



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106875630 A

(43)申请公布日 2017.06.20

(21)申请号 201710144772.6

(22)申请日 2017.03.13

(71)申请人 中国科学院计算技术研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村科学院  
南路6号

(72)发明人 陈益强 忽丽莎 高晨龙 谢涛  
沈建飞

(74)专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理  
有限公司 11006

代理人 祁建国 梁挥

(51)Int.Cl.

G08B 21/04(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

### (54)发明名称

一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法  
及系统

### (57)摘要

本发明涉及一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法和系统,该跌倒检测方法包括:采集用户的日常行为数据;对该日常行为数据进行合成、滤波等处理生成原始数据;利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集;利用第一层一类分类模型对该样本集中的每一个样本进行识别,将识别后的结果发送至第二层的加权二类分类模型;第二层的加权二类分类模型负责对加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将其送至第三层的规则二类分类模型;第三层的规则二类分类模型根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,判断用户是否发生跌倒行为。本发明通过以上方法实现了对用户跌倒行为的准确判断。

基于跌倒数据的一类分类

基于跌倒与疑似跌倒数据的  
加权二类分类

基于跌倒规则的二类分类

1. 一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其特征在于,该跌倒检测方法包括:  
步骤1,利用穿戴式运动传感器采集用户的日常行为数据;  
步骤2,对采集的该日常行为数据进行合成、滤波处理操作,生成原始数据;  
步骤3,利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集;  
步骤4,利用第一层的一类分类模型对该样本集中的每一个样本进行识别,将识别结果为“跌倒”的跌倒样本组合为跌倒样本集,并将该跌倒样本集发送至第二层的加权二类分类模型;  
步骤5,第二层的加权二类分类模型负责对该跌倒样本集中所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将该加权跌倒样本发送至第三层的规则二类分类模型;  
步骤6,第三层的规则二类分类模型根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,判断用户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒行为则转步骤7,反之则转步骤1;  
步骤7,触发相应的报警机制,如需继续检测,则转步骤1,否则结束。
2. 如权利要求1所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其特征在于,  
通过对预先给定样本集进行学习,建立该一类分类模型;并用该一类分类模型对该预先给定样本集中的每一个样本进行识别,生成预先给定跌倒样本集;  
通过对该预先给定跌倒样本集进行学习,建立该加权二类分类模型;  
通过对预先给定跌倒规则进行学习,建立该规则二类分类模型。
3. 如权利要求2所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其特征在于,该一类分类模型为支持向量数据描述模型,该支持向量数据描述模型根据该预先给定样本集,生成一个超球面,并通过判断该样本是否位于该超球面以内,若该样本位于该超球面以内,则将该样本识别为跌倒样本。
4. 如权利要求2所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其特征在于,该加权二类分类模型为加权超限学习机模型,以对该跌倒样本集中的跌倒样本与非跌倒样本分配不同的权值。
5. 如权利要求1所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其特征在于,该跌倒规则具体为,
  - a) 失重,在失重过程中,合成加速度的值由重力加速度逐渐下降并趋向于零;
  - b) 撞击,在撞击动作发生时之前,身体向下的速度已经达到了最大值,此时当与地面或其他物体突然发生撞击,使得合成加速度瞬间达到了一个超过两倍重力加速度的峰值的最高值,此时速度骤减为零;
  - c) 静止,加速度计的X,Y,Z轴读数以及合成加速度读数均处于平稳状态。
6. 一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其特征在于,该跌倒检测系统包括:  
数据采集模块,用穿戴式运动传感器采集用户的日常行为数据;  
数据处理模块,用于对采集的该日常行为数据进行合成、滤波处理操作,生成原始数据;  
样本生成模块,利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集;  
第一层识别模块,该第一层识别模块包括一类分类模型,用于对该样本集中的每一个

样本进行识别,将识别结果为“跌倒”的跌倒样本组合为跌倒样本集,并将该跌倒样本集发送至第二层加权模块;

第二层加权模块,该第二层加权模块包括加权二类分类模型,用于对该跌倒样本集中所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将该加权跌倒样本发送至第三层判断模块;

第三层判断模块,该第三层判断模块包括规则二类分类模型,用于根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,判断用户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒行为则转步骤7,反之则回到数据采集模块,继续采集用户的日常行为数据;

报警触发模块,用于触发相应的报警机制,如需继续检测,则回到数据采集模块,继续采集用户的日常行为数据,否则结束。

7.如权利要求6所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其特征在于,

通过对预先给定样本集进行学习,建立该一类分类模型;并用该一类分类模型对该预先给定样本集中的每一个样本进行识别,生成预先给定跌倒样本集;

通过对该预先给定跌倒样本集进行学习,建立该加权二类分类模型;

通过对预先给定跌倒规则进行学习,建立该规则二类分类模型。

8.如权利要求7所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其特征在于,该一类分类模型为支持向量数据描述模型,该支持向量数据描述模型根据该预先给定样本集,生成一个超球面,并通过判断该样本是否位于该超球面以内,若该样本位于该超球面以内,则将该样本识别为跌倒样本。

9.如权利要求7所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其特征在于,该加权二类分类模型为加权超限学习机模型,以对该跌倒样本集中的跌倒样本与非跌倒样本分配不同的权值。

