

基于多传感器的人体行为识别系统^{*}

周 林¹, 雷丽平¹, 杨龙频²

(1. 重庆邮电大学 通信软件技术研究所 重庆 400065;

2 北京医院 北京 100730)

摘 要: 为了既能提高系统人体行为的识别率,又能降低系统能耗,提出了基于多传感器的人体行为识别系统。通过对滑动时间窗内传感器数据信息进行数学统计,提取数据特征;并通过用 weka 软件对数据的这些特征进行分析,设计出基于决策树的两层分类识别算法,来对 8 种常见人体行为进行识别。实验结果表明:该系统在降低了系统能耗同时系统识别率较高,平均识别率达到 93.12%,系统便于携带且具有很强的实用性。

关键词: 识别率; 系统能耗; 数据特征; 决策树

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2016)03-0089-03

Human behavior recognition system based on multi-sensor^{*}

ZHOU Lin¹, LEI Li-ping¹, YANG Long-pin²

(1. Technology Center on Communication Software, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Hospital of Beijing, Beijing 100730, China)

Abstract: The multi-sensor-based human behavior recognition system is proposed to improve recognition rate of system on human behavior, and can reduce system energy consumption. Data features are extracted from sensor data information by mathematical statistics means within sliding time window; by using weka software, analyze data features, a two-layer classification recognition algorithm based on decision tree is designed to recognize eight common human behaviors. Experimental result demonstrates that this system achieves high recognition rate of 93.12% and reduces system energy consumption, and it is portable and has strong practical applicability.

Key words: recognition rate; system energy consumption; data features; decision tree

0 引言

近年来,随着人机交互和无线体域网关键技术的飞速发展,人体运动识别广泛应用于体育竞技、生物医学研究、健康状况评估以及老年人健康监护领域等,其中,老年人的日常监测是其一类典型的应用^[1]。常见的老年人的行为监测方法主要有两类^[2]:基于图像分析和基于可穿戴的传感器设备,前者由于其成本开销较大和系统使用的局限性,本文采用了后者。

现有的大量研究都是围绕提高人体行为的识别率而展开。为了取得较高的行为识别率,运用大量的传感器数据和复杂的算法,这都会导致系统的能耗增加;而传感器节点的能量有限,这样会导致频繁地对电源充电或更换,因此,大大降低人体佩戴的舒适度^[3,4]。为了既能提高人体运动识别率,同时又能降低系统能耗,本文提出了基于决策树的

两层分类识别,首先根据加速度传感器数据的特征值利用决策树的方式对人体行为进行第一层识别,如果出现疑似跌倒动作,再提取陀螺仪传感器数据的特征值,采用决策树算法进行第二层精确识别。

1 系统设计

本文设计人体行为识别系统框架主要分为三层,如图 1 所示。第一层主要是传感器模块,主要作用是通过微控制处理器采集加速度传感器和陀螺仪传感器的信息,并通过蓝牙将数据上传至 PC 或智能手机,还可以通过接收上层通信命令来触发某种操作;第二层是数据处理层,主要是对第一层的采集的数据进行相应的处理和分析,对人体行为进行识别,还要根据系统的需求向第一层和第三层发送命令和信息;第三层包括各种应用服务的远程服务器的外部网络,其作用是根据第二层发送的命令和消息进行相

收稿日期: 2015-05-26

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61171190)

应的响应。

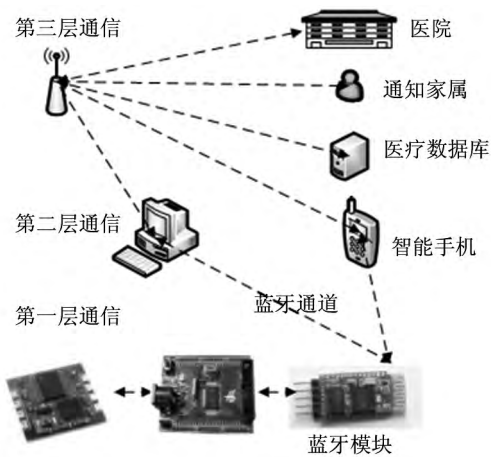


图1 系统框架图

Fig 1 System frame chart

本文传感器模块采用了微处理器是TI公司的MSP430F1611,它是一种具有精简指令集、超低功耗的16位单片机,具有10kB片内RAM,48kB片内FLASH用于存储采集数据。传感器模块是用于捕捉人体姿态的主要模块,其测量精度对系统的准确率起了关键作用。因此,该系统需要一个多模态和高精度的惯性传感器模块,本文选用了InvenSense公司的MPU6050内置三轴加速度传感器和三轴陀螺仪传感器。MPU6050是世界上首个六轴MEMS惯性运动测量组件,具有超小封装结构,且功耗低、成本低、性能高,非常适用于智能手机、平板电脑和穿戴式设备的计算应用^[5]。

