 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5298

Design of Treadmill Speed Control System Based on Human Posture Recognition

Tao Hu Youxiong Xu Hao You

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

Abstract

The system is composed of STM32F103C8T6 microcontroller as the core, combined with IM600 six axis sensor module, TR100 Bluetooth module, and TB6612FNG motor drive board module. The six axis sensor module is used to collect the rate of change of acceleration before and after the user's movement, and the acceleration data is analyzed by the microcontroller to identify the user's gait and exercise intensity; Based on these analysis results, PWM speed regulation is used to control the output voltage of the TB6612FNG motor drive board module to adjust the speed of the treadmill in real time to meet the user's exercise needs. The experimental results show that the system can intelligently adjust the speed according to changes in the user's exercise status, improving the user experience of the treadmill while enhancing safety and comfort during the exercise process.

Keywords

Six axis sensor; Treadmill; Speed control; Intelligent fitness

基于人体姿态识别的跑步机速度控制系统设计

胡韬 许有熊 尤昊

南京工程学院，中国 · 江苏 南京 211167

摘 要

系统以STM32F103C8T6微控制器为核心，结合IM600六轴传感器模块、TR100蓝牙模块、TB6612FNG电机驱动板模块组成。六轴传感器模块用于采集用户运动过程中前后加速度的变化速率，经过单片机对加速度数据进行分析，识别用户的步态和运动强度；根据这些分析结果，运用PWM调速来控制TB6612FNG电机驱动板模块的输出电压来实时调节跑步机的速度，以适应用户的运动需求。实验结果表明，该系统能够根据用户运动状态的变化智能调节速度，提升了跑步机的使用体验，同时增强了运动过程中的安全性与舒适性。

关键词

六轴传感器；跑步机；速度控制；智能健身

1 引言

随着科技的发展，智能健身设备逐渐成为现代健身生活的一部分，特别是在跑步机的智能化进程中，如何提高跑步机的适应性、舒适性和安全性，成为行业研究的热点。传统的跑步机在速度调节上大多依赖于用户的手动设置或预设的运动模式，虽然可以满足基础的健身需求，但在个性化和智能化方面仍存在较大的提升空间。

近年来，人体姿态识别技术在健康监测、运动分析等领域取得了显著进展。通过对用户的运动状态进行实时分析，可以为用户提供更加个性化的运动体验。然而，大多数现有的跑步机控制系统依赖于图像处理技术（如摄像头），这一方式存在一定的局限性，例如对光照、空间等环境因素敏感，且硬件成本较高，同时摄像头在隐私性问题上具有争议，而传感器系统具有不间断的、非侵入的记录人类活动信息的特点，更加符合人们的需求。为了避免这些问题，本文提出了一种基于六轴传感器的跑步机速度控制系统 [1]。通过实时捕捉用户运动中的前后加速度变化，结合数据分析与算法建模，利用 STM32F103C8T6 微控制器的定时器功能将其加速度的变化转换成 PWM 直流调速 [2]，再利用 PID 控制算法实现对控制过程的精准调节，使输出的速度更加接近跑步机需要的速度 [5]。

2 总体方案设计

本系统设计的核心目标是通过传感器采集用户的加速度数据，结合 STM32F103C8T6 微控制器分析数据，判断用户的运动状态，然后输出 PWM 信号调节跑步机的速度。蓝牙模块用于连接传感器和微控制器，使得数据可以实时传输到微控制器。最终，通过 PID 控制算法进行精确调节，确保跑步机速度平稳变化，提升用户体验。

本系统由四个主要模块组成：微控制器（STM32F

【作者简介】胡韬（2002–），男，中国江苏宿迁人，本科，从事自动化研究。

103C8T6）、加速度传感器（IM600）、电机驱动模块（TB6612FNG）和蓝牙模块（TR100）。以下是系统框架图：

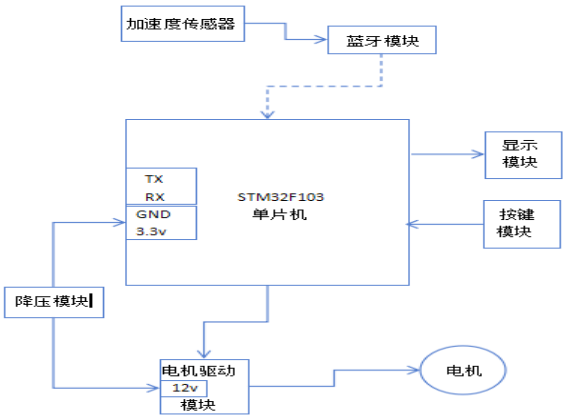


图 1 系统框图

3 硬件电路设计

硬件电路设计以 STM32F103C8T6 微控制器为核心，通过合理的模块化设计完成跑步机速度控制系统。主控芯片 STM32 采用 3.3V 供电，负责整个系统的信号处理与协调控制。I600 六轴传感器通过 I2C 接口与 STM32 连接，用于实时采集人体的加速度与角速度数据。TR100 蓝牙模块同样采用 3.3V 供电，通过 TXD 和 RXD 引脚与 STM32 进行串口通信，实现无线数据传输和远程监控功能。电机驱动部分使用 TB6612FNG 模块，其逻辑电源为 5V，输入电压为 12V，通过 PWM 信号控制一台 12V、7W 的直流无刷减速电机实现精准速度调节。整个系统通过闭环反馈机制采集电机转速信号，并结合 PID 算法实现对电机速度的稳定控制。此外，所有模块均采用合理的电源隔离和稳压设计，确保系统运行的稳定性和可靠性。

