

文章编号: 2095-2163(2022)10-0214-05

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

# 基于 Zynq 雾霾天气下的实时车牌识别系统

杨杰, 王民慧

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 秋冬时节雾霾天气频发, 严重影响了监控系统里的车牌识别精度, 迫切需要能够进行实时处理的小型化的嵌入式车牌识别系统。图像去雾目前主要是在 PC 端进行, 实时性低。本文提出一种基于 Zynq 雾霾天气下的实时车牌识别系统。通过改进去雾算法对颜色空间 (*HSV*) 中的亮度分量进行处理, 然后通过中值滤波进行去噪, 最后将处理后的图像利用车牌识别相关算法进行处理。该系统采用 ARM+FPGA 异构的方式, PS (ARM) 端负责简单算法运算、IP 核控制与驱动等, PL (FPGA) 端负责需要大量并行运算的算法。通过实验结果对比, 该系统能够达到预期的效果, 具有实时性、可移植、可嵌入和功耗低等特点, 能够满足在雾霾天气下的车牌识别的性能要求。

**关键词:** Zynq; 图像去雾; Retinex 算法; 车牌识别

## Real-time license plate recognition system based on Zynq haze weather

YANG Jie, WANG Minhui

(College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**[Abstract]** The frequent occurrence of haze weather in autumn and winter has seriously affected the license plate recognition accuracy in the monitoring system. There is an urgent need for a miniaturized embedded license plate recognition system that can perform real-time processing. Images dehazing is currently mainly performed on the PC side, with low real-time performance. In this paper, a real-time license plate recognition system based on Zynq haze weather is proposed. The luminance component in the color space (*HSV*) is processed by an improved dehazing algorithm, and then denoised by median filtering. Therefore, the processed image is processed by the license plate recognition algorithm. The system adopts the ARM+FPGA heterogeneous method. The PS (ARM) side is responsible for simple arithmetic operations, IP core control and driving, etc., and the PL (FPGA) side is responsible for the algorithms that require a large number of parallel operations. Through the comparison of experimental results, the system can achieve the expected effect, and has the characteristics of real-time, portable, embeddable and low power consumption. It is verified that the proposed system can meet the performance requirements of license plate recognition in haze weather.

**[Key words]** Zynq; images dehazing; Retinex algorithm; license plate recognition

## 0 引言

雾霾天气的出现导致监控系统采集到的图像质量很差, 不仅图像不清晰, 而且对比度也较低, 这些都将对视频中车牌的快速、准确识别造成很大影响<sup>[1-2]</sup>。因此, 对雾霾天气造成的低质量图像进行实时、快速的去雾尤为重要, 也将为后续的车牌识别提供有益支持。

目前, 去雾方法大致有 3 种: 基于物理模型的图像复原、基于非物理模型的图像增强以及基于深度学习的去雾<sup>[3-4]</sup>。其中, 基于物理模型的方法主要是考虑雾的成像原理, 以此建立模型, 再用该模型来恢复有雾的图像。这种方法去雾效果较好, 但算法的时间与空间复杂度高, 不容易在硬件平台实现。基于非物理模型的方法是通过增强图像的亮度和对

比度来实现的, 不考虑成像原理。这类方法常用的是 Retinex 算法, 该算法主要通过增强边缘信息和抑制噪声, 处理后的图像都能得到较好的亮度和对比度效果<sup>[5]</sup>。基于深度学习的去雾主要是其学习能力强、效果好等特点得以应用。该方法几乎都是通过 GPU 平台训练的, 算法复杂、功耗大, 不利于实时性要求高的场景应用。现在的去雾算法大多数在 PC 端实现, 灵活性不高、计算速度也较慢等, 这些都在一定程度上限制了监控系统中车牌识别的应用性能。

Zynq 是全能编程的片上系统 (AP SOC), 将软硬件的优势结合起来, 使得所设计的系统更加灵活, 并且将设计成本和功耗降到最低。完全满足监控系统中对车牌识别实时性、可嵌入、小型化和低功耗等方面的性能要求。

