

基于STM32的车牌识别系统的设计与开发

孟佳聪, 廖雨宁, 陈欣雨, 黄潇威, 张涵洁, 邓伟*, 周诗源

嘉兴南湖学院信息工程学院, 浙江 嘉兴

收稿日期: 2025年8月29日; 录用日期: 2025年9月19日; 发布日期: 2025年9月30日

摘要

随着我国机动车保有量持续攀升, 停车场、道路交通监测系统对嵌入式交通设备的需求不断增长。本文针对现有车牌识别系统在嵌入式、小型化、低功耗方面的不足, 提出了一种基于STM32微控制器的嵌入式车牌识别系统。该系统硬件设计以STM32F103RBT6嵌入式处理器为核心, 集成OV7670图像传感器与LCD显示模块, 车牌识别软件则部署于STM32F103RBT6处理器上。所设计车牌识别系统通过对OV7670图像传感器采集的车牌图像数据进行定位、倾斜矫正、字符分割及匹配等过程, 实现车牌图像字符的提取与识别。实验结果表明, 本文所设计的系统在光照变化明显、车牌存在倾斜以及背景复杂干扰场景下, 均具有较高的识别准确率, 且功耗显著优于传统方案, 为停车场管理、交通监控等场景提供了高性价比的嵌入式解决方案。

关键词

STM32, 图像预处理, 车牌定位, 字符分割, 字符识别

Design and Development of License Plate Recognition System Based on STM32

Jiacong Meng, Yuning Liao, Xinyu Chen, Xiaowei Huang, Hanjie Zhang, Wei Deng*, Shiyuan Zhou

College of Information Engineering, Jiaxing Nanhu University, Jiaxing Zhejiang

Received: August 29, 2025; accepted: September 19, 2025; published: September 30, 2025

Abstract

With the continuous growth of the number of motor vehicles in China, the demand for embedded traffic equipment in parking lots and road traffic monitoring systems is increasing. Aiming at the

*通讯作者。

文章引用: 孟佳聪, 廖雨宁, 陈欣雨, 黄潇威, 张涵洁, 邓伟, 周诗源. 基于 STM32 的车牌识别系统的设计与开发[J]. 图像与信号处理, 2025, 14(4): 429-442. DOI: 10.12677/jisp.2025.144040

shortcomings of existing license plate recognition systems in terms of embedding, miniaturization and low power consumption, this paper proposes an embedded license plate recognition system based on STM32 microcontroller. The hardware design of the system mainly uses the STM32F103RBT6 embedded processor as the core, integrating the OV7670 image sensor and LCD display module. The license plate recognition algorithm designed for the system is deployed on the STM32F103RBT6 processor. By analyzing the image data collected by the OV7670 image sensor and through modules such as license plate positioning, tilt correction, character segmentation and matching, the algorithm achieves accurate recognition of license plate characters. Experimental results show that the system designed in this paper exhibits high recognition accuracy in scenarios with significant changes in illumination, tilted license plates and complex vehicle backgrounds. Moreover, its power consumption is significantly better than that of traditional schemes, effectively balancing the system's performance and energy consumption. This research provides a cost-effective solution for parking lot management, traffic monitoring and other scenarios, and verifies the feasibility of applying the STM32 platform in intelligent transportation systems.

Keywords

STM32, Image Preprocessing, License Plate Location, Character Segmentation, Character Recognition

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

车牌识别系统作为融合计算机视觉、模式识别与深度学习技术的智能化系统,其发展与城市化进程、技术革新及社会需求密切相关。随着全球汽车保有量激增(如中国已突破 3.8 亿辆),传统人工车辆管理模式在交通管理中愈发低效,难以应对规模化车流量带来的管理压力。同时,智能交通系统(ITS)的建设迫切需要实时获取车辆身份信息,而车牌作为车辆唯一法定标识,成为连接“车-路-网”协同管理的核心纽带,车牌识别系统成为其发展过程中极其重要的一环。该系统可实现高速公路无人化收费、违章自动抓拍及车流量动态调控,大幅提升通行效率。

此外,随着车牌识别应用范围的扩大,车牌识别系统已经从交通领域发展到了非交通领域。在公共安全领域,通过与监控网络联动,能实时追踪涉案车辆、布控黑名单车辆,强化安防能力;商业场景中,可替代人工完成停车场收费、物流车辆溯源等工作,显著降低人力成本与误差率。原有的车牌识别系统在如今更加细分的复杂场景中难以满足实际应用需求。在此背景下,车牌识别技术获得越来越多的关注。

2. 研究现状

车牌识别系统发展历程可追溯至 20 世纪 80 年代,当时技术主要依赖图像处理和简单模式识别方法,但受限于计算机硬件和图像处理技术,车牌识别准确率和实时性不理想。20 世纪 90 年代后,随着计算机技术迅猛发展,车牌识别技术逐步采用了支持向量机(SVM) [1]、神经网络(NN) [2]等更先进的信号处理算法,有效地提升了车牌识别的准确率。其核心思想如边缘检测、投影分割等为后续车牌识别技术的发展奠定了基础。当今,随着大数据、云计算等技术的发展,车牌识别技术借助深度学习中的卷积神经网络,实现了车牌特征的自动高效识别,大幅提升了识别精确度与响应速度。

然而,上述算法在实际应用中存在明显弊端。如传统二值化算法在非均匀光照下易出现字符断裂或

粘连问题,模板匹配对汉字覆盖不全,识别鲁棒性差,难以适应多样化的车牌场景;SVM和NN等算法虽提升准确率,但模型复杂度高、训练耗时长,对硬件算力要求苛刻,在嵌入式设备中部署时面临计算资源有限的瓶颈;深度学习中的卷积神经网络虽能自动提取特征,但庞大的模型参数导致部署成本高昂,在低功耗STM32等微控制器上运行时,推理速度无法达到实时要求,且对小样本、极端光照等场景的鲁棒性不足。

