



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103177530 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 08

(21) 申请号 201310059523. 9

(22) 申请日 2013. 02. 25

(73) 专利权人 宁波中科集成电路设计中心有限公司

地址 315040 浙江省宁波市科技园区院士路  
66 号创业大厦 601 室

(72) 发明人 陈辰 黄晁 王鸿龙 张从连  
任梁 侯开宇 丁华锋 杨洪  
刘晓金

(74) 专利代理机构 宁波奥圣专利代理事务所  
(普通合伙) 33226

代理人 周珏

(51) Int. Cl.

G08B 21/04(2006. 01)

(56) 对比文件

GB 2323196 A, 1998. 09. 16,

US 2002/0118121 A, 2002. 08. 29,

JP 特开 2008-32521 A, 2008. 02. 14,

CN 101950464 A, 2011. 01. 19,

李冬等. 基于加速度传感器的老年人跌倒检测装置设计. 《传感器与微系统》. 2008, 第 27 卷  
(第 9 期),

审查员 李莉

权利要求书3页 说明书7页

(54) 发明名称

一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其首先获取由前 2 秒对应的所有加速度值和当前 1 秒的所有加速度值构成的加速度值集合,然后根据该加速度值集合确定用于表示疑似摔倒的加速度值序列,接着根据该加速度值集合获取用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量,再根据特征向量计算摔倒判定值,最后根据摔倒判定值确定人体是否摔倒,以及根据当前获取的所有加速度值随后的报警判定时间内的任意一个采集时间采集的加速度值,确定摔倒的人体是否失去自救能力,这种摔倒检测方法,不仅实现简单,而且计算复杂度低、检测精度高。

1. 一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于包括以下步骤:

①采用佩戴于人体上的三轴加速度传感器,按设定的采集频率实时采集人体的三轴加速度数据,将采集到的人体的 X 轴加速度值、Y 轴加速度值和 Z 轴加速度值对应记为  $A_x$ 、 $A_y$  和  $A_z$ ,然后根据  $A_x$ 、 $A_y$  和  $A_z$ ,计算人体的加速度值,记为  $A$ ,  $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ ;

②当获得第 3 秒对应的所有加速度值时,将第 3 秒对应的所有加速度值作为当前加速度值序列;

③将当前加速度值序列的前 2 秒对应的所有加速度值和当前加速度值序列中的所有加速度值按采集时间顺序构成的集合定义为当前加速度值集合,然后根据当前加速度值集合,确定用于表示疑似摔倒的加速度值序列;

④根据当前加速度值集合,获取用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量,记为  $X$ ;

⑤根据  $X$  计算摔倒判定值,记为  $f(X)$ ,  $f(X) = \exp(-\frac{\|X-w\|}{\gamma^2}) + b$ ,然后判断  $f(X)$  是否大于 0,如果是,则判定人体已摔倒,再执行步骤⑥,否则,判定人体未摔倒,再执行步骤⑦,其中,  $\exp()$  表示以自然对数  $e$  为底的指数函数,  $e = 2.718281828459$ ,“ $\| \cdot \|$ ”为欧氏距离运算符,  $w$ 、 $b$  和  $\gamma$  均为判定参数;

⑥判断当前加速度值序列随后的报警判定时间内的任意一个采集时间采集的加速度值是否大于重力加速度  $G$  的 0.75 倍且小于重力加速度  $G$  的 1.5 倍,如果是,则确定人体摔倒严重,需报警,然后执行步骤⑦,否则,确定人体摔倒不严重,无需报警,然后执行步骤⑦;

⑦将下一秒获得的所有加速度值作为当前加速度值序列,然后返回步骤③继续执行。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于所述的设定的采集频率为大于或等于 100HZ。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于所述的步骤③中用于表示疑似摔倒的加速度值序列的获取过程为:

③-1、从当前加速度值集合中找出值最大的加速度值,并记为  $A_{(Tmax)}$ ,  $A_{(Tmax)} = \sqrt{A_{x(Tmax)}^2 + A_{y(Tmax)}^2 + A_{z(Tmax)}^2}$ ,将  $A_{(Tmax)}$  的采集时间记为  $Tmax$ ,其中,  $A_{x(Tmax)}$  表示  $A_{(Tmax)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Tmax)}$  表示  $A_{(Tmax)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Tmax)}$  表示  $A_{(Tmax)}$  中的 Z 轴加速度值;

