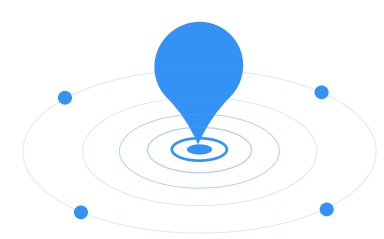




全国大学生集成电路创新创业大赛
CHINA COLLEGE IC COMPETITION

海云捷讯杯 全国总决赛 答 辩



基于FPGA的图像识别和机械臂精准控制系统设计

队伍编号: CICC0901373

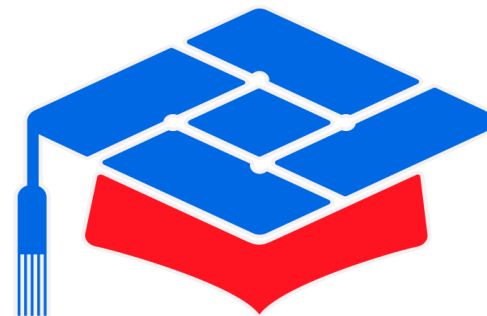
团队名称: 超绝队



成员一: 机械臂分析及控制模块开发、硬件设计

成员二: 图像采集及识别模块开发

成员三: 图像采集及识别模块开发





目 录

DIRECTORY TITLE



项 目 介 绍



关 键 技 术 分 析



性 能 指 标

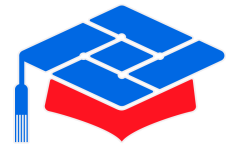


方 案 可 优 化 方 向



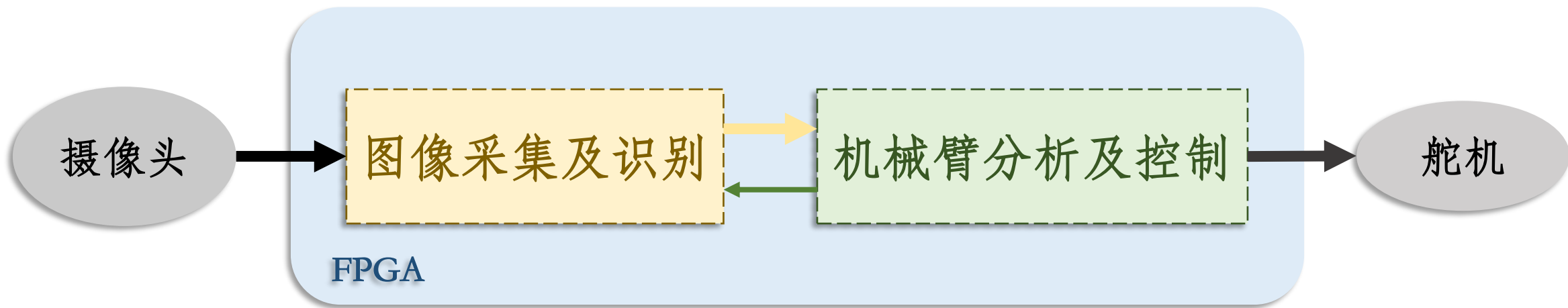
01

项目介绍

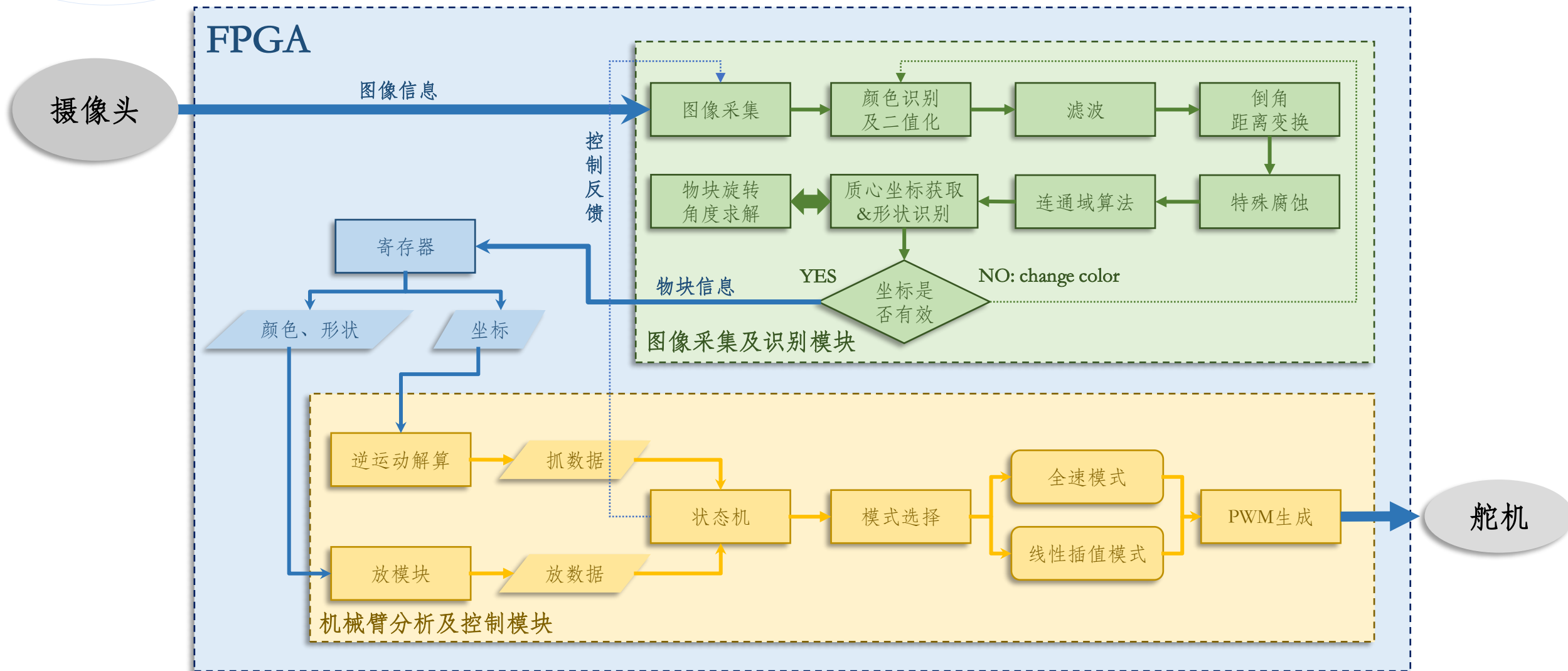


系统总体设计方案

- 目标难度：难度二
- 主要功能实现方式：FPGA
- 使用外接平台：野火升腾Mini Artix-7 XC7A100T



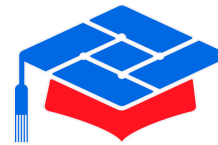
总系统结构流程图





02

关键技术分析



图像采集及识别

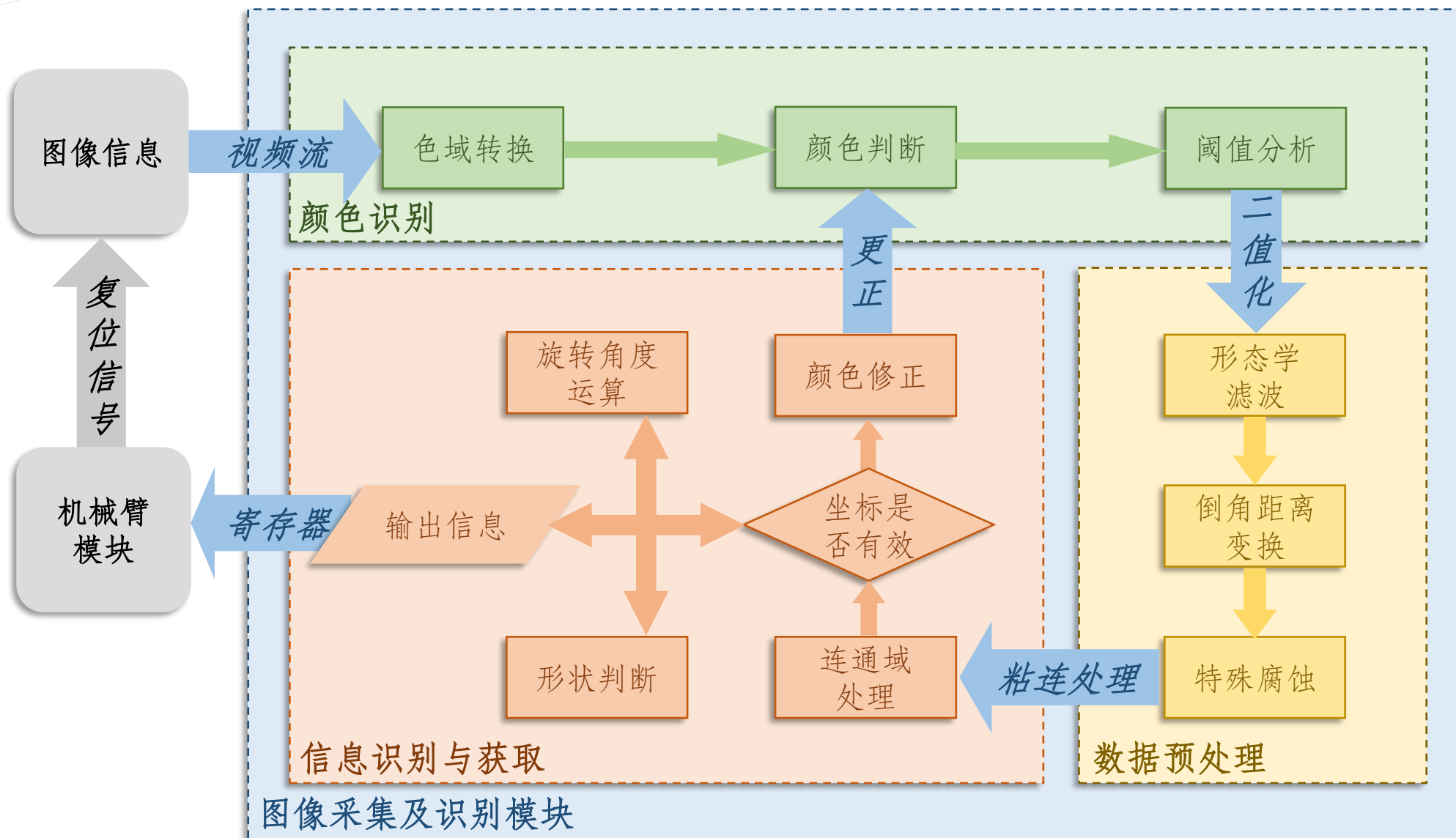
- I. 颜色识别
- II. 连通域算法
- III. 质心坐标获取
& 形状识别
- IV. 反正切求角度