针对上述问题,本文基于STM32微控制器,结合OV7670摄像头模块与FIFO缓存器,通过嵌入式处理技术降低系统功耗,同时提升图像分析与处理效率。在算法上,本文采用跳变点分析、RGB-HSV颜色空间转换等轻量级处理方法,避免复杂深度学习模型的算力依赖,可在低功耗硬件平台上实现车牌定位与字符的识别。为进一步提高识别效率,本文设计了改进的二值化与投影法结合的字符匹配策略,结合拉普拉斯算子与迭代法的动态阈值调整,提升非均匀光照下的适应性,减少字符断裂与粘连问题。同时,硬件设计上在STM32与摄像头模块之间加入FIFO缓存,大幅降低处理器对本地存储空间的需求,解决了嵌入式平台存储资源受限的问题。本系统具备成本低、功耗小、环境适应性好等优势,为不断发展的智能交通管理系统提供了极具性价比的解决方案。

3. 系统方案

本文所设计的系统主要包括图像采集、图像预处理、车牌区域识别、车牌字符分割、字符匹配等部分。本文选用基于ARM Cortex-M3内核的STM32F103RBT6芯片作为设计平台,其具备较高的处理能力,可支持复杂运算,能够满足设计需求。图像采集装置选用OV7670摄像头,通过STM32控制OV7670采集图像,使用TFT显示屏作为显示装置。

3.1. STM32F103RBT6 芯片简介

本文选用STM32F103RBT6作为核心芯片,因其具备三大优势:

- 1) 高性能且成本低,采用ARM Cortex-M3内核与哈佛结构,搭配Thumb-2指令集提升运行效率并降低成本;
- 2) 片上资源丰富,集成256 k FLASH、64KB SRAM,支持8~14位摄像头接口、ADC、定时器及USART、SPI等通信接口,适配车牌识别的图像采集与数据处理需求;
- 3) 三是超低功耗,内置电压调节器可自动切换模式,平衡性能与功耗。

3.2. 图像数据缓存模块

STM32F4系列的控制器主频高、一般会扩展外部SRAM、SDRAM等存储器,且具有DCMI外设[3],可以直接根据QVGA时序接收并存储摄像头输出的图像数据;而STM32F1系列的控制器一般主频较低、为节省成本可能不扩展SRAM存储器,而且不具DCMI外设,难以直接接收和存储OV7670图像传感器输出的数据[3]。

为解决上述问题,针对类似STM32F1或更低性能的控制器的,本研究在OV7670摄像头的图像传感器之外增设了型号为AL422B的FIFO,用于图像数据的缓冲,以解决数据传输与处理的时序匹配问题。AL422B的本质是一种RAM存储器。它的容量大小为393,216字节,支持同时写入和读出数据[4](图1,图2)。

由于AL422B支持同时写入和读出数据,所以它的输入和输出的控制信号线都是互相独立的。写入和读出数据的时序类似,跟VGA的像素输出时序一致。

在写时序中,当WE管脚为低电平时,FIFO写入处于使能状态,随着读时钟WCK的运转,DI[0:7]表示的数据将会按地址递增的方式存入FIFO[4];当WE管脚为高电平时,关闭输入,DI[0:7]的数据不会被写入FIFO。

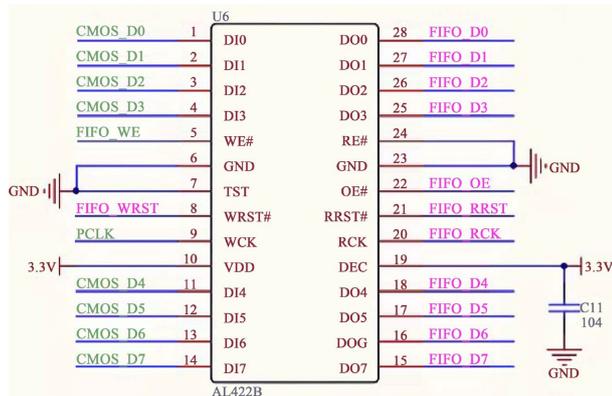


Figure 1. AL422B chip circuit

图 1. AL422B 芯片电路

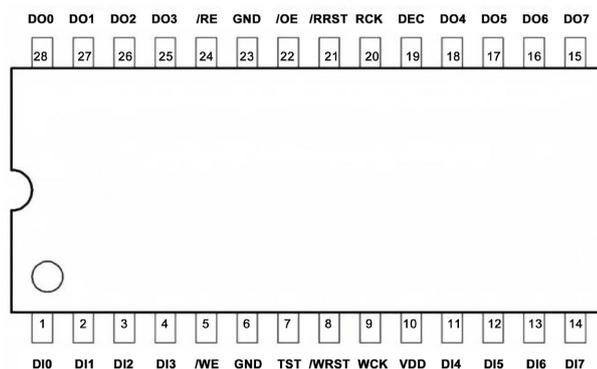


Figure 2. AL422B FIFO pin diagram

图 2. AL422B FIFO 引脚图

在控制写入数据时，一般会先控制写指针作一个复位操作：把 WRST 设置为低电平，写指针会复位到 FIFO 的 0 地址，然后 FIFO 接收到的数据会从该地址开始按自增的方式写入。

