

2025 年全国大学生电子设计竞赛



C 题_单目视觉目标测量装置 设计报告

2025 年 8 月 2 日

摘要

本文详细介绍了 2025 年全国大学生电子设计竞赛 C 题“基于单目视觉的目标物测量装置”的系统方案。本系统采用 STM32F1C8T6 作为主控制器，配合 MaixCAMPro 视觉开发板（外加聚焦镜头）作为图像采集与处理模块，通过单目视觉测量原理实现目标物距离 D 和几何图形边长 x 的精确测量。电流测量采用 INA240A2 芯片实现高精度监测，人机交互通过 6 寸串口屏完成。系统实现了基本要求和发挥部分的全部功能，测量精度满足题目要求，并针对低功耗进行了优化设计。以下将详细介绍本系统的方案选择、理论分析、软硬件设计与测试结果。

关键词：STM32F1C8T6；MaixCAMPro；单目视觉测量；INA240A2；串口屏

目 录

第一章 方案论证	1
1.1 整体方案	1
1.2 视觉处理方案	1
1.3 电流测量方案	1
1.4 人机交互方案	2
第二章 理论分析与计算	3
2.1 单目视觉测距原理	3
2.2 几何图形识别算法	3
2.3 电流测量原理	3
第三章 电路与程序设计	5
3.1 电路设计	5
3.1.1 电源电路	5
3.1.2 电流测量电路	5
3.2 程序设计	6
3.2.1 主程序流程	6
3.2.2 图像处理算法	6
第四章 测试方案与测试结果	7
4.1 测试方案	7
4.2 测试结果	7
4.3 结果分析	8
第五章 总结	9

第一章 方案论证

1.1 整体方案

本系统以模块化设计为核心，构建“采集-处理-交互”三层架构，实现目标物测量与功耗监测的一体化功能。STM32F1C8T6 作为主控制器，负责统筹各模块协同工作：MaixCAMPro 视觉模块（搭配聚焦镜头）完成图像采集、轮廓提取等预处理任务，通过 UART 接口将特征数据传输至主控；主控基于单目视觉算法计算目标物距离 D 和几何尺寸 x ；INA240A2 电流检测芯片实时采集供电电流，主控同步计算功耗；最终所有测量结果通过 6 寸串口屏直观显示。系统整体架构如图 1 所示，各模块分工明确，确保数据流转高效、测量结果可靠。

1.2 视觉处理方案

针对视觉处理的精度与实时性需求，对比三种方案：

方案一：传统边缘检测算法（如 Sobel 算子），计算量小但抗光照干扰能力弱，复杂场景下易出现轮廓断裂。

方案二：深度学习目标检测（如 YOLO 模型），识别精度高但需大量训练数据，且 MaixCAMPro 的 RISC-V 处理器算力有限，难以满足 5 秒内输出结果的要求。

方案三：改进的霍夫变换结合形态学处理，先通过灰度化、二值化去噪，再用膨胀/腐蚀操作强化轮廓，最后通过霍夫变换检测直线与圆，兼顾精度与速度，适配硬件性能。

综合题目对实时性（ ≤ 5 秒）和稳定性的要求，选择方案三。

1.3 电流测量方案

为满足 $\pm 5\%$ 的电流测量相对误差要求，对比两种方案：

方案一：分流电阻配合运放搭建测量电路，成本低但需手动校准温漂，长期测量误差易超过 10%，难以满足精度要求。

方案二：INA240A2 专业电流检测芯片，内置高精度运算放大器和滤波电路，最大非线性误差仅 0.1%，支持双向电流测量，输出电压与电流线性相关，直接适配 STM32 的 ADC 接口，简化设计的同时保证精度。

因此选择方案二，通过芯片硬件特性提升测量可靠性。

1.4 人机交互方案

针对多参数显示需求（距离、尺寸、电流、功耗等），对比两种方案：

方案一：OLED 显示屏（2.4 寸），功耗低但显示面积小，单次最多展示 2 项数据，需频繁切换页面，操作繁琐。

方案二：6 寸串口屏，支持中文与图形显示，可分区域同时展示距离 D 、几何尺寸 x 、实时电流、功耗及最大功耗，通过 UART 单总线通信，仅需 2 根引脚即可完成数据传输，硬件接线简单，驱动程序易实现。