③-2、在当前加速度值集合中寻找第一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求该加速度值大于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍;条件二:要求该加速度值的采集时间的下一个采集时间采集的加速度值小于或等于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍;条件三:要求  $Tmax$  与该加速度值的采集时间的差小于 1 秒;如果存在,则将该加速度值确定为人体失重开始的加速度值,记为  $A_{(Tstart)}$ ,  $A_{(Tstart)} = \sqrt{A_{x(Tstart)}^2 + A_{y(Tstart)}^2 + A_{z(Tstart)}^2}$ ,将  $A_{(Tstart)}$  的采集时间记为  $Tstart$ ,其中,  $A_{(Tstart)} > 0.75 \times G$ ,  $A_{(Tstart+1)} \leq 0.75 \times G$ ,  $A_{(Tstart+1)}$  表示  $Tstart$  的下一个采集时间采集的加速度值,  $A_{x(Tstart)}$  表示  $A_{(Tstart)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Tstart)}$  表示  $A_{(Tstart)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Tstart)}$  表示  $A_{(Tstart)}$  中的 Z 轴加速度值,  $Tmax - Tstart < 1$  秒,然后执行步骤③-3;

如果不存在,则执行步骤⑦;

③-3、计算  $A_{(Tstart)}$  对应的方向与  $A_{(Tmax)}$  对应的方向之间的夹角,记为  $\theta$ ,

$$\theta = \arccos \frac{A_{x(Tmax)} \times A_{x(Tstart)} + A_{y(Tmax)} \times A_{y(Tstart)} + A_{z(Tmax)} \times A_{z(Tstart)}}{A_{(Tmax)} \times A_{(Tstart)}}, \text{ 然后判断 } \theta \text{ 是否}$$

大于或等于  $45^\circ$ , 如果是,则将 Tstart 到 Tmax 之间采集的所有加速度值确定为用于表示疑似摔倒的加速度值序列,然后执行步骤④;否则,执行步骤⑦。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于所述的步骤④的具体过程为:

④-1、在当前加速度值集合中寻找唯一一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求 Tstart 到该加速度值的采集时间之间的任意一个采集时间采集的加速度值小于或等于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍;条件二:要求该加速度值大于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍;然后将该加速度值确定为人体失重结束的加速度值,记为  $A_{(Tend)}$ ,

$$A_{(Tend)} = \sqrt{A_{x(Tend)}^2 + A_{y(Tend)}^2 + A_{z(Tend)}^2}, \text{ 将 } A_{(Tend)} \text{ 的采集时间记为 } Tend, \text{ 其中, } A_{(Tend)} > 0.75 \times G,$$

$A_{x(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 Z 轴加速度值,对于任何满足  $Tstart < T < Tend$  的采集时间  $T$ ,有  $A_{(T)} \leq 0.75 \times G$ ,  $A_{(T)}$  表示采集时间为  $T$  时采集的加速度值;

④-2、在当前加速度值集合中寻找唯一一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求该加速度值的采集时间到 Tmax 之间的任意一个采集时间采集的加速度值大于或等于重力加速度值  $G$  的 1.2 倍;条件二:要求该加速度值小于重力加速度值  $G$  的 1.2 倍;然后将该加速度值确定为人体撞击的加速度值,记为  $A_{(Timpact)}$ ,

$$A_{(Timpact)} = \sqrt{A_{x(Timpact)}^2 + A_{y(Timpact)}^2 + A_{z(Timpact)}^2}, \text{ 将 } A_{(Timpact)} \text{ 的采集时间记为 } Timpact, \text{ 其中,}$$

$A_{(Timpact)} < 1.2 \times G$ ,  $A_{x(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 Z 轴加速度值,对于任何满足  $Timpact < T' < Tmax$  的采集时间  $T'$ ,有  $A_{(T')} \geq 1.2 \times G$ ,  $A_{(T')}$  表示采集时间为  $T'$  时采集的加速度值;

④-3、计算用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量,记为  $X$ ,  $X = [t1, \mu 1, \sigma 1, t2, \mu 2, \sigma 2, t3, \mu 3, \sigma 3]$ ,其中,  $t1 = Tend - Tstart$ ,  $\mu 1$  表示 Tstart 到 Tend 之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 1$  表示 Tstart 到 Tend 之间采集的所有加速度值的方差,  $t2 = Timpact - Tend$ ,  $\mu 2$  表示 Tend 到 Timpact 之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 2$  表示 Tend 到 Timpact 之间采集的所有加速度值的方差,  $t3 = Tmax - Timpact$ ,  $\mu 3$  表示 Timpact 到 Tmax 之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 3$  表示 Timpact 到 Tmax 之间采集的所有加速度值的方差。