机械臂分析及控制

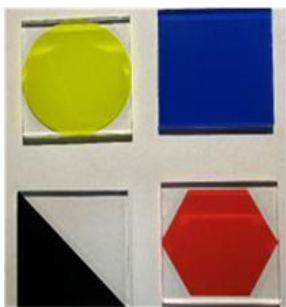
- I. 逆运动算法
- II. 线性插值
- III. 状态控制仿真

2.1 图像采集及识别模块流程

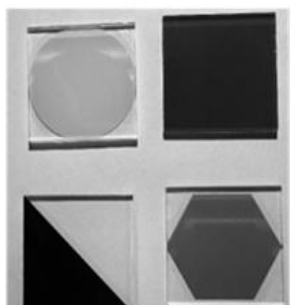




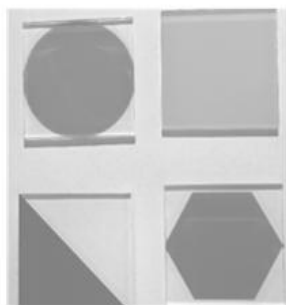
I. 颜色分析



RGB



Y通道



Cb通道

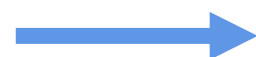


Cr通道

颜色



特征



控制阈值

红

Y分量比黑色大且Cr分量最大

Y、Cr

黄

Y分量在四种颜色里最大
且Cb分量最小

Y、Cb

蓝

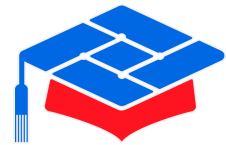
Y分量比黑色大、比红色小
且Cb分量最大

Y、Cb

黑

Y分量最小

Y



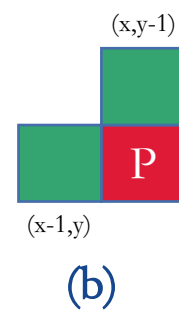
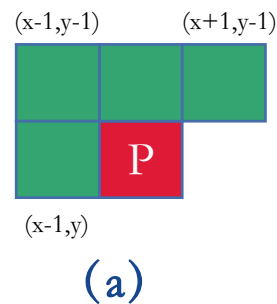
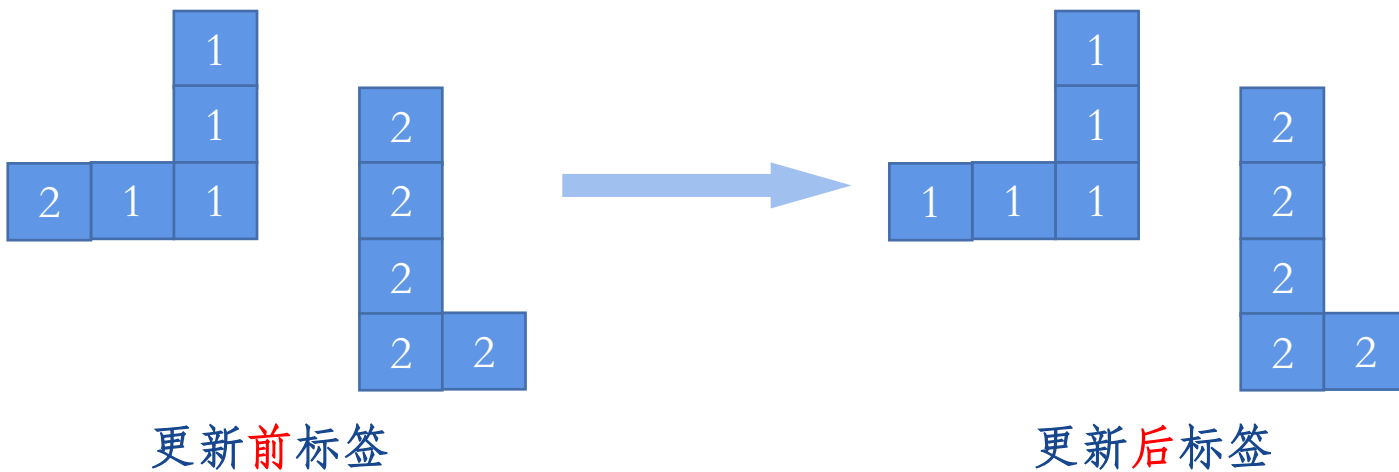
II. 连通域算法

A. 采用两遍扫描法，在一帧图像的前一行打上标签，第二行进行上一行标签的更新。

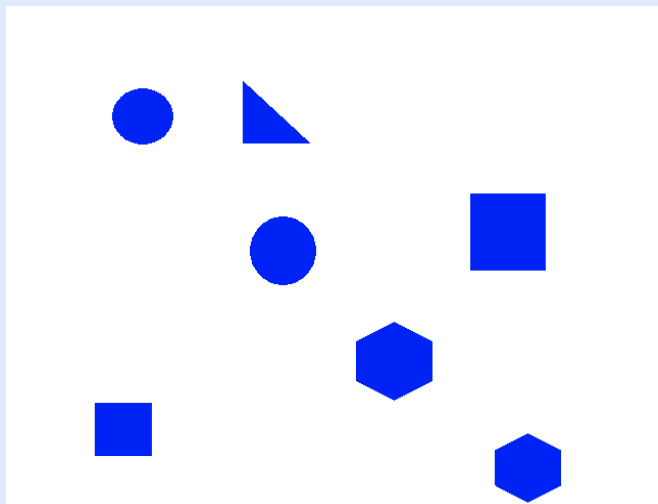
给互不相连的物体打上不同的标签，以此达成分离物体的目的。

B. 使用八连通域:指定像素的上下左右以及对角线方向上的8个像素为相邻像素。

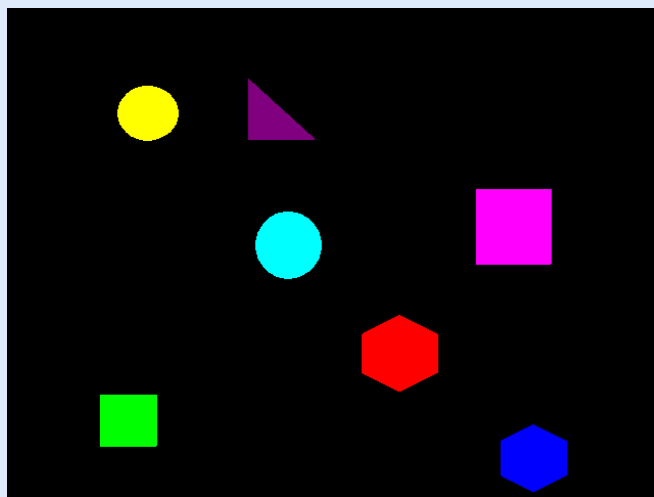
在实现过程中对某一像素做具体判断的时候，只需要考虑头上三个以及左边的像素即可。



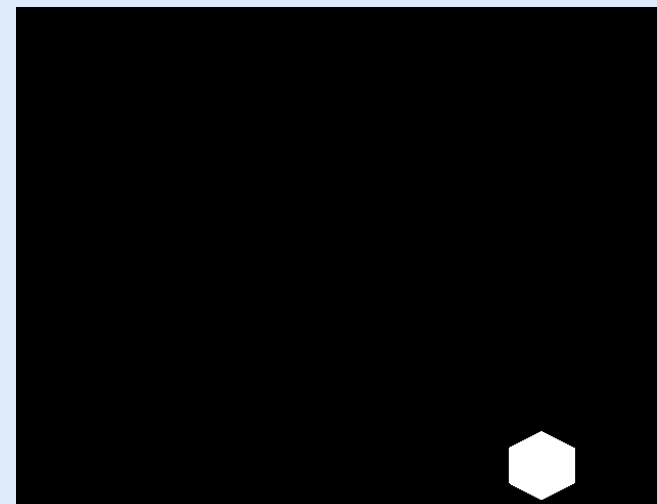
仿真结果 (640 X 480) :



原图

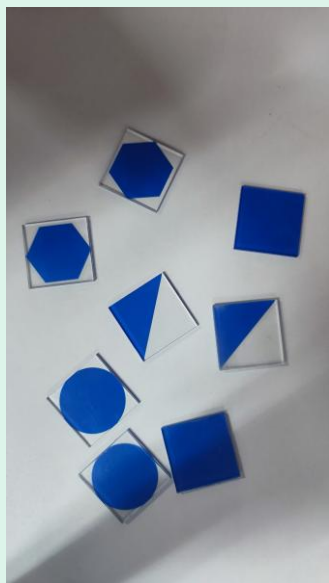


标签图



标签为“1”的二值化图像

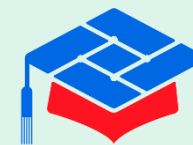
实验效果



原图



标签为“1”的二值化图像



III. 质心坐标获取 & 形状识别



A. 加权平均值求质心

公式:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$
$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}$$



