

基于嵌入式技术的运动目标控制 与自动追踪系统设计

梁 瑞*

(西安翻译学院 信息工程学院, 西安 710105)

摘要: 针对目前移动机器人运动目标定位不准确和追踪过程中容易丢失的问题,设计了一种基于嵌入式技术的运动目标控制与自动追踪系统。本系统以光斑模拟运动目标,通过算法编程不但可以实现目标的运动轨迹控制,还可对其运动轨迹进行自动追踪。本设计以嵌入式芯片 STM32F103 为核心,通过 OpenMV 进行图像数据处理,并由 PID 精确算法调节舵机,从而控制光斑在屏幕上按照设定程序进行移动和追踪。经测试,该系统能够准确地完成运动目标的控制和自动追踪任务,反应灵敏,性价比高,可广泛应用于运动目标追踪等智能控制设备中。

关键词: 嵌入式技术;运动目标控制;STM32F103;PID;OpenMV

中图分类号: TN06

文献标识码: A

Design of motion target control and automatic tracking system based on embedded technology

LIANG Rui

(Institute of Information and Engineering, Xi'an Fanyi University, Xi'an 710105, China)

Abstract: In response to the current issues of inaccurate positioning and easy loss during the tracking process of mobile robots' moving targets, an embedded technology based moving target control and automatic tracking system is designed. This system simulates moving targets with light spots, which can not only control the motion trajectory of the moving target, but also achieve automatic tracking of its motion trajectory. This design takes the embedded chip STM32F103 as the core, processes image data through OpenMV, and adjusts the servo with precise PID algorithm to control the laser pen's spot to move and track on the screen according to the set program. After testing, the system can accurately complete the tracking and automatic tracking tasks of moving targets, with sensitive response and high cost-effectiveness. It can be widely used in intelligent control devices such as moving target tracking.

Keywords: embedded technology; motion target control; STM32F103; PID; OpenMV

0 引言

随着人工智能技术的不断发展,智能机器人从实验室走向各个工作岗位,它们可以协助人类有效提高工作效率。移动机器人是智能机器人的一种,它可以通过预先设定好的程序帮助人类在物流分拣、工业运输或危险恶劣环境下进行移动作业,其中运动目标控制与自动追踪系统是该移动机器人的关键技术^[1-2]。本文基于嵌入式技术实现了运动目标控制与自动追踪系统的设计。该系统性能稳定,反应灵敏,性价比高,可在移动机器人等智能控制设备

中广泛使用。

1 设计目标

本项目实现基于嵌入式技术的运动目标自动追踪系统设计。该系统主要包括两部分,分别为模拟运动目标的红色光斑位置控制系统和指示自动追踪的绿色光斑位置控制系统。红色激光笔发射的光斑用来模拟运动目标,光斑落在正前方距离 1 m 处的白色屏幕上,光斑直径小于等于 1 cm。红色光斑位置控制系统控制光斑能在屏幕范围内任意移动。绿色激光笔发射的光斑由绿色光斑位置系

基金项目:陕西省教育科学“十四五”规划 2021 年度课题(SGH21Q063);陕西省教育厅科学研究计划项目资助(22JK0391)。

梁瑞(副教授),主要研究方向为嵌入式技术与信号、信息处理。

* 通信作者. E-mail: 948793038@qq.com。

统控制,用于自动追踪屏幕上的红色光斑,指示目标的自动追踪效果,光斑直径小于等于 1 cm。其系统结构示意图如图 1 所示。

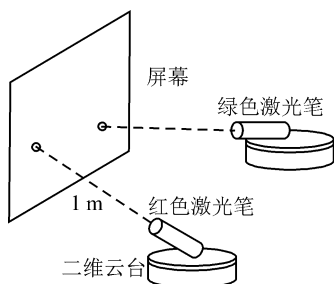


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 System structure diagram

具体设计指标包括以下几部分:

① 设置运动目标位置复位功能,即红色光斑能从屏幕任意位置回到原点,光斑中心距原点误差小于等于 2 cm。

② 启动运动目标控制系统,即红色光斑能在 30 s 内沿屏幕四周边线顺时针移动一周,移动时光斑中心距边线距离小于等于 2 cm。

③ 用约 1.8 cm 宽的黑色电工胶带沿 A4 纸四边贴一个长方形,构成 A4 靶纸。将此 A4 靶纸贴在屏幕自定的位置。启动运动目标控制系统,红色光斑能在 30 s 内沿胶带顺时针移动一周,移动时光斑中心距边线距离小于等于 2 cm。

④ 运动目标位置复位,一键启动自动追踪系统,控制绿色光斑能在 2 s 内追踪红色光斑,追踪成功发出连续声光提示,此时两个光斑中心距离小于等于 3 cm。

2 方案设计

2.1 系统整体方案设计

本系统包括嵌入式最小系统、二维电控云台、摄像头模块、激光笔、稳压电源模块、人机交互模块和外部机械结构。其整体设计方案框图如图 2 所示。

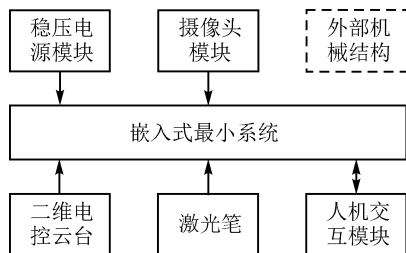


图 2 整体设计方案框图

Fig. 2 Overall design scheme block diagram

本系统中,模拟运动目标红色光斑控制系统的摄像头位置固定,仅红色激光笔在云台上运动。而嵌入式系统利

用图像识别处理坐标计算和目标坐标的插补法,可以很好地实现红色光斑目标的运动控制,包括复位与沿屏幕边线及 A4 靶纸边沿胶带顺时针移动。串口屏和按键为嵌入式最小系统输入指令,同时,摄像头采集信号计算角度后也由嵌入式最小系统处理,最终输出 PWM 至二维云台和红色激光笔模块。模拟运动目标的红色光斑位置控制系统框图如图 3 所示。

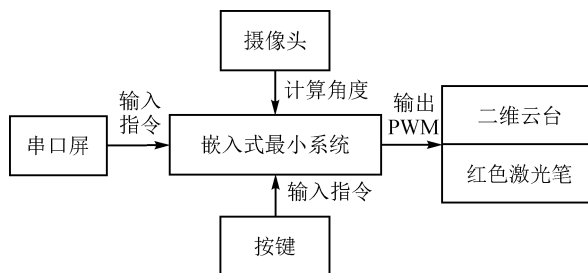


图 3 红色光斑位置控制系统框图

Fig. 3 Block diagram of the red spot position control system

在指示自动追踪的绿色光斑位置控制系统中,摄像头和绿色激光笔均固定在云台的旋转支架上,通过调节绿色激光笔的位置使绿色光斑位于摄像头的图像正中央。同时,嵌入式最小系统利用位置式 PID 算法控制舵机转动,自动追踪红色光斑,使其位于图像的中心位置处,再用绿色光斑指示追踪,其中蜂鸣器和 LED 主要在追踪成功后发出连续声光提示。指示自动追踪的绿色光斑位置控制系统框图如图 4 所示。

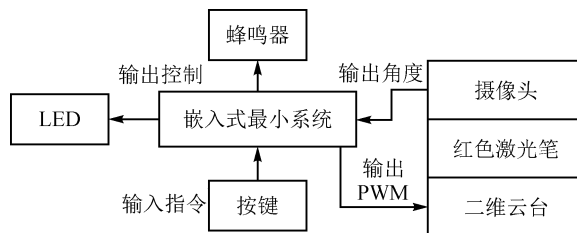


图 4 绿色光斑位置控制系统框图

Fig. 4 Block diagram of green spot position control system

2.2 云台控制方案

方案一:经验值法。此方案通过多次测试来不断逼近控制目标运动到特定位置时两个舵机需要转过的角度,并通过输出对应的 PWM 来控制舵机。此方案在测试环境不变的条件下能完成一些简单的任务,但是测试环境改变后需要进行多次校准以实现良好的控制效果^[3]。

