

运动目标控制与自动追踪系统

摘要：本装置实现了一个能够进行运动目标控制与自动追踪的系统，该系统两云台完全独立，分别利用一片 STM32F103RCT6 作为主控板，利用步进电机搭建二维云台，通过步进电机闭环驱动器驱动云台转向。使用 OpenMV 作为图像处理单元，通过视觉完成屏幕定位与追踪功能。最终，可控制运动目标达屏幕沿指定路径位置，并可自动对该目标进行准确、快速的追踪。

关键词：步进电机；OpenMV；运动目标控制；自动追踪。

一、 系统方案

1. 比较与选择

1.1. 电机选择方案

方案一：步进电机；

方案二：舵机；

方案三：直流电机；

方案比较与选择：方案一的优点是不受电压、电流等外界因素影响，步距稳定，误差小，精度高，缺点是步进电机在驱动频率很高或负载很大的情况下容易出现“丢步”的现象，体积较大，机械设计较复杂；方案二的优点在于舵机控制方便，云台搭建简单且扭矩大，缺点是舵机精度低，且回程差较大；方案三的优点是直流电机配合编码器使用可得到电机的转速、转角等信息，便于进行闭环控制，缺点是回程差不可抹除，并会积累。本题对控制精度要求极高，且云台无尺寸限制，综合考虑选择方案一。

1.2. 视觉识别方案

方案一：OpenMV；

方案二：树莓派配合摄像头；

方案比较与选择：方案一使用 OpenMV 作为图像处理单元，优点是简单易用，无需自行配置开发环境，缺点是受处理器性能限制，OpenMV 运行速度慢，识别效果欠佳；方案二使用树莓派配合摄像头优点是树莓派处理速度快，运行内存大，便于处理复杂图像。本题中使用 OpenMV 就可满足任务要求，综合考虑选择方案一。

1.3. 电机控制方案

方案一：CAN 通信；

方案二：串口通信；

方案三：脉冲控制；

方案比较与选择：方案一用 CAN 网络优点是接线较少，引脚占用少，数据传输速度快且稳定，缺点是 CAN 通信原理复杂，调试困难；方案二的优点是电路接线简单，通信原理易懂，调试方便，缺点是通信速率相对较慢，数据传输距离短；方案三的优点是配置容易，仅需向步进电机发送脉冲即可控制步进电机旋转，通信速率快。本题不需要长距离通信，且需要尽可能快速控制电机，综合考虑选择方案三。

2. 方案描述

系统框图如图 1 所示。UART 屏幕用于调试和设定两云台系统的任务，在屏幕上设定任务并按下按钮后，STM32 接收 OpenMV 传来的坐标数据，计算出输入给电机驱动的脉冲数，STM32 主控通过步进电机驱动进行定向旋转运动，固定在二维云台上的激光笔跟随云台进行运动，同时 STM32 通过继电器来控制激光笔的开关。最终激光光斑可根据指定的轨迹运动。