2 数据特征的提取和识别器的选择与设计

在日常活动中,老年人日常行为(activities of daily life, ADL)主要有:静止(躺、坐、站)、步行、跑、上/下楼梯、躺下、坐下/站起、下蹲/站起,以及跌倒等。本文通过采集加速度传感器和陀螺仪传感器数据进行处理、分析,提取出有效的特征值,然后根据数据的特征值,用合理的识别器对人体行为进行识别。

2.1 数据特征提取

老年人的日常活动频率一般比较低,综合考虑系统的能耗和准确率,本文采样频率为20Hz,采用了半重叠的滑动窗口方法将数据进行划分,每个窗口长度为2s,因此,每个数据处理单元的数据点个数为40。

每次传感器采集的数据动作有加速度传感器(a_x, a_y, a_z)和陀螺仪传感器($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)的6组数据。跌倒发生时的人体加速度和角速度变化主要体现在某空间方向上,因为人体运动中无法预知身体运动的方向,所以不能只用人体的躯干某一轴的加速度或角速度数据去判断人体的运动。因此,本文选取了加速度的信号强度矢量(a_{svm})和角速度信号强度矢量(ω_{svm})来进行识别。

$$a_{svm} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \quad (1)$$

$$\omega_{svm} = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}, \quad (2)$$

式中 a_x, a_y, a_z 和 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 分别为加速度和陀螺仪传感器 x, y, z 方向的线性值。

数据特征的提取包括提取数据的时域特征和频域特征,为了降低算法的复杂度和提高系统的能量的有效性,本文提取了数据时域上的3个特征,其中分别是平均值(mean) a_{avg} , 标准差(standard deviation) e_{std} , 偏差(skewness) e_{ske} , 其公式为

$$a_{avg} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad (3)$$

$$e_{std} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a_{avg})^2}{n}}, \quad (4)$$

$$e_{ske} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - a_{avg})^3}{e_{std}^3}. \quad (5)$$

2.2 分类器的选择与设计

老年人的日常最常见的行为是步行、静止(坐下、躺着、站立)、跑和上/下楼梯,其中,坐下/站起、下蹲/站起、躺下和跌倒(在后文中统称这四种动作为异常动作)在其日常生活中的比例是非常小的。

通过实验分析可得,用加速度传感器数据足够将走路、静止、跑、上/下楼梯以及异常动作识别出来。因此,首先只需提取加速度传感器数据,并对其数据进行特征提取,然后用易实现且复杂度低、实时性较好基于阈值的决策树分类器对人体运动进行简单的识别,识别出静止、跑步、走路、上下楼、异常动作中的一种。如果没有出现异常动作,则结束这次识别;否则,提取陀螺仪传感器的数据,并提取其数据特征,再次采用基于阈值的决策树分类器进行进一步的识别。如图2所示。

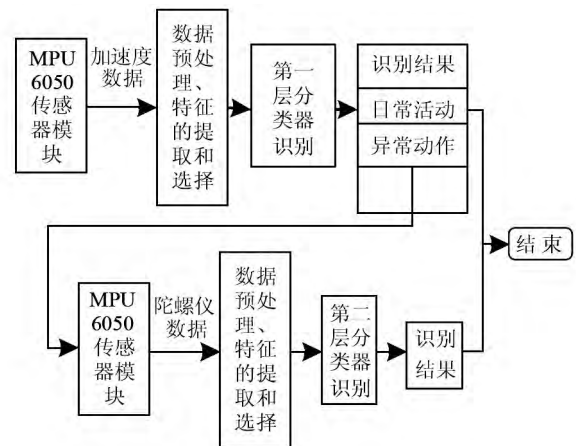


图2 人体运动识别的框图

Fig 2 Frame chart of human motion recognition

跌倒检测系统中系统能耗主要需要考虑2个方面:传感器数据采集终端和跌倒识别终端。传感器数据采集终端

消耗的能量主要包括传感器采集数据的能耗、发送数据的能耗以及基本能耗,其中前 2 个因素消耗的能量占 80 % 以上^[6]。识别终端消耗的能量主要由数据的接收、数据的处理和识别的算法 3 个方面组成。本文提出的方案减少了对陀螺仪传感器数据的传送和处理,因此,该算法不仅会减少识别终端的能耗,而且也能降低传感器数据采集终端的能耗。