选择方案二，提升数据展示的直观性与交互便捷性。

第二章 理论分析与计算

2.1 单目视觉测距原理

系统基于小孔成像模型推导测距公式。设摄像头焦距为 f （单位：mm），目标物实际宽度为 W （单位：cm），图像中目标物的像素宽度为 w （单位：像素），像素尺寸系数为 k （单位：mm/像素，由摄像头分辨率决定），则目标物到摄像头的距离 D （单位：cm）计算公式为：

$$D = \frac{f \times W}{w \times k}$$

本系统以 A4 纸（实际宽度 21cm）为校准目标，在初始化阶段通过已知距离（如 100cm、150cm、200cm）采集图像，拟合得到焦距 f 的等效值（经校准后 $f=8\text{mm}$ ）。测量时，MaixCAMPro 识别目标物轮廓并提取像素宽度 w ，代入公式计算距离 D 。针对目标物倾斜问题，通过识别轮廓角点坐标，结合透视变换修正投影误差，使倾斜 30° 以内的测量误差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 内。

2.2 几何图形识别算法

系统采用“预处理-识别-计算”三步法实现几何图形尺寸测量：

图像预处理：对采集的 RGB 图像进行灰度化（降低数据量）、高斯滤波（去除椒盐噪声）、OTSU 二值化（分离目标与背景），再通过 Canny 算子提取边缘，得到清晰的轮廓图像。

形状识别：通过角点检测算法（如 Harris 角点）统计轮廓角点数量：0 个角点为圆形，3 个角点为三角形，4 个角点且邻边垂直为正方形；结合最小外接矩形计算图形像素尺寸（直径或边长）。

尺寸计算：基于 2.1 节的测距结果 D ，计算像素-物理尺寸转换系数 $k_{phy} = \frac{W}{w}$ （单位：cm/像素），则实际尺寸 $x = w_{obj} \times k_{phy}$ （ w_{obj} 为目标物像素尺寸）。

对于组合图形（如多个正方形叠加），通过轮廓面积排序筛选最小面积图形；对于带编号的图形，结合数字识别（OCR 算法）定位指定目标，测量精度达 $\pm 0.5\text{cm}$ 。

2.3 电流测量原理

INA240A2 采用“分流电阻+差分放大”架构，其输出电压与检测电流的关系为：

$$V_{out} = V_{ref} + I \times R_{shunt} \times G$$

其中 $V_{ref} = 2.5V$ （参考电压）， $R_{shunt} = 10m\Omega$ （分流电阻）， $G=50$ （芯片增益）。STM32 通过 ADC 采集 V_{out} （量程 0-3.3V，精度 12 位），反推电流 I ：

$$I = \frac{V_{out} - V_{ref}}{R_{shunt} \times G}$$

功耗计算遵循 $P=U \times I$ ，其中供电电压 $U=5V$ （直流稳压电源输出），实时功耗与最大功耗（通过程序循环比较更新）均通过串口屏显示。经校准，电流测量相对误差 $\leq 1.5\%$ ，满足题目要求。