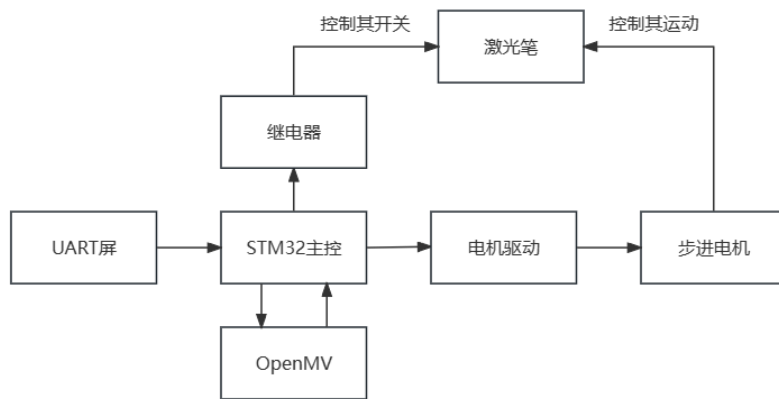


图 1 系统框图

二、 理论分析与计算

1. 二维云台与激光光斑位置关系分析

如图 2 所示，使用二维云台控制激光笔运动，激光光斑在屏幕上进行运动。

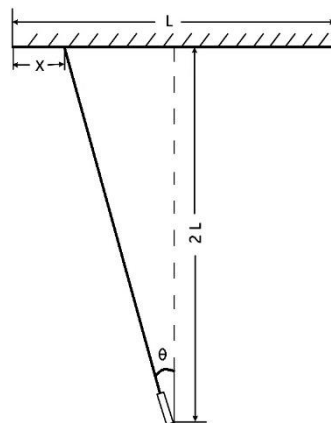


图 2 二维云台与激光光斑位置关系示意图

$$\tan \theta = \frac{L/2-x}{2L} \quad (1)$$

通过公式 (1)，可分别计算出云台偏航角和俯仰角与光斑位置的关系。

2. 云台机械结构

二维云台机械结构如图 3 所示。云台采用 Yaw 轴、Pitch 轴双轴结构，控制 Yaw 轴的步进电机通过法兰联轴器与 Pitch 轴的平台连接，控制 Pitch 轴的步进电机通过法兰联轴器与相机、激光支架连接，两个自由度充分保证了云台的灵活性，保证目标可达屏幕上任意位置。额外设计了不同长度的相机支架，可以满足不同的视觉要求。

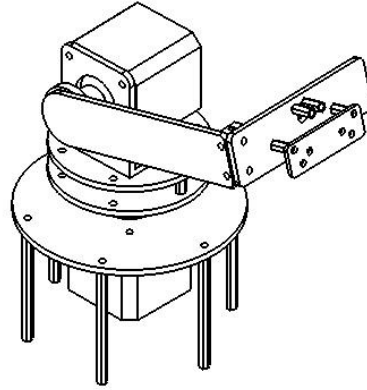


图 3 步进电机云台结构图

3. 运动控制追踪分析

本系统的运动控制追踪的算法使用了增量式 PID，使用了比例项和微分项。STM32 接收激光光斑和角点的坐标后，将角点坐标和激光光斑坐标作差，得到坐标偏差值 ΔX 、 ΔY 。对两个偏差值的比例、微分进行控制，输出相应的脉冲数来驱动步进电机运动，使偏差值趋向于零。最终使激光与目标角点重合。

$$OutputX = K_p [\Delta X(k) - \Delta X(k-1)] + K_d [\Delta X(k) - 2 * \Delta X(k-1) + \Delta X(k-2)] \quad (2)$$

$$OutputY = K_p [\Delta Y(k) - \Delta Y(k-1)] + K_d [\Delta Y(k) - 2 * \Delta Y(k-1) + \Delta Y(k-2)] \quad (3)$$

由公式 (2) (3) 可计算出应输出的脉冲数，从而通过 STM32 主控控制步进电机运动。

本系统中步进电机的控制精度为 0.08 度，由于该角度足够小，由 $\Delta X = 2L * \tan \Delta \theta$ （如图 2）可知， $\Delta X = 1.4 \text{ mm}$ ，精度较高；OpenMV 摄像头像素为 324×245 ，由实际测量得到 1 像素约 $3 \times 3 \text{ mm}^2$ ，本题屏幕大小为 $500 \times 500 \text{ mm}^2$ ，经计算至少需要 167×167 个像素点，OpenMV 满足精度需求。

三、 电路与程序设计

1. 电源管理模块设计

电源管理模块设计框图如图 4 所示。电源管理模块通过一个总开关进行统一控制，电源 12V 输入，通过降压稳压模块转为 5V、3.3V 电压输出，其中因 OpenMV 供电电流、电压较大，故令其独享一个 5V 稳压输出，单片机、继电器与串口共享一个 5V 稳压输出，稳压 3.3V 输出到 LED、按键与蜂鸣器，另外 12V 电源经分电板为步进电机供电。由此，整个系统供电完毕。