10.如权利要求6所述的基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其特征在于,该跌倒规则具体为,

a)失重,在失重过程中,合成加速度的值由重力加速度逐渐下降并趋向于零;

b)撞击,在撞击动作发生时之前,身体向下的速度已经达到了最大值,此时当与地面或其他物体突然发生撞击,使得合成加速度瞬间达到了一个超过两倍重力加速度的峰值的最高值,此时速度骤减为零;

c)静止,加速度计的X,Y,Z轴读数以及合成加速度读数均处于平稳状态。

## 一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及普适计算和健康监护领域,具体涉及一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法及系统。

### 背景技术

[0002] 2016年1月22日人社部新闻发言人李忠指出,截止2014年,中国60岁以上老年人口达到2.1亿,占总人口的比例15.5%,而联合国标准,60岁以上老年人口达10%即视为老龄化社会。随着年龄的日益增大,老年人的生理机体功能逐渐衰退,对意外事件的反应日益缓慢,更易发生跌倒。跌倒已成为高龄老年人群的首位伤害死因,其发生率高,损伤严重,对个人、家庭还是社会均带来极大的负担,已逐步成为关乎老年人健康的社会公共问题。因此,如何对跌倒行为进行实时精准地检测,成为一个十分重要的社会问题。

[0003] 纷繁众多的可穿戴设备日益涌入人们的日常生活,广泛应用于健康监护、运动保健等领域。可穿戴设备利用内嵌的微型传感器采集数据,可以有效挖掘用户的日常行为。同时,可穿戴设备具有价格低廉、配置简单、易携带等优点,对于应对社会老龄化挑战具有重要的现实意义。因此,本发明采用可穿戴设备作为研究跌倒检测的工具。

[0004] 跌倒作为一种典型的异常行为,具有其自身的特点。如图1所示,通常情况下跌倒包含三个状态:失重、撞击、静止。跌倒刚开始时,人的双脚会逐渐离开地面并在重力的作用下自由向下坠落,人此时处于某种程度的失重状态。在撞击动作发生时,身体向下的速度达到了最大值,此时与地面或其他物体突然发生撞击,使得合成加速度瞬间达到了最高值。在撞击发生后的某个时间段内,无论跌倒的严重程度如何,人会处于一种相对静止的状态。此外,跌倒还经常伴随着人体朝向的变化,以及各个状态之间的时间约束等特点。例如:人体朝向的变化是指,撞击动作发生之后人体的朝向与撞击之前会有所不同。

[0005] 基于可穿戴设备的跌倒检测方法可分为阈值法、机器学习法和阈值法与机器学习法的组合方法。阈值法通过比较某一个或几个特征与相应阈值的大小关系来识别当前是否处于跌倒的某个状态,进而判断当前行为是否为跌倒。例如专利CN201610058318.4通过三轴传感器实时监测人体活动状态信息,并计算矢量和,将其与预先设定的阈值进行比较,从而判断是否发生了跌倒;专利CN201610062316.2采用基于特征量阈值的方法,计算合加速度特征量A、合成角速度特征量W和相似度特征量S,与信号向量模积分后得到的阈值对比进行判断。机器学习法将跌倒检测看作一个典型的分类问题,基于训练数据学习分类模型并用于跌倒检测。例如专利CN201610152570.1基于卡尔曼滤波与K近邻(KNearestNeighbor, KNN)算法对人体活动状态进行分类建模,识别出人体的运动类型,判断模块做出是否为“跌倒”的决策;专利CN201610083726.5采用支持向量机(SupportVectorMachine, SVM)算法构建分类器;获取跌倒样本和日常活动行为样本构成训练集,对分类器进行训练。基于组合方法的跌倒检测往往结合阈值法和机器学习法,对跌倒行为进行判断,例如专利CN201010285585.8在阈值判断之后,利用一类支持向量机进行二次判断,从而判断是否为跌倒。

[0006] 跌倒检测是一个代价敏感的问题,即跌倒行为的漏检后果将会十分严重,要求模型较低的漏警率。另一方面,频繁的误报警会引起用户的反感,降低其对检测系统的信任度,不利于方法的实际应用,又要求模型的误警率尽可能低。虽然跌倒检测已有较多的方法,但已有方法难以同时满足低漏警率和低误警率的要求。造成这个问题的原因主要有三个方面:1、已有方法没有综合考虑模型漏警率和误警率,而是使用单一的评判标准(例如精度);2、采用常规的机器学习分类方法,没有考虑跌倒这一异常行为的特殊性;3、由于部分日常行为(如跑步、下楼梯等)的瞬间过程与跌倒行为的相似度较高,外加噪声等对数据的影响,降低了模型检测的准确率。

## 发明内容

[0007] 作为健康安全的重要保障,跌倒漏检测的后果往往是致命的,而频繁的误报警也会引起用户对系统的反感。为有效降低跌倒检测的漏警率和误警率,增加跌倒检测方法对跌倒行为的区分能力,同时过滤噪声数据对模型的影响,本发明提出了一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其中该跌倒检测方法包括:

[0008] 步骤1,利用穿戴式运动传感器采集用户的日常行为数据;

[0009] 步骤2,对采集的该日常行为数据进行合成、滤波处理操作,生成原始数据;

[0010] 步骤3,利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集;

[0011] 步骤4,利用第一层的一类分类模型对该样本集中的每一个样本进行识别,将识别结果为“跌倒”的跌倒样本组合为跌倒样本集,并将该跌倒样本集发送至第二层的加权二类分类模型;

[0012] 步骤5,第二层的加权二类分类模型负责对该跌倒样本集中所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将该加权跌倒样本发送至第三层的规则二类分类模型;

[0013] 步骤6,第三层的规则二类分类模型根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,判断用户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒行为则转步骤7,反之则转步骤1;

[0014] 步骤7,触发相应的报警机制,如需继续检测,则转步骤1,否则结束。

[0015] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其中

[0016] 通过对预先给定样本集进行学习,建立该一类分类模型;并用该一类分类模型对该预先给定样本集中的每一个样本进行识别,生成预先给定跌倒样本集;

[0017] 通过该预先给定跌倒样本集进行学习,建立该加权二类分类模型;

[0018] 通过该预先给定跌倒规则进行学习,建立该规则二类分类模型。

[0019] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其中该一类分类模型为支持向量数据描述模型,该支持向量数据描述模型根据该预先给定样本集,生成一个超球面,并通过判断该样本是否位于该超球面以内,若该样本位于该超球面以内,则将该样本识别为跌倒样本。

[0020] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其中该加权二类分类模型为加权超限学习机模型,以对该跌倒样本集中的跌倒样本与非跌倒样本分配不同的权值。

[0021] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法,其中该跌倒规则具体为,

[0022] a) 失重,在失重过程中,合成加速度的值由重力加速度逐渐下降并趋向于零;

[0023] b) 撞击,在撞击动作发生时之前,身体向下的速度已经达到了最大值,此时当与地面或其他物体突然发生撞击,使得合成加速度瞬间达到了一个超过两倍重力加速度的峰值的最高值,此时速度骤减为零;

[0024] c) 静止,加速度计的X,Y,Z轴读数以及合成加速度读数均处于平稳状态。

[0025] 本发明还提供一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该跌倒检测系统包括:

[0026] 数据采集模块,用穿戴式运动传感器采集用户的日常行为数据;

[0027] 数据处理模块,用于对采集的该日常行为数据进行合成、滤波处理操作,生成原始数据;

[0028] 样本生成模块,利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集;

[0029] 第一层识别模块,该第一层识别模块包括一类分类模型,用于对该样本集中的每一个样本进行识别,将识别结果为“跌倒”的跌倒样本组合为跌倒样本集,并将该跌倒样本集发送至第二层加权模块;

[0030] 第二层加权模块,该第二层加权模块包括加权二类分类模型,用于对该跌倒样本集中所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将该加权跌倒样本发送至第三层判断模块;

[0031] 第三层判断模块,该第三层判断模块包括规则二类分类模型,用于根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,判断用户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒行为则转步骤7,反之则回到数据采集模块,继续采集用户的日常行为数据;

[0032] 报警触发模块,用于触发相应的报警机制,如需继续检测,则回到数据采集模块,继续采集用户的日常行为数据,否则结束。

[0033] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中

[0034] 通过对预先给定样本集进行学习,建立该一类分类模型;并用该一类分类模型对该预先给定样本集中的每一个样本进行识别,生成预先给定跌倒样本集;

[0035] 通过该预先给定跌倒样本集进行学习,建立该加权二类分类模型;

[0036] 通过对预先给定跌倒规则进行学习,建立该规则二类分类模型。

[0037] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该一类分类模型为支持向量数据描述模型,该支持向量数据描述模型根据该预先给定样本集,生成一个超球面,并通过判断该样本是否位于该超球面以内,若该样本位于该超球面以内,则将该样本识别为跌倒样本。

[0038] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该加权二类分类模型为加权超限学习机模型,以对该跌倒样本集中的跌倒样本与非跌倒样本分配不同的权值。

[0039] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该跌倒规则具体为,

[0040] a) 失重,在失重过程中,合成加速度的值由重力加速度逐渐下降并趋向于零;

[0041] b) 撞击,在撞击动作发生时之前,身体向下的速度已经达到了最大值,此时当与地面或其他物体突然发生撞击,使得合成加速度瞬间达到了一个超过两倍重力加速度的峰值的最高值,此时速度骤减为零;

[0042] c) 静止,加速度计的X,Y,Z轴读数以及合成加速度读数均处于平稳状态。

[0043] 由以上方案可知,本发明的优点在于,相比于现有技术,本发明提供的层次分类跌

倒检测方法以可穿戴传感数据作为目标对象,利用分层架构逐步解决跌倒检测过程中的各项问题。通过将跌倒检测这一多目标(高检测率,低误警率)的复杂问题化解为几个单目标(最小包围球、F-Score最高,误警率最低)可独立求解的简单问题,再利用分而治之策略,最终将构建的诸多模型以分层的架构相互关联,最终满足跌倒检测任务的总需求。