FIFO 的读时序类似，不过读使能由两个引脚共同控制，即 OE 和 RE 引脚均为低电平时，输出处于使能状态，随着读时钟 RCK 的运转，在数据输出管脚 DO [0:7]就会按地址递增的方式输出数据[4] (图 3(a)~(b))。

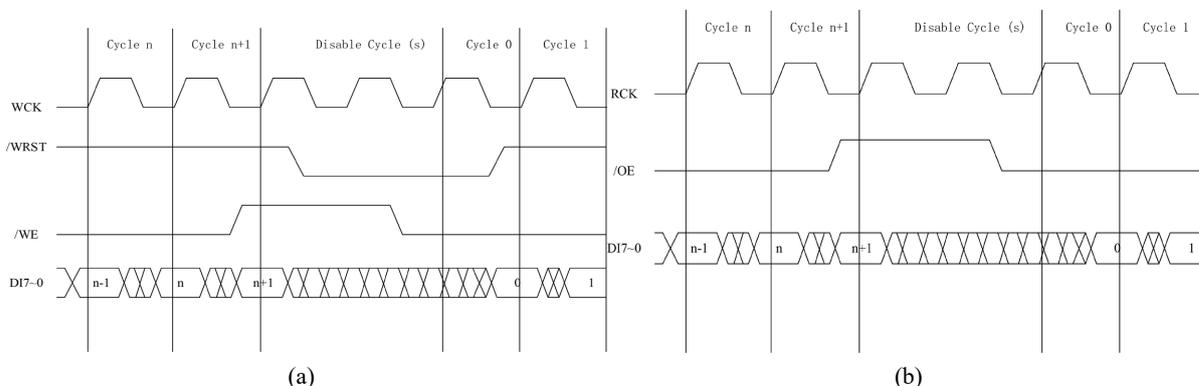


Figure 3. (a) Write timing sequence; (b) Read timing sequence

图 3. (a) 写时序; (b) 读时序

类似地, 在控制读出数据时, 一般会先控制读指针作一个复位操作: 把 RRST 设置为低电平, 读指针会复位到 FIFO 的 0 地址, 然后 FIFO 数据从该地址开始按自增的方式输出。

通过 SIO_C、SIO_D 引脚经 SCCB 协议完成 OV7670 寄存器初始化后, 传感器以 QVGA 时序输出图像数据。当 STM32 检测到 VSYNC 帧有效信号(低电平跳变), 将 FIFO_WR 置高并通过 WRST 复位 FIFO 写指针至 0 地址; 传输每行有效数据时, HREF 持续高电平, 与 FIFO_WR 共同使与非门输出低电平至 FIFO_WE, 允许通过 PCLK 和 D [0:7]将数据存入 FIFO。一帧数据输出完毕 VSYNC 再次触发时, 控制 FIFO_WR 置低禁止写入, 用 RRST 复位读指针, 将 FIFO_RE 和 FIFO_OE 置低, 通过 PCLK 和 DO [0:7]读取整帧数据, 期间 OV7670 新数据因禁止写入被丢弃。读取完成后将 RE 和 OE 置高停止读取, 用 WRST 复位写指针, 待新 VSYNC 信号到来后重新置高 FIFO_WR, 使新一帧数据写入 FIFO, 如此循环(图 4)。

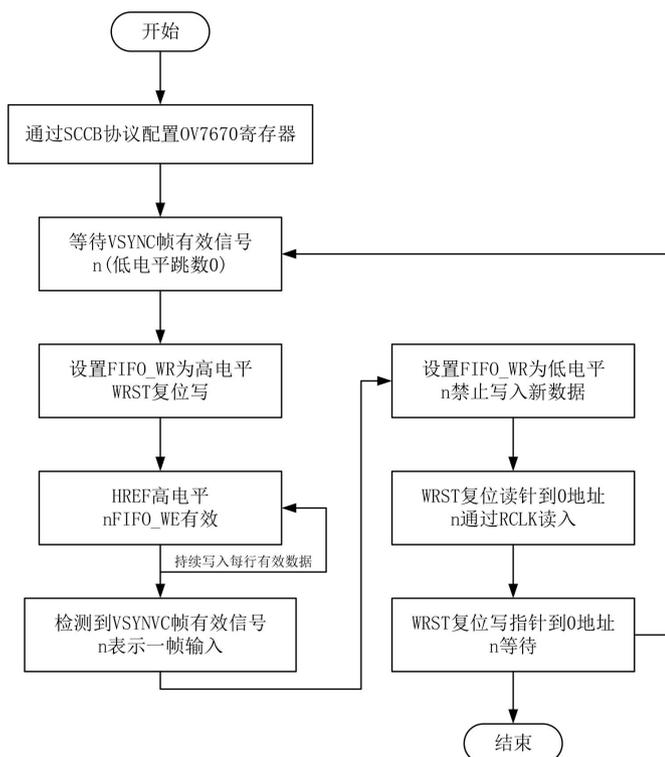


Figure 4. Image data caching process
图 4. 图像数据缓存流程

3.3. 摄像头模块

经过与其他摄像头对比, OV7670 具有很大的优势。OV7670 是 OmniVision 公司设计的一种 1/6 寸大小的 VGA CMOS 图像采集传感器。它不仅具备小巧、低功耗等优势, 还拥有影像处理器以及 VGA 摄像头所具备的全部功能。该公司把独特的传感器技术推广到了 OV7670 上, 能够弥补甚至可以完全修复如托尾、浮散等光学以及电子缺陷。本文的主控芯片 STM32 经过 SCCB 总线对其进行控制, 能够很好地采用多种模式输出多种分辨率的 8bit 影像信息, 如子采样、取窗口、整帧等方式。它输出 VGA 图像时, 其最高可以达到 30 帧/秒的速度[5]。