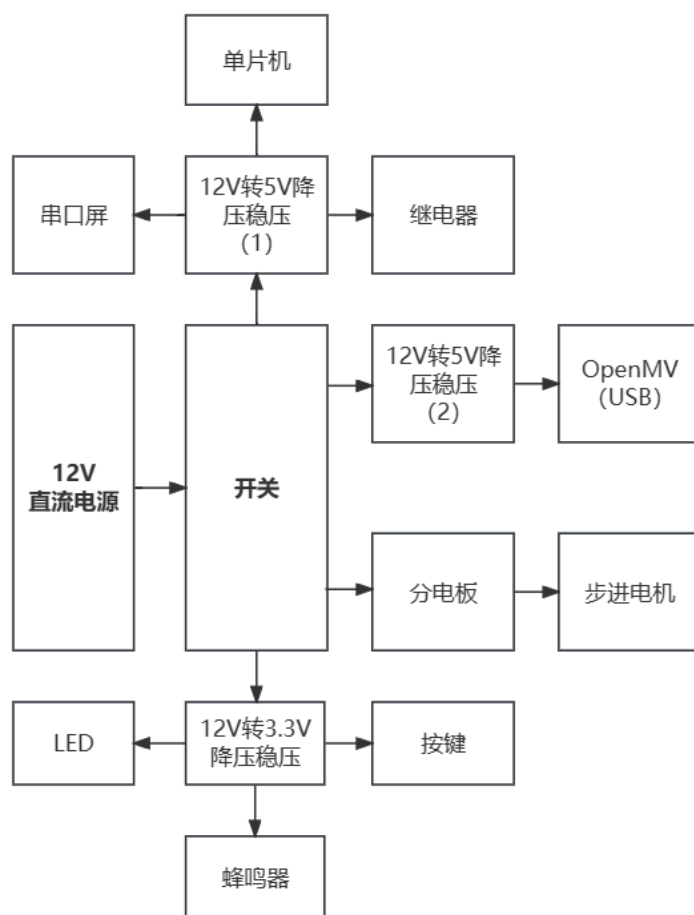


图 4 电源管理模块框图

2. 软件程序设计

软件程序设计框图如图 5 所示。开启电源后，STM32 主控初始化，驱动步进电机回到原点，保证激光光斑在屏幕正中央；用户在串口屏设置运动模式后，主控根据 OpenMV 传来的图像数据，驱动步进电机运动指定的轨迹，激光光斑随着步进电机的运动完成复位、跟踪等运动模式，随后步进电机复位到原点，等待下一次用户设置模式。

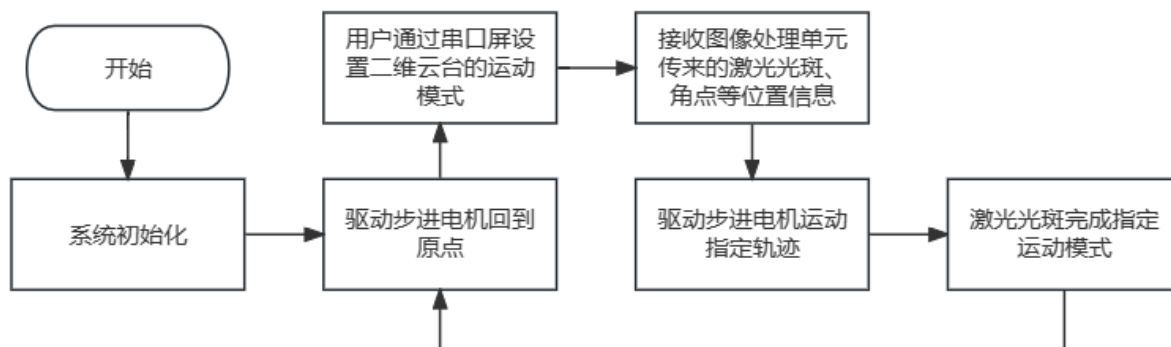


图 5 软件程序设计框图

3. 视觉程序设计框图

视觉程序设计框图如图 6 所示。OpenMV 开启后，待系统初始化，启动摄像头，读取图像后，根据设定的阈值分割图像，计算出光斑和角点的坐标，将坐标数据传输给 STM32 主控，随后读取一下张图像，继续进行图像处理。