#### 附图说明

- [0044] 图1为跌倒行为的三个阶段加速度示意图;
- [0045] 图2为本发明基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法框架图;
- [0046] 图3为本发明基于层次分类的可穿戴跌倒检测流程图;
- [0047] 图4为本发明SVDD模型示意图;
- [0048] 图5为本发明DT模型示意图。

#### 具体实施方式

[0049] 为了让本发明的上述特征和效果能阐述的更明确易懂,下文特举实施例,并配合说明书附图作详细说明如下。

[0050] 作为健康安全的重要保障,跌倒漏检测的后果往往是致命的,而频繁的误报警也会引起用户对系统的反感。为有效降低跌倒检测的漏警率和误警率,增加跌倒检测方法对跌倒行为的区分能力,同时过滤噪声数据对模型的影响,本发明提出了一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测方法框架,如图2所示,第一层构建囊括所有跌倒样本的最小超球,精准锁定目标域(跌倒样本的分布空间);针对超球内跌倒与非跌倒样本分布的不平衡程度,通过给不同类别的样本分别设置不同的权值,第二层构建加权的分类模型提高两类的整体识别能力;针对超球内识别结果为“跌倒”的样本,第三层检查“跌倒”样本发生前后是否满足跌倒相关规则,从而降低跌倒的误警率。

[0051] 首先,通过穿戴式运动传感器,采集用户日常行为数据,并通过预处理、特征提取等前期预处理,将该日常行为数据处理为样本集,此阶段的样本集中包含跌倒样本与非跌倒样本,该跌倒样本包含确定跌倒样本与疑似跌倒样本,并用第一层的一类分类模型对该样本集中的每一个样本进行识别,并将识别结果为“跌倒”的跌倒样本发送至第二层的加权二类分类模型进行进一步处理。其中该一类分类模型的建立方法为,对预先给定样本集进行学习。用建好的一类分类模型对该预先给定样本集中的每一个样本进行识别,生成预先给定跌倒样本集,以供第二层加权二类分类模型进行学习。该预先给定样本集可为大数据统计下的样本集,接下来的加权二类分类模型和规则二类分类模型的建立思路也是如此,该一类分类模型用于识别结果为“跌倒”的跌倒数据样本,作为整个可穿戴跌倒检测方法框架的第一层,目的是降低跌倒漏警率;

[0052] 其次,第二层的加权二类分类模型对该跌倒样本进行接收,并对所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,目的是使得所有该跌倒样本都有较高的辨识能力,并将该加权跌倒样本发送至第三层的规则二类分类模型进行进一步处理。其中该加权二类分类模型的建立方法为,对该预先给定跌倒样本集进行学习。该加权二类分类模型作为整个可穿戴跌倒检测方法框架的第二层,目的是提高总体的识别精度;

[0053] 最后,第三层的规则二类分类模型根据该加权跌倒样本和跌倒规则,分析判断用

户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒则触发相应的警报机制。其中该规则二类分类模型的建立方法为,对预先给定跌倒规则进行学习。该规则二类分类模型作为整个可穿戴跌倒检测方法框架的第三层,目的是过滤、平滑跌倒的检测结果,使得跌倒的误警率进一步降低。其中该分析判断过程为,判断该加权跌倒样本中的相邻样本,是否满足该跌倒规则(例如:撞击后人体通常处于平躺状态,撞击前后人体朝向通常会发生变化,跌倒后的一段时间内人体处于相对静止状态),若满足则判断为用户发生跌倒行为,若不满足则判断为用户没有发生跌倒行为。

[0054] 进一步来说,基于层次分类的可穿戴跌倒检测流程图如图3所示,主要包括以下步骤:

[0055] 步骤1,利用加速度计、陀螺仪等穿戴式运动传感器采集用户的日常行为数据;

[0056] 步骤2,对采集的该日常行为数据进行合成、滤波等处理操作,生成原始数据;

[0057] 步骤3,利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集,需要说明的是,本步骤生成的样本包括跌倒样本与非跌倒样本,该跌倒样本可用于训练模型或测试;

[0058] 步骤4,利用第一层的一类分类模型对该样本集中的每一个样本进行识别,将识别结果为“跌倒”的跌倒样本组合为跌倒样本集,并将该跌倒样本集发送至第二层的加权二类分类模型,其中如果识别结果为“跌倒”,则转步骤5,反之,则转步骤1,该一类分类模型的构建过程可为,以先前样本集中的跌倒样本为基础,进行学习训练,在第一层构建一类分类模型;

[0059] 步骤5,针对第一层(步骤4)中识别结果为“跌倒”的跌倒样本,第二层的加权二类分类模型对该跌倒样本集进行接收,并对该跌倒样本集中所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将该加权跌倒样本发送至第三层的规则二类分类模型进行进一步处理;

[0060] 步骤6,针对第二层(步骤5)中声场的该加权跌倒样本,第三层的规则二类分类模型根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,分析判断用户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒则转步骤7,反之则转步骤1;