**作者简介:** 杨杰 (1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式; 王民慧 (1962-), 女, 副教授, 主要研究方向: 嵌入式系统。

**通讯作者:** 王民慧 Email: 1257863419@qq.com

**收稿日期:** 2022-03-05

因此,本文提出基于 Zynq 雾霾天气下的实时车牌识别系统,利用 Zynq 的 ARM+FPGA 独特异构方式来提高监控系统的图像去雾性能,而后进行实时的车牌识别。降低去雾算法的空间与时间复杂度,在颜色空间(*HSV*)对亮度 *V* 用改进 Retinex 算法进行去雾处理,保持饱和度 *S* 和色调 *H* 相对不变。在车牌识别中,先将去雾后的图像进行中值滤波进一步增强图像<sup>[6]</sup>,提取出 *Cb* 分量进行二值化处理<sup>[7]</sup>,然后进行图像的腐蚀运算,再进行 Sobel 边缘检测,最后是图像的膨胀运算<sup>[8-10]</sup>。在整体系统架构研发上,PS(ARM)端主要是进行简单的运算、控制及初始化,而高斯核函数、二维及三维卷积耗时较多的运算则由 PL(FPGA)端采用并行计算的方式实现,从而提高运算速度。PS 与 PL 之间的数据交换则是由片内总线 AXI4(Advanced eXtensible Interface 4)来建立连接的<sup>[11]</sup>。

## 1 Retinex 算法

Retinex 算法将一幅图像分为入射分量和反射分量,即:

$$I(x, y) = L(x, y) \cdot R(x, y) \quad (1)$$

其中,  $I(x, y)$  为接收的原始图像;  $L(x, y)$  为图像的入射分量;  $R(x, y)$  为图像的反射分量,也就是要增强的去雾图像;  $(x, y)$  为图像的像素坐标。

对式(1)进行对数运算得到去雾图像,可由式

(2)表示为:

$$\lg[R(x, y)] = \lg[I(x, y)] - \lg[L(x, y)] \quad (2)$$

大多数情况下,传统的 Retinex 算法是用高斯核函数  $F(x, y)$  对原始图像  $I(x, y)$  进行卷积运算来逼近入射分量  $L(x, y)$ , 即:

$$L(x, y) = F(x, y) * I(x, y) \quad (3)$$

$$F(x, y) = Ke^{-(x^2+y^2)/\sigma^2} \quad (4)$$

其中,“\*”为卷积运算;  $F(x, y)$  为高斯核函数;  $K$  系数由归一化函数决定;  $\sigma$  为尺度参数。这样,Retinex 算法为:

$$\lg[R(x, y)] = \lg\{I(x, y)/[F(x, y) * I(x, y)]\} \quad (5)$$

## 2 优化 Retinex 算法

传统的 Retinex 算法是针对图像的 *R*、*G*、*B* 三个通道进行处理的,这种方式容易导致图像的颜色失真,且算法的复杂度过高,在硬件平台上实现的难度较大,对实时性也不容易满足。因此,本系统采用基于颜色空间(*HSV*)的 Retinex 算法,将有雾的车辆违章图像由 *RGB* 格式转为 *HSV* 格式,进而得到色调 *H*、饱和度 *S* 和亮度 *V*,保持图像的 *H* 和 *S* 分量不变,对亮度 *V* 进行局部单尺度 Retinex(SSR)处理,这样既减少了算法的复杂度,也可以尽量避免传统的 Retinex 算法造成的图像色彩失真。算法流程如图 1 所示。

