

基于移动终端的智能看护系统设计

向琦, 陈旭, 王春城, 刘满禄, 任万春

(西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘要: 随着我国老龄化进程加快, 老人看护问题日益突出, 成为困扰家庭和社会的又一难题; 针对这一社会问题, 提出一种基于移动终端的智能看护系统; 以 STM32 微处理器为控制核心, 运用新型 MEMS 姿态传感器 MPU6050 实时采集人体运动状态信息, 经过数据转换、滤波和姿态融合, 结合人体加速度向量幅值 SVM 和姿态角特征量对传统阈值跌倒检测算法进行优化; 以无线通信技术为桥梁, 看护人可通过移动终端设备上的客户端软件对老人进行实时位置监控; 经大量试验结果表明, 该系统能够有效检测跌倒行为并报警, 准确率高达 98.5%, 误判率仅 0.71%, 且客户端软件通过调用百度地图直观显示老人所在地理位置及周边环境; 系统具有结构简单、操作简便、使用性强等优点, 应用前景较为广泛。

关键词: 智能看护; MPU6050; SVM; 跌倒检测

Design of Intelligent Care System Based on Mobile Terminal

Xiang Qi, Chen Xu, Wang Chuncheng, Liu Manlu, Ren Wanchun

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

Abstract: With the acceleration of aging in China, the problem of elderly care is becoming more and more prominent, which has become another difficult problem for families and society. Aiming at this social problem, an intelligent nursing system based on mobile terminal is proposed, and a new MEMS attitude sensor is used as the control core of STM32 microprocessor MPU6050 Real-time collection of human motion state information, through data conversion, filtering and attitude fusion, combined with human acceleration vector amplitude SVM and attitude angle characteristics of the traditional threshold fall detection algorithm optimization; With wireless communication technology as the bridge, the caregiver can monitor the elderly in real time through the client software on the mobile terminal device. A large number of experimental results show that the system can effectively detect fall behavior and alarm, accuracy rate of up to 98.5%, miscalculation rate of only 0.71%, and client software through the call Baidu map to visualize the elderly location and surrounding environment, the system has the advantages of simple structure, simple operation, strong use and so on, the application prospect is more extensive.

Keywords: intelligent nursing; MPU6050; SVM; Fall monitoring

0 引言

随着我国人口老龄化进程加快, 老人的看护问题日益严重, 成为困扰家庭和社会的又一难题。据研究表明, 跌倒造成的伤害死亡位居我国伤害死亡原因的第四位, 而在 65 岁以上的老人中居于首位^[1]。跌倒除了导致老人死亡外, 还可能引起大量疾病, 轻则划伤或骨折; 重则昏厥、脑血管突发, 甚至瘫痪^[2]。故针对老人看护问题开展相关研究具有一定的现实意义。

目前, 大量学者对跌倒检测有较为深入的研究, 取得了较多的研究成果。文献 [3] 提出一种基于视频的跌倒检测系统, 依据视频中人体的长度比、身体倾角两个特征值判断跌倒事件发生, 但不能区分下蹲、躺下等常见行为, 导致误检率高^[4]。文献 [5] 提出基于视频人体运动状态判

决的跌倒检测算法, 结合背景差分法与 OpenCV 去噪处理方法实现运动目标检测, 并采用两次目标框选与前一帧目标位置信息提升目标定位精度, 但其算法性能与光照条件、跌倒方式、摄像头的架设均有密切联系, 平均正确检测率仅 88.7%。文献 [6] 提出一种基于多传感器的实时动态跌倒监测系统, 利用佩戴于腰间和脚底的多类传感器结合阈值算法检测跌倒, 检测率为 93% 左右^[7]。

当前, 看护问题的重点与难点在于准确区分跌倒行为和日常行为, 而传统阈值检测算法准确度低、效果差, 需对其进行算法优化, 提高判断精度。本文综合运用多传感器、无线通信等信息技术, 研究并设计了一套智能看护系统。该系统提供可穿戴式设计, 通过姿态传感器实时采集人体运动状态信息, 经过数据转换、滤波和姿态融合, 结合人体加速度向量幅值 SVM 和姿态角特征量, 改进传统阈值跌倒检测算法。若判断跌倒发生且规定时间无响应时, 迅速进行定位并发送包含物理位置的求救信息至监护人移动端。通过客户端软件, 调用百度地图显示老人所在的地理位置及周边环境, 便于对老人的寻找和救治。

