

基于智能手表的跌倒检测系统在养老院应用^{*}

宋振兴 姚俊明

(济宁医学院医学信息工程学院 日照 276826)

〔摘要〕 介绍基于智能手表的跌倒监测系统设计及跌倒检测算法等, 评估该系统性能, 指出其能够有效监测跌倒行为, 减少虚假警报, 提供跌倒准确位置, 方便即时施救, 有助于提高养老院对老年人监护质量。

〔关键词〕 智能手表; 跌倒检测系统; 位置; 养老院

〔中图分类号〕 R-056 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2019.05.003

Application of Smartwatch-based Fall Detection System in Nursing Homes SONG Zhenxing, YAO Junming, Medical Information Engineering College, Jining Medical College, Rizhao 276826, China

〔Abstract〕 The paper introduces the design of a smartwatch-based fall detection system and the fall detection algorithm, etc., evaluates the performance of the system, points out that such a system can effectively monitor the act of falling, reduce false alarm and provide the accurate location of the fall, which can facilitate immediate rescue and improvement of tutelage for the elder by the nursing home.

〔Keywords〕 smartwatch; fall detection system; location; nursing home

1 引言

跌倒是老年人发病和死亡的主要因素之一, 2011 年原卫生部统计数据显示^[1]跌倒在国内伤害死亡原因中居于第 4 位, 而在 65 岁以上老年人中居于第 1 位。每年仅在美国就有超过 1 100 万次的跌倒事件^[2]。除造成身体伤害外, 跌倒还会产生严重的

心理后果, 可能导致残疾和行动不便, 对他人的依赖增加, 从而减少老年人的独立性^[3]。

常见的跌倒检测系统是基于强垂直性加速度的检测传感器技术^[4], 当老年人跌倒时发出报警信号。较新的系统通常会考虑其他能够探测设备方向的传感器, 以确定用户发出的信号是否属实, 如是否撒谎或站立等^[5-6]。本文提出一种适用于智能手表^[7]的跌倒检测系统, 方便对用户进行跟踪。跌倒检测系统应用于智能手表, 相当于一个独立的中央基站, 相比于智能手机其优势非常明显, 原因在于通常人们习惯将手机放在口袋中, 只有当智能手机贴近腰部时系统才会有效工作, 其他情况则无效^[8-9]。针对跌倒检测系统提出一种室内定位^[10], 此算法会同时考虑蓝牙信标的接收信号强度指示 (Receive Signal Strength Indicator, RSSI) 以及信标

〔收稿日期〕 2019-01-04

〔作者简介〕 宋振兴, 本科, 发表论文 1 篇; 通讯作者: 姚俊明, 讲师, 发表论文 9 篇。

〔基金项目〕 济宁医学院大学生创新训练计划项目“基于物联网技术的养老院管理系统设计与实现”(项目编号: cx201612)。

放置的空间大小。在该应用的可及范围内位置^[11]模块添加到跌倒检测系统中非常重要。当老人跌倒后能够及时明确跌倒位置,进而采取施救。为最终用户提供最小的成本和设置最优化过程是本系统的目标,如此每个房间使用一个最低限度的蓝牙信标,设计开发出较复杂的算法进行探测。

2 系统设计

2.1 概述

智能手表^[7]内嵌安卓应用程序,利用内置的探测跌倒信息的加速度传感器^[4]收集数据。使用基于阈值的算法来检测跌倒信号,充分考虑用户跌倒后的反应情况、移动距离以及用户位置。在对不同用户进行实验的基础上选择加速度阈值,当发现危急情况时会触发警报,以通知监护人。与传统系统相比智能手表的主要优势在于其直接与护理人员沟通,不涉及基站和集中报警系统,使用智能手表用户是完全自主的,跌倒检测系统是非嵌入性的。