[0061] 步骤7,触发相应的报警机制,如需继续检测,则转步骤1,否则结束。

[0062] 其中该一类分类模型可为支持向量数据描述模型,该支持向量数据描述模型根据该预先给定样本集,生成一个超球面,并通过判断该样本是否位于该超球面以内,若该样本位于该超球面以内,则将该样本识别为跌倒样本;该加权二类分类模型为加权超限学习机模型,以对该跌倒样本集中的跌倒样本与非跌倒样本分配不同的权值。

[0063] 在基于层次分类的跌倒检测框架中,涉及以下三个模型:

[0064] 1、一类分类模型。本发明主要构建一个支持向量数据描述(Support Vector Domain Description,SVDD)模型。即求一个中心为 $a$ ,半径为 $R$ 的超球,在囊括尽可能多的跌倒训练样本的同时要求球半径尽可能的小;

[0065] 2、加权二类分类模型。本发明主要构建一个加权超限学习机(Weighted ELM)模型。基于跌倒与非跌倒数据不平衡的训练集,通过给不同类别的样本分配不同的权值,学习一个单层前馈神经网络模型,使得模型的F值(F-Score)值尽可能的高;

[0066] 3、基于规则的二类分类模型。本发明针对跌倒这一异常行为的特殊性,通过判断



撞击后人体通常处于平躺状态,撞击前后人体朝向通常会发生变化,跌倒后的一段时间内人体处于相对静止状态等构造一个规则集,从而过滤掉尽可能多的疑似跌倒(伪跌倒);

[0067] 本发明不限于上述方法,第一层的SVDD可采用任何一类分类算法;第二层的WeightedELM可采用任何加权二类分类算法;第三层基于规则的二类分类模型可采用决策树(Decision Tree,DT)、随机森林(Random Forest,RF)或其他基于规则的分类算法;第二层的F-Score可以采用ROC,G-Means等其他衡量两类数据集整体识别能力的度量标准。

[0068] 基于三层的跌倒检测方法自上而下包含三个模型:一类分类模型SVDD,加权二类分类模型WeightedELM,基于跌倒规则的二类分类模型DT.下面对这三个模型进行详细介绍。

[0069] 一、一类分类模型SVDD

[0070] SVDD的目标是精准获取跌倒样本的分布区域,其基本思想是学习一个超球,包裹尽可能多的跌倒样本,同时球的半径也不会太大。二维空间中SVDD的模型示意图如图4所示,图4中的圆圈表示跌倒样本,叉叉表示非跌倒样本。

[0071] 给定由 $N_1$ 个跌倒样本构成的训练集 $\{x_i \in R^d | i=1, \dots, N_1\}$ ,其中 $x_i$ 表示第 $i$ 个训练样本,特征维度为 $d$ 。求解SVDD的过程即为求一个中心为 $a$ ,半径为 $R$ 的球面。SVDD的优化问题如下:

$$[0072] \quad \min_{a, R, \xi} R^2 + C \sum_i \xi_i$$

$$[0073] \quad s.t. (x_i - a)^T (x_i - a) \leq R^2 + \xi_i, \forall i$$

$$[0074] \quad \xi_i \geq 0, \forall i$$

[0075] 其中 $\xi_i$ 表示松弛变量,衡量样本 $x_i$ 在训练过程中的错分程度, $\xi$ 表示由 $N_1$ 个 $\xi_i$ 组成的 $N_1$ 维向量; $T$ 表示矩阵转置; $C$ 是惩罚参数,用于权衡经验风险最小化与泛化能力最大化两个目标。在SVDD的预测阶段,判断一个样本 $z \in R^d$ 是否为跌倒,即看该样本 $z$ 是否位于超球面以内,即判断 $(z-a)^T (z-a) \leq R^2$ 是否成立,若成立,则SVDD的识别结果为“跌倒”将该样本识别为跌倒样本;反之,则为“非跌倒”将该样本识别为非跌倒样本。所有被SVDD判别为“跌倒”的跌倒样本则会进入WeightedELM进行二次判断。

[0076] 二、加权二类分类模型WeightedELM

[0077] 经过SVDD后,目标域(跌倒样本的分布区域)已被缩减至一个相对较小的子区域。在层次分类模型的训练过程中,只有那些被第一层的SVDD判别为“跌倒”的训练样本才可以进入第二层,参与训练加权二类分类模型WeightedELM。然而这里的“跌倒”是SVDD对样本的预测类别,并非样本的真实类别。由于SVDD的训练过程要求包含尽可能多地跌倒样本,导致部分非跌倒样本也被包围在超球中(见图4)。WeightedELM的训练过程即是以超球中的所有跌倒与非跌倒样本作为训练集的。针对目标域中包含的所有跌倒样本与少量非跌倒样本组成的不平衡集合,首先给不同类别的样本分配不同的权值,基于加权后的训练样本集构建WeightedELM,使得模型的G-Means尽可能高,保证对目标域中两种类别(跌倒与非跌倒)的样本都具有较高的辨识能力。

[0078] 假定目标域中所有的跌倒与非跌倒样本 $x_j$ 共计 $N_2$ 个,组成的集合由集 $\{(x_j, t_j) \in R^d \times R^2 | j=1, \dots, N_2\}$ 表示,其中 $t_j$ 表示第 $j$ 个样本 $x_j$ 的类别标签,取值为 $(1, -1)^T$ 或 $(-1, 1)^T$ ,分