1 基于移动终端的智能看护系统整体结构设计

本文提出的基于移动终端的智能看护系统由硬件装置

收稿日期: 2019-02-22; 修回日期: 2019-03-18。

基金项目: 西南科技大学大学生创新基金项目资助(CX18-088); 核废物与环境安全协同创新中心预先研究基金项目(15yyk02)。

作者简介: 向琦(1997-), 女, 四川资阳人, 主要从事嵌入式系统方向的研究。

和客户端软件两部分组成, 总体设计框图如图 1 所示。

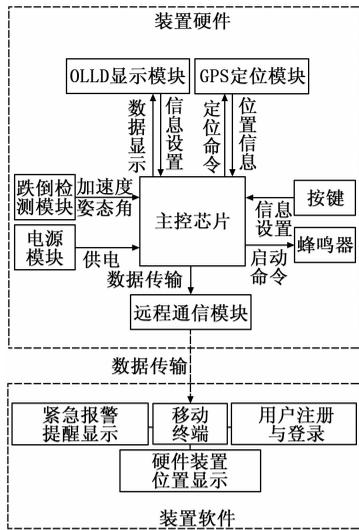


图 1 总体设计框图

整个硬件装置的核心部分是主控芯片, 负责管理整个网络结构, 控制姿态传感器实时采样加速度和姿态角原始数据, 利用改进跌倒检测算法的判决机制判定是否发生跌倒动作。当跌倒动作发生且规定时间无人响应时, 由 GPS 定位模块得到位置信息, 并通过远程通信模块将包含位置信息的求救短信发送给看护人移动端。此外, 主控芯片还负责控制按键进行功能选择和驱动 OLED 屏显示数据信息等, 增加了系统的交互性和实用性。

Android 客户端软件安装在看护人的手机等移动终端设备上, 通过 GSM 短信方式获取位置信息^[8]。当求救短信发送到看护人移动端时, 软件显示紧急求救信息, 确保看护人及时知晓, 并从求救短信中获取地理位置信息, 通过调用百度地图分别显示自身和老人所在的位置, 可及时对老人的寻找和救治。

2 基于移动终端的智能看护系统硬件平台设计

该智能看护系统的硬件平台采用嵌入式结构设计, 其硬件组成结构如图 2 所示。

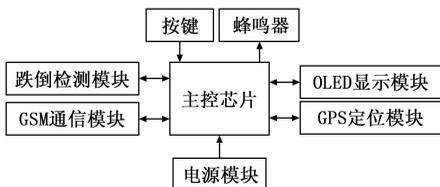


图 2 硬件组成结构图

硬件主要由微控芯片、跌倒检测模块、GSM 通信模块、GPS 定位模块、OLED 显示模块、电源模块等六部分构成。其中, STM32 F103C8T6 微处理器为控制核心, 控制姿态传感器 MPU6050 实时采集人体运动姿态信息, 经数据处理与分析, 利用改进跌倒检测算法判定是否发生跌倒动作。采用 GPS 定位模块实时定位监护, 若发生意外跌

倒且无响应时, GSM 通信模块将含位置信息的求救短信发送到看护人移动终端, 以便老人得到及时救助。同时, 若发生紧急情况, 老人可通过 SOS 一键求救按钮发送含位置信息求助短信, 告知看护人及时施与援救。采用 OLED 显示屏实时显示相关信息, 便于用户使用, 具有良好的交互性。

2.1 STM32F103C8T6 微控芯片

该微控芯片具有高性能的 ARM Cortex-M3 32 位 RISC 内核, 工作频率 72 MHz, 内置高速存储器, 丰富的 I/O 端口及连接到两条 APB 总线的外设。包含 2 个 12 位 ADC、3 个通用 16 位定时器和一个 PWM 定时器, 还提供标准通信接口: 多达 2 个 IIC 和 SPI、3 个 USART、1 个 USB 和 1 个 CAN^[9]。其资源丰富, 内部运算速度快、执行效率高, 能够很好满足本设计的智能看护系统硬件要求。