5. 根据权利要求 4 所述的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于所述的步骤⑤中  $w$  为向量  $(-0.975, 0.0106383, -1, -0.978022, 0.824114, 0.206675, 0.35, -0.53481, -0.564189)$ ,  $b = 1.5$ ,  $\gamma = 1$ 。

6. 根据权利要求 5 所述的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于所述的步骤⑥中的报警判定时间为 3 ~ 10 秒。

7. 根据权利要求 6 所述的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于所述

的步骤⑥中的报警判定时间为 5 秒。

## 一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种人体摔倒检测技术,尤其是涉及一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法。

### 背景技术

[0002] 摔倒是日常生活中对人造成意外伤害的主要原因之一。当摔倒者是老年人时,情况往往会更为严重。据民政部门对老年人养老意愿的调查,九成以上的老年人仍然希望在家养老,而传统的儿女照料老年人的模式现在已经难以应对不断增长的养老需求,这就造成了大量独居老人,由于没有亲人的照料,独居老人在遇到意外摔倒时,往往得不到及时有效的救助。

[0003] 日常生活中,导致摔倒的原因主要有两种:一是行动中意外跌倒或滑倒;二是心脑血管等疾病引起的摔倒。对于意外摔伤,如果没有及时地治疗,则往往会导致伤情加重。对于心肌梗死、脑梗塞突然发作摔倒时,如果几个小时内不能得到及时有效的治疗,则患者甚至会付出生命的代价,而此类心脑血管疾病造成的休克、昏迷等状况通常也会让患者失去主动求救的能力。

[0004] 目前,人体摔倒判定的技术主要有三类:基于视频和声音的摔倒检测技术、基于压力的摔倒检测技术及基于穿戴式传感器的摔倒检测技术。其中,基于视频和声音的摔倒检测技术是利用摄像头以及其它声音采集工具对一定区域进行监控,再通过图像处理中人体识别和姿势识别来检测监控图像中的人体摔倒事件;基于压力的摔倒检测技术是利用铺设于地板上的压力传感器,通过物体对地面的压力变化来确定撞击等事件,从而检测摔倒。这两种摔倒检测技术都只能检测一定区域内的摔倒事件,无法对特定的对象进行持续的监控。而基于穿戴式传感器的摔倒检测技术是通过佩戴在人体上的传感器采集人体活动数据,从而检测目标的摔倒事件。

[0005] 在基于穿戴式传感器的摔倒检测技术中,目前应用较多的摔倒检测方法主要有判断阈值的方法和利用模式识别的方法,前者简单有效,但识别正确率很难达到实际应用的标准;后者在正确率上比较不错,但检测过程过于复杂,不适用于单片机的运行,并且在正确率方面也尚有提升空间。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种实现简单,且计算复杂度低、检测精度高的基于三轴加速度的人体摔倒检测方法。

[0007] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其特征在于包括以下步骤:

[0008] ①采用佩戴于人体上的三轴加速度传感器,按设定的采集频率实时采集人体的三轴加速度数据,将采集到的人体的X轴加速度值、Y轴加速度值和Z轴加速度值对应记为 $A_x$ 、 $A_y$ 和 $A_z$ ,然后根据 $A_x$ 、 $A_y$ 和 $A_z$ ,计算人体的加速度值,记为 $A$ ,
$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2};$$

[0009] ②当获得第 3 秒对应的所有加速度值时,将第 3 秒对应的所有加速度值作为当前加速度值序列;

[0010] ③将当前加速度值序列的前 2 秒对应的所有加速度值和当前加速度值序列中的所有加速度值按采集时间顺序构成的集合定义为当前加速度值集合,然后根据当前加速度值集合,确定用于表示疑似摔倒的加速度值序列;

[0011] ④根据当前加速度值集合,获取用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量,记为 X;

[0012] ⑤根据 X 计算摔倒判定值,记为  $f(X)$ ,  $f(X) = \exp(-\frac{\|X-w\|}{\gamma}) + b$ , 然后判断  $f(X)$

