 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5299

Design of a human posture recognition system for intelligent treadmills

Sisi Yang Youxiong Xu Yanran Wang

School of Automation, Nanjing University of Engineering, Nanjing, Jiangsu, 211167, China

Abstract

This paper uses the STM32F103C8T6 microcontroller as the core, combined with the HC-05 Bluetooth module, to complete the design and implementation of a human motion posture recognition system. In terms of hardware, a modular design is adopted, including a main control circuit with STM32 as the core, an MPU6050 sensor data acquisition circuit, a Bluetooth communication circuit, and a power management circuit, all of which work together. Collect human motion data through MPU6050 and wirelessly transmit it to MATLAB platform via HC-05. On the data processing end, complete feature extraction and classification algorithm design, construct posture discrimination model, and develop corresponding programs and visual interfaces. System integration testing simulates various motion scenarios to verify the effectiveness of algorithms, achieve real-time discrimination and feedback of motion states, and provide technical solutions for the development of wearable motion monitoring devices

Keywords

STM32 microcontroller; Human posture recognition; MPU6050; Bluetooth Communicator

面向智能跑步机的人体姿态识别系统设计

杨思思 许有熊 王嫣然

南京工程学院自动化学院，中国 · 江苏 南京 211167

摘 要

本论文以 STM32F103C8T6 微控制器为核心，搭配 HC - 05 蓝牙模块，完成人体运动姿态识别系统设计与实现。硬件方面，采用模块化设计，包括以 STM32 为核心的主控电路、MPU6050 传感器数据采集电路、蓝牙通信电路及电源管理电路，各模块协同工作。通过 MPU6050 采集人体运动数据，经 HC - 05 无线传输至 MATLAB 平台。在数据处理端，完成特征提取与分类算法设计，构建姿态判别模型，并开发相应程序及可视化界面。系统集成测试通过模拟多种运动场景，验证算法有效性，实现运动状态实时判别与反馈，为可穿戴式运动监测设备开发提供技术方案。

关键词

STM32单片机；人体姿态识别；MPU6050；蓝牙通讯

1 引言

随着互联网与智能设备的不断普及，人们对健康的关注度日益提升，人体运动姿态作为反映人体健康的关键指标，受到了越来越多的关注。目前，主流的人体姿势识别方法主要是借助图像视频信息或者传感器等来获取人体运动数据，再依据不同行为的数据特性差异进行识别。基于图像视频的人体姿势识别法虽然识别率相对较高，但存在诸多局限性，如限制人体活动范围、设备成本昂贵、难以普及推广等问题 [1]。相比之下，传感器识别方式大多运用加速度 / 角速度传感器获取运动原始数据，进而提取数据特征以对人体运动姿态做进一步识别分析。与视频图像信息法相比，传感器方式具有成本低、数据获取方便、不易受环境干扰等优势，这使得基于传感器的运动识别法得到了更广泛的应用 [2]。

2 总体方案设计

该系统的原理框图如图 1 所示。系统利用 STM32 对传感器进行初始化和校准操作，之后传感器会实时地采集运动数据。STM32 通过 I2C 接口读取这些采集到的数据，并运用特定的算法来判断人体的运动姿态。当 STM32 完成姿态判别之后，会将识别出的结果显示在 OLED 屏幕上，同时通过蓝牙模块向控制电机的芯片发送相应的控制信号。此外，用户还可以通过按下按键来查看传感器采集到的不同数据。

本设计由 STM32F103C8T6 单片机最小系统板电路、MPU6050 传感器电路、蓝牙通讯模块、OLED 显示屏电路、蜂鸣器电路和按键模块组成。其中，传感器模块负责采集运动数据并交给单片机处理。MPU6050 加速度传感器能够检测人体在各种运动状态下的数据，从而计算出走路的步数、

【作者简介】杨思思（2003–），女，苗族，中国贵州六盘水人，在读本科生，从事自动化研究。

距离以及平均速度。蓝牙串口通讯模块用于将单片机接收到的传感器数据传输给 MATLAB 进行预处理，并且将单片机处理好的信号传输给控制跑步机电机的单片机。显示模块中的 OLED 显示屏实时显示步数、平均速度及人体运动姿态。按键模块用于实现不同数据的显示与调试功能。