OV7670 传感器输出图像时, 一帧帧地输出, 在帧内的数据一般从左到右, 从上到下, 像素依次输出(也可通过寄存器修改方向), 如图 5 所示为像素输出方向图。

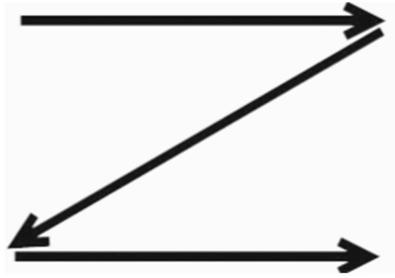


Figure 5. Pixel output direction diagram
图 5. 像素输出方向图

使用 D0-D7 数据线，图像格式设置为 RGB565，进行数据输出时，D0-D7 数据线在 PCLK 在上升沿阶段维持稳定，并且会在 1 个像素同步时钟 PCLK 的驱动下发送 1 字节的数据信号，所以 2 个 PCLK 时钟可发送 1 个 RGB565 格式的像素数据[3]。当 HREF 为高电平时，像素数据依次传输，每传输完一行数据时，行同步信号 HREF 会输出一个电平跳变信号间隔当前行和下一行的数据；一帧的图像由 N 行数据组成，当 VSYNC 为低电平时，各行的像素数据依次传输，每传输完一帧图像时，VSYNC 会输出一个电平跳变信号[6]。图 6(a)为 OV7670 行输出时序，图 6(b)为 OV7670 帧时序。

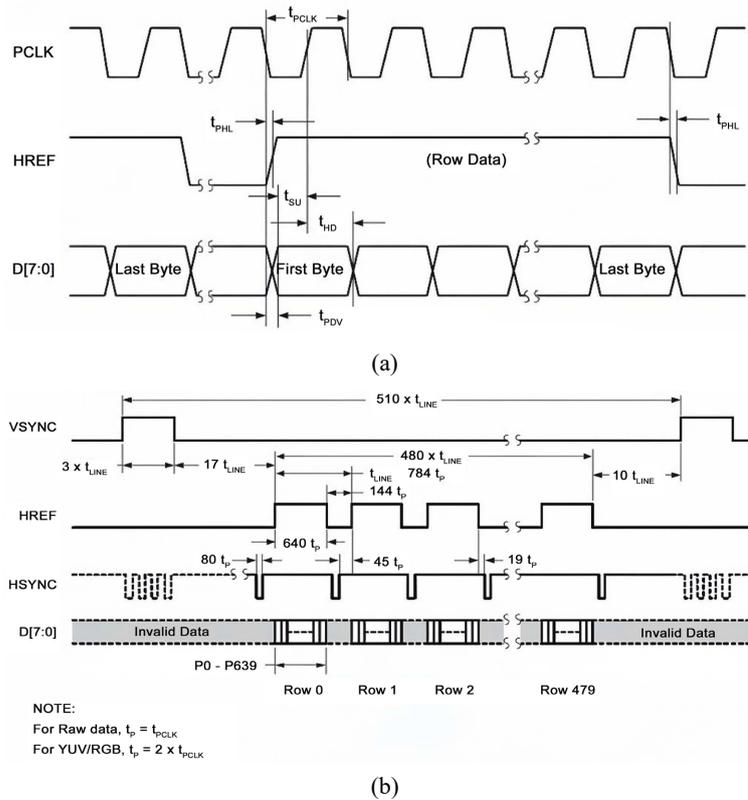


Figure 6. (a) OV7670 row output timing sequence; (b) OV7670 frame timing sequence
图 6. (a) OV7670 行输出时序; (b) OV7670 帧时序

SCCB 的起始信号、停止信号及数据有效性与 I2C 一致。

起始信号：在 SCL (图中为 SIO_C) 为高电平时，SDA (图中为 SIO_D) 出现一个下降沿，则 SCCB 开

始传输[7]。

停止信号：在 SCL 为高电平时，SDA 出现一个上升沿，则 SCCB 停止传输[7]。

数据有效性：除了开始和停止状态，在数据传输过程中，当 SCL 为高电平时，必须保证 SDA 上的数据稳定，也就是说，SDA 上的电平变换只能发生在 SCL 为低电平的时候，SDA 的信号在 SCL 为高电平时被采集(图 7(a)~(b))。

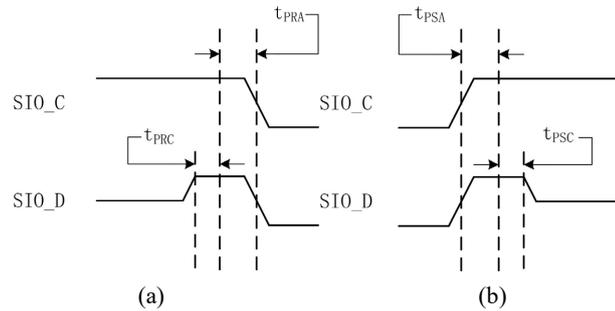


Figure 7. (a) Start signal; (b) Stop signal
图 7. (a) 起始信号; (b) 停止信号

3.4. 显示模块

要想将采集到的车牌图像信息以及识别结果得以显示，系统就必须有显示部分。本系统的显示部分采用 2.8 寸 TFT 模组，支持 8/16 位数据长度，而且还支持 240×320 像素的 RGB565 格式。此模组出厂默认设置数据长度为 8 位，将模块背面的 R11 短接或焊接一个 0 欧姆电阻后就可以使用 16 位数据长度。