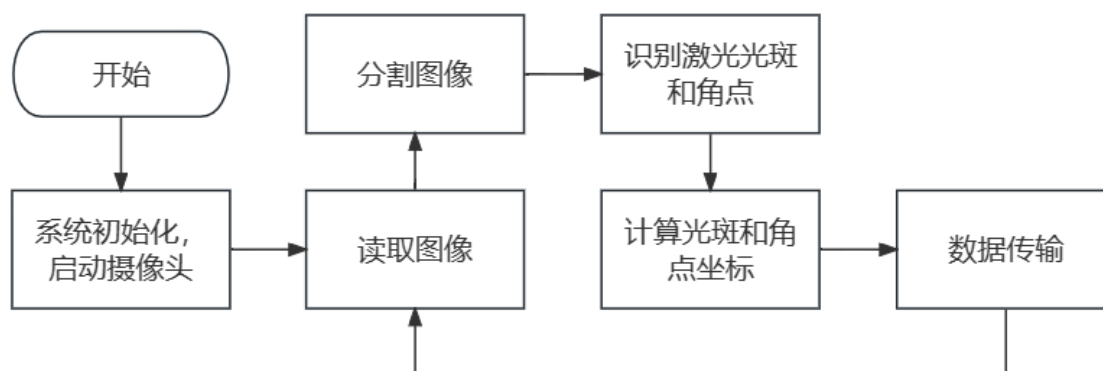


图 6 视觉程序设计框图

四、 测试方案与测试结果

1. 测试环境

类型	品牌	型号
物品	无	木板
其他	无	刻度尺
其他	卡西欧	HS-70W 型秒表

表 1 测试环境

2. 测试方案

- 2.1. 连续进行五次复位测试，测量红色激光距屏幕中心的距离，每次距离不超过 2 cm。
- 2.2. 连续五次令红色激光沿屏幕四周边线顺时针移动一周，要求每次用时在 30 秒内，且光斑中心距边线小于 2 cm。
- 2.3. 将 A4 标靶纸任意贴在屏幕上，启动运动目标，连续五次，要求红色光斑不脱离黑色胶带，且能够在 30 秒内沿标靶移动一周。
- 2.4. 红色激光复位，启动绿色激光追踪红色光斑，记录追踪所需时间，测量追踪成功时红绿两光斑之间距离，连续五次，要求在 2 秒内追踪成功，且两光斑中心距离小于 3 cm。
- 2.5. 红色激光沿 A4 标靶纸运动，启动绿色激光对红色光斑进行追踪，随机同时按下两系统暂停键，测量两光斑中心距离，连续五次，要求该距离小于 3 cm，且追踪时脱离目标次数小于 3。

3. 测试结果与数据

- 3.1. 红色激光复位测试数据如表 2 所示：

序号	距离/cm
1	0.05
2	0.20
3	0.10
4	0.08
5	0.10

表 2 红色激光复位测试

3.2. 红色激光沿屏幕边线移动测试数据如表 3 所示：

序号	完成时间/S	脱离边线/次
1	4.73	0
2	4.56	0
3	4.80	0
4	4.66	0
5	4.59	0

表 3 红色激光沿屏幕边线移动测试

3.3. 红色激光沿标靶纸移动测试数据如表 4 所示：

序号	完成时间/S	脱离标靶/次
1	20.32	0
2	19.86	0
3	20.66	0
4	18.32	0
5	20.21	0

表 4 红色激光沿标靶纸移动测试

3.4. 绿色激光追踪静止目标测试数据如表 5 所示：

序号	完成时间/S	距离/cm
1	1.23	1.21
2	1.26	1.13
3	1.20	1.19
4	1.36	1.30
5	1.31	1.25

表 5 绿色激光追踪静止目标测试

3.5. 绿色激光追踪运动目标测试数据如表 6 所示：

序号	距离/cm	脱离目标/次
1	1.68	0
2	1.77	0
3	1.56	0
4	2.03	0
5	1.86	0

表 6 绿色激光追踪运动目标测试

4. 测试结果分析

4.1. 红色激光复位测试

由测试结果可知，红色激光装置可迅速准确复位，复位后光斑中心距屏幕中心距离小于 2 cm，满足题目要求。

4.2. 红色激光沿屏幕边线移动测试

由测试结果可知，红色光斑可准确迅速沿屏幕边线顺时针运动一周，期间光斑不脱离边线，且用时在 30 秒以内，满足题目要求。

4.3. 红色激光沿标靶纸移动测试

由测试结果可知，A4 纸标靶任意放置，装置均可控制红色光斑沿黑色胶带顺时针运动一周，期间光斑不脱离胶带，用时均在 30 秒内，满足题目要求。

4.4. 绿色激光追踪静止目标测试

由测试结果可知，红色光斑复位，绿色激光装置可迅速准确追踪红色光斑，追踪成功时间均在 2 秒以内，且两光斑中心间距均小于 3 cm，满足题目要求。

4.5. 绿色激光追踪运动目标测试

由测试结果可知，红色光斑沿 A4 标靶纸运动，绿色激光装置可准确追踪红色光斑位置，暂停时两光斑间距均小于 3 cm，且追踪期间绿色激光装置追踪失败时间不连续超过 3 秒，满足题目要求。

综上所述，本系统能够完成题目的所有要求。