

基于 Android 的运动状态识别分析系统设计*

康立富 王威廉 何冰冰 吴海龙 刘翔 吴超
(云南大学信息学院 昆明 650091)

摘要:从数据采集、运动状态识别及识别结果显示 3 个方面,设计基于 Android 的运动状态识别分析系统。在硬件电路方面,本系统使用 MPU6050 加速度传感器采集数据,并做预处理。在软件方面,运动状态识别算法在手机 APP 的后台实时处理数据。首先对接收的 6 组数据进行预处理,检测并统计识别步数;其次运动周期提取,计算挥拍次数及平均挥拍速度;然后对运动周期内的数据进行标准化处理,调用个人特征数据库进行运动识别,实现越用越准;最后将结果通过基于 Android 的手机 APP 界面进行显示。在系统测试中,能够计算出挥拍次数、平均挥拍速度、步数,同时能够识别出羽毛球、乒乓球两种运动模式和高远球、弧旋球等 8 种运动动作,识别率达到 90% 以上。

关键词:MPU6050; 周期提取; 运动状态识别; 基于 Android 的手机 APP

中图分类号: TN99 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4099

Design of sports state recognition and analysis system based on Android

Kang Lifu Wang Weilian He Bingbing Wu Hailong Liu Xiang Wu Chao
(School of Information Science and Technology, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: The recognition system of motion's states based on the Android have three aspects which is data acquisition, motion status recognition and identification results. In the hardware circuit, the system uses the MPU6050 acceleration sensor to collect 6 sets of data and preprocess it. In the software, the motion state recognition algorithm is real-time processing data in the background of mobile APP. First, the received six groups of data pretreatment, detection and statistical identification of the number of steps; next, followed by the movement cycle extraction, calculate the number of swing and the average swing speed; and then the data within the movement cycle of standardized processing, call the personal characteristics of the database to exercise Identify which to achieve the more prospective; Finally, the results through the Android-based mobile APP interface to display. the system test, it can calculate the number of swing, the average swing speed, the number of steps, to identify two sports modes of badminton and table tennis, to judge lofty ball, arc ball and others eight kinds of movement and the recognition rate is 90% or more.

Keywords: MPU6050; motion cycle extraction; motion state recognition; the Android mobile phone APP

0 引言

随着生活节奏的加速,人们开始关心自己的健康。对于国人来说,最喜爱的运动就是羽毛球与乒乓球。如何识别运动状态,是本文研究方向。通过设计腕带类电子设备来辅助实现运动状态的检测分析,并将分析结果给运动者。不仅可以运动者知晓自己的运动状态,还能改善自身球技^[1]。

本文主要设计一款便捷的腕带类设备。本系统使用

MPU6050 加速度传感器采集三轴加速度和三轴角度的 6 组数据^[2],通过 USART1 传输至处理器 STM32F103,核心处理器将预处理的结果经过 USART2 传输到蓝牙模块后,经蓝牙将数据传输到手机 APP。

在软件方面,首先对接收的 6 组数据进行消抖、卡尔曼滤波、加速度分解等预处理,进行自适应阈值检测统计识别步数;其次提取运动周期,根据运动周期的数量统计挥拍次数,根据运动周期的长度计算平均挥拍速度;然后对运动周期内的数据进行标准化处理,调用事先建立好的

收稿日期:2017-07

* 基金项目:国家自然科学基金(61261008)项目资助

标准特征数据库识别运动模式和运动动作,同时建立个人特征数据库,当个人特征数据库建立完成后,调用个人特征数据库进行运动识别,实现越用越准;最后将结果通过基于 Android 的手机 APP 界面进行显示^[3-4]。

1 系统整体设计

如图 1 所示,硬件部分的工作流程是通过供电电路对加速度传感器、核心处理器、蓝牙模块供电,初始化后的加速度传感器测量人体腕部运动的三轴加速度和三轴角度数据并将测量数据传输给处理器进行预处理^[5],经过核心处理器的测量信息通过蓝牙将数据发送出去。同时蓝牙模块也具有接收数据的功能,将来自上位机或者 APP 的控制信息传输至核心处理器进一步处理。

系统的软件设计主要有 4 个部分:首先是通过读取蓝牙所传输的测量数据,然后将数据对数据进行两步操作,即特征提取和分类识别,项目要求测量的过程中要越用越准,所以动作识别算法的学习和训练过程是必不可少的。最后一步就是分析处理后的结果进行显示。

