

摘要：针对 E 赛题的各项要求，本系统采用软硬件结合的方法设计了一套运动目标控制与自动追踪系统。该系统是由 K210 视觉开发模块、K66 单片机控制模块、摄像头模块、OLED 显示屏模块、人机交互系统以及二轴舵机云台和激光笔构成一个软硬件结合的闭环控制系统。摄像头模块采集图像信息，通过 K210 进行图像数据处理得到标定点位置，并通过数学计算舵角从而设计程序调节舵机，从而控制激光笔的光斑在屏幕上按照设定程序进行移动。本系统实现了以激光笔的光斑作为运动控制目标的自动追踪系统，包括复位、沿屏幕运动、沿 A4 纸边缘运动以及自动追踪光斑等功能。系统在完成任务要求的同时表现出良好的鲁棒性。此外，本系统还具备人机交互界面，各参数及测试模式可由按键输入，并通过 OLED 显示屏直观地显示，具有智能性和快速的反应速度。

关键词：嵌入式计算机视觉、运动目标控制、目标检测、目标追踪

Abstract: Aiming at the requirements of the E competition, this system adopts the method of combining software and hardware to design a set of moving target control and automatic tracking system. The system is composed of K210 visual development module, K66 single-chip microcomputer control module, camera module, OLED display module, human-computer interaction system, two-axis servo gimbal and laser pointer to form a closed-loop control system combining software and hardware. The camera module collects image information, processes the image data through K210 to obtain the position of the calibration point, and calculates the rudder angle mathematically to design a program to adjust the steering gear, thereby controlling the laser pointer's spot to move on the screen according to the set program. This system realizes the automatic tracking system using the laser pointer's spot as the motion control target, including functions such as reset, moving along the screen, moving along the edge of A4 paper, and automatically tracking the spot. The system shows good robustness while fulfilling the task requirements. In addition, this system also has a human-computer interaction interface, each parameter and test mode can be input by keys, and displayed intuitively through the OLED display screen, with intelligence and fast response speed.

Keywords: Embedded Computer Vision, Motion Target Control, Object Detection, Object Tracking.

运动目标控制与自动追踪系统（E 题）

【本科组】

一、系统方案

本系统是一个采用软硬件结合的方法设计的一个运动目标控制与自动追踪系统，是一个通过 K210 视觉模块、K66 单片机控制模块、摄像头模块、OLED 显示屏模块、人机交互系统、二轴舵机云台和激光笔构成的一个闭环控制系统。摄像头模块负责采集图像信息，然后通过 K210 进行图像数据处理。处理后的图像数据用于控制算法调节舵机，从而实现对激光笔光斑在屏幕上按照设定程序进行移动的控制。下面分别论证这几个模块的选择。

1、嵌入式视觉平台的论证与选择

方案一：采用 OpenMV 嵌入式计算机视觉平台

OpenMV 是一个基于 MicroPython 的嵌入式计算机视觉平台，使用 ARM 微控制器。可以使用 Python 语言编写图像处理和计算机视觉应用。它专注于图像处理和计算机视觉任务，提供丰富的图像处理库和示例代码。OpenMV 配备了图像传感器和其他传感器，可以直接连接摄像头、显示屏、Wi-Fi 模块等设备。

方案二：采用 K210 视觉开发平台

K210 是一种由中国公司寒武纪（Kendryte）开发的系统级芯片（SoC）。它采用 RISC-V 架构，是一种开源的指令集架构，支持低功耗和高性能。K210 搭载了高性能的 AI 处理器，可以在嵌入式设备上进行较为复杂的深度学习推理任务。K210 芯片主要用于机器学习和人工智能应用，如物体识别、语音识别等。它在物联网设备、智能摄像头、智能家居等边缘计算设备中广泛应用。

