北斗坐标、电池情况、异常种类等信息并以 4G、NB-IoT、蓝牙网关等形式推送给家人手机、社区或者医院等地方, 室外定位要求在 5 米到 10 米之间, 室内可以通过蓝牙或者 Wi-Fi 帮助定位以适应复杂环境下的求救定位, 同时系统还需要有紧急呼救按钮供老人在身体不适、迷路或者其他突发情况时使用^[2]。

1.3 智能拐杖使用需求

智能拐杖针对老年人使用, 其功能要安全可靠、方便快捷、舒适。硬件上要轻便, 总重不超过 800 克到 1200 克, 以免给使用者带来不便; 电池容量要求大于等于 2000mAh, 可以使用 24 小时到 72 小时。操作简单易懂, 报警按钮颜色鲜明且不易误碰, 按压反应时间为小于等于 1 秒。拐杖把手要符合人体工程学原理, 具有良好的防滑、防水、防尘性能, 至少达到 IP54 级别, 满足日常生活中的

各种需求。同时还要有低电预警、设备自检以及通信故障告警等能力,在必要时保证正常使用。

2 系统总体设计

2.1 硬件结构设计

智能拐杖硬件系统基于微处理器,集成了多种传感器采集、定位通讯及报警交互等功能。主控芯片可以是 STM32 或者 ESP32 等型号,用于完成姿态数据处理、通信控制以及报警等功能。姿态检测主要是通过三轴加速度计与三轴陀螺仪实现,量程可以选择 $\pm 2g$ 到 $\pm 16g$ 、 $\pm 250^\circ/s$ 到 $\pm 2000^\circ/s$,采样率为每秒 50 到 100 次,以便能及时记录摔倒瞬间的动作情况。定位模块使用 GPS/北斗双模方案,在户外定位精度可达到 5 到 10 米。通信模块可选择 4G、NB-IoT 或者蓝牙等设备进行远程报警和信息发送。供电使用 2000mAh 到 3000mAh 的锂电池并配备低功耗管理系统保证其能够持续工作 24 到 72 个小时。拐杖手柄上有一个 SOS 按钮、蜂鸣器和一个 LED 指示灯方便使用者求助和了解自身状况^[3]。如图 1 所示。



图1 智能拐杖系统总体结构

2.2 软件功能设计

系统软件包括数据采集、数据预处理、跌倒检测、定位上报、报警管理和后台展示等各个部分,其中的数据采集部分每隔一定的时间获取加速度、角速度以及拐杖倾斜角,之后再使用滑动窗口滤波、中值滤波等方法消除手部抖动和外界噪声的影响。跌倒检测部分则是依据加速度大小、角速度变化量、倾斜角度的变化以及静止时间来进行判断是否发生跌倒行为,如若加速度大于等于 $2g$,倾斜角大于等于 60° 并且连续静止 5 秒钟以上,会认为是疑似跌倒。定位上报部分是在报警产生之后读取 GPS 或者北斗的位置坐标并把经度、纬度、时间戳、设备编号还有剩余电量打包发送出去。报警管理部分提供自动报警、手动报警和取消误报的功能,同时还可以调节延迟时间,在 10 到 30 秒之间都可以调整。而在后台可以查看设备连接情况、

报警信息、过往路径和用户的个人信息等,方便家人或者社区工作人员快速响应突发状况。

2.3 系统工作流程设计

系统启动后首先完成设备自检,即传感器连接情况、电池电量、信号强度以及定位功能是否正常工作。自检成功之后,拐杖开始工作,在主控端以大约每秒 50 次的速度不断读取姿态信息并计算加速度总和、角速度变化率以及拐杖倾斜角度。如果监测到的数据在正常范围内,则只做低功耗监控并且定时上报状态;如果出现加速度突变或者角度突然改变或者长时间保持不动等情况,则认为可能存在跌倒发生,此时进入疑似跌倒检测过程。如果有多个指标均符合跌倒标准,则发出声音和灯光警报并开始倒计时等待用户操作,在这个时间段内用户可以按下按钮消除误报,否则就发送求救短信给预先设定好的联系人或者养老院工作人员。发送完求救之后每隔一段时间会把当前位置以及设备状况上传到服务器上,直到有人过来处理才结束整个流程。此外还可以把报警日志、传感器异常值还有用户反馈存储到本地或者云端,用于后续的问题定位、模型改进和健康管理,保证系统的稳定性和可维护性。