2.2 跌倒检测算法

2.2.1 概述 用户可以像日常操作其他手表一样操作智能手表,不用担心出现任何异常,跌倒检测算法^[12]是在后台服务中不断运行,本系统不会对手表内任何应用程序的正常使用造成干扰。另外为提高系统实用性,必须考虑到电池的消耗。使用基于阈值的算法,与机器学习方法^[13]相比,其具有较低的计算复杂度,因此需要最低的计算能力,通过增加滤波器和使用上下文信息使本系统的灵敏度和特异性最大化。该算法能够区分日常活动和跌倒。模拟跌落示例,见图 1。跌倒模式必须与日常活动模式区分开,从内置三轴加速度传感器^[4]的智能手表以 40 赫兹对加速度数据进行采样,具体而言传感器使用的是能提供无重力分量的加速度信息(线性加速度)的传感器。

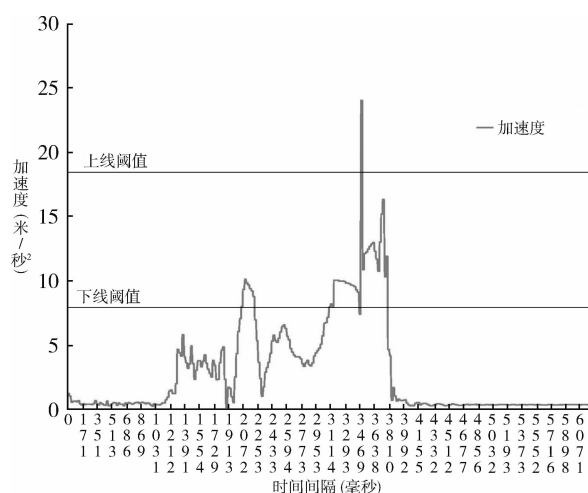


图 1 模拟跌落示例

2.2.2 跌倒模式 算法的下一步是检测可能的跌倒信号。另外加速度阈值必须具有很高的灵活性,这样才能通过分析老年人日常生活的实际活动获取广泛的加速度阈值,从而保持智能手表稳定,用户愿意使用。跌倒信号的真实性的必须满足以下两个条件:(1) 加速度必须超过该用户配置文件中设定的速度范围(如 10~18 米/秒)的上限阈值。(2) 在一定的时间间隔后,加速度必须超过该用户配置文件中设定的速度范围(如 2~7 米/秒)的一个较低阈值。其两个峰值之间的时间差用于表示用户跌倒后的身体反应,而高峰与低峰之间的时间间隔必须是灵活的,但不能超过 0.5 秒,这是跌倒后做出反应的最大时间长度,其好处在于提高算法的特异性,设定这两个阈值的范围能够避免错误的跌倒信号。如果在 6 秒的时间间隔内满足这两个条件,那么有可能是一起跌倒事件^[12]。在该决策模块中每当满足两个超过阈值的条件时计数器就会增加。X 轴和 Y 轴分别定义为计数器的较低可接受值和更高可接受值,跌倒计数器的临界值范围为: $X \leq \text{计数器} < Y$ 。如果计数器 $\geq Y$,就体现出加速度值的差异,表示正在执行另一种活动(如跑步),根据老年人实际日常生活数据得出结论:获取的最佳特异性的

值 Y 为 $5 \sim 10^{[14]}$ 。如果计数器 $< X$, $X=1$ 表示用户可能突然移动手腕, 因此阈值条件不满足, 说明不是一起跌倒事件。跌倒检测算法说明及结构, 见图 2。

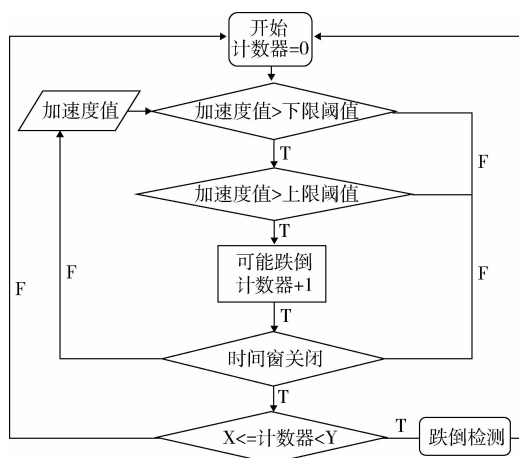


图 2 跌倒检测算法

2.2.3 跌倒后行为 智能手表的一个关键创新之处在于其考虑用户在跌倒事件后的行为。根据跌倒后用户的后续移动可以将跌倒分为 3 种类型: 跌倒后无任何移动、跌倒后少量移动、恢复正常活动。如果用户在跌倒后根本不移动直接发出警报并立即通知监护者; 如果用户在跌倒后能够完全恢复活动, 可自行取消警报, 尽可能减少虚警信号。