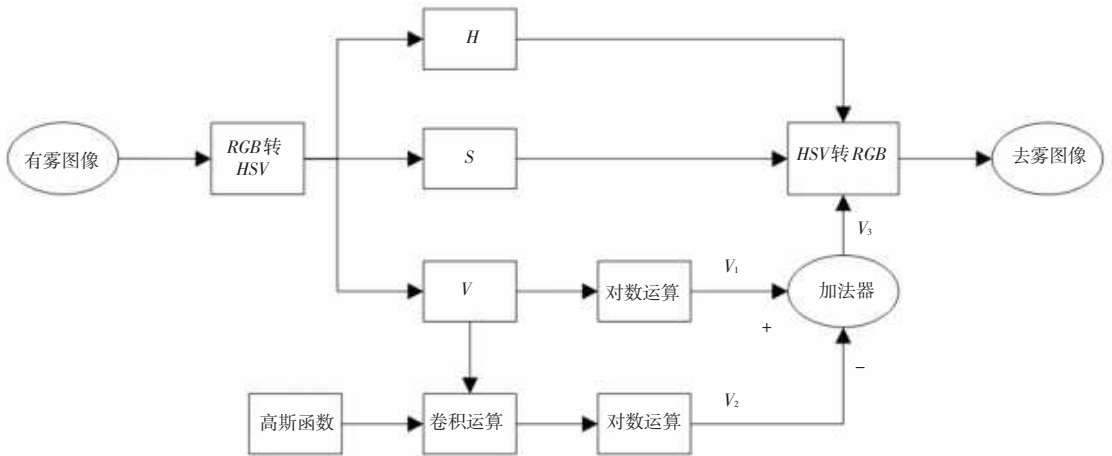


图 1 优化 Retinex 算法流程图

Fig. 1 Flowchart of optimizing Retinex algorithm

具体步骤如下:

- (1) 选取合适的尺度参数和模板大小,由式(4)生成高斯函数。
- (2) 将有雾图像由 *RGB* 格式转化为 *HSV* 格式。
- (3) 根据优化的 Retinex 算法,对亮度分量 *V* 进

行对数运算得到亮度分量  $V_1$ ,将  $V$  带入式(3)与生成的高斯函数进行卷积运算,再取对数得到亮度  $V_2$ ,将亮度  $V_1$  和  $V_2$  进行相加减得到去雾后的亮度分量  $V_3$ 。

- (4) 色调 *H*、饱和度 *S* 保持不变,并将 *H*、*S* 及  $V_3$

由 HSV 格式转为 RGB 格式,完成图像去雾过程。

### 3 车牌识别算法

中值滤波通过去除一些离散的噪点,使图像的像素更接近于实际值,在去除噪声的同时,保护图像的边缘,使图像更加清晰。算法在硬件上实现也比较简单,为了提高运行效率,采用流水线式的排序得到 3×3 矩阵,且通过对每一行的排序、筛选,就可筛选得到中值。

图像二值化是将图像的像素点设为最大或最小的值,从而将整个图像转换为黑白图像。在实时的图像处理中,二值化占据重要的位置,图像的特征只与 0 或 255 的像素值相关,因此处理起来更容易,数据处理量也大大减少。为了得到一个好的二值化图像,定义一个阈值,如果大于或等于阈值,则指定边界并以灰色值 255 表示。如果小于阈值,则在指定边界外用灰色值 0 表示。选择阈值时,手动选择以提高计算速度。

腐蚀和膨胀属于形态学算法,两者相互独立、也

相辅相成。前者是将边界向内收缩,消除小且无意义的点;后者是使边界向外部扩张,填补一些图像中的空洞。都是通过构造结构元素,使之扫描图像中的每一个像素点,进行“与”或者“或”操作,最终得到减小或者扩大的二值图像。

边缘是图像的基本特征,是一组在图像中灰色值急剧变化的像素。Sobel 边缘检测是离散差分算子用来计算图像亮度函数的灰色近似值。

### 4 硬件平台实现

硬件平台是基于 Zynq-7020 的开发板,采用 ARM+FPGA 独特的架构方式完成雾霾天气下监控系统中的车辆实时车牌识别系统。在这个系统中,用 Ov5640 摄像头采集数据作为图像数据的输入;对数运算、颜色空间转换、加减法器、IP 核初始化以及控制在 PS 端进行;卷积运算以及各种并行计算将在 PL 中进行。研究后得到的系统的总体架构框图如图 2 所示。