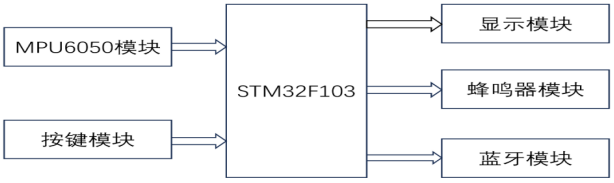

图 1 系统原理框图

3 软件设计

3.1 人体运动姿态的判别算法设计

人体加速度向量幅值能够通过测量人体的加速度幅值来反映运动的强度，该数值较大时，表明人体运动较为剧烈 [3]。为了提升处理速度和结果的准确性，本系统采用支持向量机（SVM）进行加速度合成。具体而言，首先对加速度数据进行特征提取，然后利用 SVM 来判别人体的运动状态。由于本设计所选用的传感器内部具备滤波功能，因此在本研究中，只需直接合成得到 SVM。处理后的加速度计算公式为：

$$SVM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \qquad (1)$$

本系统中的姿态判别算法通过对 MPU6050 中加速度计和陀螺仪数据的处理，并用 MATLAB 进行特征提取，实现了走路、跑步、下蹲、起跳和摔倒的运动姿态的识别，以及对人体运动时平均速度的计算，为后续的实物测试应用提供了基础。

3.1.1 行走和跑步

通过蓝牙串口模块将 STM32 处理得到的合成加速度发送到 MATLAB 并实时绘图，可以得到行走和跑步动作状态下三轴加速度处理后的图像。经过分析可以得出：人体在走路状态时的加速度向量幅值基本处于 0.8g 到 1.3g 之间，而跑步时人体的加速度向量幅值较大，超过 1.6g。通过对走路和跑步状态下的加速度向量幅值进行特征提取可以得出：当加速度向量幅值大于 1.1g 且小于 1.3g 时为走路状态，当大于 1.5g 时为跑步状态，当处于加速度向量幅值为 0.9g 到 1.1g 之间时为静止状态。

3.1.2 跳跃和下蹲

通过监测和分析三轴陀螺仪中纵向加速度数据的变化方向和幅度，可以有效地区分出跳跃和下蹲这两种不同的身体动作 [4]。具体来说，当纵向角加速度大于 20 时，判断为跳跃状态；当纵向角加速度小于 -20 时，判断为下蹲状态。此外，当加速度向量幅值处于 0.9g 到 1.1g 之间时，认为身体处于静止状态。基于这些特征，我们进行了程序编写。具体逻辑如下：当监测到 gz（纵向角加速度）大于 20 时，系统判断当前为跳跃状态，同时 OLED 显示屏会显示字符串“JUMP.”；而当 gz 小于 -20 时，系统则判断为下蹲状态，此时 OLED 显示屏会显示字符串“SQUIT.”。

3.2 人体跌倒检测算法的设计

在本设计中，主要选用了 DMP（Digital Motion Processor）作为姿态解算的核心方法。DMP 直接集成了 MPU6050 内部的运动引擎，能够直接输出四元数。这不仅极大地简化了微处理器的数据处理流程，还巧妙地避免了复杂的滤波和数据融合步骤 [5]。这种方式在提升系统整体性能的同时，也有效降低了开发的复杂度和时间成本。四元数的基本表示形式为：

$$q_0 + q_1 \times i + q_2 \times j + q_3 \times k \qquad (2)$$

当人体发生跌倒行为时，人体姿态角会发生显著变化 [6]。此时，将通过 DMP 解算得到的俯仰角、横滚角和航向角，利用蓝牙串口模块发送到 MATLAB 并进行实时绘图。通过对跌倒状态下的加速度向量幅值和俯仰角变化进行特征提取，可以得到相应的判断流程：当加速度向量幅值大于 1.3g，且姿态角的绝对值小于 40° 时，人体处于跌倒状态。此时，OLED 显示屏会显示字符串“!!FALLDOWN!!”，同时蜂鸣器发出报警。

3.3 人体运动速度测量算法的设计

人体走动时，加速度的变化会导致 MPU6050 传感器数据的相应变化。通过读取 MPU6050 加速度数据寄存器和偏向角数据寄存器的数据，经过进一步的滤波和处理，就可以得到步数 [7]。而 MPU6050 的 DMP 库中已经设计了一个用于获取步数和步行时间的函数。由于人体在走路和跑步时的步行距离变化不大，因此只需设定一个固定的距离，再通过步数和时间进行简单的计算，就可以实现平均速度的计算。