质心	第一个像素	最后一个像素	形状信息
x_cent[9:0]	515	0	515
y_cent[9:0]	39	0	39
x_h_max[9:0]	513		513
y_h_max[9:0]	7		7
x_h_min[9:0]	516	0	516
y_h_min[9:0]	72	0	72
shape_infor[2:0]	4	0	72 4

B. 形状识别

摄像头放在固定的高度，则每个物体所占二值化面积是一个固定的大小关系

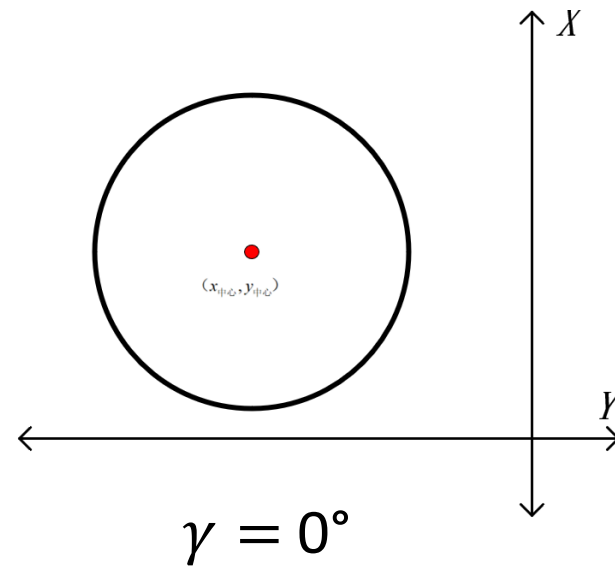
形状	大小关系
三角形	最小
正方形	最大
圆形	大于六边形，小于正方形
六边形	大于三角形，小于圆形

IV. 反正切求角度

根据**最高点X坐标**与**质心X坐标**的关系，可以分成**三种**情况，每种情况有不同的反正切公式：

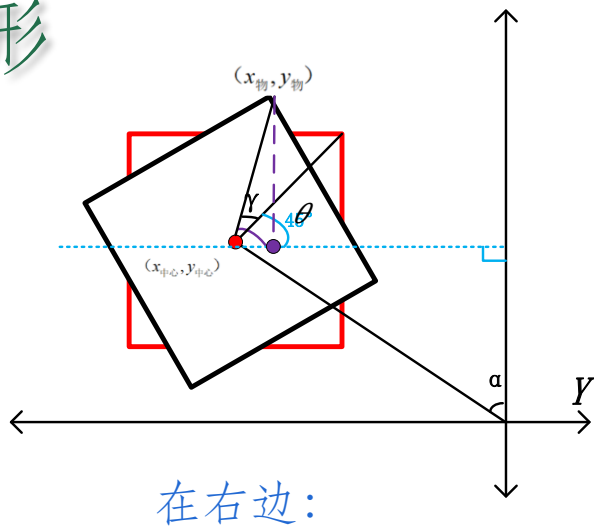
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{在左边: } \theta = \tan^{-1} ((y_{\text{高}} - y_{\text{质心}}) / (x_{\text{质心}} - x_{\text{高}})) \\ \text{在右边: } \theta = \tan^{-1} ((y_{\text{高}} - y_{\text{质心}}) / (x_{\text{高}} - x_{\text{质心}})) \\ \text{在附近: } \theta = \text{常数} \end{array} \right.$$