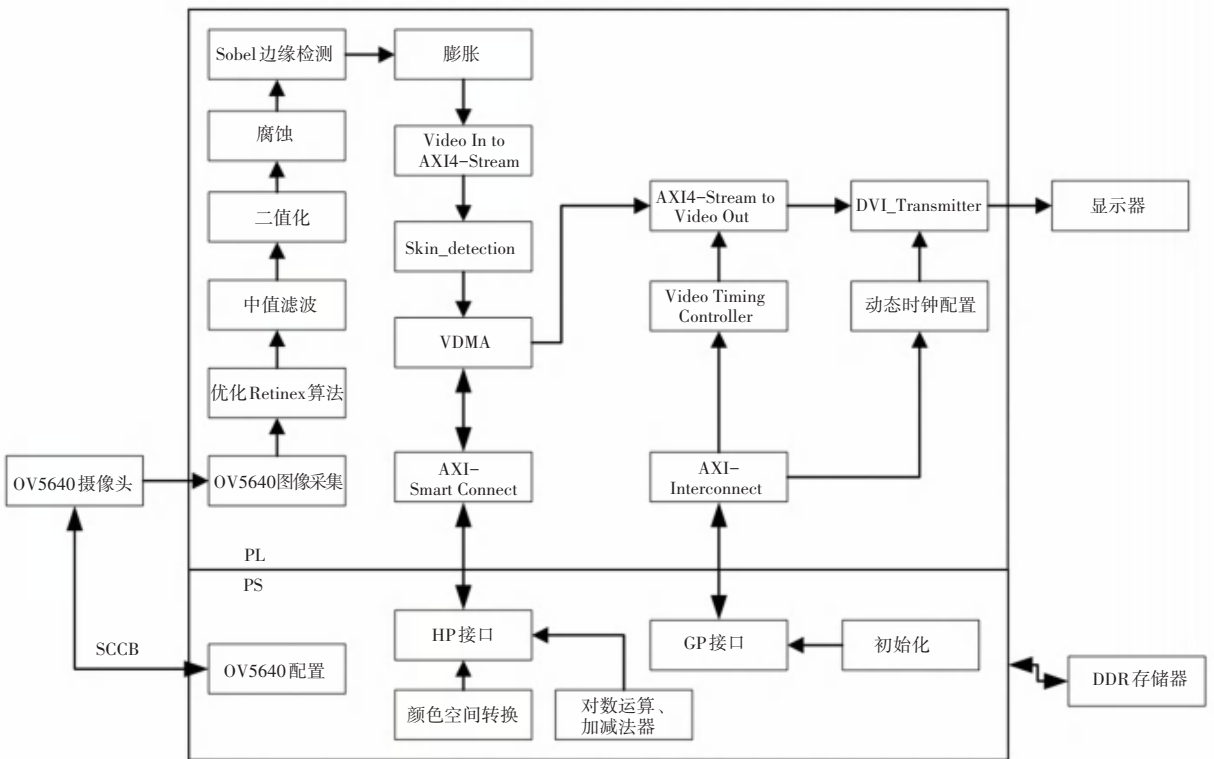


图 2 总体系统架构框图

Fig. 2 Block diagram of overall system architecture

在 PS 端配置摄像头,SCCB 端口通过 EMIO 连接至 PS 端,在 PS 端驱动摄像头;摄像头的图像采集是自定义的 IP 核,以及相关的图像处理算法都封

装为 IP 核,方便后期设计时的思路能够更加清晰;将采集的图像在 PS 端进行颜色空间的转换,通过 HP 接口与 AXI-Smart 互连进行数据传输到 PL 端

的图像处理模块进行图像去雾以及车牌识别;将处理后的数据通过 Xilinx 官方提供的 Video in to AXI4-Stream IP 核转换成 AXI4-Stream IP 格式的数据流,再通过 VDMA 的写通道转成 AXI4 Memory Map 格式,并写入 DDR 存储器中。DDR 中的数据读取和存储是通过 AXI-HP 端口与 AXI-Smart 互连,且后续与 VDMA 连接,相较于其他端口可更加高效地访问 DDR3。将从 DDR3 中读取图像数据传输给 AXI4-Stream to Video Out IP 核。PS 端提供的系统时钟通过 GP 接口和 AXI-Interconnect IP 核相连,而后再提供给 VDMA、VTC 和动态时钟 IP 核。AXI4-Stream to Video Out IP 核在 VTC IP 核的控制下,将 AXI4-Stream 格式的图像数据转化为视频图像输出数据格式 RGB888,而在将要输出的数据与 DVI IP 核相连后,就通过 HDMI 接口连接到显示屏,实时显示处理结果。