总结：

K210 作为嵌入式计算机视觉平台，重点优势是图像处理和计算机视觉任务，并提供丰富的库和示例，使得开发者能够更快速地实现各种视觉应用。矩形框识别，目标检测或物体边缘检测通常需要进行复杂的计算。K210 搭载的 AI 处理器可以在嵌入式设备上高效地完成这些任务，具备更高的计算性能和灵活性。因此本设计采用 K210 视觉开发平台。

2、单片机的论证与选择

方案一：采用以 Arm® Cortex®-M4F 为内核的 K66 单片机

Kinetis® K66 基于 Arm® Cortex®-M4F 内核构建，适合需要高存储器密度、低功耗和高处理效率的应用。该系列提供高速 USB，带集成高速 USB 物理收发器、SDRAM 控制器、全速无晶体 USB 支持等功能，同时还与 Kinetis 产品组合共享综合的支持工具和可扩展性。

方案二：采用以 ARM Cortex-M3 为内核的 STM32F1 系列控制芯片

STM32 是一种基于 ARM Cortex-M 核心的单片机，采用 RISC 架构。它具有强大的计算能力和丰富的外设，适用于复杂的嵌入式应用。它支持多种编程语言，包括 C 和 C++，也支持 RTOS 系统。

综合考虑，选择使用 K66 单片机控制舵机云台，因为它成本更低，功耗较低，拥有集成外设，简化笔者的开发。

3、电机的论证与选择

方案一：采用带编码器的直流减速电机

直流电机是一种最常见的电机类型，它的工作原理是通过直流电流在电磁场中产生力矩，从而驱动电机转动。直流电机在没有反馈控制的情况下，不容易实现精确的位置控制。

方案二：采用舵机

舵机是一种特殊类型的直流电机，它与普通直流电机相比具有额外的反馈控制回路，通常是一个位置反馈传感器（如编码器）。舵机可以精确地控制电机的位置，通过控制脉宽信号来实现精确的角度调节，通常具有较高的角度分辨率。舵机适用于需要精确位置控制的场景，如机器人、摄像云台、航模等。舵机的结构也相对简单，成本较低，但由于加入了反馈控制，相比普通直流电机稍微贵一些。

选择使用舵机作为云台电机是较为合理的选择。舵机具有精确的位置控制能力和较低的成本，在实现云台旋转和角度调节时具有优势。

4、控制算法的论证与选择

方案一：采用开环算法

开环控制是一种简单的控制方法，其中输出信号不受系统反馈信息的影响。在开环控制中，输入信号直接作为控制器的输出信号，用于云台电机控制。开环控制没有对输出信号进行监测和调整，无法纠正外部干扰和内部误差，导致系统的稳定性和精确性较差。在开环控制中，系统的性能高度依赖于模型的准确性和

环境条件的稳定性。

方案二：采用闭环控制

闭环控制是一种基于反馈的控制方法，其中输出信号受系统反馈信息的影响。在闭环控制中，输出信号被反馈给控制器，并与期望信号进行比较，然后根据误差来调整控制器输出，以实现输出信号的精确控制。闭环控制可以实时纠正外部干扰和内部误差，提高系统的稳定性和精确性，使系统能够更好地适应不确定性和变化的环境条件。在闭环控制中，采用合适的控制算法可以优化系统的性能，使系统更快地响应控制信号，减少超调和稳态误差。

综上所述，由于该系统比较简单，且环境比较稳定，所以我们在调试后选择了开环系统进行调试。

二、理论分析与计算

1、矩形位置检测和激光点位置检测

K210 为开发者提供了 Python API 和丰富的图像处理库，这使得实现矩形检测变得相对简单和高效。通过结合 K210 的强大功能和易用性，可以轻松实现矩形检测功能。

K210 对采集到的图像进行预处理，例如灰度化、二值化等。这些预处理步骤有助于减少图像中的噪声并简化后续的图像处理。在预处理后的图像上执行边缘检测算法，例如 Canny 边缘检测，以识别矩形的边缘。基于边缘检测的结果，进行轮廓检测，找出图像中的所有轮廓。对检测到的轮廓进行筛选，通过设置阈值和条件来排除不符合矩形特征的轮廓。对经过筛选的轮廓进行拟合，找出最接近的矩形。K210 通常使用旋转矩形（rotated rectangle）来拟合，因为它可以适应旋转的矩形。