圆形

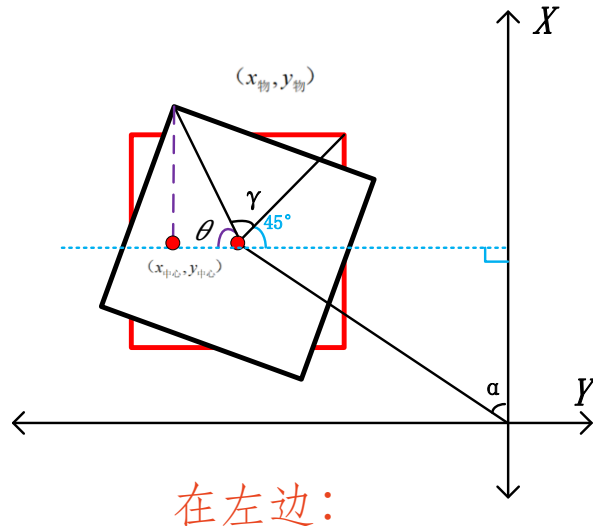


无论处于何种姿态，都不需旋转

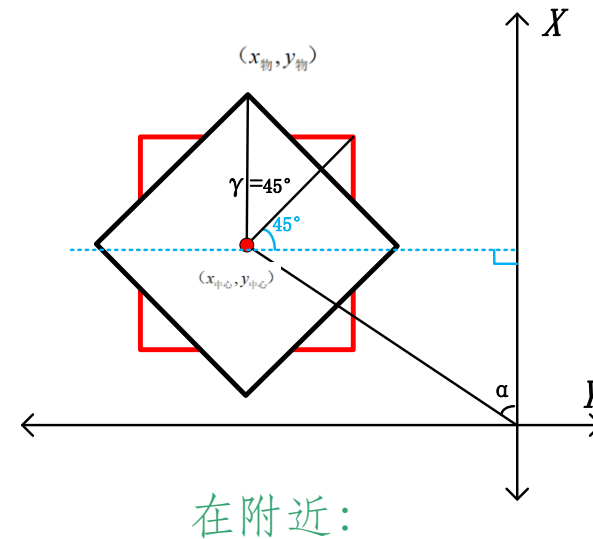
正方形



$$\text{旋转角度: } \gamma = \theta - 45^\circ$$



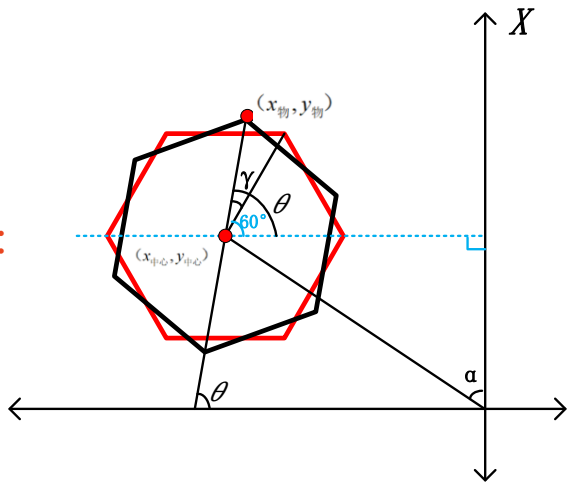
$$\gamma = 135^\circ - \theta$$



$$\gamma = 45^\circ$$

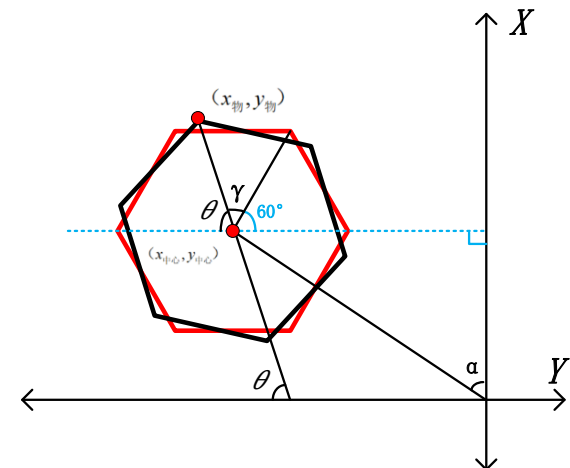
六边形

在右边:



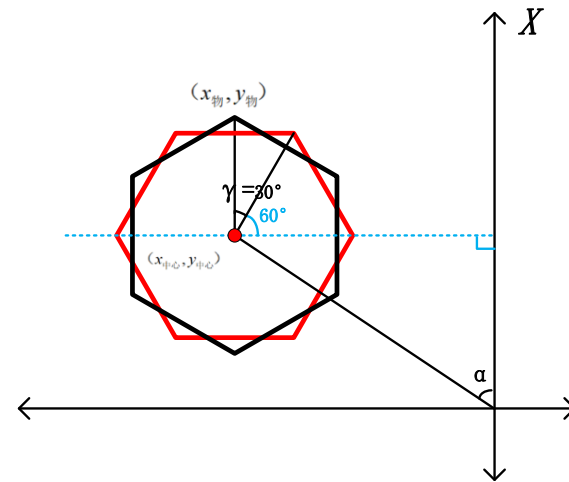
旋转角度: $\gamma = \theta - 60^\circ$

在左边:



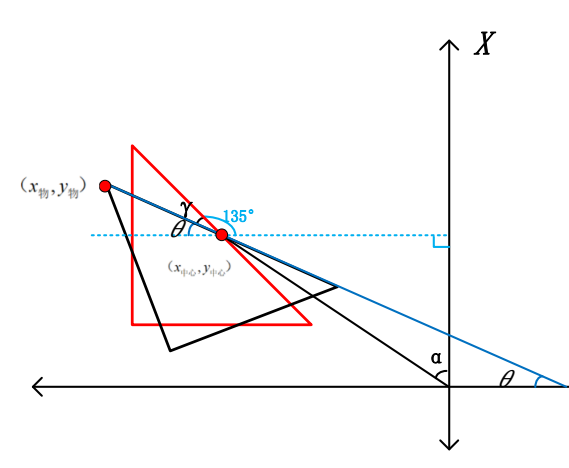
旋转角度: $\gamma = 120^\circ - \theta$

在附近:



旋转角度: $\gamma = 30^\circ$

在左边:

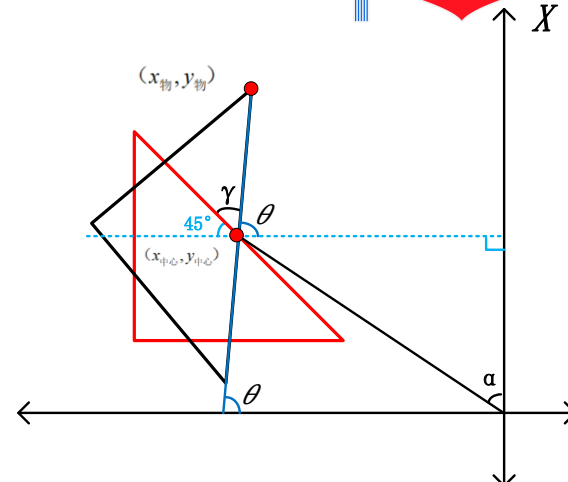


旋转角度: $\gamma = 45^\circ - \theta$

三角形

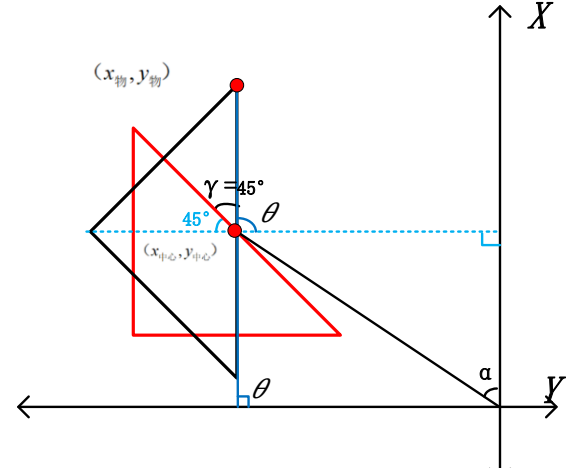


在右边:



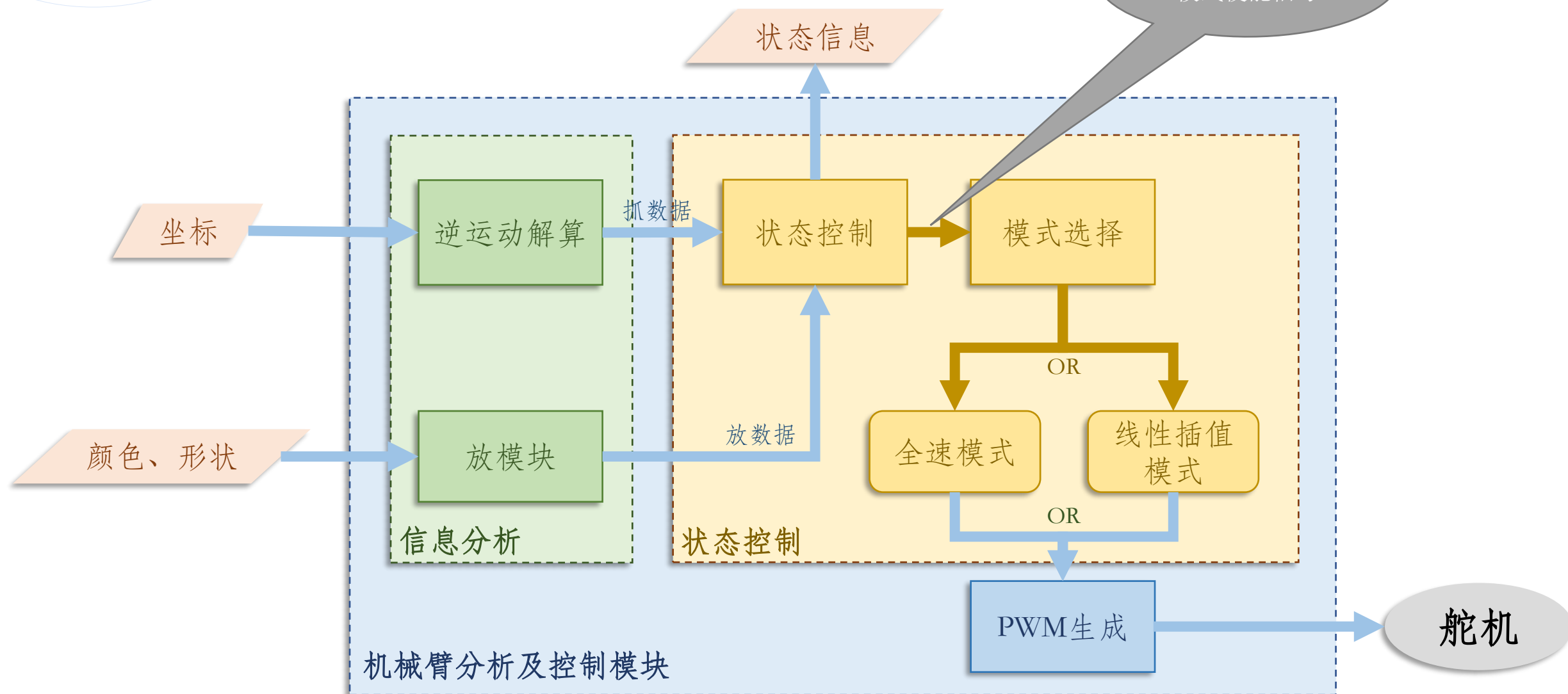
旋转角度: $\gamma = 135^\circ - \theta$

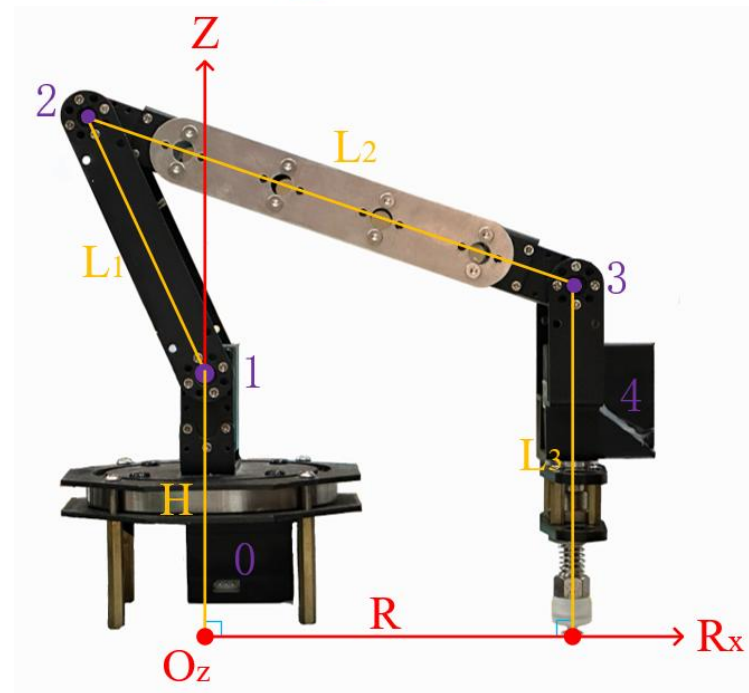
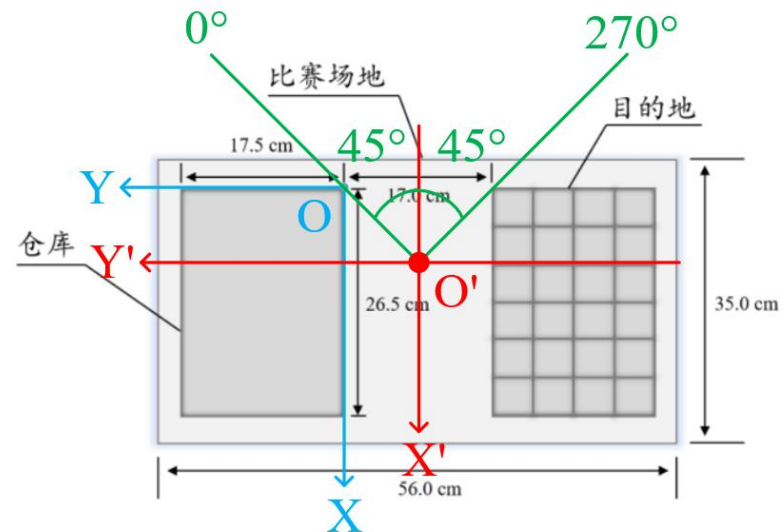
在附近:



旋转角度: $\gamma = 45^\circ$

2.2 机械臂分析及控制模块流程





建立坐标系

对0、4号舵机和1、2、3号舵机的角度建立方程组

求解方程组

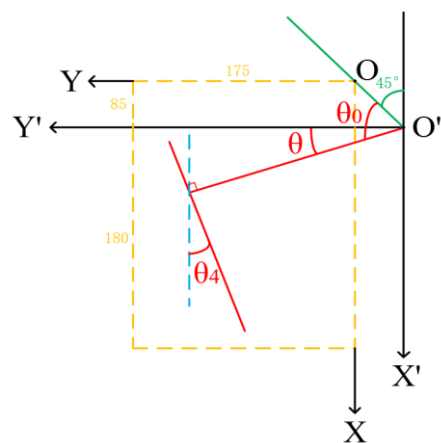
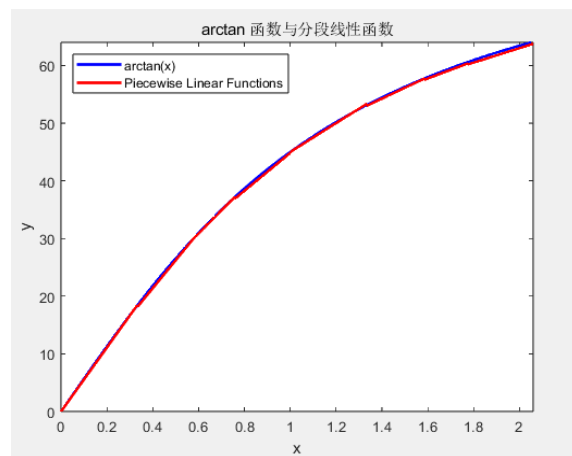
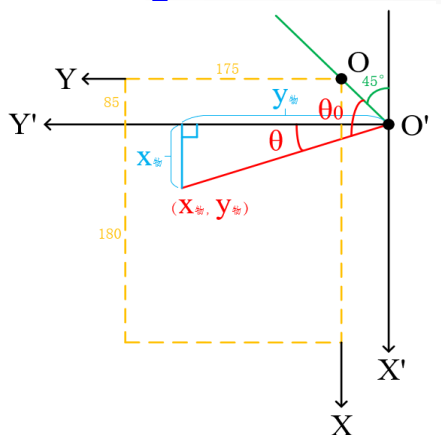
利用ROM部署到FPGA

0、4号舵机角度的求解

$X_{物}$ 、 $Y_{物}$ 的比例一定，0、4号舵机角度确定：

$$\theta = \arctan |X_{物}/Y_{物}|$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{当 } X' \geq 0 \text{ 时, } \theta_0 = \frac{\pi}{4} - \theta, \quad \theta_4 = \frac{3\pi}{4} - \theta \\ \text{当 } X' < 0 \text{ 时, } \theta_0 = \frac{\pi}{4} + \theta, \quad \theta_4 = \frac{3\pi}{4} + \theta \end{array} \right.$$