## 5 实验结果与分析

实验中硬件平台使用的是基于 Zynq-7020 的正点原子开发板领航者 ZYNQ, CPU 内核频率为 766 MHz,逻辑单元为 85 k,1 GB 的 DDR3,用 Xilinx 公司提供的 Vivado 2018.3 进行编译下载。

### 5.1 实验结果

为了验证优化后的 Retinex 算法的性能,用 Zynq-7020 实现本文优化方法与在 PC (Core i5

9300H,2.4 GHz 主频,8 G 内存,Matlab2014a)实现的传统 Retinex 算法进行性能的比较。为保证比较的有效性,取  $\sigma = 40$ ,选择  $101 \times 101$  的高斯模板。

用查找表 (LUT)、查找表 RAM (LUTRAM)、BRAM、DSP 等指标来显示 PL 端 FPGA 的资源消耗。表 1 为 FPGA 的资源占用率。

表 1 FPGA 资源占用表

Tab. 1 FPGA resources occupation table

资源类型	占用量/个	总量/个	百分比/%
LUT	14 251	53 200	26.79
LUTRAM	3 452	17 400	19.84
BRAM	35	140	25.00
DSP	52	220	23.64

当只是人为主观地评判图像去雾效果的好坏时,往往具有差异性。因此,需要用一些客观的指标去判断处理效果的好坏,这里用峰值信噪比、信息熵、运行时间三个指标作为评判的依据。其中,峰值信噪比描述的是图像信号最大功率与影响图像信号的干扰性噪声功率的比值。信息熵是描述图像的细节内容、包含的信息量,熵值的大小反映信息量的丰富程度。

图 3 是图像去雾的效果对比结果,对比试验图的峰值信噪比、信息熵、运行时间三个客观依据指标见表 2。



图 3 去雾效果对比图

Fig. 3 Comparison of fog removal effects

表 2 评价指标结果对比

Tab. 2 Comparison of evaluation indexes results

尺寸	增强方法	峰值信噪比/dB	信息熵	帧/s
282×227	原图	/	5.650	/
	PC 实现	62.6	5.685	0.802
	Zynq 实现	62.2	5.673	27.000

### 5.2 实验分析

根据表 1 资源消耗的结果,LUT、LUTRAM、BRAM 和 DSP 占的资源大概都是 FPGA 资源的

20%左右,整个系统消耗 Zynq-7020 资源较少,成本也较低,能够满足实际工程的需求。

从图 3 去雾效果对比图可以看出,PC 端实现的去雾算法与 Zynq 上实现优化后的去雾算法都能较好地达到去雾效果。

根据表 2 的客观指标依据对比,在 PC 端实现 Retinex 去雾算法和在 Zynq 上实现优化 Retinex 去雾算法,两者都能使峰值信噪比达到 60 dB,能够有效地减少雾霾所产生的噪声,增强图像的视觉清晰



效果。相比于原始图像,处理后的照片信息熵有所提高,证明图像的细节以及丰富度有所提高。无论是在 PC 端、还是在 Zynq 上,峰值信噪比和信息熵都能得到较为接近的结果,处理水平也不相上下,但是在运行时间上,Zynq 上的速度相比于 PC 端提高了 33 倍,能够达到 27 帧/s 以上的实时处理速度。

实验结果表明,基于 Zynq 平台能够实现图像去雾和车牌识别,具体就是能够快速、实时和准确地去除雾以及识别出车牌号。

## 6 结束语

本系统主要由图像采集模块、图像处理模块和显示模块等构成。该系统以 Zynq-7020 核心板为主控核心控制器,通过 Ov5640 摄像头采集图像数据,将数据传输给去雾模块进行实时去雾,然后把去雾后的图像通过车牌识别模块进行车牌识别,最后通过显示模块在显示器上实时显示。