K210 通过色块检测，主要是基于 LAB 颜色模型，每个颜色都是用一组 LAB 阈值表示，k210 检测不同颜色阈值的色块，从而识别不同的激光点，返回激光点位置。

2、二轴云台控制分析

二轴云台是一种常见的云台类型，它可以在两个轴（通常是水平和垂直方向）上进行转动。二轴云台常用手动自动远程控制，控制信号可用数字信号或者模拟信号，提供动力的电机常用直流电机和步进电机，广泛应用于摄像机、激光雷达、传感器等设备的定向控制，以及机器人、无人机等需要精确转动的系统中。

水平轴通常用于实现云台在水平方向上的转动。垂直轴通常用于实现云台在垂直方向上的转动。

3、控制算法分析

激光光源点为 O ，投影到屏幕上的点为 $O1$ ，K210 识别到的矩形四个点坐标为 $A(r1x,r1y)$ 、 $B(r2x,r2y)$ 、 $C(r3x,r3y)$ 、 $D(r0x,r0y)$ ，红色激光在屏幕上的光点坐标为 $P(b_gx,b_gy)$ 。

下面以点 P 到点 A 为例：

根据 P 以及 $O1$ 的坐标，得到横纵坐标的差值，结合 $OO1=1m$ 以及 $OO1$ 垂直于屏幕平面，可计算出水平和垂直方向需要移动的角度，对应舵机换算出参数即可实现点 P 到点 $O1$ 。点 $O1$ 到点 A 的过程同理。

下面以点 $A(r1x,r1y)$ 到点 $B(r2x,r2y)$ 为例：

同样利用 $OO1$ 垂直于屏幕平面， $OO1=1m$ ，可计算出 AO 、 BO 的长度，另外取 E 点使得 EA 垂直于 EB ；通过 $O1$ 易求得 OE 长度，再利用余弦定理求得角 AOE 、角 BOE 的角度，对应舵机换算出参数即可实现点 A 到点 B 。点 B 到 C 、 D 再回到 A 同理。

此外，针对激光点在 $0.5m \times 0.5m$ 正方形的巡线任务，由于铅笔轨迹难以被 K210 模块识别，又采用开环控制，直接测量激光在几个顶点处时舵机的参数即可，控制过程保证只变化一个舵机参数即可实现。

4、斜线运动控制

巡线任务都由几段折线组成。由于采用开环控制，没有反馈调节，为了减缓舵机转角的变化，在得到舵机所需转动的角度后，笔者将其均分为几个等分。每一次运行，笔者同时更新水平和垂直舵机参数，并且在程序前后，均加入 `delay()` 函数进行延时。此方法减小每次舵机变化的大小，舵机运行稳定。