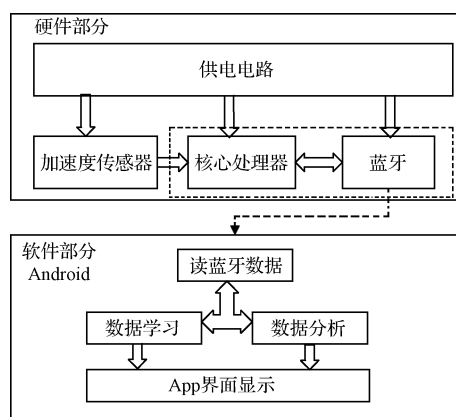


图 1 系统整体设计

2 硬件部分

本实验加速度传感器采用 MPU6050。最主要的是 MPU6050 集成了数字运动处理引擎可减少复杂的融合运算数据、感测器同步化、姿势感应等的负荷^[6]。

腕带设备处理器既要体积小也有低功耗的要求,因此用 ARM 公司的微处理器 STM32F103ZET6,其本身具有 3 个 USART 通信接口,处理速度可以达到 72 MHz 而且功耗也比较低。蓝牙模块选择常用的 HC-05 主从一体蓝牙模块。软件运行环境选择 Android 平台。

运动状态识别的硬件电路设计主要是将人体腕部运动的状态采集下来,然后将采集数据通过蓝牙传输至上位机进行处理,如图 2 所示,将 3.7 V 电压升至 5 V,分别给 MPU6050 加速度传感器模块、STM32F103、蓝牙模块供电。MPU6050 采集的数据通过 USART1 传输至处理器 STM32F103,核心处理器将预处理的结果经过 USART2

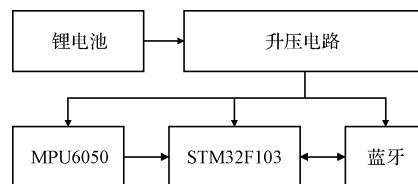


图 2 硬件电路整体设计

传输到蓝牙模块后经蓝牙将数据传输到移动端^[7]。通过对原理的分析,根据图 2 利用 Altium Designer 10 设计了硬件电路 PCB 如图 3 所示。

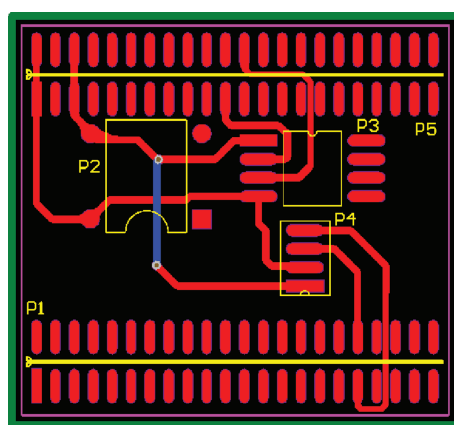


图 3 硬件电路 PCB 设计

图 3 的 PCB 设计中包含了 STM32F103 的接座 P1 和 P5,P2 是升压模块,P3 是 MPU6050 加速度传感器模块,P4 为蓝牙模块。各部分模块实物如图 4 所示。



图 4 模块实物

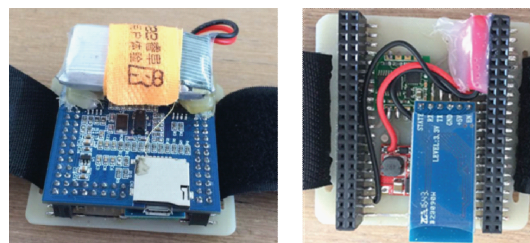


图 5 运动状态检测腕带设备实物

在理论基础的支撑下制作了 PCB 板,然后将各个模块进行焊接,得到了如图 5 所示的运动状态检测腕带设备,由于学院实验室条件的限制,所以仅仅制作了单层板。从图中可以看到锂电池经过红色的 DC-DC 升压模块后将

电压升至 5 V 给其他模块供电,加速度传感器 MPU6050 经过短暂的初始化后进入工作状态^[8],采集的腕部运动信息通过蓝牙传输到安卓手机进行处理。此时在手机端打开 Android APP 即可完成运动状态的识别。设计的腕带设备虽然体积略微大了一点,但是在成本上占有很大优势,也有很大的拓展空间。同时腕带设备的功耗也比较低,目前锂电池可以持续续航 6 h 左右。