3.4 程序设计

该人体运动姿态识别系统通过分析五个模块（按键、显示、通信、蜂鸣器和加速度传感器）之间的逻辑关系和主要功能，采用模块化设计方法，将每个模块的底层功能封装，确保独立工作和清晰的接口。设计时将底层代码置于对应的 C 语言文件和头文件中，提供接口函数以供调用，降低模块间耦合度。

系统启动后，先进行 STM32 的全局初始化和各功能模块的独立初始化配置。主循环中，通过按键模块检测用户输入并设置参数，MPU6050 实时采集加速度和陀螺仪数据，经姿态识别算法处理后，通过 OLED 显示模块输出结果，同时根据识别状态决定是否触发蜂鸣器报警。蓝牙通信模块负责将关键数据发送至外部设备。所有模块采用接口函数封装设计，通过清晰的输入 / 输出接口交互，实现高效协同的人体姿态监测与反馈。

4 系统调试

该调试过程分为硬件模块测试与实物联调两个阶段。在硬件调试中，首先对 MPU6050 传感器模块进行初始化验证，通过 OLED 屏幕显示“OK”状态确认其正常工作，解决了传感器初始化失败等常见问题。针对蓝牙通信模块，采用 AT 指令配置 38400 波特率、设备名称及访问密码（1234），通过串口调试助手双向验证数据传输功能：电脑端发送字符串时 OLED 实时显示，传感器数据回传时能准确解析姿态角参数，确保无线通信链路的稳定性。

实物联调阶段，系统通电后需完成初始化自检，通过模拟人体五种典型运动（行走、跑步、跳跃、下蹲、跌倒），实时显示运动姿态与平均速度，验证了硬件架构的合理性和算法模型的有效性。调试过程中实物显示如下图 3 所示。

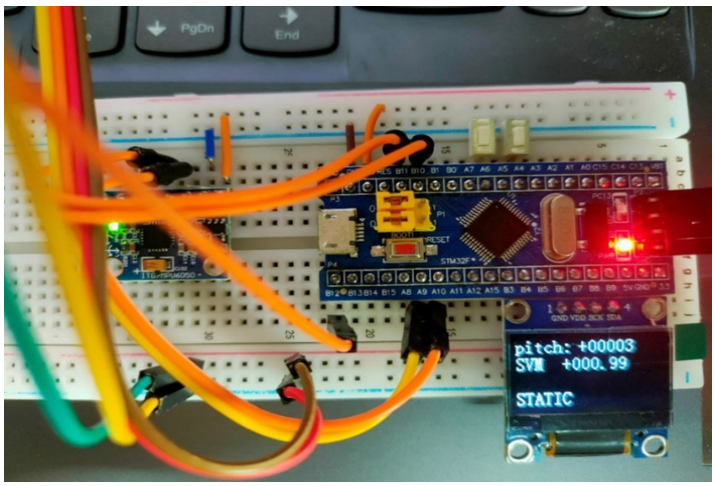

图 2 调试实物图

5 结论

本系统以 STM32F103 为核心控制器，能够显著提高算法的执行速度和代码效率，满足人体姿态识别的速度需求。通过加速度传感器收集不同动作的数据并进行处理和归纳，运用阈值分类法进行动作判别，从而提升人体姿态判别的效率和准确率。本系统设计合理、功能完善、成本低廉、易于组装，具有良好的实用性和广阔的应用前景。

参考文献

[1] 赵一秾.固定场景下的人体姿态识别[J].电脑编程技巧与维护,2018,(11):150-152.

[2] 蔡俊,王玮琪,桂硕楠.基于运动传感器的体态识别系统设计[J].电子技术与软件工程,2023,(04):120-123.

[3] 郑毅,宋贺良,王克强.基于SVM的人体姿态识别技术研究[J].传感技术学报,2023,36(03):462-468.

[4] 孙宇航,周建钦,张学锋.基于加速度传感器的人体运动模式识别[J].计算机系统应用,2020,29(06):196-203.

[5] 王美玲,刘钰倩,翟朝阳,等.基于三轴角加速度传感器的姿态解算方法[J].中国惯性技术学报,2024,32(11):1095-1101.

[6] 刘瑞佳,周怡.基于多传感器融合的跌倒检测研究综述[J].现代计算机,2020,(34):55-58+82.

[7] 韩进,许雯雯.六轴陀螺仪MPU6050的虚拟3D模型角度控制[J].单片机与嵌入式系统应用,2017,17(12):43-47.