

基于FPGA的车牌识别系统研究与实现

胡玉琛 刘一清

(华东师范大学 信息科学技术学院 上海 200241)

摘要: 本文对目前车牌识别技术进行分析和研究,并提出了一种基于FPGA的车牌识别方案。文中详细介绍了系统设计思路、用FPGA设计电路的具体方法以及实际测试结果。将本系统与以往基于PC或DSP的车牌识别系统相比,该系统具有体积小、运算速度快、识别准确度高等特点。系统经过100多组不同环境下车牌图像的测试,其结果显示本系统识别准确度在98%以上。

关键词: 车牌识别;现场可编程门阵列(FPGA);并行处理;车牌定位

中图分类号: TN811 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

Research and implementation of license plate recognition system based on FPGA

Hu Yuchen Liu Yiqing

(School of Information Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The paper analyzes the existing technique of VLPR, and then proposes a kind of license plate recognition system based on FPGA. The paper introduce the idea of designing system and the method of designing circuit by using FPGA in detail. And it also shows the actual test results. Compared with the previous system based on PC and DSP, the FPGA system is characterized in smaller size, faster computing speed and higher accuracy of recognition. After the test of more than 100 license plate images captured under different environments, the results show that the recognition accuracy is above 98%.

Keywords: license plate recognition; FPGA; parallel processing; license plate location

1 引言

车牌识别技术是计算机视觉和模式识别领域重要的研究课题之一,该技术在智能交通、停车场管理系统上有着广阔的应用前景。传统的车牌识别系统是基于计算机软件对图像进行处理和识别;现在流行的车牌识别系统大多以DSP做图像处理核心^[3],但需要配合其他硬件平台共同使用;另外一种方案是以FPGA作为整个系统的处理和控制中心^[4]。FPGA芯片配置灵活,且片内有大量逻辑资源、乘法器和存储单元,适合并行处理大量数据。针对以上分析,本文提出了一种以FPGA为核心的车牌识别系统。该系统拥有高速的图像处理速度、丰富的外围设备接口,且体积小、成本低。本文将从系统建立、算法实现以及实验结果等方面介绍该系统的设计和实现。

2 系统整体方案

系统工作流程图如图1所示,主要模块有:图像采集、

图像预处理、图像存储、车牌区域定位、车牌区域剪裁、车牌字符分割和字符识别等。系统具体的操作包括:CMOS摄像头实时采集车牌图像;图像经过灰度化处理和高斯滤波后,被缓存在DDR2存储器中;灰度图像数据输入边缘检测模块,提取图像的边缘信息并转化为二值化图像;对二值化图像进行数学形态学处理,使图像中车牌区域得到强化并滤除细小的噪声;使用水平和垂直投影定位出车牌区域,将边界值映射到DDR2存储器中,并读取相应位置的灰度图像;对剪裁后的车牌区域图像进行再处理,分割成多个单字符的二值化图像;对单字符图像进行归一化和字符匹配,最终将识别结果显示在LCD上。

本系统运用FPGA流水线设计思想,将任务分解成多个子任务并行处理,充分体现其速度上的优势。通过DDR2的运用,并配合FPGA片内的Block Ram,对被处理图像高速存储,提高系统的工作效率,节省片内资源的消耗。

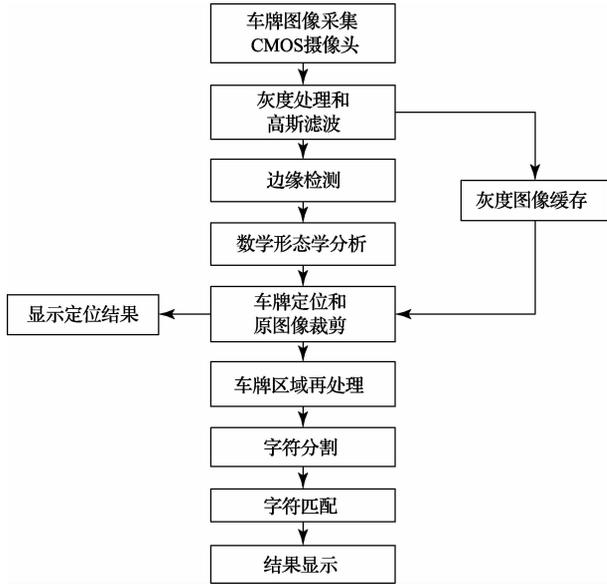


图1 系统工作流程图

StratixII 系列 FPGA,型号为 EP2S180F1508C3。此外,硬件平台上有两路 DVI 视频输入和输出通道,还有 4 片 DDR2 存储芯片对图像数据进行缓存,以及一些常用的外围设备接口,如 USB、UART 等。