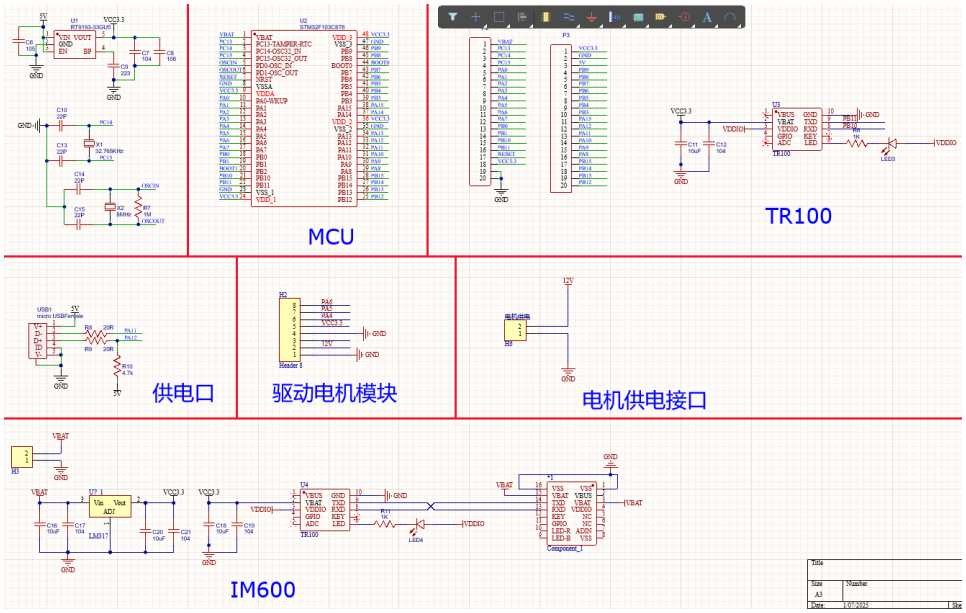


图 2 硬件设计电气图

4 软件设计

4.1 姿态识别与数据处理

4.1.1 人体速度的积分公式

假设每个采样时间间隔为Δt，加速度为$a(t)$，则人体相对于地面的速度 $v_{\text{human}}(t)$ 通过对加速度进行数值积分得到[3]：

$$v_{\text{human}}(t) = v_{\text{human}}(t-1) + a(t) \cdot \Delta t$$

其中：

$v_{\text{human}}(t)$为当前时刻人体的速度。

$v_{\text{human}}(t-1)$ 为前一时刻人体的速度。

$a(t)$为当前时刻的加速度（由六轴传感器获得）。

Δt为采样时间间隔。

4.1.2 跑步机速度调整公式

根据人体的相对速度$v_{\text{human}}(t)$，调整跑步机的速度 $v_{\text{treadmill}}(t)$。跑步机的速度调整依赖于人体速度的变化，调整公式如下：

当人体速度$v_{\text{human}}(t)$>0 时（人体加速）：

$$v_{\text{treadmill}}(t) = v_{\text{treadmill}}(t-1) + k \cdot v_{\text{human}}(t)$$

当人体速度 $v_{\text{human}}(t)$<0 时（人体减速或后退）：

$$v_{\text{treadmill}}(t) = v_{\text{treadmill}}(t-1) - k \cdot |v_{\text{human}}(t)|$$

其中：

$v_{\text{treadmill}}(t)$ 为当前时刻跑步机的速度。

k为跑步机速度调整的系数，通常小于 1，用于控制跑步机速度的敏感度。

$|v_{\text{human}}(t)|$表示人体速度的绝对值。

4.1.3 综合控制过程

综合上述公式，整个控制过程可以表示为：

$$v_{\text{luman}}(t) = v_{\text{luman}}(t-\Delta) + a(t)\cdot\Delta t$$

$$v_{\text{treadmill}}(t) = \begin{cases} v_{\text{treadmill}}(t-\Delta) + k\cdot v_{\text{luman}}(t), \\ v_{\text{treadmill}}(t-\Delta) - k\cdot|v_{\text{human}}(t)|, \\ v_{\text{human}}(t), \end{cases} \quad \text{if}|v_{\text{human}}(t)| \le \epsilon$$