3 软件部分

由于本系统识别的两种球类运动,羽毛球和乒乓球产生的信号都是周期性的,因此,采用基于时域的信号分析方法。需要指出的是,人体运动过程中的微弱抖动和传感器的噪声,加速度和角度数据都具有一定的抖动,这并不利于动作分析,因此本系统采用卡尔曼滤波进行消抖^[9-10]。

对于具有周期性的球类运动,由于每个周期的运动特征基本一致,故对每一个单独周期的运动数据进行分析。本系统使用语音识别中常用的过零率检测方法检测周期,与之不同的是:1) 本系统只记录数据由负值变为正值的过零点;2) 本文只记录过零点位置,而不记录过零点出现的概率;3) 运动信号中,可能仍然存在过零点附近波动的低频噪声,这会干扰过零点的检测,为解决这个问题,引入噪声阈值的计算方法;4) 羽毛球和乒乓球的运动周期具有一定的差异,本系统的周期提取方法应同时适用于这两种球类运动。

对于同一类运动同一种动作,不同人的动作幅度和快慢均有不同,这会导致特征曲线的振幅和周期出现差异。为了将实时采集的运动曲线与事先建立好的标准特征数据库进行相关性分析,需要对每个周期的信号进行标准化处理,包括振幅标准化和周期标准化。每个周期的信号包括三轴加速度和三轴角度,共 6 条特征曲线^[11]。运动算法识别流程如图 6 所示。

由于每个人做球类运动时,有自身的运动习惯导致的个体差异,所以本系统在动作识别过程中建立个人特征数据库。在开始一段时间内,使用标准特征数据库进行动作识别、训练算法、建立个人特征数据库;个人特征数据库建立完成后,使用个人特征数据库进行动作识别,达到越用越准的目的。

数据通过蓝牙模块传输到手机端,并通过 MPAndroid 控件进行波形的时时显示。最终在屏幕上得到显示结果。详细的软件设计流程如图 7 所示。

对于步数计步器,由于本系统在硬件方面,采用的就是加速度传感器收集数据,所以,本系统采用电子式来计算步数。在运动过程中,不同的人行走会有不同加速度大小的输出,传统方法是采用一轴最大加速度输出为有效的输出,加速度传感器的峰—峰值用来判断哪个轴输出为有效的输出^[12-13]。

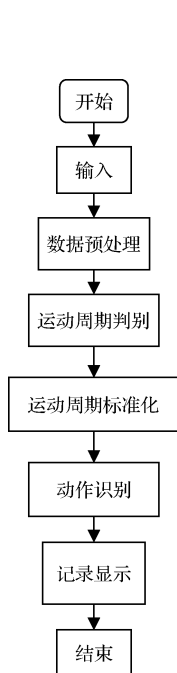


图 6 球类运动识别
算法流程

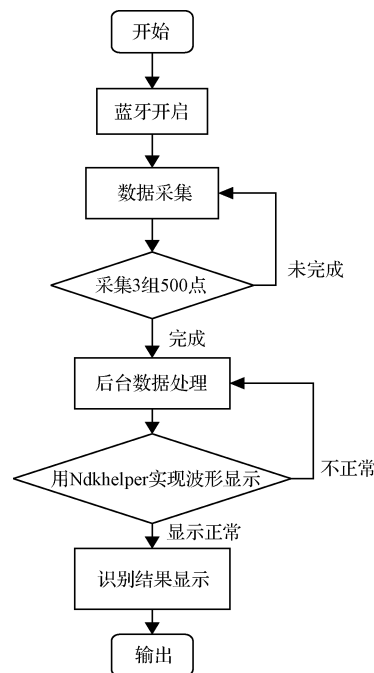


图 7 软件设计流程

4 实验结果

4.1 数据记录

乒乓球动作识别测试结果如表 1 所示。经过 5 min 的测试,算法对乒乓球抽球次数、反手击球、弧旋球、正手发球、正手击球的识别率分别为 91%,93%,95%,95%,96%,平均识别率达到 94%。

表 1 乒乓球动作识别测试结果

挥拍次数 共计	测量值					真实值				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
抽球次数	4	5	6	16	3	5	5	5	18	3
反手击数	45	154	128	99	144	48	160	120	100	160
弧旋球	99	19	30	48	22	105	18	32	50	20
正手发球	25	16	10	9	13	23	15	10	10	11
正手击球	24	13	55	23	50	25	11	52	22	50