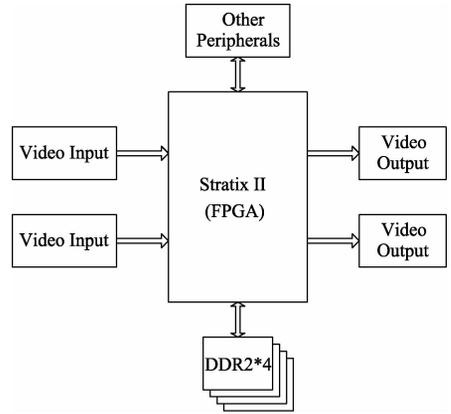


图2 主要系统框图

3 系统硬件平台介绍

本系统在自主设计的硬件平台上实现全部功能,该平台主要包括:CMOS 摄像头、FPGA 图像处理板、LCD 显示器等。

FPGA 图像处理板的硬件电路为自主设计和开发,其主要系统框图如图 2 所示。硬件核心为 ALTERA 公司的

4 车牌识别算法设计

在采集到车牌图像后,图像数据经过图像预处理、车牌区域定位、车牌字符分割和字符匹配等处理,最终得到识别结果。处理步骤如图 3 所示。在算法设计过程中,通过 Quartus II、Modelsim 以及 Matlab 联合仿真和调试,最终在硬件平台上实现。

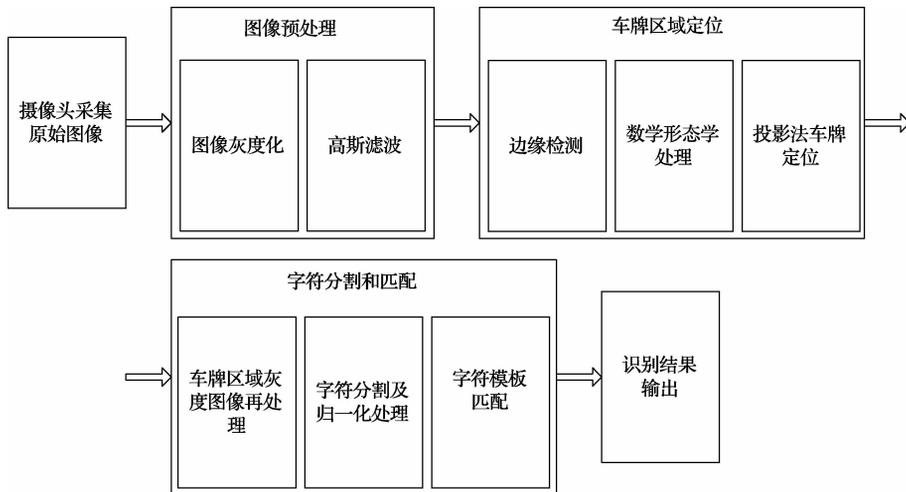


图3 处理步骤图

4.1 图像预处理

1)图像灰度化,将 CMOS 摄像头采集的彩色图像根据

行、场同步信号和数据使能信号,转换成 8 位的灰阶图像,处理前、后的效果如图 4 所示。



图 4 灰度化前后效果图

2) 高斯滤波, 本系统采用 3×3 窗口对灰度图像进行高斯滤波。高斯滤波的 FPGA 实现将数据顺序流过两个 FIFO, 其中 FIFO 起缓存作用。数据的缓存图如图 5 所示。