$$\text{if} v_{\text{human}}(t) > 0$$
$$\text{if} v_{\text{human}}(t) < 0$$

4.1.4 初始条件

假设初始时刻 t=0t = 0t=0 时，人体和跑步机的速度都为零：

$$v_{\text{human}}(0) = 0, \quad v_{\text{treadmill}}(0) = 0$$

4.2 PWM 控制

PWM（脉宽调制）是跑步机速度控制的核心方式，通过调节占空比来控制直流电机的运行速度。STM32 内部定时器模块用于生成 PWM 信号。

PWM 原理：

在一个固定周期$\mathbf{T}$内，PWM 信号的高电平持续时间 $\mathbf{t_1}$ 与周期$\mathbf{T}$的比值称为占空比$\mathbf{D}$，其关系为：

$$D = \frac{t_1}{T}$$

输出电压$\mathbf{V_a}$与占空比成正比：

$$V_a = V_{max} \times D$$

通过调节占空比$\mathbf{D}$，可以动态调整电机的转速 [6]。

4.3 PID 调节控制

PID 控制用于优化跑步机速度调节的精度和响应速度，通过实时调整 PWM 信号占空比来减小目标速度与实际速度的偏差。PID 控制公式为：

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

其中：

$\mathbf{e(t)}$为速度误差（目标速度 - 实际速度）；

K_p、K_i、K_d为 PID 的比例、积分和微分系数 [4]。

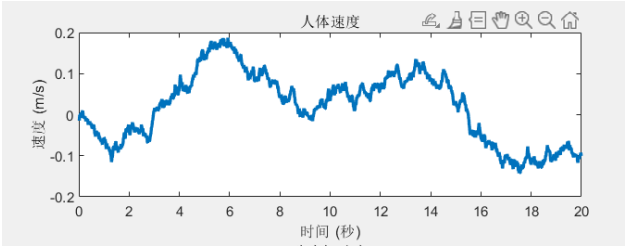
4.4 程序设计

系统启动后，首先对 STM32 进行初始化，包括时钟配置和 GPIO 端口设置，同时完成 IM600 六轴传感器和 TR100 蓝牙模块的初始化，确保各模块正常工作。随后，系统进入主循环，通过蓝牙模块接收 IM600 传感器采集的加速度和角速度数据，并对数据进行姿态识别和处理，判断人体的前倾或后仰状态。根据识别结果，利用 PID 算法进行速度调节，计算出合适的速度调整值，并通过生成 PWM 信号控制电机驱动模块（TB6612FNG），实现对电机的速度控制。同时，系统接收电机的反馈信号，将反馈数据输入 PID 算法进行闭环调节，持续优化电机运行状态。主循环不断重复，确保系统实时响应人体姿态的变化，实现对跑步机速度的精准控制。

5 实验与分析

该系统能够根据用户的运动状态自动调整跑步机的速度，提供更加个性化的运动体验。硬件部分采用了高效稳定的电源设计，各模块的集成和配合使得系统具备了较好的可靠性和响应速度。通过实验测试，该系统能够在实际运行中实时调整速度并提供精准的控制，具备了较高的实用价值。

以下是该系统的 MATLAB 仿真图片：



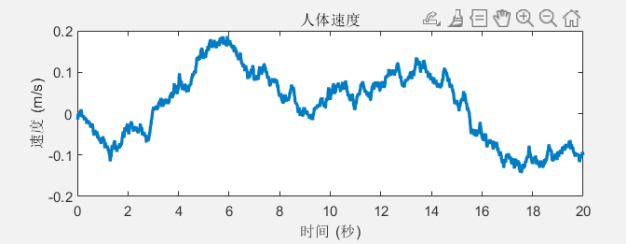


图 3 人体与跑步机的速度对比

6 结论

本设计以 STM32F103C8T6 微控制器为核心，结合 IM948 六轴传感器模块、TR100 蓝牙模块和 TB6612FNG 电机驱动模块，设计了一种基于人体姿态识别的跑步机速度控制系统。系统通过传感器采集加速度和角速度数据，利用姿态识别算法判别人体状态，并结合 PID 控制算法生成 PWM 信号精准调节电机速度，实现实时响应人体姿态变化的跑步机速度控制功能。硬件设计中，各模块合理分工，采用稳定的电源供电方案，确保了系统运行的可靠性。实验表明，该系统运行稳定，响应迅速，可满足智能化跑步机的基本功能需求，具有一定的实际应用价值和发展潜力。

参考文献

[1] 郝迎丽.基于六轴传感器的行为识别研究与应用[D].北京邮电大学,2023.

[2] 陈灵方,秦翠兰,王立强,等.基于51单片机定时器的直流电机PWM调速设计[J].黑龙江科学,2024,15(06):48-51.

[3] 王敏洁,陈凌煜,董振华,等.移动状态下加速度数据滤波算法的对比与研究[J].电子产品世界,2024,31(05):68-72+76.

[4] 顾昊华.基于单片机PID算法的直流电机速度控制方法研究[J].电脑知识与技术,2024,20(14):107-109.

[5] 刘杰,思旺斗,武轶凡.变工况下的煤矿清挖输送机速度自适应PID控制技术[J].洁净煤技术,2024,30(S1):684-689.

[6] 梁卫凯,褚锦涛.一种关于无刷直流电机的调速控制系统[J].信息技术与信息化,2024,(08):119-122.