2.2 GSM 通信模块

系统硬件与看护人终端设备采用 GSM 通信。本设计选用 SIM900A 模块, 支持工作频段 900/1800 MHz, 能提供包含短信在内的多种数据传送服务。嵌入式主控单元借助串口通道发送 AT 指令实现短信发送。若需要发送汉字信息, 须提前将发送内容转变为 Unicode 码, 然后进行数据传输工作。

2.3 跌倒检测模块

模块采用三维角度传感器 MPU6050, 是全球范围内推出的第一款集合 MEMS 陀螺仪和 MEMS 加速度计的综合传感器模块, 检测 X、Y、Z 三轴的加速度和角速度。其中, 陀螺仪可以测量从 $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000^\circ/\text{sec}$ (dps) 四种区间内的变化, 加速度计可以检测 $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16 \text{ g}$ 内改变量。MPU6050 与所有设备通过 IIC 通信方式进行数据传输^[10]。

2.4 GPS 定位模块

本设计定位模块选用 NEO-6M, 其体积精巧, 性能优越。采用 NMEA/UBX Binary 通信协议, 自带陶瓷天线, 速率更新最大 5 Hz。在一些恶劣的环境中, 如茂密的森林, 也能实现精确且快速的定位。模块上的时钟脉冲输出引脚连接工作指示灯, 出现常亮和闪烁两种情况。其中, 常亮表明 GPS 正在进行定位操作, 一闪一灭表示定位成功。除此之外, 模块留有 IPX 接口, 能够外接有源天线, 用于实现室内定位。

3 改进跌倒检测算法设计

跌倒发生时, 老人各个方向的加速度、角速度等特征量在短时间会产生巨大的变化。在跌倒算法设计中可利用这些参数的变化分析老人的运动模式, 区分跌倒行为与日常活动。本设计对传统阈值检测算法进行优化, 提出一种加速度向量幅值 SVM 与姿态角相结合的跌倒检测阈值判定算法。经过两级算法判断, 不仅能降低误判率、提高准确度, 而且其原理清晰明了、成本低, 在程序设计上易于实现。

3.1 跌倒检测算法分析

人体活动实质上可分为 ADL 行为和跌倒行为两类。为设定适宜的阈值区分 ADL 行为和跌倒行为, 必须获得大量的实验数据, 分析不同运动状态下的 SVM 值和姿态角变化。

以人体腰部(重心在其附近)为原点建立坐标系, 将人体运动模式下姿态变化转变为 X、Y、Z 三轴上加速度、角速度参数变化, 利用数学化思维分析人体姿态, 对是否发生跌倒动作做出精准判断。人体坐标系建立如图 3 所示。

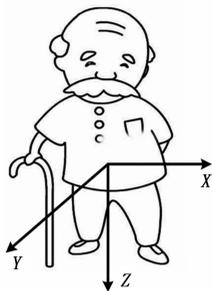


图 3 人体坐标系图

人体日常活动行为 SVM 变化存在一定规律, 如步行时, 合加速度在 1 g 附近波动, 呈现周期性变化。而在跌倒时, 因与地面发生强烈碰撞, SVM 值将发生突变。因此, 可以选择合适的 SVM 值作为一个疑似跌倒的判断依据。现进行多次跌倒实验数据采集工作, 如图 4、图 5 所示。

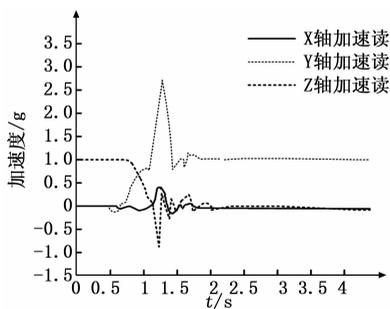


图 4 跌倒时三轴加速度变化图

可以发现: 跌倒前, Z 轴加速度约为 1 g, 其余轴为 0; 跌倒后, Y 轴加速度约为 1 g, 其余轴为 0。由加速度变化情况, 可判断是向前跌倒动作。因为当人站立时, 由于受到重力影响, Z 轴加速度约为 1 g, 其余轴为 0。发生跌倒躺卧在地面时, Y 轴加速度约为 1 g。经过多次试验尝试, 将 SVM 阈值选定在 2.1 g 较合适, 能够将跌倒动作从绝大部分 ADL 中识别出。