2.3 定位

2.3.1 概述 通过获取跌倒精确位置可以减少监护者的反应时间, 能够准确完成任务, 为养老院的老人和监护人员提供即时帮助。使用 iBeacon 技术来实现该方案, 在每个房间安置一个信号浮标, iBeacon 使用蓝牙的低功耗^[15]来传输由兼容的应用程序或操作系统获取的通用唯一标识符, 达到准确定位的目的。

2.3.2 RSSI 和传播模型 在基于 RSSI 的定位中, 从信标发送到移动设备的信息包借助传播模块将 RSSI 映射到远处, 其中传播模块的正确校准至关重要, 因为这种转换方式会显著地影响定位精度。公式 1 给出用于模拟无线信号传播损耗^[16]的广泛已知方法。

$$r = r_0 - 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (1)$$

其中 d 和 d_0 分别表示实际距离和参考距离, r 和 r_0 分别表示实际距离和基准距离处的接收信号功率, X_σ 表示一个随机变量, 它是传输信号中携带的噪音数据, 其数值取决于传输信道、发射机和接收机。假如以 $d_0 = 1$ 米为参考距离, 假设 X_σ 为均值为 0 的高斯分布随机变量, 简化模型如下:

$$r = p - 10n \log_{10} (d) \quad (2)$$

其中 r 是距离 d 处的接收信号功率, p 是从 1 米远的发射机接收的接收机的信号功率, n 代表路径损耗指数。正如在基于蓝牙的依据房间表面积和高度定位方法中所描述的^[17], 接收一个内部和外部阈值。