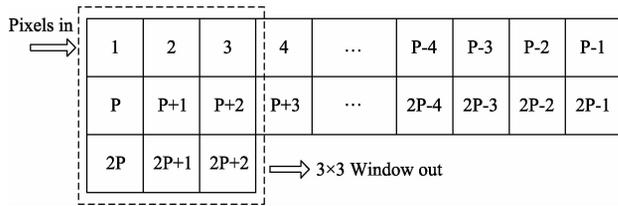


图 5 高斯滤波数据缓存图

4.2 车牌区域定位

我国的汽车牌照颜色种类较多, 有蓝底白字、黄底黑字和黑底白字等, 所以用 RGB 色彩学的方式定位出车牌

的难度较大, 且这种根据色彩判断位置的方法对车牌周围环境的适应性不强。由于车牌上字符和背景之间存在较强的灰度差别, 灰度图像中已包含足够的边缘信息^[6]。所以根据图像中灰度的跳变判断车牌的区域是一种合适的定位方式。本文即通过灰度信息对车牌位置进行定位。车牌定位包括图像边缘检测、数学形态学处理以及投影法定位等操作。

1) 边缘检测算法实现

灰度图像中, 像素间灰度值的变化情况可以用灰度的梯度来检测。本文对灰度图像用 Sobel 算子进行边缘检测。Sobel 算子是图像边缘检测的一种常用算法, 该算法考察以被检测像素为中心, 周围 3×3 个像素区域内像素灰度的变化情况。通过对横向、纵向、左对角和右对角梯度的计算, 判断像素点是否为跳变边缘, 如下式:

$$G(i, j) = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_{dl}^2 + S_{dr}^2} \quad (1)$$

为了在处理时减少运算量, 将上述式(1)简化为:

$$G(i, j) = |S_x| + |S_y| + |S_{dl}| + |S_{dr}| \quad (2)$$

在水平、垂直、左对角和右对角方向上的卷积模板分别为: H_x 、 H_y 、 H_{dl} 、 H_{dr} 。

$$H_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad H_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_{dl} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix} \quad H_{dr} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

在 FPGA 上实现 Sobel 算子时, 方式上与预处理中高斯滤波处理相似, 运用两个 FIFO 做数据缓存。选择以被处理像素点和其周围的 8 个像素点组成的 3 行 3 列为处理窗口, 首先分别计算出 4 个方向的梯度, 再根据式(2)计算出总梯度值, 将结果与设定的阈值 T 比较, 若大于阈值则判断该像素点为边缘, 反之则为普通像素点。通过以上判断提取出图像中的边缘信息。在 FPGA 算法设计中采用三级流水线式操作, 运算电路如图 6 所示。