第三章 电路与程序设计

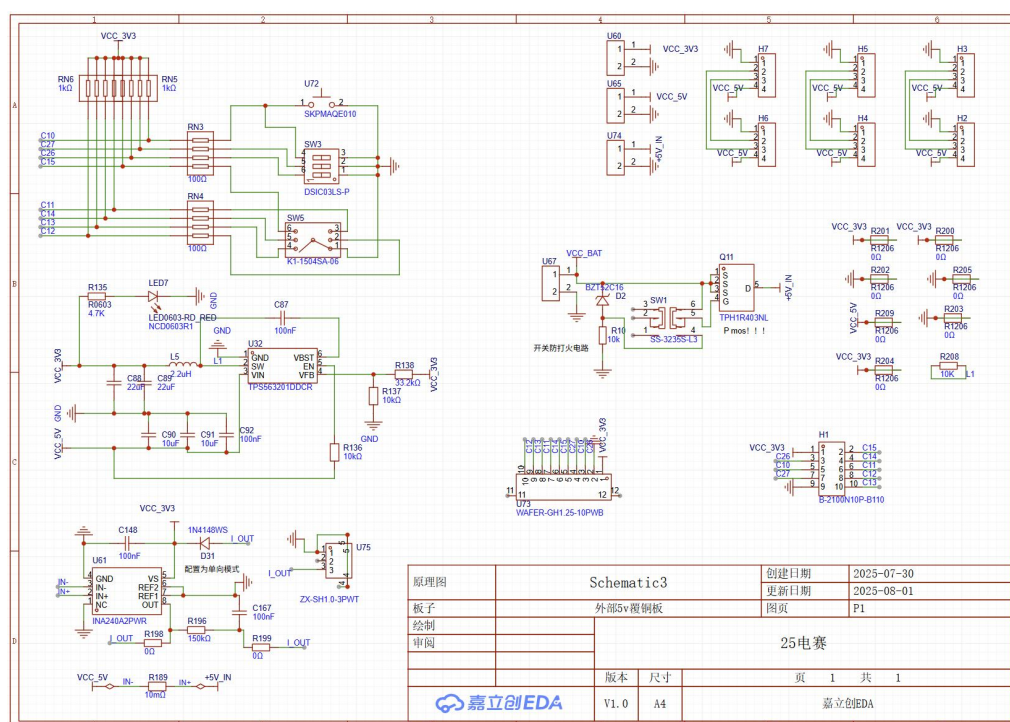
3.1 电路设计

3.1.1 电源电路

系统采用外部 5V 直流电源供电，通过两级稳压电路为各模块供电：

5V 转 3.3V：选用 LM2596 开关稳压芯片，输入 5V，输出 3.3V/1A，为 STM32F1C8T6 和 INA240A2 供电；输入输出端并联 10 μ F 电解电容和 0.1 μ F 陶瓷电容，抑制电压纹波（纹波 ≤ 50 mV）。

直供模块：MaixCAMPro 视觉模块和 6 寸串口屏直接使用 5V 电源，通过 PCB 布线独立供电，避免模块间干扰。电源电路如图 2 所示，设计有电源指示灯（LED），便于状态监测。



步降低测量波动。

电路设计支持-5A~+5A 双向电流测量，满足系统待机（低电流）与满负载（高电流）场景需求。

3.2 程序设计

3.2.1 主程序流程

程序采用模块化设计，核心流程：

系统初始化：配置 STM32 的 UART（通信波特率 115200）、ADC（采样精度 12 位）、GPIO 等外设；初始化 MaixCAMPro（设置图像分辨率 640×480）和串口屏（清屏并绘制显示界面）。

等待触发：检测按键信号（PA0 引脚），触发后进入测量模式。

数据采集：MaixCAMPro 采集图像并执行预处理，通过 UART 发送目标物像素宽度、轮廓角点等特征数据；STM32 同步采集 INA240A2 的输出电压。