3 人体运动的识别

3.1 传感器数据的采集

传感器数据采集终端佩戴位置直接影响到识别的准确度,本文经过多次实验发现佩戴在人体腰部是最理想的,如图 3 所示,因为腰部相对而言是运动变化幅度最小,同时满足用户佩戴方便的要求。

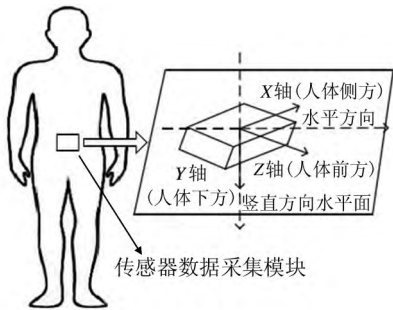


图 3 数据采集模块放置位置示意图

Fig 3 Diagram of data acquisition module placement position

实验志愿者为 15 名青年学生,其中 7 男 8 女,年龄在 22 ~ 26 岁之间,身高 155 ~ 180 cm。实验中,要求实验者模拟老年人日常生活静止(躺、坐、站)、走、跑、上/下楼梯、坐下/站起、下蹲/站起、躺下和跌倒八类行为,每个动作要求在 10 s 内完成,每个动作需要重复 5 次,并将数据上传到 PC 端。

3.2 跌倒检测算法的实现

将采集的所有加速度传感器数据提取输入到 weka 软件,用 weka 软件对数据进行预处理,计算出加速度传感器数据的均值、标准偏差和偏差,然后采用 C4.5 的决策树对加速度的数据进行挖掘,通过机器自学习后,得到识别结果树形图,如图 4 所示。

为了进一步对异常动作进行识别,则在 weka 中将陀螺仪传感器的数据进行预处理和分析,计算出加速度传感器数据的均值、标准偏差和偏差,最后采用 weka 软件进行挖掘得到识别结果树形图,如图 5 所示。

4 实验结果的分析

将识别器的算法移植到便携的终端,实验志愿者佩戴好数据采集模块和手机,20 名学生,其中,10 男 10 女,实验中要求实验者模拟老年人日常生活静止(躺、坐、站)、走、跑、上/下楼梯、坐下/站起、下蹲/站起和跌倒八类行为,每个动作要求在 10 s 内完成,每个动作需要重复 2 次,则每组动作有 40 个样本进行检测,八类不同动作的识别率,如表 1。

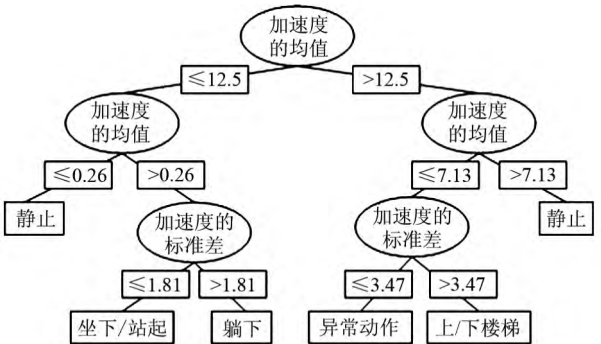


图 4 基于加速度数据的决策树分类结果树形图

Fig 4 Tree diagram of decision tree classification result based on acceleration data



图 5 基于陀螺仪数据的决策树分类结果树形图

Fig 5 Tree diagram of decision tree classification result based on gyroscope data

表 1 人体行为识别率

Tab 1 Human behavior recognition rate			
行为类别	总共次数	正确次数	正确率/%
静止	40	40	100.0
走	40	39	97.5
跑	40	40	100.0
上/下楼梯	40	35	87.5
坐下/站起	40	36	90.0
下蹲/站起	40	35	87.5
躺下	40	37	92.5
跌倒	40	36	90.0
平均	40	37.2	93.125

通过分析表 1 可得,该识别系统在降低了系统的能耗同时又具有较高的识别率,而且方便携带,适用于各种环境。

5 结 论

本文研究了基于加速度传感器和陀螺仪传感器的人体识别算法与研究,由于系统能量消耗是人体穿戴设备的一个重要因素,因此,本文提出了基于决策树的两层分类识别系统。相比于现有的其他系统,本系统在确保降低了系统能耗的同时,又有较高识别率,而且能识别较多的人体运动信息、并且便于携带,具有很强的实用和研究价值。

参考文献:

[1] 田国会,吉艳青,黄 彬,等. 基于多特征融合的人体动作识别[J]. 山东大学学报:工学版,2009,39(5):43-47.