2.4 房间规模和 RSSI 阈值

2.4.1 概述 设 S 是房间的表面积, h 是房间的高度。假设一个方形房间, 见图 3。内切圆和外切圆的半径分别用公式 3 和 4 计算。

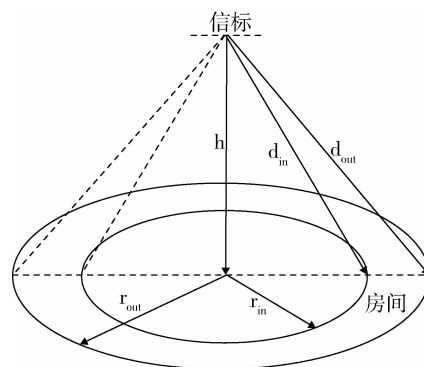


图 3 房间结构

$$r_{in} = \frac{\sqrt{S}}{2} \quad (3)$$

$$r_{out} = \sqrt{\frac{S}{2}} \quad (4)$$

利用毕达哥拉斯定理, 分别用公式 5 和 6 计算其斜边。

$$d_{in} = \sqrt{h^2 + \frac{S}{4}} \quad (5)$$

$$d_{out} = \sqrt{h^2 + \frac{S}{2}} \quad (6)$$

通过将计算得到的斜边的值代入传播模型公式 3, 即可获得这些距离处的预期 RSSI 值。将内部和

外部 RSSI 阈值分别定义为上述正方形房间的内切圆和外切圆处的预期 RSSI 值, 然后用公式 7 和 8 计算阈值。

$$threshold_{in} = p - 10n \log_{10}(\sqrt{h^2 + \frac{S}{4}}) \quad (7)$$

$$threshold_{out} = p - 10n \log_{10}(\sqrt{h^2 + \frac{S}{2}}) \quad (8)$$

2.4.2 RSSI 分类定位算法 对于每个蓝牙信标内部和外部阈值按照上述方法计算^[17], 根据获取的 RSSI 值, 其属于以下类别之一: 当 RSSI 大于内部阈值时属于强级别 (S), 当 RSSI 介于内部和外部阈值之间时属于中等级别 (M), 当 RSSI 小于外部阈值时属于弱级别 (W), 当没有特定信标的信号时找不到任何类别 (NF)。基于这些类别的意义对其进行排序: $S > M > W > NF$ 。任何时刻每个信标 RSSI 值都是获取到的 N 个最新 RSSI 值的平均值, 使得每个信标可以被归为上述类别之一, 然后选择最重要的非空类别。如果只有一个信标属于这个类别, 过程结束, 假设该特定信标被放置在房间中。当多个信标属于这个类别时计算每个信标的得分, 该得分等于其测量的 RSSI 与其下阈值之间的差。当 S 是最重要的非空类别时下限阈值等于内部阈值, 当 M 或 W 是最重要的非空类别时外部阈值可以由用户选择的 RSSI 读取值 (如 -127) 的全局最小值, 然后得分最高的信标获胜, 在最终情况下放在最大房间的信标获胜。

3 系统性能评估

3.1 跌倒检测

通过反复多次模拟仿真老年人的跌倒数据以及其实跌倒数据对跌倒检测算法^[12]进行分析评估, 最终验证智能手表的可靠性。日常生活活动能力包括走路、上楼梯、下楼梯、从椅子上站起、坐在椅子上等。基于这些调查数据, 可看出该算法的精确度较高。对于模拟跌倒组, 从参与测试的老年人中得到 93.48% 的灵敏性和 98.54% 的特异性, 灵敏性和特异性的平均值表示系统的准确度达到 96.01%。借助于第 3 方提供的云平台部署该检测系统将为养老院更好地监护老年人提供帮助。

3.2 室内定位

采用 Kontakt.io 智能信标, 其默认配置参数设置成发射频率为 3 瓦、间隔时间为 350 毫秒, 然后收集整个楼层中每个房间设定区域内的 RSSI 数据, 对每个点上的每个信标每秒收集共 200 条 RSSI 数据, 接收器放置在离地面大约 70 厘米的非导体表面上。为对本应用程序构建特效的传播模型, 在走廊中心放置一个蓝牙信标, 在距信标 0.5 ~ 7 米距离范围内的几个点进行多次测量, 通过公式 3 得到传播模型参数估计值分别为 $p = -70.09$ 和 $n = 1.95$ 。另外需考虑使用算法对收集的 RSSI 数据进行误差分析, 力求达到最优的测试结果。

4 结语

跌倒检测是改善老年人日常生活质量的一个重要研究领域。本文介绍一个没有基站、中央报警站并工作在独立智能手表中的跌倒检测系统。对于用户来说减少佩戴医疗设备带来的烦恼。智能手表使用一种兼顾跌倒后反应和后续活动的检测算法, 有利于将跌倒模式与真实跌倒匹配, 减少虚假警报情况。本文主要创新之处在于使用一种基于阈值的方法使智能手表向管理员提供用户准确位置, 介绍同时考虑蓝牙信标接收信号强度指示和信标放置所需空间大小的算法。此外使用模拟和真实数据对系统进行测试, 验证跌倒检测系统的可行性, 认为该系统能够在养老院中发挥作用。

参考文献

- 1 焦伟国, 周明. 社区老年人下肢骨骼肌肌力衰变的趋势和特点 [J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28 (5): 440-444.
- 2 Ryynanen O P, Kivela S L, Honkanen R, et al. Falls and Lying Helpless in the Elderly [J]. Zeitschrift für Gerontologie, 1992, 25 (4): 278-282.
- 3 Sposaro F, Tyson G. Ifall: an android application for fall monitoring and response [J]. 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2009 (2): 6119-6122.