别表示样本 $x_j$ 为跌倒或非跌倒样本。WeightedELM的优化问题如下：

$$[0079] \quad \min_{\beta} \frac{1}{2} \|\beta\|^2 + \frac{CW}{2} \sum_j \|\beta h(x_j) - t_j\|^2$$

[0080] 其中 $\beta$ 是要求解的自变量； $h(x)$ 是将样本 $x$ 从原始 $d$ 维空间映射到某个高维空间的映射函数；惩罚参数的解释见“一、一类分类模型SVDD”部分； $W$ 是 $N_2 \times N_2$ 的对角权值矩阵， $W$ 的对角线元素 $W_{jj}$ 表示样本 $x_j$ 的权值。与大类的训练样本相比，小类的训练样本通常会按照某种规则赋予一个相对比较大的权值。

[0081] 三、基于跌倒规则的二类分类模型DT

[0082] 利用SVDD可以有效获取跌倒样本的分布区域；利用Weighted ELM可以精准区分目标域中的跌倒与非跌倒样本；然而由于个别正常行为（如跑步、下楼梯等）的瞬间过程与跌倒的相似度较高，外加噪声数据的影响，跌倒检测的误警率仍然可能会较高。因此，DT用于对Weighted ELM识别结果为“跌倒”的样本进行再次过滤，降低误警率。

[0083] 跌倒作为一种特殊的异常行为，存在一些特定的规律。根据跌倒行为的几个阶段（如图1所示）可以看出，常规的跌倒行为发生前后通常存在如下规律：撞击后人体通常处于平躺状态、撞击前后人体朝向通常会发生变化、跌倒后的一段时间内人体处于相对静止状态等，本发明采用的测量手段（跌倒规则）为，利用穿戴在身上的运动传感器采集数据并感知人身体的运动情况，根据跌倒行为特有的规律对数据进行分析并最终决策是否发生了跌倒。以穿戴在腰部的三轴加速度计为例，经常使用的指标为加速度计的X、Y、Z轴的原始读数，以及合成加速度（X、Y、Z轴读数的均方根）读数。具体来说本发明利用穿戴在用户身上的一种或多种运动传感器可以有效感知用户的运动情况，从而检测用户是否发生了跌倒。我们以腰部的加速度读数为例介绍跌倒这种异常行为的典型特性。a) 失重。跌倒刚开始时，人的双脚会逐渐离开地面并在重力的作用下自由向下坠落，人此时处于某种程度的失重状态。由于仅受重力作用，在与地面撞击之前身体向下的速度会逐渐增大。在失重过程中，合成加速度的值由重力加速度（1g）逐渐下降并趋向于零（见图1失重状态下的“均方根”虚线）。b) 撞击。在撞击动作发生时之前，身体向下的速度已经达到了最大值，此时当与地面或其他物体突然发生撞击，使得合成加速度瞬间达到了一个超过2g的峰值（见图1撞击状态下的“均方根”虚线）最高值，此时速度骤减为零。c) 在撞击发生后的某个时间段内，无论跌倒的严重程度如何，人会处于一种相对静止的状态，具体表现为图1中的静止状态下，加速度计的X、Y、Z轴读数以及合成加速度读数均处于一种相对平稳的状态。此外，跌倒还经常伴随着人体朝向的变化，以及各个状态之间的时间约束等特点。例如：人体朝向的变化是指，撞击动作发生之后人体的朝向与撞击之前会有所不同（见图1中X、Y、Z轴读数在撞击发生前后的符号变化情况）。利用DT构建专用的规则集，过滤掉疑似跌倒的正常行为和噪声的样本，最终降低误警率。DT模型的示意图如图5所示。

[0084] 以下为与上述方法实施例对应的系统实施例，本实施方式可与上述实施方式互相配合实施。上述实施方式中提到的相关技术细节在本实施方式中依然有效，为了减少重复，这里不再赘述。相应地，本实施方式中提到的相关技术细节也可应用在上述实施方式中。

[0085] 本发明还提供一种基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统，其中该跌倒检测系统包括：

[0086] 数据采集模块，采用穿戴式运动传感器采集用户的日常行为数据；

[0087] 数据处理模块,用于对采集的该日常行为数据进行合成、滤波处理操作,生成原始数据;

[0088] 样本生成模块,利用滑动窗口机制提取该原始数据的时频域特征,生成样本,并将该样本组合成样本集;

[0089] 第一层识别模块,该第一层识别模块包括一类分类模型,用于对该样本集中的每一个样本进行识别,将识别结果为“跌倒”的跌倒样本组合为跌倒样本集,并将该跌倒样本集发送至第二层加权模块;

[0090] 第二层加权模块,该第二层加权模块包括加权二类分类模型,用于对该跌倒样本集中所有该跌倒样本进行加权分配处理,生成加权跌倒样本,并将该加权跌倒样本发送至第三层判断模块;

[0091] 第三层判断模块,该第三层判断模块包括规则二类分类模型,用于根据该加权跌倒样本是否符合跌倒规则,判断用户是否发生跌倒行为,若判断为跌倒行为则转步骤7,反之则回到数据采集模块,继续采集用户的日常行为数据;