由于跑步、跳跃也会产生类似跌倒的 SVM 突变值, 所以为了提高精度, 在合加速度向量幅值的基础上增加第二级判断, 即姿态角判断, 则可大大减少误判率。

一般来说, 人跌倒后最终相对于地面保持静止状态。理论上, 人站立时的 Pitch、Roll 角在 0°附近波动, 跌倒时, Pitch、Roll 角急速增大, 倒地后应在 ±90°左右。所以选择合适的姿态角作为第二级判断依据。经过多次试验, 为

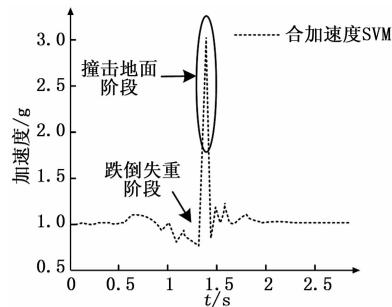


图 5 跌倒时合加速度变化图

降低漏判率, 选定 ±70°作为第二级阈值。同时, 由于剧烈跳动也会引起 SVM 值发生变化, 但此情况下, 姿态角并不一定发生改变。因此算法要求进入第二级阈值后保持一段时间, 若不发生改变, 则跌倒发生, 否则重新检测。

3.2 跌倒检测算法建立

本设计提出一种基于加速度向量幅值与姿态角的跌倒检测算法, 先由 SVM 判断疑似跌倒情况, 再借用姿态角进行综合分析, 最后对是否发生跌倒行为做出精确判断。

1) 系统实时进行数据采集、转换、滤波, 计算当前加速度向量幅值是否大于阈值 Th1, 如果大于 Th1, 判断疑似跌倒, 进入下一步; 否则继续采样、计算;

2) 延时一定时间后, 进入第二级阈值判定。系统设定一个时间段, 持续检测姿态角是否都大于阈值 Th2。若都处于该范围, 进行下一步, 否则返回第一步;

3) 系统判定跌倒事件发生, 向周围人员发出求救警报。一段时间后, 若手动关闭警报, 则返回第一步; 否则立即获取位置信息, 并借助 GSM 通信将求救短信(跌倒和位置信息)传送给监护人手机终端, 以便老人得到及时救助。

算法实现流程图如图 6 所示。

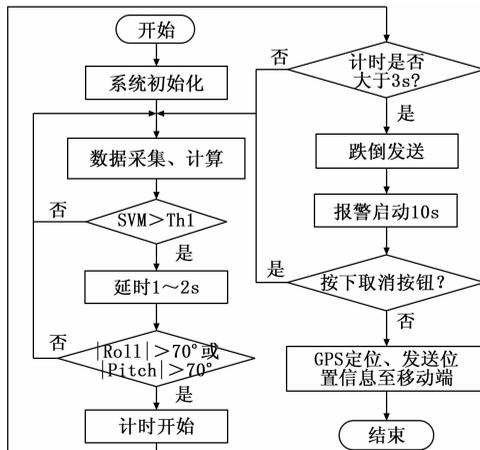


图 6 跌倒检测算法实现流程图

4 实验结果与分析

根据本文提出的方案, 成功提出一种基于移动终端的智能看护系统。为确保该系统能够实时监测人体运动状态,

能够准确区分跌倒行为和 ADL 行为，判断跌倒动作发生后及时发出求救警报，客户端软件能够显示老人所处地理位置。故需要设计相应的试验测试系统功能，通过结果分析对跌倒检测算法的有效性和软件显示位置的准确性做出评价。

4.1 跌倒算法有效性检测

志愿者将系统佩戴在腰间，分别模拟 ADL 行为和跌倒行为。首先，模拟四种跌倒动作，包括前向跌倒、后向跌倒、左向跌倒和右向跌倒，每种行为重复 100 次，共计 400 次。然后，志愿者再模拟 ADL 行为，具体包括走、慢跑、上/下楼梯、躺、起立—坐下、跳跃、弯腰等七类行为，每种动作重复 100 次，共计 700 次。为了保护志愿者不受到伤害，实验场地设置在瑜伽垫。两种测试结果如表 1、表 2 所示。