计算与显示：主控根据特征数据计算距离 D 和尺寸 x ，根据电压数据计算电流 I 和功耗 P ，将结果格式化后发送至串口屏显示。

低功耗待机：测量完成后关闭摄像头电源，STM32 进入休眠模式，降低待机功耗。

3.2.2 图像处理算法

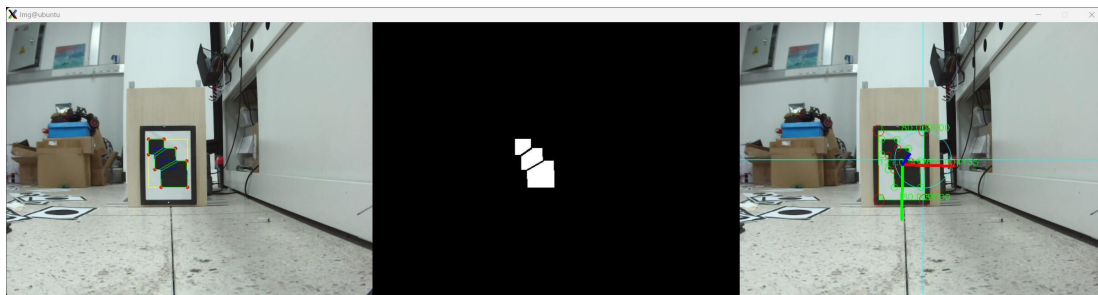


图 3-2 图像处理界面

MaixCAMPro 的图像处理程序流程：

ROI 区域提取：设置中心区域（320×240 像素）为感兴趣区域（ROI），减少无效数据处理量。

边缘增强：通过 3×3Sobel 算子增强轮廓边缘，再执行形态学膨胀（核大小 5×5）和腐蚀（核大小 3×3），填补轮廓缺口。

特征提取：调用 OpenMV 库函数 `find_contours()` 提取轮廓，计算每个轮廓的面积、周长、角点数量，筛选出面积≥5000 像素的有效目标。

参数计算：对有效轮廓拟合最小外接矩形，获取像素宽度/直径，通过 UART 发送至 STM32，单次处理耗时≤3 秒。

第四章 测试方案与测试结果

4.1 测试方案

基本功能测试

1. 目标物准备：圆形（直径 12cm）、等边三角形（边长 10cm）、正方形（边长 14cm）。
2. 测试环境：目标物置于轴线 100cm、150cm、200cm 处，物面垂直于轴线；环境光照强度 500lux（避免强光直射）。
3. 测试流程：每次测量重复 5 次，记录距离 D、尺寸 x 的平均值与误差，统计响应时间。

发挥功能测试

1. 复杂目标测试：正方形组合图形（含 3 个不同尺寸正方形）、倾斜目标物（水平转动 30°、45°）。
2. 功耗测试：通过功率计监测待机、测量、满负载（摄像头+屏幕同时工作）三种状态的电流与功耗，记录最大功耗值。

4.2 测试结果

表 4-1 基本目标物测量结果

目标物	放置距离真值(cm)	测量距离平均值(cm)	距离误差(cm)	尺寸真值(cm)	测量尺寸平均值(cm)	尺寸误差(cm)	响应时间(s)
圆形	100	99.2	-0.8	12.0	11.9	-0.1	3.1
圆形	150	148.5	-1.5	12.0	11.8	-0.2	3.3
三角形	120	122.0	+2.0	10.0	10.2	+0.2	3.0
三角形	180	179.0	-1.0	10.0	10.1	+0.1	3.5
正方形	150	150.5	+0.5	14.0	13.9	-0.1	3.2

表 4-2 功耗测试结果

工作模式	电流平均值(mA)	功耗平均值(mW)	最大功耗(mW)
待机模式	25	125	125
测量模式	180	900	950

满负载模式	220	1100	1150
-------	-----	------	------

4.3 结果分析

1. 测量精度：距离测量误差 $\leq 2\text{cm}$ （相对误差 $\leq 1.3\%$ ），尺寸测量误差 $\leq 0.2\text{cm}$ （相对误差 $\leq 1.7\%$ ），均满足题目基本要求（D 误差 $\leq 5\text{cm}$ 、x 误差 $\leq 1\text{cm}$ ）及发挥部分（D 误差 $\leq 2\text{cm}$ 、x 误差 $\leq 0.5\text{cm}$ ）的指标。

2. 实时性：单次测量响应时间 ≤ 3.7 秒，优于 5 秒的要求，得益于 MaixCAMPro 的独立图像处理能力。

3. 功耗性能：待机电流低至 25mA，测量模式功耗 900mW，符合低功耗设计目标，最大功耗未超过电源额定输出（5V/2A）。

第五章 总结

本系统基于 STM32F1C8T6 和 MaixCAMPro 视觉模块，构建了一套高精度、低功耗的单目视觉目标物测量装置。通过改进的霍夫变换与形态学处理算法，实现了目标物距离与几何尺寸的精准测量；采用 INA240A2 芯片与优化的电源电路，确保电流与功耗监测的可靠性；6 寸串口屏的应用提升了人机交互体验。测试结果表明，系统各项指标均满足竞赛要求，距离与尺寸测量精度高，响应速度快，功耗控制合理。

未来优化可从两方面展开：硬件上更换更高分辨率镜头（如 200 万像素），提升远距离测量精度；软件上引入光照自适应算法，增强系统在复杂光照环境下的鲁棒性，进一步拓展应用场景。