3 跌倒监测与紧急呼叫关键技术

3.1 姿态数据采集技术

智能拐杖利用惯性测量单元得到行走过程中的动作状态,主要包括三个方向上的加速度、三个方向上的角速度以及拐杖倾斜角度等信息。加速度计用来检测拐杖在行走、支撑、倾倒以及受到撞击时所受外力的变化情况,量程可以选择 $\pm 2g$ 、 $\pm 4g$ 或者 $\pm 8g$;陀螺仪用来监测拐杖围绕各个方向旋转的速度大小,量程可以是 $\pm 250^\circ/s$ 到 $\pm 2000^\circ/s$ 。为了保证摔倒瞬间获取完整数据,在此期间需要频繁地进行采样工作,一般情况下采样速率为 50Hz 到 100Hz,数据更新间隔时间小于或者等于 10ms。获取原始数据之后还需要对其进行低通滤波、均值滤波或卡尔曼滤波等预处理操作,消除由于手抖动、地面震动以及传感器噪声等因素带来的干扰。另外还可以进行零点标定和姿态计算等工作,避免由于长时间使用造成的影响。最终得到姿态数据是一条平滑曲线,便于后续摔倒检测。

3.2 跌倒识别算法设计

跌倒识别算法需考虑加速度突变、角速度变化、倾斜角度以及静止持续时间等因素。系统可以首先求取三轴合加速度,在其达到 $2g \sim 3g$ 以上时,说明拐杖受到较大冲击的可能性;其次判断拐杖倾斜角度是否大于 $60^\circ \sim 75^\circ$,同时结合角速度突变考察是否有快速失衡现象发生。如果

在较大冲击之后有一段时间，比如 5s~10s 内几乎无动作，则可认为是疑似跌倒。为减少假阳性，算法应当有多重条件组合判断，而不是单纯依据某一个参数就判定为跌倒，如正常坐下、弯腰、拐杖暂时放置均不会造成假阳性。系统也可以设立较短时间窗口，如 1s~2s，然后在一个小时时间段内进行一系列操作，提取特征并进行对比，从而使判断更可靠，在复杂情况下还可以使用轻量级机器学习模型进行分类，训练出行走、停止、坐下以及跌倒等不同动作，从而提升跌倒识别准确率和鲁棒性^[4]。如图 2 所示。

3.3 紧急呼叫通信技术

紧急呼叫通信技术是系统实现救援闭环的重要组成部分，在系统检测到跌倒或者按下 SOS 键之后，通信模块马上产生报警数据包，包含设备 ID、用户信息、报警时间、跌倒种类、电池电量以及经纬度等。在室外环境中可以选择使用 4G/NB-IoT/LTE Cat.1 进行报警消息发送，要求其发送时延不超过 3~10s；而在较近的距离下可以利用蓝牙连接 APP，然后再用手机网络进行转发。定位方法可以使用 GPS/北斗双模定位，在室外一般要求精度在 5~10m 之间，在室内可以通过配合 Wi-Fi/蓝牙信标/基站进行定位以增加其实用性。为了防止一次性发送失败的情况发生，系统需要有重试机制，比如每过 10s 再发送一次报警信息直至被后台或者相关人员收到为止。此外还可以将报警信息推送给家属端、社区端或者看护端并记录该事件以便后期查询及追责。良好通讯以及精确位置可提高救援速度。如图 2 所示。