三、电路与程序设计

1、电路设计

(1) 系统总体框图

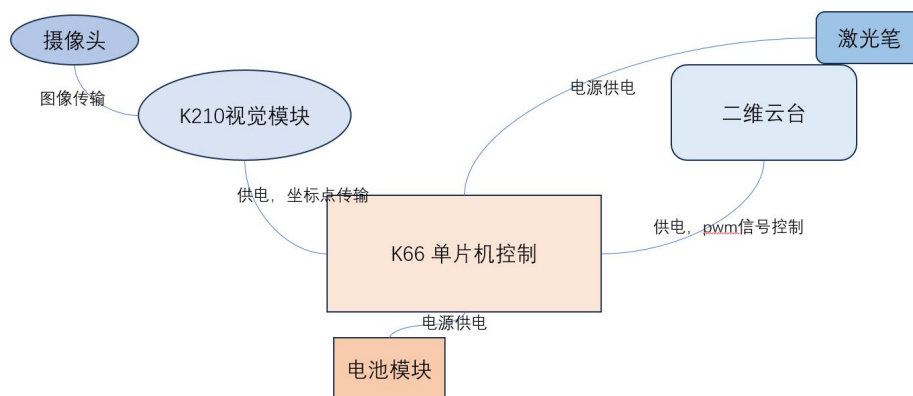


图 1 系统总体框图

(2) 硬件连接图

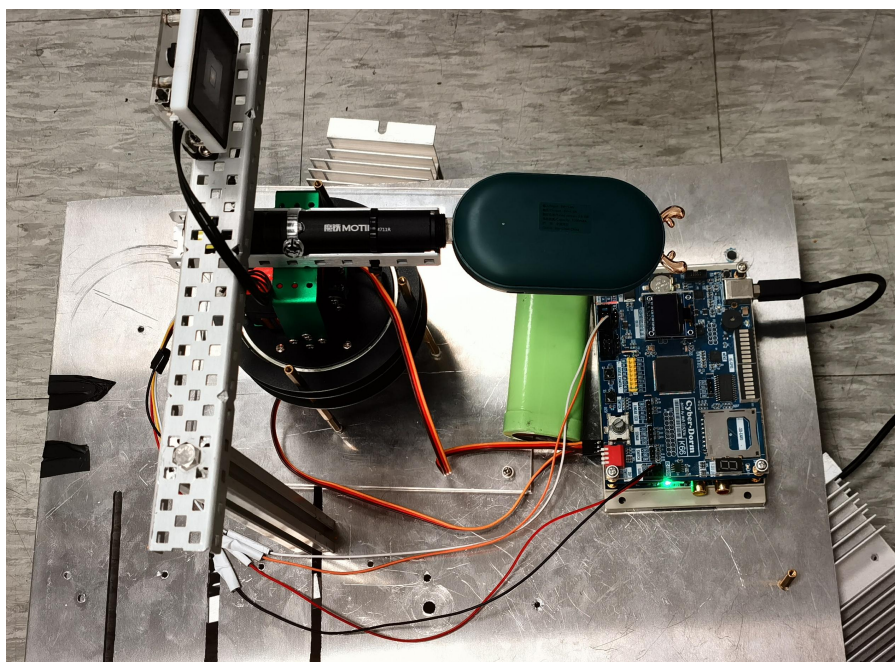


图 2 硬件连接图

2、程序结构与设计

控制二轴云台控制激光笔在屏幕上精准移动时，程序结构如下：

初始化： 在程序开始时，进行系统初始化，包括初始化 K210、云涛、K66 单片机和通信接口等。

设定目标位置： 在程序中设定激光笔在屏幕上的目标位置。目标位置通过 K210 识别到矩形后，通过插值法计算获得。

主循环： 进入主循环，程序会不断执行以下步骤：

- a. 初始化程序，接收来自 K210 模块的信号，接收按键反馈。
 - b. 进入对应任务板块，计算出目标位置与实际位置之间的差距。
 - c. 控制信号输出：将计算得到的控制信号转换为舵机参数，准备发送给舵机，控制云台的转动。
 - d. 限制和安全检查：对于舵机的控制信号进行范围限制，确保云台不超出安全转动范围，并避免碰撞。检查成功即可更新舵机参数。
 - e. 重复运行： 以上步骤会在循环中不断运行，直到激光笔移动到设定的目标位置。在运动到目标位置后，控制器可以进入静止状态或继续接收新的目标位置。
- 中断程序： 当按下中断按钮时，程序会进行中断，舵机停止运动。

四、测试方案与测试结果

1、测试方案

硬件测试：测试机械部分能否正常工作，要求的各项参数数值是否准确。同时，检查电路焊接是否正确是否牢固，各部分接线是否正确。

程序测试：用 MCUXpresso IDE、 CanMV IDE 软件编程并通过单片机，视觉模块等多次运行调试。

硬件软件联调：用实现的编程算法烧录至硬件系统进行工作。检测整个系统是否实现题目的各项要求。

2、测试条件与仪器

测试条件：检查多次，机械部分正常工作，参数正确。仿真电路和硬件电路与系统原理图相同，硬件电路无虚焊，运行软件能成功运行。

测试仪器：尺子、秒表。

3、测试结果与分析

(1) 测试结果

(a) 基本要求的测试

i) 设置运动目标位置复位功能。执行此功能，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 $\leq 2\text{cm}$