是否大于 0,如果是,则判定人体已摔倒,再执行步骤⑥,否则,判定人体未摔倒,再执行步骤⑦,其中,  $\exp()$  表示以自然对数 e 为底的指数函数,  $e=2.718281828459$ ,“ $\| \cdot \|$ ”为欧氏距离运算符,w、b 和  $\gamma$  均为判定参数;

[0013] ⑥判断当前加速度值序列随后的报警判定时间内的任意一个采集时间采集的加速度值是否大于重力加速度 G 的 0.75 倍且小于重力加速度 G 的 1.5 倍,如果是,则确定人体摔倒严重,需报警,然后执行步骤⑦,否则,确定人体摔倒不严重,无需报警,然后执行步骤⑦;

[0014] ⑦将下一秒获得的所有加速度值作为当前加速度值序列,然后返回步骤③继续执行。

[0015] 所述的设定的采集频率为大于或等于 100HZ。

[0016] 所述的步骤③中用于表示疑似摔倒的加速度值序列的获取过程为:

[0017] ③-1、从当前加速度值集合中找出值最大的加速度值,并记为  $A_{(T_{max})}$ ,

$A_{(T_{max})} = \sqrt{A_{x(T_{max})}^2 + A_{y(T_{max})}^2 + A_{z(T_{max})}^2}$ , 将  $A_{(T_{max})}$  的采集时间记为  $T_{max}$ , 其中,  $A_{x(T_{max})}$  表示  $A_{(T_{max})}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(T_{max})}$  表示  $A_{(T_{max})}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(T_{max})}$  表示  $A_{(T_{max})}$  中的 Z 轴加速度值;

[0018] ③-2、在当前加速度值集合中寻找第一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求该加速度值大于重力加速度值 G 的 0.75 倍;条件二:要求该加速度值的采集时间的下一个采集时间采集的加速度值小于或等于重力加速度值 G 的 0.75 倍;条件三:要求  $T_{max}$  与该加速度值的采集时间的差小于 1 秒;如果存在,则将该加速度值确定为人体失重开始的加速度值,记为  $A_{(T_{start})}$ ,

$A_{(T_{start})} = \sqrt{A_{x(T_{start})}^2 + A_{y(T_{start})}^2 + A_{z(T_{start})}^2}$ , 将  $A_{(T_{start})}$  的采集时间记为  $T_{start}$ ,

其中,  $A_{(T_{start})} > 0.75 \times G$ ,  $A_{(T_{start+1})} \leq 0.75 \times G$ ,  $A_{(T_{start+1})}$  表示  $T_{start}$  的下一个采集时间采集的加速度值,  $A_{x(T_{start})}$  表示  $A_{(T_{start})}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(T_{start})}$  表示  $A_{(T_{start})}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(T_{start})}$  表示  $A_{(T_{start})}$  中的 Z 轴加速度值,  $T_{max} - T_{start} < 1$  秒,然后执行步骤③-3;如果不存在,则执行步骤⑦;

[0019] ③-3、计算  $A_{(T_{start})}$  对应的方向与  $A_{(T_{max})}$  对应的方向之间的夹角,记为  $\theta$ ,

$\theta = \arccos \frac{A_{x(T_{max})} \times A_{x(T_{start})} + A_{y(T_{max})} \times A_{y(T_{start})} + A_{z(T_{max})} \times A_{z(T_{start})}}{A_{(T_{max})} \times A_{(T_{start})}}$ , 然后判断  $\theta$  是否大于

或等于  $45^\circ$ , 如果是,则将  $T_{start}$  到  $T_{max}$  之间采集的所有加速度值确定为用于表示疑似摔

倒的加速度值序列,然后执行步骤④;否则,执行步骤⑦。

[0020] 所述的步骤④的具体过程为:

[0021] ④-1、在当前加速度值集合中寻找唯一一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求 Tstart 到该加速度值的采集时间之间的任意一个采集时间采集的加速度值小于或等于重力加速度值 G 的 0.75 倍;条件二:要求该加速度值大于重力加速度值 G 的 0.75 倍;然后将该加速度值确定为人体失重结束的加速度值,记为  $A_{(Tend)}$ ,  $A_{(Tend)} = \sqrt{A_{x(Tend)}^2 + A_{y(Tend)}^2 + A_{z(Tend)}^2}$ , 将  $A_{(Tend)}$  的采集时间记为 Tend, 其中,  $A_{(Tend)} > 0.75 \times G$ ,  $A_{x(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 Z 轴加速度值, 对于任何满足  $Tstart < T < Tend$  的采集时间 T, 有  $A_{(T)} \leq 0.75 \times G$ ,  $A_{(T)}$  表示采集时间为 T 时采集的加速度值;