在驱动程序部分里只需要在相应的 LCD_Driver 中更改相应的宏定义便可。彩色图像相比于黑白图像的特点就是数据量特别大，倘若选择数据长度为 8 位的接口的这种方式，传输速度就会比数据长度为 16 位的并行接口方式慢很多，所以不采取这种方式[5] (图 8)。

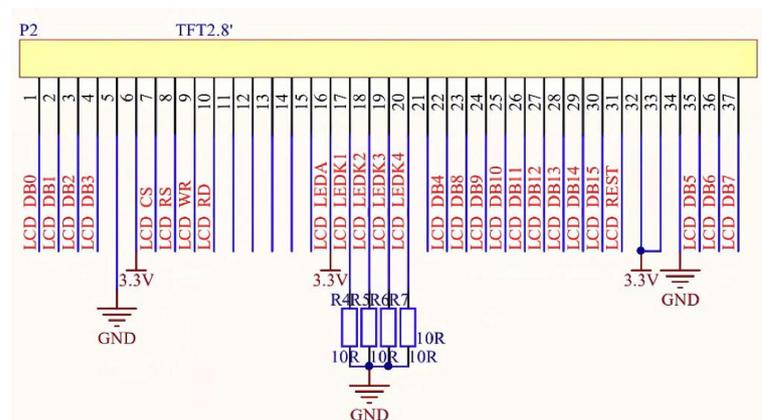


Figure 8. TFT module
图 8. TFT 模组

4. 系统软件设计与实现

核心功能介绍：通过 HSV 色彩空间转换与蓝色像素阈值设定实现车牌粗定位，经灰度化、Canny 边缘检测及霍夫变换完成倾斜矫正；对精准定位图像进行灰度化、二值化、均值滤波及形态学处理，再通

过像素遍历分割字符，归一化后与模板逐像素匹配识别，最终在 TFT 屏显示并通过串口向上位机传输结果。

流程解析：系统按照“采集 - 处理 - 识别 - 输出”的闭环流程。OV7670 摄像头采集图像经 FIFO 缓存后由 STM32 读取，先粗定位车牌区域并矫正倾斜，再精准截取车牌进行预处理，完成字符分割与匹配后输出识别结果，形成从图像采集到结果展示的完整处理链路(图 9)。

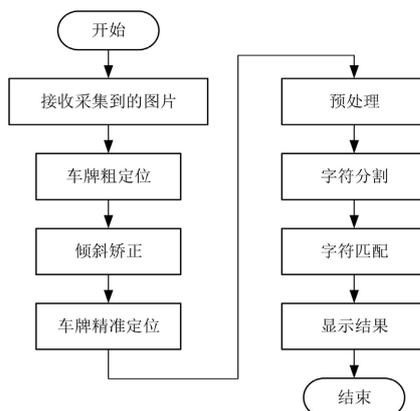


Figure 9. Schematic of program flow
图 9. 主程序流程

4.1. 车牌粗定位

目前，常见的车牌定位方式有：基于颜色特征的定位[8]；基于边缘检测的定位[9]；基于形状特征的定位[10]；基于深度学习的定位等方式[11]。

基于颜色特征的定位方法主要利用车牌的颜色信息实现定位，常见流程为识别 RGB 图像中的蓝色像素区域，进而确定车牌位置，但此方式易受到光照的影响，同时在车的底色与车牌接近或周围环境复杂的情况下，定位的效果较差；基于边缘检测的定位方式主要利用边缘算子提取图像边缘，再通过形态学操作(膨胀、腐蚀)去除噪声，结合车牌边缘的“矩形框 + 内部密集竖线”特征筛选车牌位置，但复杂背景(如建筑物，树木植被)的边缘易对识别造成干扰；基于形状特征的定位方式先通过轮廓检测提取图像中的闭合区域，再计算区域的形状参数(面积、长宽比等)，由此筛选出车牌位置，此方法极度依赖轮廓完整性，若车牌倾斜，形状特征易失效；基于深度学习的定位方式，常使用大量标注的车牌图像训练模型，自动学习车牌的颜色、形状、纹理等综合特征，从而推理车牌所在的位置，但此方法需要大规模标注数据，计算量大，依赖 GPU 硬件加速。

基于以上，本系统采用基于颜色特征的车牌定位方式，但不同于常规做法，系统将图片由 RGB 格式转换为 HSV 格式进行像素识别操作。

HSV (Hue-Saturation-Value)颜色空间是均匀的颜色空间，反映了人的视觉对颜色的感觉。色调是与混合光谱中主要光波长相联系的，彩色的色调反映了该彩色最接近什么样的光谱波长。色调用角度来表示，不失一般性，假定 0° 的彩色为红色， 120° 的为绿色， 240° 的为蓝色，色调从 0° 变到 240° 覆盖了所有可见光谱的彩色，在 240° 到 300° 之间是人眼可见的非光谱色(紫色)。饱和度与一定色调的亮度有关，纯光谱色是完全饱和的，随着白光的加入饱和度逐渐减少[12] (图 10)。