羽毛球动作识别测试结果如表 2 所示。经过 5 min 的测试,算法对羽毛球正手高远球次数,发高远球次数,反手发球次的识别率分别为 94.3%,93.1%,91.1%,平均识别率达到 92.8%。

表 2 羽毛球动作识别测试结果

挥拍次数 共计	测量值					真实值				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
正手高远球次数	92	63	76	58	82	82	62	70	55	81
发高远球次数	16	34	25	29	13	12	33	24	30	10
反手发球次数	9	5	10	15	6	10	5	8	13	5

各流程对应的系统界面如图8所示。

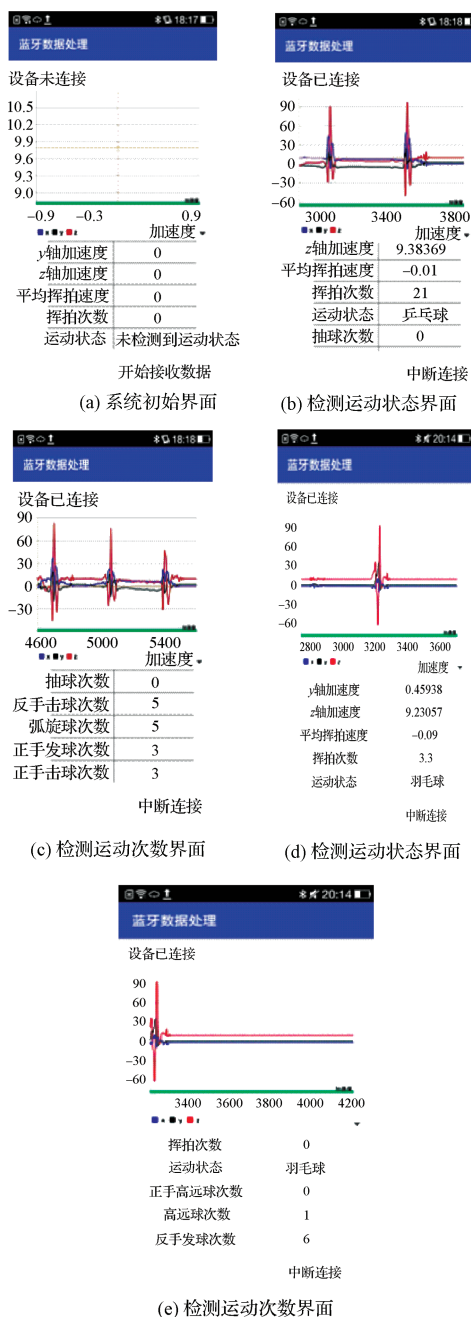


图8 各流程对应的系统界面

4.2 误差分析

开始进入该APP中,会显示 x 轴, y 轴, z 轴加速度或角度运动的曲线,然后打开腕带设备开关,进入运动状态即可显示乒乓球/羽毛球运动, x 轴, y 轴, z 轴加速度值,平均挥拍速度值,挥拍次数。假如是乒乓球则会显示抽球次数、反手击球次数、弧旋球次数、正手发球次数、正手击球次数。假如是羽毛球则会显示正手高远球次数,高远球次数,反手发球次数。

如图9、10所示,在本系统的球类运动动作识别过程

中,羽毛球的动作识别误差比乒乓球的动作识别误差要大,导致此结果的原因主要有以下两点:1) 羽毛球的动作幅度较大,会产生一部分干扰动作,导致运动周期的误判,例如挥拍过程中,手臂抬起,但是未击球,系统会自动将该类动作归类为挥拍动作;2) 羽毛球的运动周期比乒乓球的运动周期复杂的多,在周期提取这部分,由于羽毛球运动状态的复杂多变性会导致误差较大^[14-15]。