[0022] ④-2、在当前加速度值集合中寻找唯一一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求该加速度值的采集时间到 Tmax 之间的任意一个采集时间采集的加速度值大于或等于重力加速度值 G 的 1.2 倍;条件二:要求该加速度值小于重力加速度值 G 的 1.2 倍;然后将该加速度值确定为人体撞击的加速度值,记为  $A_{(Timpact)}$ ,  $A_{(Timpact)} = \sqrt{A_{x(Timpact)}^2 + A_{y(Timpact)}^2 + A_{z(Timpact)}^2}$ , 将  $A_{(Timpact)}$  的采集时间记为 Timpact, 其中,  $A_{(Timpact)} < 1.2 \times G$ ,  $A_{x(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 Z 轴加速度值, 对于任何满足  $Timpact < T' < Tmax$  的采集时间 T', 有  $A_{(T')} \geq 1.2 \times G$ ,  $A_{(T')}$  表示采集时间为 T' 时采集的加速度值;

[0023] ④-3、计算用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量,记为 X,  $X = [t1, \mu 1, \sigma 1, t2, \mu 2, \sigma 2, t3, \mu 3, \sigma 3]$ , 其中,  $t1 = Tend - Tstart$ ,  $\mu 1$  表示 Tstart 到 Tend 之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 1$  表示 Tstart 到 Tend 之间采集的所有加速度值的方差,  $t2 = Timpact - Tend$ ,  $\mu 2$  表示 Tend 到 Timpact 之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 2$  表示 Tend 到 Timpact 之间采集的所有加速度值的方差,  $t3 = Tmax - Timpact$ ,  $\mu 3$  表示 Timpact 到 Tmax 之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 3$  表示 Timpact 到 Tmax 之间采集的所有加速度值的方差。

[0024] 所述的步骤⑤中 w 为向量  $(-0.975, 0.0106383, -1, -0.978022, 0.824114, 0.206675, 0.35, -0.53481, -0.564189)$ ,  $b = 1.5$ ,  $\gamma = 1$ 。

[0025] 所述的步骤⑥中的报警判定时间为 3 ~ 10 秒。

[0026] 所述的步骤⑥中的报警判定时间为 5 秒。

[0027] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0028] 1) 本发明方法首先获取由前 2 秒对应的所有加速度值和当前 1 秒获取的所有加速度值构成的加速度值集合,然后根据该加速度值集合确定用于表示疑似摔倒的加速度值序列,接着根据该加速度值集合获取用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量,再根据特征向量计算摔倒判定值,最后根据摔倒判定值确定人体是否摔倒,以及根据当前获取的所有加速度值随后的报警判定时间内的任意一个采集时间采集的加速度值,确定摔倒的人体是否失去自救能力,这种摔倒检测方法,不仅实现简单,而且计算复杂度低、检测精度高。

[0029] 2) 通过计算人体摔倒前与人体摔倒后的角度差即通过计算一段时间内人体失重开始的加速度值的方向与最大的加速度值的方向之间的角度差,联合失重与超重作为可疑

摔倒数据的筛选门限,有效地减少了传统的利用模式识别的摔倒检测方法中多余的计算,使得本发明方法能够方便地在单片机实现,同时极大地减少了误报率。

[0030] 3)通过对用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量的优化,将摔倒过程分为三段,这样能够更合理的提取出摔倒数据的特征,有利于通过计算摔倒判定值更好的区分摔倒和非摔倒,从而有效地提高了摔倒判断的准确率。

[0031] 4)通过筛选疑似摔倒加速度序列以及利用摔倒判定公式计算摔倒判定值进一步区分摔倒和非摔倒,相比现有的基于判断阈值的摔倒检测方法,极大的提高了摔倒检测的准确率。

[0032] 5)通过设置报警判定时间和可疑摔倒数据的筛选,最大限度地减少了误报,因此在计算摔倒判定值的参数选择上,更倾向于将一次疑似摔倒数据判断为摔倒,这样在减少误报的同时又减少了漏报。

### 具体实施方式

[0033] 以下结合实施例对本发明作进一步详细描述。

[0034] 本发明提出的一种基于三轴加速度的人体摔倒检测方法,其具体包括以下步骤:

[0035] ①采用佩戴于人体上身的三轴加速度传感器,按设定的采集频率实时采集人体的三轴加速度数据,将采集到的人体的 X 轴加速度值、Y 轴加速度值和 Z 轴加速度值对应记为  $A_x$ 、 $A_y$  和  $A_z$ ,然后根据  $A_x$ 、 $A_y$  和  $A_z$ ,计算人体的加速度值,记为  $A$ ,  $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ 。

[0036] 在本实施例中,设定的采集频率为大于或等于 100HZ,即每隔小于或等于 10ms 对人体的三轴加速度数据进行一次采集,在实际实施过程中,可根据实际需求设置三轴加速度传感器的采集频率,一般情况下,如果人体的三轴加速度数据采集的时间间隔较短,则会有效提高最终的检测精度,但同时会增加计算复杂度,通过实验验证每隔 10ms 对人体的三轴加速度数据进行一次采集,能够很好地提高检测的综合性能。

[0037] ②当获得第 3 秒对应的所有加速度值时,将第 3 秒对应的所有加速度值作为当前加速度值序列。

[0038] ③将当前加速度值序列的前 2 秒对应的所有加速度值和当前加速度值序列中的所有加速度值按采集时间顺序构成的集合定义为当前加速度值集合,然后根据当前加速度值集合,确定用于表示疑似摔倒的加速度值序列。

[0039] 在此具体实施例中,步骤③中用于表示疑似摔倒的加速度值序列的获取过程为:

[0040] ③-1、从当前加速度值集合中找出值最大的加速度值,并记为  $A_{(T_{max})}$ ,

$A_{(T_{max})} = \sqrt{A_{x(T_{max})}^2 + A_{y(T_{max})}^2 + A_{z(T_{max})}^2}$ ,将  $A_{(T_{max})}$  的采集时间记为  $T_{max}$ ,其中,  $A_{x(T_{max})}$  表示  $A_{(T_{max})}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(T_{max})}$  表示  $A_{(T_{max})}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(T_{max})}$  表示  $A_{(T_{max})}$  中的 Z 轴加速度值。

[0041] ③-2、在当前加速度值集合中寻找第一个同时满足下列条件的加速度值,条件一:要求该加速度值大于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍;条件二:要求该加速度值的采集时间的下一个采集时间采集的加速度值小于或等于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍;条件三:要求  $T_{max}$  与该加速度值的采集时间的差小于 1 秒;如果存在,则将该加速度值确定为人体失重开始

的加速度值,记为  $A_{(Tstart)}$ ,  $A_{(Tstart)} = \sqrt{A_{x(Tstart)}^2 + A_{y(Tstart)}^2 + A_{z(Tstart)}^2}$ , 将  $A_{(Tstart)}$  的采集时间记为  $Tstart$ , 其中,  $A_{(Tstart)} > 0.75 \times G$ ,  $A_{(Tstart+1)} \leq 0.75 \times G$ ,  $A_{(Tstart+1)}$  表示  $Tstart$  的下一个采集时间采集的加速度值,  $A_{x(Tstart)}$  表示  $A_{(Tstart)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Tstart)}$  表示  $A_{(Tstart)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Tstart)}$  表示  $A_{(Tstart)}$  中的 Z 轴加速度值,  $Tmax - Tstart < 1$  秒, 然后执行步骤③-3; 如果不存在, 则执行步骤⑦。

[0042] 在此, 如果三轴加速度传感器的采集频率为 100HZ, 则采集时间为 10ms。

[0043] ③-3、计算  $A_{(Tstart)}$  对应的方向与  $A_{(Tmax)}$  对应的方向之间的夹角, 记为  $\theta$ ,

$$\theta = \arccos \frac{A_{x(Tmax)} \times A_{x(Tstart)} + A_{y(Tmax)} \times A_{y(Tstart)} + A_{z(Tmax)} \times A_{z(Tstart)}}{A_{(Tmax)} \times A_{(Tstart)}}$$

或等于  $45^\circ$ , 如果是, 则将  $Tstart$  到  $Tmax$  之间采集的所有加速度值确定为用于表示疑似摔倒的加速度值序列, 然后执行步骤④; 否则, 执行步骤⑦。

[0044] ④根据当前加速度值集合, 获取用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量, 记为  $X$ 。

[0045] 在此具体实施例中, 步骤④的具体过程为:

[0046] ④-1、在当前加速度值集合中寻找唯一一个同时满足下列条件的加速度值, 条件一: 要求  $Tstart$  到该加速度值的采集时间之间的任意一个采集时间采集的加速度值小于或等于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍; 条件二: 要求该加速度值大于重力加速度值  $G$  的 0.75 倍; 然后将该加速度值确定为人体失重结束的加速度值, 记为  $A_{(Tend)}$ ,

$A_{(Tend)} = \sqrt{A_{x(Tend)}^2 + A_{y(Tend)}^2 + A_{z(Tend)}^2}$ , 将  $A_{(Tend)}$  的采集时间记为  $Tend$ , 其中,  $A_{(Tend)} > 0.75 \times G$ ,  $A_{x(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Tend)}$  表示  $A_{(Tend)}$  中的 Z 轴加速度值, 对于任何满足  $Tstart < T < Tend$  的采集时间  $T$ , 有  $A_{(T)} \leq 0.75 \times G$ ,  $A_{(T)}$  表示采集时间为  $T$  时采集的加速度值。

[0047] ④-2、在当前加速度值集合中寻找唯一一个同时满足下列条件的加速度值, 条件一: 要求该加速度值的采集时间到  $Tmax$  之间的任意一个采集时间采集的加速度值大于或等于重力加速度值  $G$  的 1.2 倍; 条件二: 要求该加速度值小于重力加速度值  $G$  的 1.2 倍; 然后将该加速度值确定为人体撞击的加速度值, 记为  $A_{(Timpact)}$ ,

$A_{(Timpact)} = \sqrt{A_{x(Timpact)}^2 + A_{y(Timpact)}^2 + A_{z(Timpact)}^2}$ , 将  $A_{(Timpact)}$  的采集时间记为  $Timpact$ , 其中,  $A_{(Timpact)} < 1.2 \times G$ ,  $A_{x(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 X 轴加速度值,  $A_{y(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 Y 轴加速度值,  $A_{z(Timpact)}$  表示  $A_{(Timpact)}$  中的 Z 轴加速度值, 对于任何满足  $Timpact < T' < Tmax$  的采集时间  $T'$ , 有  $A_{(T')} \geq 1.2 \times G$ ,  $A_{(T')}$  表示采集时间为  $T'$  时采集的加速度值。

[0048] ④-3、计算用于表示疑似摔倒的加速度值序列的特征向量, 记为  $X$ ,  $X = [t1, \mu 1, \sigma 1, t2, \mu 2, \sigma 2, t3, \mu 3, \sigma 3]$ , 其中,  $t1 = Tend - Tstart$ ,  $\mu 1$  表示  $Tstart$  到  $Tend$  之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 1$  表示  $Tstart$  到  $Tend$  之间采集的所有加速度值的方差,  $t2 = Timpact - Tend$ ,  $\mu 2$  表示  $Tend$  到  $Timpact$  之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 2$  表示  $Tend$  到  $Timpact$  之间采集的所有加速度值的方差,  $t3 = Tmax - Timpact$ ,  $\mu 3$  表示  $Timpact$  到  $Tmax$  之间采集的所有加速度值的平均值,  $\sigma 3$  表示  $Timpact$  到  $Tmax$  之间采集的所有加速度值的方差。

[0049] ⑤根据  $X$  计算摔倒判定值, 记为  $f(X)$ ,  $f(X) = \exp(-\frac{\|X-w\|}{\gamma^2}) + b$ , 然后判断  $f(X)$

是否大于 0, 如果是, 则判定人体已摔倒, 再执行步骤⑥, 否则, 判定人体未摔倒, 再执行步骤⑦, 其中,  $\exp()$  表示以自然对数  $e$  为底的指数函数,  $e=2.718281828459$ , “ $\| \cdot \|$ ” 为欧氏距离运算符,  $w$ 、 $b$  和  $\gamma$  均为判定参数, 在本实施例中,  $w$  是一个向量, 取值为向量  $(-0.975, 0.0106383, -1, -0.978022, 0.824114, 0.206675, 0.35, -0.53481, -0.564189)$ ,  $b=1.5$ ,  $\gamma=1$ 。

[0050] ⑥判断当前加速度值序列随后的报警判定时间内的任意一个采集时间采集的加速度值是否大于重力加速度  $G$  的 0.75 倍且小于重力加速度  $G$  的 1.5 倍, 如果是, 则确定人体摔倒严重, 需报警, 然后执行步骤⑦, 否则, 确定人体摔倒不严重, 无需报警, 然后执行步骤⑦。