由于 HSV 颜色模式包含了饱和度与亮度信息，大大降低了周围环境与光照对车牌定位的影响，由此提高了车牌定位的准确度。

对于图片上的任意一点，其 RGB 的颜色空间为 (R, G, B) ，HSV 的颜色空间为 (H, S, V) ，在 RGB 转

HSV 的过程中，首先需要将 R 、 G 、 B 值转换到 0~1 之间：

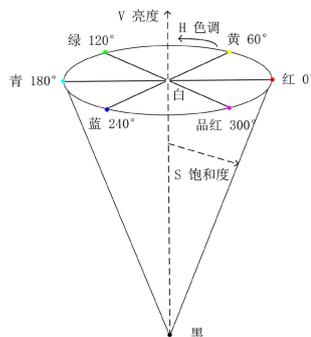


Figure 10. HSV color space
图 10. HSV 颜色空间

$$\begin{aligned} R &= R/255 \\ G &= G/255 \\ B &= B/255 \end{aligned}$$

然后计算 H (色调)、 S (饱和度)、 V (亮度) 值：

$$\begin{aligned} V &= \max(R, G, B) \\ S &= \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & \text{if } V \neq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \\ H &= \begin{cases} 60 * (G - B) / (V - \min(R, G, B)), & \text{if } V = R \\ 120 + 60 * (B - R) / (V - \min(R, G, B)), & \text{if } V = G \\ 240 + 60 * (R - G) / (V - \min(R, G, B)), & \text{if } V = B \end{cases} \end{aligned}$$

如果 H 的值小于 0，则将该值加上 360 得到 H 值。

在进行车牌粗定位时(图 11(a))，首先将图片从 RGB 格式转换为 HSV 格式，接着通过设定 H (色调) 处于 0.53~0.67、 S (饱和度) 最小值为 0.3 (防止白色被误判)、 V (亮度) 最小值为 0.3 (避免亮度干扰) 的阈值，对每个像素点进行判断并标注车牌的蓝色像素。该步骤能够实现包括蓝色车辆在内的多数车辆的车牌定位，大幅降低了光照对车牌识别的影响。RGB 像素检测与 HSV 像素检测的对比如图 11(b)~(c) 所示。

随后，从上至下、从下至上、从左至右、从右至左依次对图片的像素行进行扫描，当某行蓝色像素数量超过 5 个时，将其分别确定为车牌的上、下、左、右边界，最后将各边界向外拓展图像三分之一的距离，以此避免车牌部分区域的遗漏。定位车牌大致区域，方便后续倾斜矫正(区域过大容易受环境的影响而导致矫正失败)(图 12)。



(a)



Figure 11. (a) Original image; (b) HSV pixel detection; (c) RGB pixel detection
图 11. (a) 原始图像; (b) HSV 像素检测; (c) RGB 像素检测

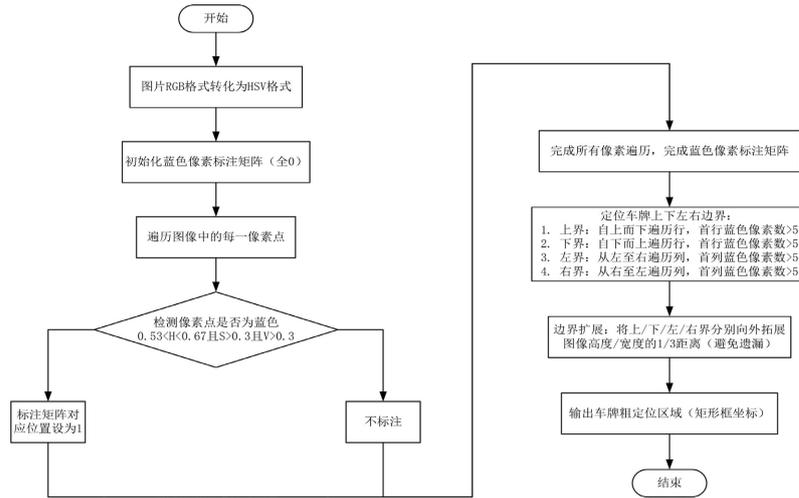


Figure 12. License plate coarse localization process
图 12. 车牌粗定位流程

4.2. 车牌倾斜矫正

车牌倾斜矫正主要使用 Canny 边缘检测算法和霍夫变换检测算法对车牌角度进行检测，而后进行矫正。

算法介绍：

1) Canny 边缘检测

a) 使用二维高斯函数 $G(x,y)$ 对图像 $I(x,y)$ 进行卷积， $G(x,y)$ 的表达式为：

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

其中 σ 是高斯核的标准差，控制平滑程度。卷积后的图像为 $S(x,y) = G(x,y) * I(x,y)$ 。

作用是抑制噪声的同时保留主要边缘信息；

b) 使用 Sobel 算子计算图像在 x 和 y 方向的梯度分量：

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * S(x,y), \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * S(x,y)$$

梯度幅值 G 和方向 θ 分别为：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad \theta = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right)$$

作用：梯度幅值表示边缘强度，梯度方向指示边缘的垂直方向。

c) 进行非极大值抑制，对每个像素 (x, y) ，检查其梯度方向 θ 上的相邻像素：

若 $G(x, y)$ 的值大于其梯度方向上的两个相邻像素，则保留该点为边缘点；否则，抑制为 0；

作用是消除虚假边缘响应，仅保留局部梯度最大的点；

d) 设置两个阈值 T_L (低阈值) 和 T_H (高阈值)，将像素分类为强边缘 ($G(x, y) \geq T_H$)，弱边缘 ($T_L \leq G(x, y) \leq T_H$)，抑制 ($G(x, y) \leq T_L$)。

若弱边缘像素与强边缘像素相连(8 邻域内)，则将其标记为真实边缘；否则，抑制该弱边缘像素。表达式为：

$$E(x, y) \begin{cases} 1, & \text{若 } G(x, y) \geq T_H \text{ 或 } (G(x, y) \geq T_L \text{ 且邻域(8 像素)存在强边缘)} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