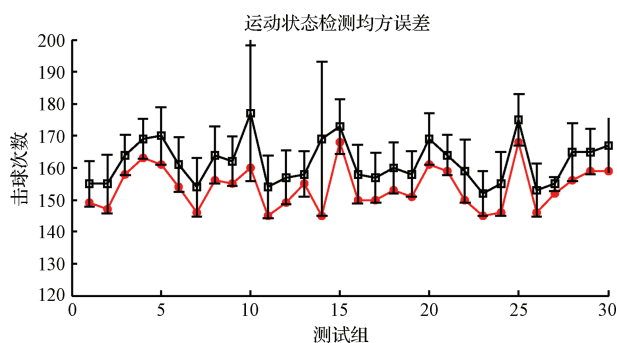


图9 乒乓球运动状态的误差

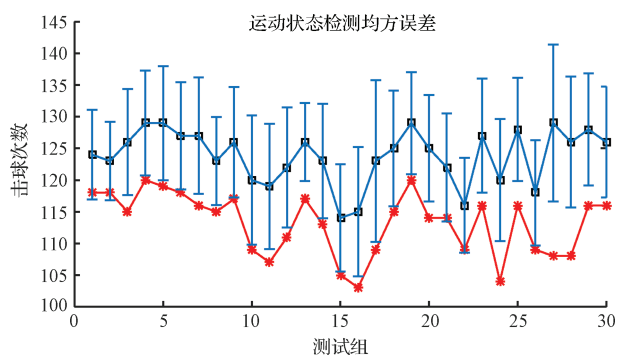


图10 羽毛球运动状态的误差

在本系统中,一般情况下,对于挥拍次数都会有过估计的情况,导致这种现象的主要原因是运动过程中产生的一些小幅度动作被误判为挥拍动作。

5 结论

在系统测试中,能够计算出挥拍次数、平均挥拍速度、步数,能够识别出羽毛球、乒乓球两种运动模式和高远球、弧旋球等8种运动动作,识别率达到90%以上。由于运动周期提取部分的过估计,导致测试结果较真实值偏大,但误差在合理范围内。为便携式运动状态分析手腕的研发奠定理论与实践基础。

参考文献

- [1] BO L, HONG Y, HUI F. Research of smart home system based on handheld device[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 3335(596): 188-191.
- [2] 张瑛, 薛梅, 王阳, 等. 基于MEMS传感器惯性测量单

- 元设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(8): 207-211.
- [3] ALTHLOOTHI S, MOHAMMAD H M, ZHANG X, et al. Human activity recognition using multi-features and multiple kernel learning[J]. Pattern Recognition, 2013.
- [4] KWAPISZ J R, WEISS G M, MOORE S A. Activity recognition using cell phone accelerometers[J]. Acm Sigkdd Explorations Newsletter, 2011, 12(2):74-82.
- [5] 贾衡天, 张程光, 高文凯, 等. 随钻井下姿态测量系统[J]. 微型机与应用, 2015, 34(18):1-4, 7.
- [6] 万良金. 基于多传感器信息融合的机器人姿态测量技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [7] 刘少军, 王瑜瑜. 基于 Android 手机蓝牙控制的智能小车设计与实现[J]. 电子测量技术, 2016, 39(9): 114-117.
- [8] 李尹, 施荣华, 李东林, 等. 用于 WSNs 节点的新型太阳能供电系统[J]. 太阳能学报, 2016, 37(5): 1160-1166.
- [9] 孙超, 张美君. 基于 Kalman 滤波的头盔运动姿态的预测方法[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2):82-86.
- [10] 赵婵娟, 王建平, 孙伟, 等. 基于相关性分布式卡尔曼滤波的谐波检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(9):1333-1341.
- [11] 刘进磊. 基于 Android 的典型人体运动识别算法与应用研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2014.
- [12] 黄斌, 吴昕慧. 基于 MATLAB 计步器算法研究[J]. 系统仿真技术, 2011, 7(2):152-155.
- [13] TROST S G, ZHENG Y, WONG W K. Machine learning for activity recognition: hip versus wrist data[J]. Physiological Measurement, 2014, 35(11):2183-2189.
- [14] 王犇, 袁涛, 梁灿. 基于加速度特征点提取的步态身份认证[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(10): 1601-1604.
- [15] 冯玉光, 单珊, 奚文骏. MEMS 在运动轨迹显示中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(6):77-81.

作者简介

康立富, 1989 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统设计、软件开发、生物医学信号处理。

E-mail: 1212tomny@163.com

王威廉(通信作者), 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为生物医学信号处理、信号与信息处理、数字模拟 IC 与 ASIC 电路设计。

E-mail: wlwang_47@126.com

何冰冰, 1993 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为生物医学信号处理, 软件系统设计等。

E-mail: 494647909@qq.com

吴海龙, 1992 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为生物医学信号处理, 天文信号处理, 嵌入式系统开发等。

E-mail: yn_wlh@163.com