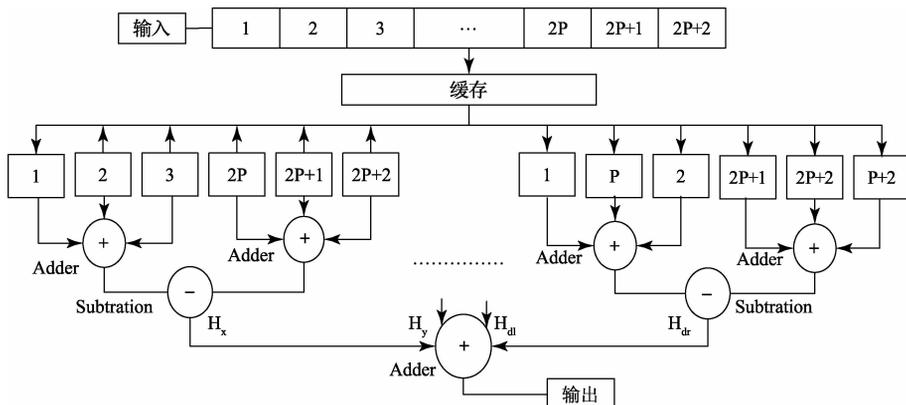


图 6 边缘检测算法 FPGA 电路图

灰度图像经过 Sobel 算子处理以及阈值判断后, 得到如图所示的二值化图像。从图中可以看出, 车体及

车牌的边缘信息得到突出和提取。但车体和周边环境的轮廓对车牌的干扰较大,不利于车牌的准确定位。所以需要进行进一步的图像处理,滤除车牌以外的边界信息。

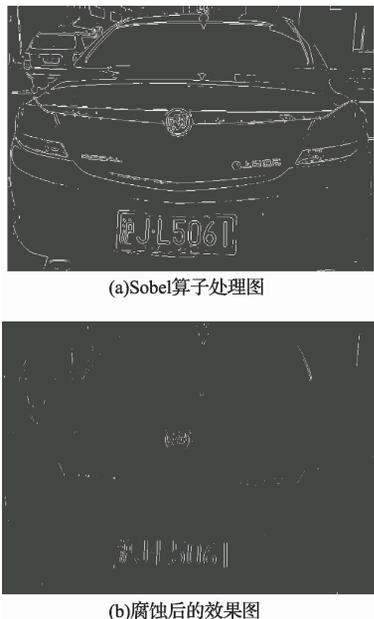


图7 Sobel算子处理图与腐蚀后效果图

2) 数学形态学处理与FPGA实现

数学形态学基本的思想是用一个模板与被处理图像各部分进行对比,通过判断是否相同决定该像素点是否为被包含元素。本文对图像进行闭运算和开运算相结合,通过闭运算可以在保持图像总体形状不变的同时填补图片中的缝隙,而开运算可以去除图像上多余的噪点。公式如下:

$$A - B = \{x: B + x \in A\} \tag{3}$$

$$A + B = Y\{A + b; b \in B\} \tag{4}$$

$$A \circ B = (A - B) + B \tag{5}$$

$$A \bullet B = (A + B) - B \tag{6}$$

首先对经过 Sobel 算子处理后的图像进行腐蚀运算。腐蚀模板为 $Se = [1; 1; 1]$ 。即用一个 3 行 1 列的矩阵与图像窗口做比较,这样可以滤除图像中横向的边缘像素,保留车牌中纵向的边缘信息,处理后的结果如图 7 中(2)图所示。

其次,对以上结果进行闭运算和开运算。本文选择的闭运算模板结构是 3×25 的横向窗口,开运算的模板结构为 3×3 的窗口。将窗口自上而下,从左到右移动,对二值图像每个像素进行检测和处理。经过闭运算后的图像如图 8(1)所示,可以看出图像中车牌区域基本已经连通。再经过开运算后,结果如图 8(2)所示,车牌周边信息已经滤除,得到了车牌所在区域。



图8 数学形态学处理后的效果图

在FPGA上实现二值化图像的腐蚀和膨胀运算,与之前的 Sobel 算子边缘检测实现的方式相似。利用两个 FIFO 进行数据的缓存,通过流水线的方式对窗口进行处理。通过对窗口中的像素点的值与模板之间的比较,重新确定被处理像素的值,在比较的过程中进行与、或运算,处理完后输出像素值,将二值化图像存储在 FPGA 的 Block Ram 中。FPGA 实现算法的流程图如图 9 所示。

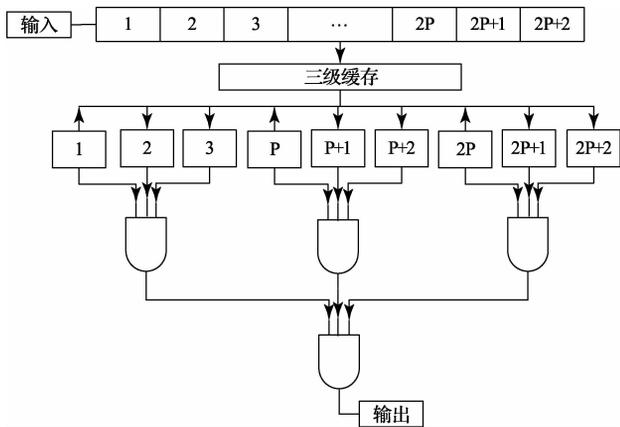


图9 FPGA实现腐蚀、膨胀的电路图

3) 投影法定位

首先进行上下边界的扫描,原始车牌图像大小为 640×480 ,对图像水平方向进行投影,通过统计每行像素值为 1 的点的个数,然后与阈值进行比较,若大于阈值则记录行地址;再统计大于阈值的个数,若有连续 30 行都大于阈值,则标记为车牌区域,并记录上下车牌区域边界。再利用水平定位的结果读取出车牌所在的水平区域,