以上设计实现了对有雾图像的实时处理且取得了较好效果,同时对车牌识别也有着较高精准度,则可以让交通管理者能够快速知道车辆车牌号,进而更快探查到车主信息。并且去雾模块可以更加广泛地应用于户外监控视频系统中,为使用者带来便利。

(上接第 213 页)

## 4 结束语

(1)本文提出一种以生成乘务任务数量最小为目标的乘务排班计划问题编制方法,构造了集合分割主规划模型和乘务特色约束子规划模型,并设计了基于影子价格选择的标号法对子规划进行求解。

(2)为了克服列生成算法中因初始解质量太差导致求解速度缓慢且求解质量不够高的问题,本文引入遗传算法对列生成算法的初始解进行优化,使得改进后的列生成算法求解速度与求解质量有显著提高。

(3)以上海地铁某条线路的实际运行图数据为例进行分析,结果显示本文提出的模型与改进后的列生成算法在工时有效率和乘务员运用数方面表现良好,验证了模型与算法的适用性和有效性,同时对模型中各权重参数进行不同取值的求解对比分析,为实际生产作业中运营单位编制乘务计划提供参数依据。

(4)为了提高该模型和算法与实际生产流程的匹配度,后续研究可在模型中加入更多的现实约束

## 参考文献

- [1] ZHANG Jingyun, DING Yifan, YI Yang, et al. Real-time defog model based on visible and near-infrared information[C]// IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW). Seattle: IEEE, 2016: 1-6.
- [2] WANG Yuankai, FAN C T. Single image defogging by multiscale depth fusion[J]. IEEE Transactions on image processing, 2014, 23(11): 4826-4837.
- [3] 高全明, 孙俊喜, 刘广文, 等. 基于 FPGA 的交通视频快速去雾系统的设计与实现[J]. 电子技术应用, 2017, 43(06): 71-74.
- [4] 王道累, 张天宇. 图像去雾算法的综述及分析[J]. 图学学报, 2020, 41(06): 861-870.
- [5] 曹永妹, 张尤赛. 图像去雾的小波域 Retinex 算法[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2016, 28(01): 50-55.
- [6] 黄文笔, 谢翠萍, 陈家益, 等. 迭代的顺序加权中值图像滤波算法[J]. 现代电子技术, 2021, 44(21): 25-29.
- [7] 王刘奎, 史伟民, 杨亮亮. 基于灰度波动的非均匀光照文档图像二值化[J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(12): 197-203.
- [8] 徐毓凯, 杨国平. 基于 Sobel 算子的银行卡号识别研究[J]. 计算机与数字工程, 2021, 49(08): 1672-1675.
- [9] 孙继平, 吴冰, 刘晓阳. 基于膨胀/腐蚀运算的神经网络图像预处理方法及其应用研究[J]. 计算机学报, 2005, 28(06): 985-990.
- [10] 张彩珍, 李颖, 康斌龙, 等. 基于深度学习的模糊车牌字符识别算法[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(16): 259-266.
- [11] 林琦琛, 姚敏, 赵敏, 等. 基于 FPGA 的 PET 图像快速边缘检测系统研究[J]. 机械制造与自动化, 2021, 50(02): 159-162.

条件,比如将乘务排班计划与乘务轮班计划的编制流程结合,进而使模型与算法更高效地解决现场的乘务计划编制问题。

## 参考文献

- [1] YUNES T H, MOURA A V, DE S C C. Hybrid column generation approaches for urban transit crew management problems [J]. Transportation Science, 2005, 39(2): 273-288.
- [2] YU I, NISHI T. Column generation heuristics to airline crew scheduling problem for fair working time [C]//2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Budapest, Hungary: IEEE International Conference on Systems, 2016: 003217-003222.
- [3] 袁仁杰. 基于遗传算法的地铁司乘排班计划管理研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [4] 许仲豪, 杜鹏. 基于列生成的城市轨道交通乘务计划优化编制方法研究[J]. 铁道学报, 2019, 41(03): 25-32.
- [5] 张增勇. 城市轨道交通乘务计划编制方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [6] 许仲豪. 城市轨道交通乘务计划优化编制方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [7] 谢燕丽, 许青林, 姜文超. 一种基于交叉和变异算子改进的遗传算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(04): 80-83.