方案二:插补法。此方案通过将需要控制运动目标到达位置的坐标换算成两个舵机当前状态相对初始状态需要转动的角度,并不断换算来进行插补,以此精确地控制两个自由度上舵机转动的角度^[4]。

方案三:单环 PID 算法。此方案需要将摄像头固定

在云台的旋转支架上,通过摄像头对光斑进行识别与定位,并经过单环位置式 PID 算法计算出两个舵机当前状态相对于目标状态需要转动的角度,并通过串口输出给单片机,由单片机控制舵机的转动,从而实现摄像头对光斑的追踪^[5]。

根据设计目标要求,红色光斑位置控制系统综合使用方案一和方案二以提高该系统的工作效率;绿色光斑位置控制系统由于速度和精度要求较高,选择使用方案三。

3 硬件设计

3.1 嵌入式最小系统

目前,市面上主流的嵌入式最小系统有 STM32F1 系列和 STM32F4 系列。其中 STM32F4 系列片内硬件资源丰富、运算能力强,结合丰富的资料,操作起来方便且高效,但该系列芯片引脚较多,不便于引出,性能过剩的同时,价格比 STM32F1 系列单片机更高。因此,本设计嵌入式最小系统选用 STM32F103C8T6,该最小系统片内硬件资源能够满足控制单个光斑位置控制系统的需要,且容易制作拓展板以连接各模块,同时价格较低,容易购买。

3.2 二维电控云台

二维电控云台可以使用两个舵机自行搭建二维云台。此种方案能通过简单的机械结构来搭建二维云台,且成本低,但是简单的结构稳定性较差,负载能力弱,同时也容易给云台的控制带来较大的误差。

目前使用较多的是含有数字舵机的二维电控云台。此种方案选用数字舵机和配套的云台结构来搭建二维电控云台,这样的云台具有良好的稳定性和负载能力,而且其带有数字舵机,能够更加精确且快速地对云台的控制。因此,本设计选用含有数字舵机的二维电控云台方案。

3.3 摄像头模块

OpenMV 搭载 MicroPython 解释器,拥有专用的 IDE、丰富的库以及例程资源,编写一些程序逻辑就能实现复杂的视觉处理功能,完全符合本设计的功能需要。因此,本设计的摄像头模块选择 OpenMV。

3.4 稳压电源模块

本系统中,由于数字舵机和 OpenMV 使用 +5 V 供电,而单片机使用 +3.3 V 供电,系统电路负载较大,故选用锂电池组和 LM2596 多路稳压电源模块进行供电,以提供稳定的供电电压。

3.5 人机交互模块

本系统的人机交互模块主要是指按键与串口屏。由于两系统的功能较多,仅仅使用按键搭配 OLED 效果不

够好,故选用人机交互效果更好的串口屏。

4 系统理论分析

4.1 OpenMV 识别、定位光斑的方法

4.1.1 识别光斑的方法

OpenMV 能通过自带的图像传感器捕捉图像,并且可以使用内置的图像处理算法进行分析与识别。要识别光斑,首先将图像传感器配置为捕捉可见光的图像,然后通过 OpenMV 内置的图像处理算法将光斑与其他内容区分开来。

① 通过阈值分割来识别光斑。选择一个合适的阈值,将图像中的像素值与该阈值进行比较,亮度高于阈值的像素标记为光斑,而亮度较低的像素标记为背景。OpenMV 提供了阈值函数。

② 使用模板匹配来识别光斑。这需要提供一个预定义的模板来表示需要识别的光斑的形状,然后就可以通过调用相关函数在图像中搜索匹配的图案,并确定光斑的位置。

4.1.2 定位光斑的方法

依据 OpenMV 的图像特性,以图像最左上的像素为原点,向右建立 X 轴,向下建立 Y 轴。这样就可以通过 OpenMV 的图像处理来返回光斑的中心点的坐标,从而在图像中定位光斑的位置。