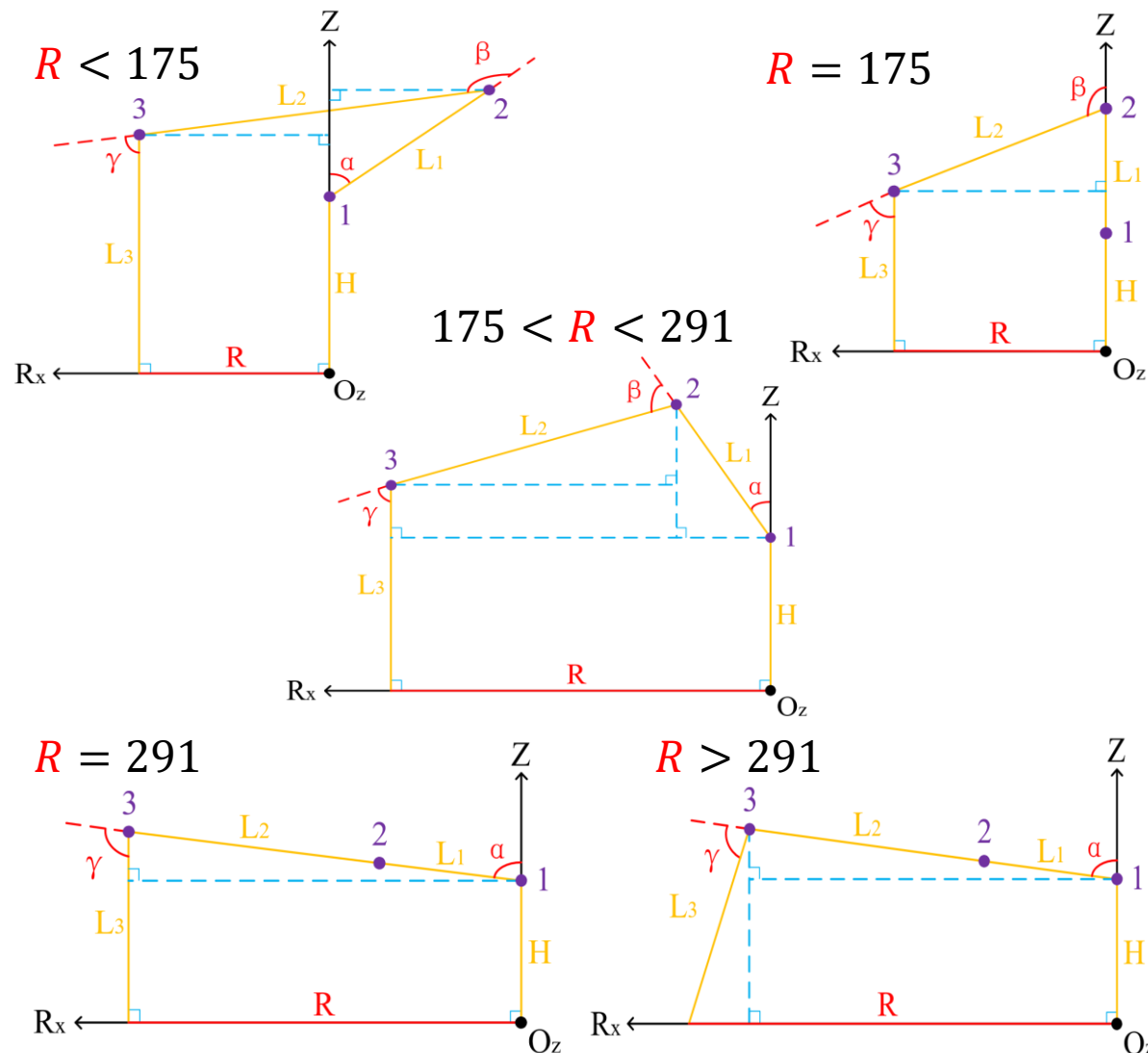


1号、2号、3号舵机角度的求解



当 R 一定时，1、2、3号舵机的角度确定：

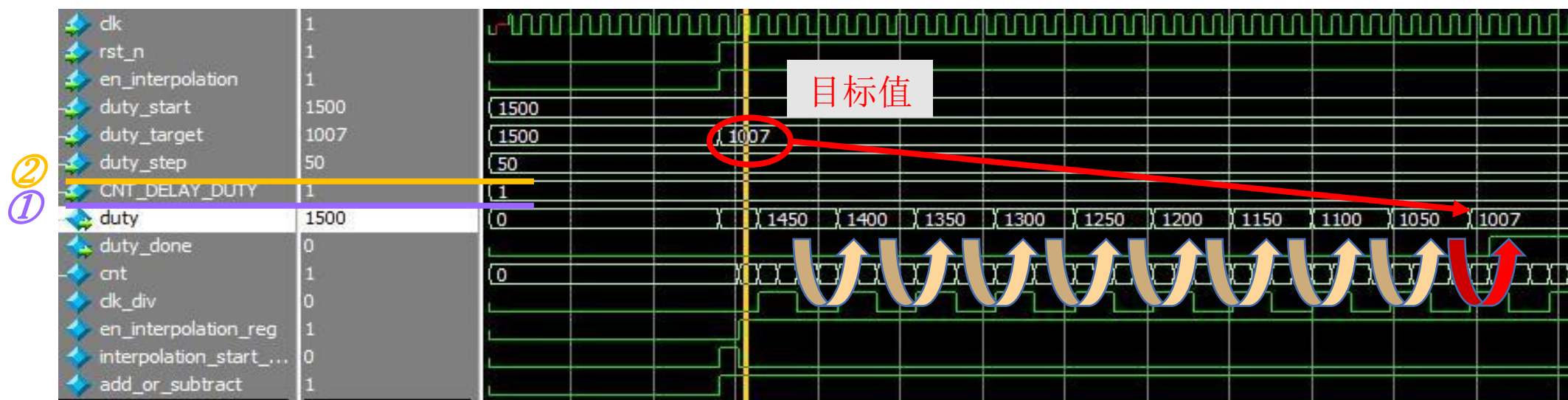
对 R 分类讨论，经各情况下连杆的几何关系建立三角方程组



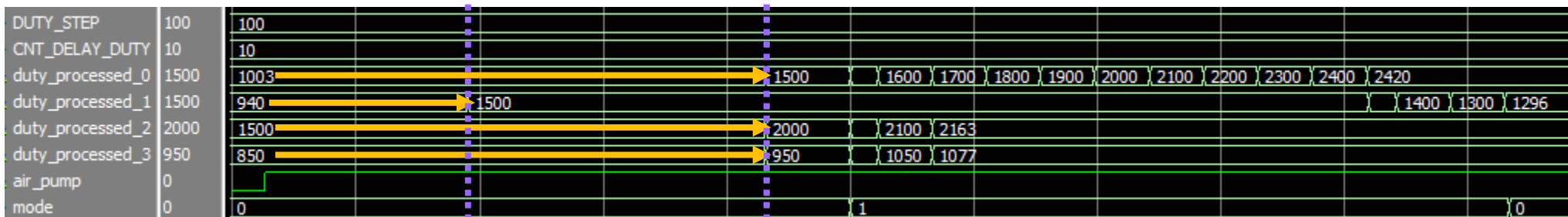
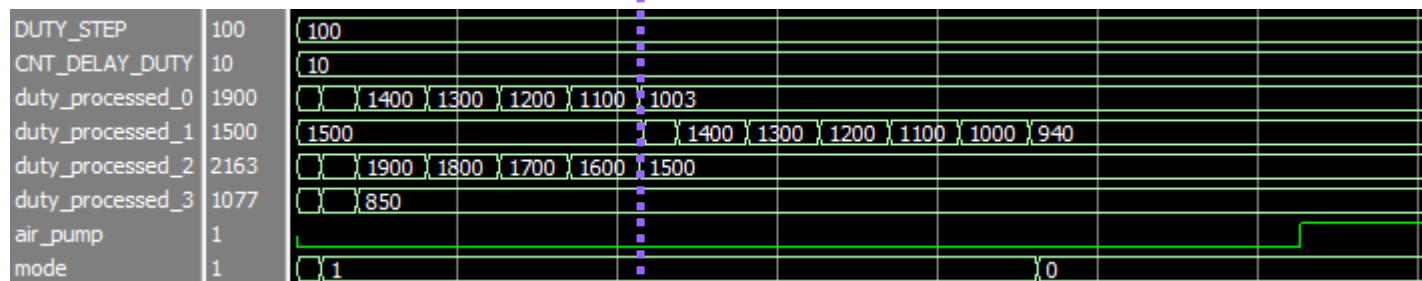
II. 线性插值



①间隔时间可变、②步进值可变 → 实现机械臂运动速度的可控



III. 状态控制





03

性能分析



性能指标

指标	此系统
目标锁定时间(s)	0.067 <i>N</i>
完成任务总时间(s)	6.94 <i>N</i>
定位精度	一般

测试表

测试序号	总时间(s)	均方根误差(cm)	方差(cm^2)	均值误差(cm)