[0092] 报警触发模块,用于触发相应的报警机制,如需继续检测,则回到数据采集模块,继续采集用户的日常行为数据,否则结束。

[0093] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中

[0094] 通过对预先给定样本集进行学习,建立该一类分类模型;并用该一类分类模型对该预先给定样本集中的每一个样本进行识别,生成预先给定跌倒样本集;

[0095] 通过对该预先给定跌倒样本集进行学习,建立该加权二类分类模型;

[0096] 通过对预先给定跌倒规则进行学习,建立该规则二类分类模型。

[0097] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该一类分类模型为支持向量数据描述模型,该支持向量数据描述模型根据该预先给定样本集,生成一个超球面,并通过判断该样本是否位于该超球面以内,若该样本位于该超球面以内,则将该样本识别为跌倒样本。

[0098] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该加权二类分类模型为加权超限学习机模型,以对该跌倒样本集中的跌倒样本与非跌倒样本分配不同的权值。

[0099] 该基于层次分类的可穿戴跌倒检测系统,其中该跌倒规则具体为,

[0100] a) 失重,在失重过程中,合成加速度的值由重力加速度逐渐下降并趋向于零;

[0101] b) 撞击,在撞击动作发生时之前,身体向下的速度已经达到了最大值,此时当与地面或其他物体突然发生撞击,使得合成加速度瞬间达到了一个超过两倍重力加速度的峰值的最高值,此时速度骤减为零;

[0102] c) 静止,加速度计的X,Y,Z轴读数以及合成加速度读数均处于平稳状态。

[0103] 虽然本发明以上述实施例公开,但具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明,任何本技术领域技术人员,在不脱离本发明的构思和范围内,可作一些的变更和完善,故本发明的权利保护范围以权利要求书为准。