图6 系统捕获 CMOS 传感器图像

Fig 6 Image of CMOS sensor captured by system



图7 系统获取热成像传感器的图像

Fig 7 Image of thermal imaging sensor acquired by system

的传感器成像质量和图像算法实时验证系统方案有着实时观测性、采集速率可调节性以及通用性的特点。该平台实现了成像传感器数据采集、静态图像捕获和动态图像实时显示,并且支持对被测试传感器原始图像处理算法研究。系统方案设计简洁高效,能够作为新开发图像传感器成像特点和图像算法研究系统平台,在软硬件设计方面为下一步图像传感器成像仪样机设计工作做了一定铺垫。

参考文献:

- [1] Lu Y Y, Wang J Z, Chang F W. Development of infrared real-time imaging system based on SOPC[C]//The 2008 International Conference on Embedded Software and Systems, IEEE Computer Society 2008: 63–68.
- [2] Toshiyo Tamura, Takumi Yoshimura, Masaki Sekine, et al. A wearable airbag to prevent fall injuries[J]. IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine, 2009, 13(6): 910–914.
- [3] Nam Y, Par J W. Child activity recognition based on cooperative fusion model of a triaxial accelerometer and a barometric pressure sensor[J]. IEEE Journals of Biomedical and Health Informatics, 2013, 17(2): 420–426.
- [4] Dinh A. Data acquisition system using six degree-of-freedom inertia sensor and Zig Bee wireless link for fall detection and prevention[C]//IEEE 30th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society 2008: 2353–2356.

- [2] Liu G, Li J, Ma H. Study of real-time infrared image enhancement algorithm based on FPGA[C]//The 2009 International Conference on Mechatronics and Automation, IEEE 2009: 1882–1886.
- [3] Wei H. Designing and development of multi-DSP real-time image processing system based on FPGA[C]//The 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology, IEEE 2011: 1263–1265.
- [4] Zhao Y, Liu J M, Zhang Q. Research of high speed sampling and processing of dynamic arc image[C]//2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, IEEE 2008: 183–187.
- [5] 向文芳, 邢涛, 曹红兵, 等. 高速数据采集系统的 USB 接口设计[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(10): 2567–2570.
- [6] Zhang N, Lü J, Zhou Y, et al. Research on infrared imaging system of UIRFPA based on virtual instrument[C]//The 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, IEEE 2011: 117–120.
- [7] Li H, Zhang S C, Han C, et al. A near infrared imaging detection system based on davinci Platform[C]//The 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, IEEE, 2009: 4-154–4-159.
- [8] Oren Dayakc. A low-cost uncooled infrared detector array and its camera electronics[D]. Ankara: Middle East Technical University of Turkey 2011.
- [9] Wang J, Peng L, Wei L. Design and implementation of a real-time image processing system with modularization and extendibility[C]//2008 International Conference on Audio, Language and Image Processing, IEEE 2008: 798–802.

作者简介:

李金龙(1989–),男,河南杞县人,硕士研究生,主要从事热成像传感器阵列成像系统与成像算法研究。

(上接第91页)

- [5] Inensense MPU-600 and MPU-6050 product specification revision 3.3 [EB/OL]. [2012-05-16]. <http://www.invensense.com/mems/gyro/sixaxis.html>.
- [6] Park Taiwoo, Lee Jinwon, Hwang Inseok, et al. E-gesture: A collaborative architecture for energy-efficient gesture recognition with hand-worn sensor and mobile devices[C]//Proc of the 9th ACM Conf on Embedded Networked Sensor System, New York: ACM, 2011: 260–273.

作者简介:

周林(1963–),男,四川内江人,副教授,硕士生导师,主要研究方向为数据通信、计算机网络、物联网等。

雷丽平,通讯作者, E-mail: 1034229460@qq.com。