①	6.94 <i>N</i>	1.45	2.27	1.30
②	5.27 <i>N</i>	2.11	4.77	1.92
③	12.96 <i>N</i>	0.35	0.13	0.27

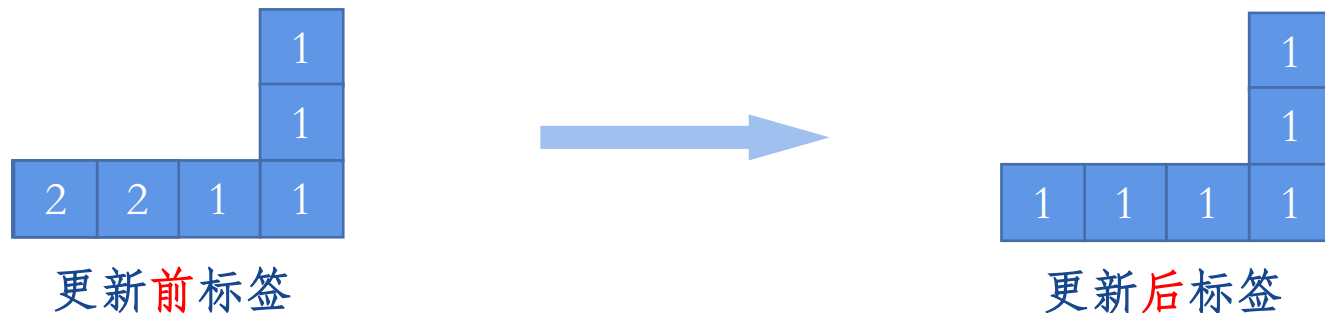


04

方案可优化方向



A. 出现问题:在本系统现阶段的连通域算法中,所处理图像的边缘由于二值化阈值范围与光照环境影响下,可能会出现“左L”形的情景:



解决方案:在处理当前行标签的时候,增加“回溯”功能即增加固定次数的循环结构,把当前所要给的标签赋值给被循环的像素。

B. 出现问题:由于连通域算法将标签为1的物体输出,而且求取质心的公式与像素的xy坐标有关系。所以图像识别模块容易收到噪点以及外部环境的影响

解决方案:在连通域模块之前添加滤波/腐蚀,保证模块传入的数据没有噪点。



感谢
各位评委