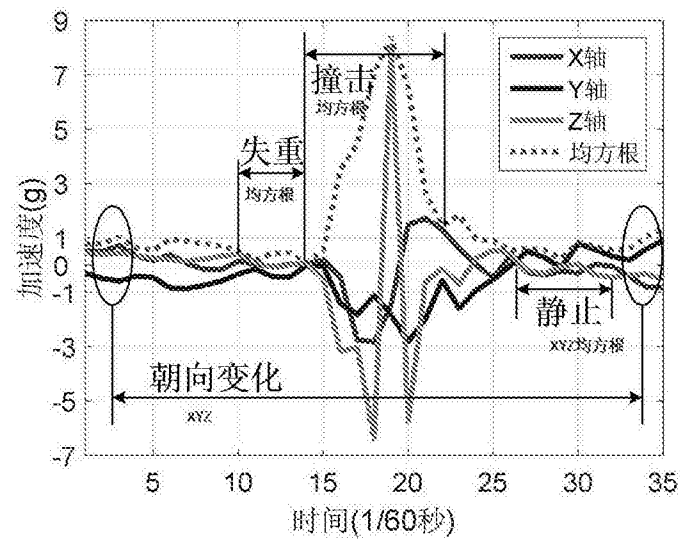


图1

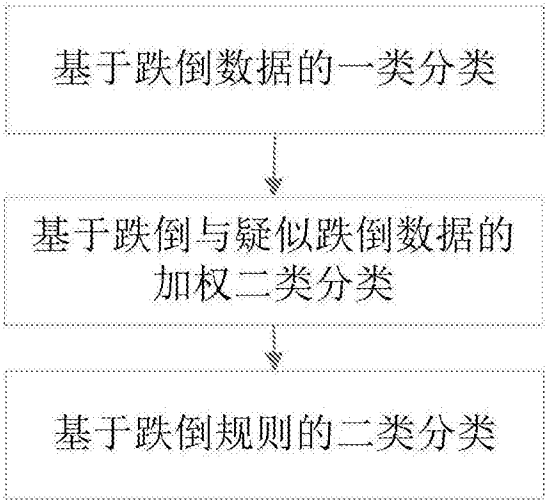


图2

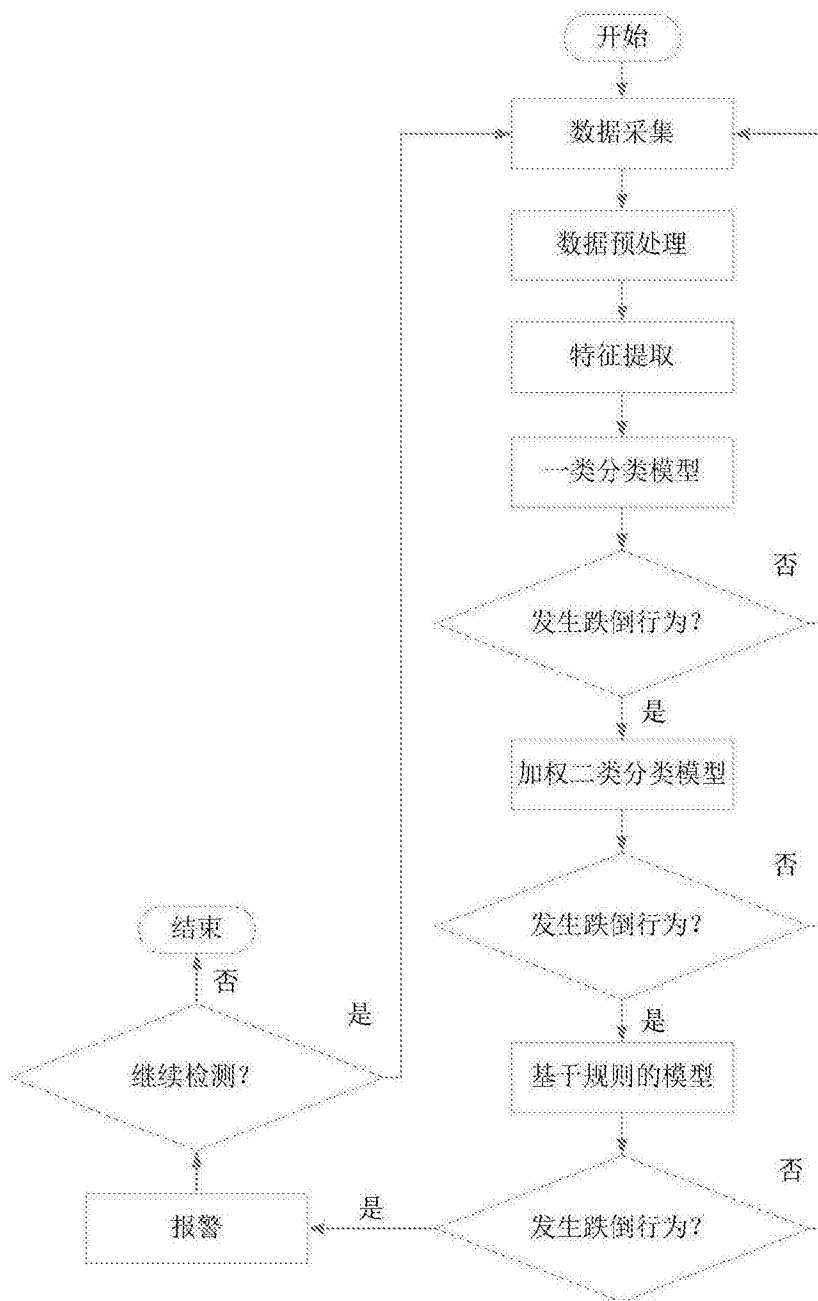


图3

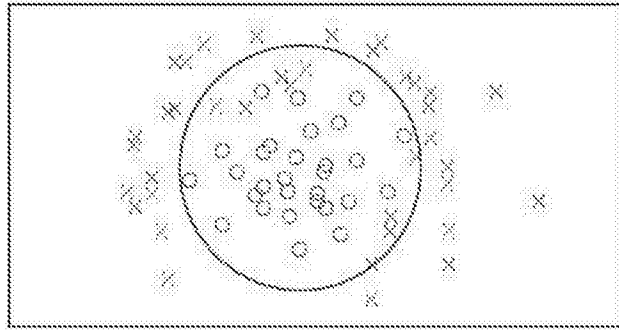


图4

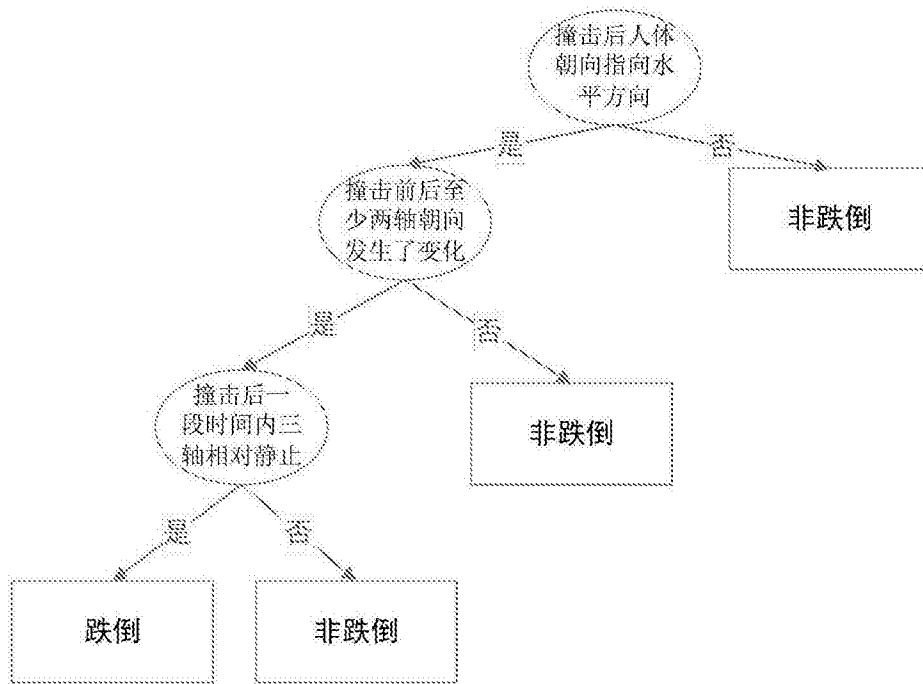


图5