(下转第 27 页)

卡受理环境,统一身份认证体系,在各类公众门户、人工收费柜台、自助机、医生工作站、取药窗口、检查检验登记窗口等改造点实行“主扫”或“被扫”方式的识读接口改造。最后在委端公共服务平台丰富各类“互联网+”应用,使患者在各医疗就诊环节、档案信息共享调阅、家庭医生签约服务、健康咨询、慢病管理等方面得到丰富的场景应用。通过该项目逐步打造健康信息便民惠民新模式,改善居民用卡体验,培养其使用电子健康卡就医习惯。

5 成效

电子健康卡推进多卡融合建设以及实名制就医,被誉为“互联网+健康”便民服务应用的“金钥匙”,通过电子健康卡实现医院就诊卡、市民卡、社保卡多卡合一,市民只需携带手机便可出入医院,随时随地享受健康服务^[4]。电子健康卡以全国统一标准的居民电子健康卡(虚拟卡)为主索引和身份认证,贯穿就医诊疗、免疫规划、妇幼保健、费用结算、信息查询、健康管理等各类场景,有效共享全员人口信息、电子健康档案、电子病历,解

决跨医疗机构、跨地域医疗健康服务“一卡通”问题。项目推进电子支付,整合线上线下资源,精简流程,着力构建医疗卫生服务新模式,使信息化在推进智慧医疗、便民就医方面发挥更多作用。通过流程整合,将导诊、挂号、候诊、缴费、检查、取药到配送、咨询等 11 个线下就医环节精简为 4 个,就诊时间明显缩短,等候时间缩短 2/3,为推动我国电子健康卡的建设做出积极探索。

参考文献

- 1 邹玲,张晓祥,李金,等.基于新农合卡的居民健康卡建设实践[J].中国数字医学,2016,11(3):108-113.
- 2 石小宏.居民健康卡在雅安首发[N].四川日报,2012-12-28(002).
- 3 周乐明,王显科.发行居民健康卡的思考[J].医学信息学杂志,2017,38(10):16-20.
- 4 张学高,周恭伟,汤学军,等.电子健康卡应用理论与实践[M].北京:人民卫生出版社,2018:29.
- 5 卫生部统计信息中心.厦门市民去医院看病 手机扫一扫就可以搞定[J].中国卫生信息管理杂志,2018,15(1):8-9.
- 4 彭亚平.一种基于加速度传感器的摔倒检测腰带[J].电子测量技术,2018,41(11):117-120.
- 5 Dai J, Bai X, Yang Z, et al. Perfallid: a pervasive fall detection system using mobile phones [C]. Mannheim: IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 2010: 292-297.
- 6 Lih Jen Kau, Chih Sheng Chen. A Smart Phone - based Pocket Fall Accident Detection, Positioning, and Rescue System [J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2015, 19(3): 75-80.
- 7 刘晓菲.面向中老年人危急救助智能手表的若干关键技术研究[D].青岛:中国海洋大学,2015.
- 8 Hou Y, Li N, Huang Z. Triaxial Accelerometer - based Real Time Fall Event Detection [C]. London: International Conference on Information Society (i-Society), 2012: 386-390.
- 9 Li Y, Chen G, Shen Y, et al. Accelerometer - based Fall Detection Sensor System for the Elderly [J]. 2012 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems, 2012(3): 1216-1220.
- 10 徐伟.智能手表室内定位技术简析[J].科技与创新,2018,21(1):15-17.
- 11 任磊.移动设备佩戴位置自适应识别的跌倒检测方法[J].计算机工程与应用,2018,54(21):7-12.
- 12 忽丽莎.基于可穿戴设备的跌倒检测算法综述[J].浙江大学学报,2018,52(9):1717-1728.
- 13 Aguiar B, Rocha T, Silva J, et al. Accelerometer - based Fall Detection for Smartphones [C]. Lisbon: IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2014: 16.
- 14 Kostopoulos P, Nunes T, Salvi K, et al. Increased Fall Detection Accuracy in an Accelerometer - based Algorithm Considering Residual Movement [C]. Los Angeles: International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, 2015.
- 15 王骥.基于蓝牙低功耗技术的智能健康监测手表系统[J].生物医学工程学,2017,34(4):557-564.
- 16 Hashemi H. The Indoor Radio Propagation Channel [J]. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(7): 943-968.
- 17 Kyritsis A I, Kostopoulos P, Deriaz M, et al. A Ble - based Probabilistic Room - level Localization Method [C]. Barcelona: Proceedings of the 6th ICL - GNSS International Conference On Localization and GNSS, 2016.