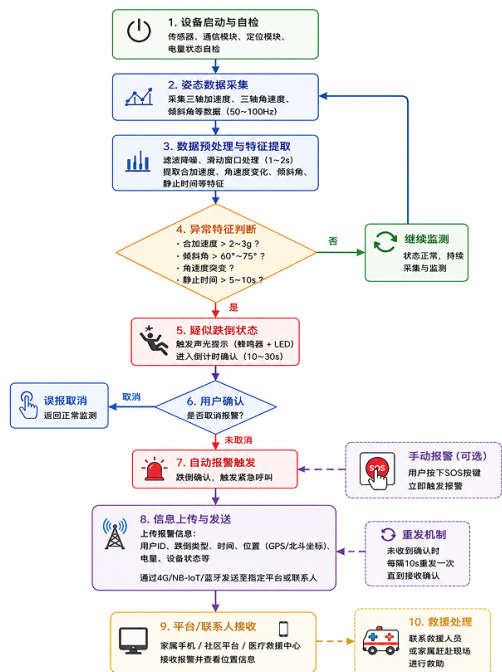


图2 跌倒监测与紧急呼叫工作流程

4 系统应用与优化策略

4.1 系统应用场景分析

基于智能拐杖的跌倒监测及紧急求助设备可用于家庭养老、社区养老、医院康复以及老年人外出活动等不同情况。在家庭养老方面，该设备可以对独居老人实行 24 小时看护，在晚上老人起床、去洗手间摔倒或者在家中长时间静止的情况下，会立刻给其家人发出警报并可与家中的网关、智能音响或手机 APP 进行联动以达到多方提醒的效果。而在社区养老上，智能拐杖可以与社区平台相连接，从而实现老人的位置跟踪、突发事件的记载、健康状况的更新以及突发情况下的援助请求，方便社区管理人员进行分类处理。在医院康复场所里，该设备可以帮助医护人员观察患者的行走情况、活动量、行走里程以及跌倒可能性等，有利于康复指导。而在外出期间，GPS/北斗定位芯片可以实现 5 至 10 米的距离定位，结合 4G 或者 NB-IoT 网络可以在公园、街道、超市等地实现远程呼救，保障老年人的自主出行安全。

4.2 系统可靠性优化

系统的可靠性主要是指跌倒检测准确率、通信稳定性以及设备工作时间等。传感器部分可以选择高于 16 位分辨率的惯性测量单元并且采样率为每秒 50 次到每秒 100 次，以便姿态的变化能够完整得到。而在算法上需要使用多种参数进行判断，在此基础上再加上合力加速度最大值、角速度改变、倾斜角度、静止时间几个参数进行判断，比如加速度大于等于 2g 到小于等于 3g，倾斜角度大于等于 60 度到小于等于 75 度，静止时间为 5 秒到 10 秒，这样可以降低一个阈值导致误报的可能性。对于拐杖放下、坐下、弯腰捡东西等容易混淆的动作，可以加上 10 秒到 30 秒的人工确认倒计时，用户可以点击取消报警。而通信部分要设置断开连接后重新连接、数据丢失后重新发送以及电池电量过低提醒功能，保证报警信息即使在网络信号不好情况下也能尽量到达^[5]。此外可以在本地保留最近一天到一周左右的异常情况，在网络恢复正常之后自动上传这些数据，保证数据完整性。

4.3 用户体验与推广建议

智能拐杖的应用情况不仅仅决定于技术问题，也与老年人的态度有关。从结构上看，整个设备的质量应在 800g~1200g 之间，把手部分采用防滑材料以及符合人体工程学曲线形状的设计，以减轻使用者长时间握持所带来的不适感。关于供电问题可选用 2000mAh~3000mAh 锂电池作为电源，且支持 USB 或磁吸充电方式，在一次充满电之

后可以持续使用 24 小时到 72 小时，在电量低于 20% 时发送警报提示。操作上应当尽可能简单，只提供必要的 SOS 按钮、状态灯及语音播报等功能即可，切勿过于繁琐的操作流程给用户带来困扰。而在价格上也可以根据实际情况推出普通版和联网版供消费者选择，让普通家庭也能负担得起。对于隐私的问题也要做好防护措施，例如对定位信息和个人资料进行加密处理并设置相应权限来保证不会出现隐私泄露的情况发生。最后就是推广阶段可以和当地的社区养老中心、医院理疗科或者是家庭护理服务公司合作邀请老人们试用并提出意见来改进产品的大小、报警声音大小以及按键的位置等问题提高整体的安全性、便利性以及销售前景。

5 结语

一种基于智能拐杖的老年人跌倒检测及求救系统，将姿态感知、跌倒检测、定位通讯以及报警求助功能结合到日常使用的拐杖上，可以提高对老年人跌倒的及时发现以及快速应对的能力。系统根据加速度、角速度、倾斜角度以及静止的时间来判断出现意外情况并及时发出报警信号以及当前位置，保障老年人在家里或者外出时的安全。下

一步还可以改进检测算法，减少误报，同时也可以连接到智慧养老云平台，使该设备更加实用并且易于推广使用。

参考文献：

[1] 冯彩英, 张小龙, 李梦婷. 基于多传感器的跌倒检测系统设计与实现[J]. 农业装备与车辆工程, 2025, 63(02): 129-133.

[2] 燕然, 莫文娟. 基于智能化的防跌倒预警及自动呼救产品设计研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(04): 39-41+45.

[3] 蔡鑫斌, 胡嘉欣, 黄家栋等. 基于单片机的老年人智能化拐杖设计[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(36): 93-95.

[4] 李大浩. 面向室内独居老人的智能家居系统设计与实现[D]. 江西师范大学, 2023.

[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.

作者简介：崔婷婷（1993.02-），女，汉族，河南省林州市，硕士研究生，讲师，研究方向：物联网、人工智能、模式识别。