2) 霍夫变换

将图像空间中的点映射到参数空间($\rho-\theta$ 空间)中的曲线。每个点 (x_i, y_i) 对应参数空间中的一条正弦曲线：

$$\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$$

多条曲线的交点对应图像空间中的多个点共线。交点的坐标 (ρ, θ) 即为直线的参数。

程序流程：

在进行车牌倾斜矫正时，先将图片灰度化以便后续处理，再利用 Canny 边缘检测算法识别图像边缘信息，然后通过霍夫变换检测直线并找出最长直线，由于在之前的步骤中已经进行了车牌粗定位，消除了大部分环境的干扰，所以最长的直线一般是车牌的上下边缘线，计算最长直线(也就是车牌的上边缘或者下边缘)的角度，最后根据计算所得角度对图片进行旋转，从而完成车牌的倾斜矫正操作(图 13(a)-(d))。

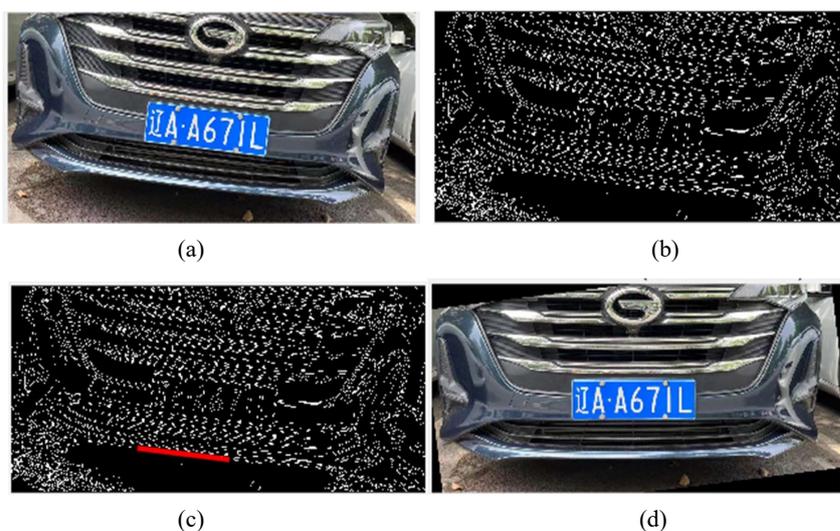


Figure 13. (a) License plate coarse localization; (b) Edge detection result; (c) Angle offset of 6.93° ; (d) License plate correction

图 13. (a) 车牌粗定位; (b) 边缘检测结果; (c) 角度偏移 6.93° ; (d) 车牌矫正

4.3. 车牌精准定位

在完成车牌粗定位及倾斜矫正后，对该 RGB 图片进行 HSV 色彩空间转换，再重复粗定位中基于 HSV 蓝

色像素阈值($H:0.53/0.67, S \geq 0.3, V \geq 0.3$)的像素标注步骤, 以及行列扫描确定上下左右边界的操作, 但不再向外拓展边界, 直接通过精准计算蓝色像素分布的行列阈值, 截取得到车牌的精确区域, 以此完成车牌的精准定位(图 14(a)~(b))。



Figure 14. (a) Original image for license plate detection; (b) Precisely located license plate

图 14. (a) 车牌检测原图; (b) 精准定位车牌

4.4. 字符预处理

在完成车牌精准定位后, 对其图像进行预处理: 首先将图像灰度化, 减少色彩信息干扰; 接着对灰度图进行二值化处理, 通过设定阈值将图像转化为黑白两色, 突出车牌字符与背景的对比; 随后对二值化图像进行均值滤波, 消除噪点和平滑边缘; 最后根据二值图像中白像素(即字符部分)总面积与整个图像面积的比例关系判定是否进行形态学操作, 若比例大于 0.365 则采用腐蚀操作收缩对象边界, 若小于 0.235 则采用膨胀操作扩展对象边界, 以此优化图像质量, 为后续字符分割与识别奠定基础(图 15(a)~(d))。



Figure 15. (a) Precisely located license plate; (b) Grayscale conversion; (c) Binarization; (d) Morphological operation

图 15. (a) 精准定位车牌; (b) 灰度化; (c) 二值化; (d) 形态学操作

4.5. 字符分割

字符分割部分, 首先要通过行列像素遍历确定边界: 从上至下扫描行像素, 首次出现白色像素的位置记为上边界, 从下至上扫描则以首次出现白色像素的位置作为下边界; 左右边界的确定采用从右至左扫描列像素的方式, 当检测到白色像素时记为左边界, 随后继续向左扫描, 直至遇到全黑像素时定为右边界。若左右边界间距小于 10 个像素, 则判定为干扰或无效边界并重新扫描, 直至找到间距大于 10 个像素的有效字符区域。针对汉字区域, 在确定首个字符区块后, 继续向右遍历寻找下一个字符区块的左边界, 若两区块间距小于 5 个像素, 则判定为同一汉字区域, 通过持续向右扫描更新右边界, 以确保汉

字区域的完整性。完成单个字符区域分割后，将该区域从原图中剔除，以便后续字符的逐次提取(图 16(a)~(b))。



Figure 16. (a) Preprocessed license plate; (b) Character segmentation effect
图 16. (a) 预处理后的车牌; (b) 字符分割效果

4.6. 字符匹配

在字符匹配阶段，首先将分割出的字符区域归一化为 40×20 像素的标准尺寸，以消除原始字符大小差异的影响。随后采用像素级逐点对比策略，将预存的字符模板库(含汉字、字母、数字等)与归一化后的字符图像进行逐个像素的重合度计算，通过统计像素重合数量确定匹配度最高的字符，最终选取重合数量最多的字符作为识别结果，实现车牌字符的精准匹配(图 17(a)~(b))。