用类似的方式统计垂直方向上的像素点,得到车牌左右边界,如图 10 所示。最后将左右和上下边界输入到地址映射模块,得到存储器中灰度图像的地址值。重新编排行、列像素并将重组后灰度图像存储在 Ram 中,如图 11 所示。



图 10 投影法车牌定位区域



图 11 缓存中读取的车牌区域灰度图

4.3 字符分割和匹配

1) 字符切割和再处理

字符分割是根据车牌上的字符信息把车牌图像分割成若干个单字符的区域。FPGA 实现的方式与上文描述相似,这里不做赘述。切割后单字符的结果如图 12 所示,并将字符数据分别存入 7 个 Ram 中。



图 12 字符切割和在处理后的单字符二值化图像

2) 车牌字符匹配

字符识别的过程中最关键的是字符模板的选取。本文中按照国家车牌的标准,选取包含所有可能字符的模板,将这些模板事先存储在存储器中。

在字符的比对中,首先从 FPGA 的 Block Ram 里依次取出被识别的单字符图片,将字符做归一化处理,再与所有字符模板进行比对,即将两个整列中每一个相同位置的像素做比较,记录下相同像素点的个数。最终相同像素点最多的模板所对应的字符为相似度最高的字符,此模板的字符为最终识别结果,这一匹配的过程在 NIOS II 软核中完成。运用相同的步骤将每一个被检测的字符图像分别进行匹配,最终输出识别结果在 LCD 上。

5 系统性能分析

将本系统与传统运用 PC 处理方式做对比。将同样的算法在 Intel 奔腾系列处理器以 2.2 G 主频下处理,并与本系统在处理速度上进行对比如表 1 所示。

处理算法	表 1 处理速度对比	
	PC	FPGA 系统
高斯滤波	3	25
边缘检测	4	25
开、闭运算	3.3	25
字符匹配	2	25
运行速度	0.8	25

6 结 论

本文提出了一种基于 FPGA 的车牌图像处理系统,描述了系统的硬件平台、设计方案、算法实现,以及具体的 FPGA 设计流程。并给出了该系统与传统 PC 上进行车牌识别方案在速度上的对比,结果证明本系统在处理速度上的优势。经过大量实验证明,本系统的识别正确率在 98% 以上,具有较好的应用前景。

参考文献

- [1] 金汉均,梅洪洋. Sobel 算子在提取视频运动目标轮廓中的应用研究[J]. 电子测量技术, 2014 (11): 29-32.
- [2] 任慧建,殷兴辉. 基于 FPGA 的高速线阵 CCD 图像采集系统[J]. 电子测量技术, 2014 (11): 33-36.
- [3] 马晶,雷勇,涂国强,等. 基于 DSP 的图像处理在车牌识别中的应用[J]. 微计算机信息, 2009 (29): 133-135.
- [4] 郑存芳,王紫婷,丁丽华. 基于 FPGA 的车辆牌照识别系统的设计[J]. 制造业自动化, 2009, 31(12): 6-8.
- [5] 胡峻铭,尚媛园,丁辉,等. 实时车牌定位模块 IPCore 的研究与设计[J]. 光学技术, 2013 (005): 438-443.
- [6] 王阿龙,王忆文,梁巍,等. 适合 FPGA 硬件实时处理的车牌定位算法[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(005): 59-62.
- [7] 张淑梅. 基于 ARM+FPGA 的高精度数据采集系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(11): 62-65.
- [8] 李刚,程志峰. 基于 FPGA 的实时电子稳像[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(12): 622-624.
- [9] 桑庆兵,齐会新,吴小俊,等. 基于 DCT 系数无参考模糊图像质量评价方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(11): 2599-2604.

作者简介

胡玉琛,1990 年出生,在读硕士研究生,主要研究方向为高速 PCB 设计、FPGA 编程和数字视频处理。

刘一清,1968 年出生,教授级高级工程师,主要研究方向为数字视频及数字化显示、高速 PCB 设计。