4.2 算法设计

4.2.1 开环插补法

本设计中,开环插补法即运动插补法,通过 OpenMV 识别目标并处理得到多个特征点坐标,再连续计算出若干中间点的坐标值,这些中间点的坐标值能以一定的精度逼近理论的轨迹。在控制两个自由度的舵机转动时,根据实际定位的坐标换算成舵机当前相对初始状态要转动的角度。编写一个定点函数,根据所给的目标坐标更新两个舵机当前对应的角度值,然后通过不断调用定点函数来进行插补。最终可以实现红色光斑位置控制系统控制红色光斑,按照要求沿屏幕上的 A4 靶纸边沿移动。

4.2.2 PID 算法

根据 OpenMV 自带的位置式 PID 算法控制云台追踪物体的例程,通过目标的坐标和图像中心点坐标做差得到 X、Y 轴上的位置误差,并调用相关的 PID 计算函数,最后通过返回舵机需要转过的角度采用单片机对舵机进行控制。通过移植和不断调整参数来实现绿色光斑位置控制系统中的 OpenMV 对红色光斑的追踪,最终通过机械结构来实现绿色光斑的指示追踪。系统开始工作后,实时检测屏幕上光斑的位置,并与设定的目标位置比较,进行

PID 控制。PID 分别表示光斑的位置比例(P)、位置误差(I)、位置积分(D),其 PID 控制器的传递函数如式(1):

$$K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (1)$$

式中, K_P 、 K_I 和 K_D 为 PID 控制器的比例、积分和微分参数。PID 控制过程如图 5 所示。

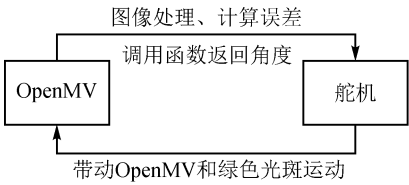


图 5 PID 控制过程
Fig. 5 PID control process

5 软件设计

根据设计目标,程序开始时首先进行初始化,包括 OpenMV、舵机、传感器和通信接口的初始化设置;其次判断按键是否按下,若未按下则循环至初始化,若按键按下,在程序中设定激光笔在屏幕上的目标位置,该目标位置通过 OpenMV 识别到矩形后,通过插值法计算获得,即进行相应图像处理;进入主循环,通过计算误差(即目标位置与实际位置之间的差距),PID 控制器计算,将 PID 计算得到的控制信号转换为 PWM 信号,并发送给舵机,控制云台的转动,从而改变激光运动状态,最后重复运行。当按下中断按键时,程序会进行中断,舵机停止运动。系统软件流程图如图 6 所示。

6 系统测试

首先,对系统硬件部分进行测试,检查机械部分能否正常工作,各项参数是否准确。同时,检查电路焊接是否正确,各部分接线是否正确;其次,对软件程序进行测试,

用 OpenMV IDE 软件编程并通过运行调试;最后,对软硬件进行联调,检测整个系统是否工作正常。系统实物图如图 7 所示。

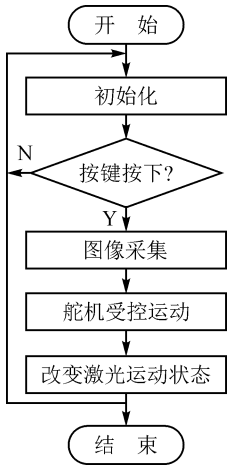


图 6 系统软件流程图

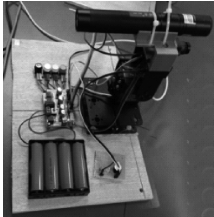


图 7 系统实物图

Fig. 6 System software flowchart Fig. 7 System physical diagram

根据设计目标,具体测试方案如下:

- ① 方案一:伺服电机带动红色激光笔运动,当启动复位按键时,记录复位稳定时红色光斑中心距中心点的偏差,测量 4 次。
- ② 方案二:启动运动目标控制系统,伺服电机带动红色激光笔运动,红色光斑能沿屏幕四周边线顺时针移动一周,记录稳定所需时间及光斑中心距中心点的偏差,测量 6 次。
- ③ 方案三:启动运动目标控制系统,伺服电机带动红色激光笔运动,使红色光斑能沿胶带顺时针移动一周,记录稳定所需时间及光斑中心距胶带边缘的偏差,测量 6 次。
- ④ 方案四:一键启动自动追踪系统,记录控制绿色光斑追上红色光斑的时间,追踪成功后是否发出连续声光提示,同时记录两个光斑中心距离,测量 6 次。

各方案测试结果如表 1 所列。

表 1 各方案测试结果
Table 1 Test results of each scheme

具体参数	第一次测试	第二次测试	第三次测试	第四次测试	第五次测试	第六次测试
红色光斑中心距中心点的偏差/cm	1.2	0.4	0.9	0.9	0.8	1.1
红色光斑沿屏幕四周边线顺时针移动一周时间/s	7.0	10.0	8.0	9.0	10.0	8.0
红色光斑中心距中心点的偏差/cm	0.6	1.1	0.8	1.2	1.0	0.9
红色光斑沿胶带顺时针移动一周时间/s	8.0	8.0	9.0	12.0	7.0	10.0
红色光斑中心距胶带边缘的偏差/cm	1.7	1.1	1.9	1.2	1.1	1.9
绿色光斑追踪上红色光斑时间/s	1.3	0.9	0.8	1.2	1.1	0.9
是否声光报警	是	是	是	是	是	是
两个光斑中心距离误差/cm	1.6	1.2	1.8	1.1	1.1	1.9

根据上述测试数据,该运动目标自动追踪系统满足设计目标中的全部性能指标。

7 结 语

本文提出了一种基于嵌入式技术的运动目标控制与自动追踪系统的设计方案。利用该系统不但可以有效提高移动机器人的运动目标定位准确性,还可以降低运动目标追踪的丢失率。本系统反应灵敏,性价比高,具有准确性、稳定性和连续性。由联机测试结果可知,以上设计方法行之有效,可广泛应用于运动目标控制和自动追踪等智能设备中。

参考文献

- [1] 常晏鸣,廖宇,冯志强,等. 基于 OpenMV 的自动追踪识别仪表小车设计[J]. 湖北民族大学学报(自然科学版),2022,40(4):451-456.
CHANG Y M, LIAO Y, FENG ZH Q, et al. Design of an automatic tracking and recognition instrument car based on OpenMV [J]. Journal of Hubei Minzu University (Natural Science Edition), 2022, 40(4): 451-456 (in Chinese).
- [2] 王晓. 基于嵌入式的运动目标跟踪系统研究与设计[D]. 青岛: 山东科技大学, 2017.
WANG X. Research and Design of an Embedded Moving Target Tracking System[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2017 (in Chinese).
- [3] 吴允强. 基于 STM32 的激光追踪器控制系统设计[J]. 激光杂志, 2022, 43(6): 221-225.
WU Y Q. Design of a laser tracker control system based on STM32 [J]. Laser Journal, 2022, 43(6): 221-225 (in Chinese).
- [4] 姚志强,赵恩铭,杨松,等. 基于 OpenMV 的目标方位追踪算法[J]. 牡丹江师范学院学报(自然科学版), 2021(3): 14-18.
YAO ZH Q, ZHAO EN M, YANG S, et al. Target Direction Tracking Algorithm Based on OpenMV[J]. Journal of Mudanjiang Normal University (Natural Science Edition), 2021(3): 14-18 (in Chinese).
- [5] 张宇成,王潮涌. 基于 STM32 和 OpenMV 的图形识别与测量系统[J]. 电子测试, 2021(15): 43-46.
ZHANG Y CH, WANG CH Y. Graphic recognition and measurement system based on STM32 and OpenMV[J]. Electronic Testing, 2021(15): 43-46 (in Chinese).

(责任编辑:薛士然 收修稿日期:2023-11-09)