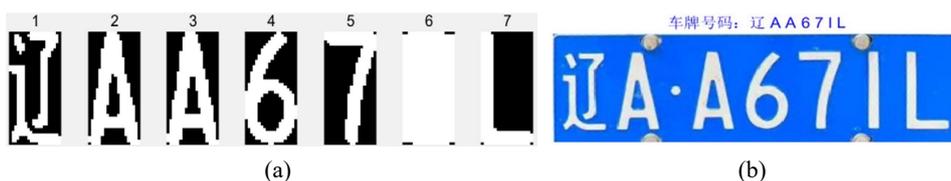


Figure 17. (a) Normalization processing; (b) Result obtained by character matching
图 17. (a) 归一化处理; (b) 字符匹配得到结果

5. 系统测试

本系统的硬件部分采用了 STM32F103RBT6，它的内核最高工作频率为 72 MHz，在存储器的 0 等待周期访问时可达 1.25DMips/MHz。摄像头为 30 万像素。系统开机后，摄像头对准测试车牌，采集的图像实时显示于显示屏；调整角度使车牌信息完全处于蓝色边框区域内，系统自动启动识别流程，依次完成图像二值化、字符切割与识别。识别结果一栏会显示识别出的车牌号码。同时向上位机发送车牌信息。测试过程和结果，如图 18(a)~(b)所示。



Figure 18 (a) Test result; (b) Serial port receiving result
图 18 (a) 测试结果; (b) 串口接收结果

6. 总结

本研究基于 STM32 微控制器设计了一套嵌入式车牌识别系统，硬件上以 STM32F103RBT6 为核心，搭配 OV7670 摄像头模块与 2.8 寸 TFT 显示屏，通过 SCCB 协议配置摄像头寄存器，利用 AL422B FIFO 芯片解决数据缓存问题。该设计在保证处理能力的同时降低了硬件成本。

软件层面构建轻量化算法流程，实测表明，系统在光照变化、轻微倾斜等场景下表现出良好的定位与识别性能，功耗显著优于传统方案，为停车场管理、交通监控等嵌入式场景提供了高性价比解决方案，验证了 STM32 平台在智能交通终端设备中的应用可行性。

本研究仍存在以下局限性：其一，当前系统的识别算法仅针对传统蓝底白字车牌设计，尚未覆盖新能源汽车的绿底黑字或黑底绿字车牌，在新能源车辆普及率持续提升的背景下，其适用场景受到一定限制；其二，字符识别环节依赖传统模板匹配算法，对字符污损、变形的鲁棒性欠佳，且难以应对特殊字符(如新能源车牌中的“D”“F”标识)的识别需求；其三，系统未引入环境自适应调节机制，在强光直射、夜间弱光、多车辆重叠或车牌被遮挡等复杂场景中，定位与识别准确率易出现明显下降。

针对上述局限性，未来可从以下方向进行优化：一是扩展车牌颜色识别范围与字符模板库，通过采集足量新能源车牌样本，优化 HSV 颜色空间阈值参数与字符模板，实现对绿底、黑底等新能源车牌的精准识别；二是探索在 STM32 平台上移植微型神经网络(如 MobileNet-Tiny)的可行性，利用轻量化网络模型自动提取字符深层特征，替代传统模板匹配算法，提升对污损、变形字符的识别鲁棒性；三是增加环境感知模块，集成光照传感器实时监测环境光强，动态调节摄像头曝光参数与图像预处理阈值，同时引入遮挡检测与修复算法，对部分遮挡的车牌区域进行补充与修复，进一步拓宽系统的环境适应范围。

基金项目

嘉兴南湖学院 2024 年国家级大学生创新创业训练计划项目(202413291010)，嘉兴市应用性基础研究项目(2023AY11026)，浙江省文化广电和旅游厅科研与创作项目(2024KYY029)，浙江省高等教育学会 2025 年度高等教育研究课题(KT2025186)，嘉兴南湖学院 2024 年教育教学改革研究项目(重点)(22042024107)。

参考文献

- [1] 王晓光, 王群. 用于车牌字符识别的 SVM 算法[J]. 现代电子技术, 2004(8): 8-10.
- [2] 魏武, 黄心汉, 张起森, 等. 基于模板匹配和神经网络的车牌字符识别方法[J]. 模式识别与人工智能, 2001, 14(1): 123-127.
- [3] 谭本军. 基于云服务的仓库防盗系统的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2019.
- [4] 张义显. 基于 STM32 的新型家庭报警器的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
- [5] 张少鹏. 基于 STM32 的车牌识别手持移动终端的设计[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
- [6] 朱志巍, 陈华东, 张洁. 基于 STM32 的输油管巡检平台设计[J]. 机器人技术与应用, 2018(5): 34-36.
- [7] 王四伟. 基于 SOPC 的指纹采集与处理系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [8] 杨鼎鼎, 陈世强, 刘静漪. 基于车牌背景和字符颜色特征的车牌定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(12): 216-221.
- [9] 程聃, 陆华才, 高文根. 基于改进 Canny 算子边缘检测和数学形态学的车牌定位算法[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2019, 19(12): 68-72.
- [10] 杨俊, 戚飞虎. 一种基于形状和纹理特征的车牌定位方法[J]. 计算机工程, 2006(2): 170-171, 202.
- [11] 林彬. 基于深度学习的车牌定位与识别研究[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门理工学院, 2023.
- [12] 张国权, 李战明, 李向伟, 等. HSV 空间中彩色图像分割研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(26): 179-181.