[0051] 在本实施例中, 报警判定时间可设为 3 ~ 10 秒, 在实际操作过程中, 可根据实际情况设定, 如可将报警判定时间设为 5 秒, 通常人体摔倒后 5 秒能够确定人体摔倒后是否失去自救能力。

[0052] ⑦将下一秒获得的所有加速度值作为当前加速度值序列, 然后返回步骤③继续执行。

[0053] 为更有力地说明本发明方法的可行性和有效性, 对本发明方法的误报率和漏报率性能进行测试。

[0054] 误报率是指目标没有摔倒, 却将其动作误判成摔倒; 漏报率是指目标摔倒后没有成功检测到的比率, 漏报率要求尽可能的低, 这是因为对老年人来说, 误报最多是虚惊一场, 而漏报却可能造成严重的后果。

[0055] 对于漏报率的测试, 要求 20 位测试人员每人模拟 30 次摔倒, 并且记录本发明方法的检测结果。原则上并不规定测试人员摔倒的方向和姿势, 但是要求测试人员每一次摔倒的方向或姿势各不相同。在测试过程中通过冲击力来判断这一次摔倒是易受伤摔倒还是不易受伤摔倒, 并对两种情况下的漏报做出统计, 统计结果如表 1 所列。

[0056] 表 1 不易受伤摔倒和易受伤摔倒两种情况下的漏报率统计结果

[0057]

	漏报次数	测试次数	漏报率
不易受伤摔倒	19	236	8.05%
易受伤摔倒	0	364	0%
所有摔倒	19	600	3.17%

[0058] 从表 1 中可以看出, 对于易受伤的摔倒, 本发明方法的漏报率为 0, 而对于不易受伤的摔倒, 本发明方法的漏报率为 8.05%。

[0059] 由于本发明方法在步骤⑤计算摔倒判定值的过程中采用了高维度的向量运算, 因此比普通标量运算更能够精确的检测摔倒。本发明方法利用  $f(X) = \exp(-\frac{\|X-w\|}{\gamma^2}) + b$  计算

摔倒判定值  $f(X)$ , 更倾向于将一次疑似摔倒判定为摔倒, 因而漏报率比传统的利用模式识别的摔倒检测技术有明显的降低。

[0060] 表 1 中,易受伤摔倒包括站立时突然摔倒、运动中摔倒等对人体伤害较大的摔倒情况,本发明方法中通过  $w$ 、 $b$  和  $\gamma$  的合理取值,可以完全消除对于易受伤摔倒的漏报。

[0061] 表 1 中,不易受伤摔倒包括重心较低时(如蹲下的状态或坐在比较低的凳子上)的摔倒,这一类摔倒通常不会对身体造成伤害。此类摔倒后,人体目标基本无需外部救助。本发明方法中对此类摔倒的漏报率为 8.05%。

[0062] 现有的基于判断阈值的摔倒检测技术对不同方向的摔倒漏报率往往不同,本发明方法中,由于只需计算摔倒前与摔倒后的角度差,对摔倒的方向并不敏感,消除了不同方向摔倒的差异。

[0063] 对于误报率的测试,要求 20 位测试人员佩戴应用了本发明方法的报警器,佩戴方式是将报警器固定在测试人员腰部,每人佩戴一周,每天 5 小时以上。佩戴期间正常进行工作生活,对误报原因及次数进行统计,结果如表 2 所列。

[0064] 表 2 不同误报原因下的误报次数统计结果

[0065]

误报原因	误报次数
随意抛掷或掉落报警器	17
用力坐下	2
户外运动及其他	0

[0066] 从表 2 中可以看出,平均每人每天发生误报 0.14 次。其中大多数是因为测试人员将报警器随意抛掷在桌子上或是掉在地上,少部分是因为测试人员比较猛烈的坐倒在沙发上。由于所选的测试人员的年龄都在 20 岁到 35 岁之间,而本发明方法的应用对象都是老年人,老年人正常情况下不会像年轻人这样动作剧烈。因此,测试中的绝大多数误报可以避免。

[0067] 本发明方法侧重于消除运动时的误报,在现有的利用模式识别的摔倒检测技术中,由于运动时的一些身体特征和摔倒类似,因此在运动中的误报较多。

[0068] 本发明方法通过合理选取特征向量,因此能够很好的区分运动(如跑、跳、上楼梯等)和摔倒,误报率较现有的利用模式识别的摔倒检测技术有明显提高。