表 1 跌倒事件测试结果

动作	实验次数(次)	报警次数(次)	正确率(%)
向前跌倒	100	98	98
向后跌倒	100	99	99
向左跌倒	100	99	99
向右跌倒	100	98	98
总计	400	394	98.5

表 2 ADL 事件测试结果

动作	实验次数(次)	报警次数(次)	误报率(%)
走	100	0	0
慢跑	100	2	2
上/下楼梯	100	0	0
躺	100	0	0
起立—坐下	100	0	0
跳跃	100	2	2
弯腰	100	1	1
总计	700	5	0.71

总计试验次数 1100 次，其中跌倒行为次数 400 次，非跌倒行为 700 次，系统正确判断跌倒并报警次数 394 次，系统误认跌倒次数为 5 次，因此由相关公式计算跌倒识别率 98.5%，漏报率 1.5%，ADL 识别率 99.2%，误报率 0.71%。结果表明，提出的加速度向量幅值 SVM 与姿态角相结合的跌倒检测阈值判定算法效果较好，准确度较高，能够精准的区分跌倒行为与 ADL 行为。

4.2 地理位置准确性检测

客户端软件调用百度地图显示的位置与老人所在实际位置之间差距，影响着对其救治的效率。为检测软件显示地理位置的准确性，将系统装置和手机位于同一位置，理论上两者显示的位置将一样。观察软件上地图显示的位置，结果如图 7 所示。

小圆圈表示看护人所在位置，五角星表示老人所在位



图 7 软件调用百度地图显示

置。由图 7 左可知，地图比例尺较大时，两者几乎完全重合；由图 7 右可以看出，两者差距五米左右。故可得到，客户端软件的位置显示准确度高，与实际位置几乎无差距，能够有效帮助看护人对老人的援助和救治。

5 结束语

本文综合运用多传感、无线通信等信息技术，研究并设计了一套基于移动终端的智能看护系统。该系统提供可穿戴式设计，通过对跌倒检测理论分析，提出一种结合加速度向量幅值和姿态角特征量的改进阈值跌倒检测算法，准确识别跌倒行为和 ADL 行为。此外，借助客户端软件从求救短信中获得地理位置信息，调用百度地图方分别显示看护人和老人位置，便于对老人的及时救治。实验结果表明该系统能够有效识别跌倒行为，准确显示老人所在地理位置，应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部. 2003 年中国卫生统计年鉴 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2003.
- [2] 彭宇案. 老年人跌倒干预技术指南 [J]. 中国实用乡村医生杂志, 2012, 19 (8): 1-13.
- [3] Vaidehi V, Ganapathy K, Mohan K, et al. Video based automatic fall detection in indoor environment [A]. Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 2011 International Conference on [C]. IEEE, 2011: 1016-1020.
- [4] 高苗, 朱苏磊. 基于多特征分析的摔倒检测算法设计 [J]. 上海师范大学学报 (自然科学版), 2018, 47 (2): 242-247.
- [5] 沈秉乾, 武志勇, 贺前华, 等. 人体姿势状态判决的跌倒检测方法 [J]. 计算机应用, 2014, 34 (SD): 223-227.
- [6] 薛源, 高向阳. 基于多传感器信息融合的跌倒监测系统设计 [J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33 (5): 712-716.
- [7] 包滨豪, 匡进升, 文世林. 一种鞋垫式跌倒检测装置设计 [J]. 科技与创新, 2018 (5): 126-127.
- [8] 张一鸣, 肖晓萍. 基于 ARM 和 WIFI 通信的智能开关控制器设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (8): 83-87.
- [9] 彭根深. 嵌入式系统在自动化仪表中的应用分析 [J]. 自动化应用, 2018 (11): 57-58.
- [10] 杨梦雨. 基于 MPU6050 的老年人摔倒检测系统设计 [D]. 重庆: 重庆大学, 2017.