表 B-1 基础部分 1 测试结果

次数	1	2	3	4	5
距离(cm)	1.5	1.4	1.9	0.5	1.0

ii) 启动运动目标控制系统。红色光斑能在 30 秒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 $\leq 2\text{cm}$ 。。

表 B-2 基础部分 2 测试结果

次数	1	2	3	4	5
转动用时间	20.3	20.4	21.8	19.5	19.7

iii) 用约 1.8cm 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 秒内沿胶带顺时针移动一周。超时不得分，光斑完全脱离胶带一次扣 2 分，连续脱离胶带移动 5cm 以上记为 0 分。

表 B-3 基础部分 3 测试结果

次数	1	2	3	4	5
转动用时(s)	3.1	3.2	3.6	3.5	3.0

iiii) 将上述 A4 靶纸以任意旋转角度贴在屏幕任意位置。启动运动目标控制系统，要求同 (3)。

表 B-4 基础部分 4 测试结果

次数	1	2	3	4	5
转动用时(s)	3.8	3.9	3.7	3.5	3.5

(b) 发挥部分的测试

i) 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 秒内追踪红色光斑，追踪成功发出连续声光提示。此时两个光斑中心距离应 $\leq 3\text{cm}$ 。

表 B-5 发挥部分 1 测试结果

次数	1	2	3	4	5
追踪用时(s)	1.2	1.1	1.3	1.4	14
距离 (cm)	2.0	1.6	1.4	1.4	1.8

ii) 运动目标重复基本要求 (3) ~ (4) 的动作。绿色激光笔发射端可以放置在其放置线段的任意位置，同时启动运动目标及自动追踪系统，绿色光斑能自动追踪红色光斑。启动系统 2 秒后，应追踪成功，发出连续声光提示。此后，追踪过程中两个光斑中心距离大于 3cm 时，定义为追踪失败，

一次扣 2 分。连续追踪失败 3 秒以上记为 0 分。

表 B-6 发挥部分 2 的任务 1 测试结果

次数	1	2	3	4	5
追踪用时 (s)	1.2	1.2	1.0	1.8	1.1
距离 (cm)	2.1	1.5	1.4	1.5	1.4

表 B-7 发挥部分 2 的任务 2 测试结果

次数	1	2	3	4	5
追踪用时 (s)	1.2	1.2	1.0	1.8	1.1
距离 (cm)	2.1	1.5	1.4	1.5	1.4

(2) 测试分析和结论

根据以上测试数据，可以得出以下结论：

- (a) 该模块能够在规定要求之内很好的完成基本功能和发挥功能。
- (b) 完成任务的时间在设计要求之内。

综上所述，本模块基本达到了设计要求。

五、结论与心得

在此次全国大学生电子设计大赛我们有很多收获，在艰难的调试过程中，我们体会到了团结协作的重要性，并且我们将在课堂上学到的知识亲身实践，学到了更多的东西，也了解了更多的模块与知识。我们一步一步的解决相应的任务；逐步的实现了任务需求。在这比赛的最后，要感谢学校和学院老师的赛前辅导、后勤工作与材料支持，使我们能够投入大量精力完成比赛。感谢全国大学生电子设计大赛的组委会，提供这样优秀的平台和机会给我们充足的锻炼。

六、参考文献

- [1]王征，李晓波著. C 语言从入门到精通[M]. 2020
- [2]黄智伟. 全国大学生电子设计竞赛训练教程. 北京：电子工业出版社，2005.
- [3]闫石. 模拟电子技术基础 第五版. 北京：高等教育出版社，2022.12.