

单位代码: 10293 密 级:

南京邮电大学

专业学位硕士学位论文



论文题目: 基于图像处理的车牌识别算法的研究与设计

学 号 1215012011

姓 名 顾李云

导 师 唐加山

专业学位类别 工程硕士

类 型 全 日 制

专业（领域） 电子与通信工程

论文提交日期 二〇一八年四月

Research and design on license plate recognition algorithm based on image processing

Thesis Submitted to Nanjing University of Posts and
Telecommunications for the Degree of
Master of Engineering



By

Liyun Gu

Supervisor: Prof. Jiashan Tang

April 2018

南京邮电大学学位论文原创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京邮电大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

本人学位论文及涉及相关资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

研究生学号：_____ 研究生签名：_____ 日期：_____

南京邮电大学学位论文使用授权声明

本人承诺所呈交的学位论文不涉及任何国家秘密，本人及导师为本论文的涉密责任并列第一责任人。

本人授权南京邮电大学可以保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档；允许论文被查阅和借阅；可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索；可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编本学位论文。本文电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。论文的公布（包括刊登）授权南京邮电大学研究生院办理。

非国家秘密类涉密学位论文在解密后适用本授权书。

研究生签名：_____ 导师签名：_____ 日期：_____

摘要

随着人们生活的现代化,汽车成为人们普遍使用的交通工具,为了合理智能的管理汽车,智能化的车牌识别系统也应运而生。如今,车牌识别系统被运用到各种各样的场合,如停车场管理、高速公路监控系统等。虽然,车牌识别系统的技术已经日趋成熟,但是由于天气、光照等条件的影响还是会导致识别准确率不高的情况。因此,对于车牌识别系统的研究仍然是学术界研究的热门课题之一。

本文首先对车牌识别系统的研究背景与发展现状进行了综述,然后借助于图像处理技术对整个车牌识别的过程进行了详细的研究。本文分别在图像平滑、边缘提取和二值化阶段提出了三种改进方法以实现车牌的识别,具体研究内容如下:

(1)在图像平滑阶段,本文提出了传统的中值滤波与高斯滤波相结合的图像平滑方法,首先对图像进行高斯滤波,去除类似高斯噪声的噪声部分,然后采用中值滤波进行图像平滑。仿真结果表明,改进后的图像平滑方法可以明显改善传统方法在光照不良特别是夜间图像处理的不足,滤波后的信噪比更高,去噪效果更好。

(2)在图像边缘提取阶段,基于 Mallat 小波快速分解算法,本文提出了一种新的车牌边缘提取算法。新算法的核心思想是利用 Mallat 小波变换多分辨率分析的特点,将车辆牌照区域作为高频部分提取出来。经过与传统的利用 Sobel 算子进行边缘提取算法的仿真结果的比较可以发现,本文提出的 Mallat 算法可以更完整的提取出牌照区域。

(3)在二值化阶段,本文在传统的二值化算法的基础上提出了改进的 Otsu 二值化算法。利用传统的 Otsu 算法求出相应的二值化阈值,在传统算法的基础上进行阈值微调。仿真结果表明,与传统的二值算法相比,本文算法的二值化效果更好,字符处理的准确率更高。

通过仿真实验表明,本文提出的改进算法较传统的算法效果更好,优化了车牌识别的效果,为车牌识别系统的进一步完善提供了一定的基础。

关键词: 车牌识别系统, 图像处理, 图像平滑, 二值化, 边缘提取

Abstract

With the modernization of people's lives, cars become the most popular vehicle. In order to manage cars intelligently and reasonable, intelligent license plate recognition system arises at the historic moment. Nowadays, the license plate recognition system has been applied to a variety of occasions, such as parking management, highway monitoring system and so on. Although the technology of license plate recognition system has matured, but due to the influence of weather and lighting conditions, it will lead to low recognition accuracy. Therefore, the research of the license plate recognition system is still one of the hot topics in the academic field.

Firstly, the research background and development status of the license plate recognition system are reviewed. Then, the whole license plate recognition process is studied in detail through image processing technology. In this thesis, three improved methods are proposed to realize license plate recognition in the stage of image smoothing, edge extraction and two value. The specific research contents are as follows:

(1) In the stage of image smoothing, a method of Gauss filter with traditional median filter combining the median filter is put forward in this thesis. Firstly, the image is filtered by Gauss filter, remove part of noise similar to the Gauss noise, and then the median filter is used to smooth the image. The simulation results show that the improved image smoothing method can obviously improve the shortcomings of the traditional methods, especially at night in the night image processing, and has higher signal-to-noise ratio and better denoising effect after filtering.

(2) In the stage of image edge extraction, based on Mallat fast wavelet decomposition algorithm, a new algorithm for license plate edge extraction is proposed in this thesis. The core idea of the new algorithm is to extract the vehicle license region as a high frequency part by using the characteristics of Mallat wavelet transform multiresolution analysis. Compared the simulation results with the traditional Sobel operator using the edge extraction algorithm., the Mallat algorithm proposed in this thesis can extract the region of the license plate more completely.

(3) In the two value phase, the improved Otsu two value algorithm is proposed on the basis of the traditional two value algorithm. The traditional Otsu algorithm is used to obtain the corresponding two threshold value, and the threshold is adjusted on the basis of the traditional algorithm. The simulation results show that compared with the traditional two value algorithm, the two value of the algorithm in this thesis is better and the accuracy of character processing is higher

in this thesis.

The simulation results show that the improved algorithm proposed in this thesis is better than the traditional algorithm, which optimizes the effect of license plate recognition, and provides a certain basis for the further improvement of the license plate recognition system.

Key words: License plate recognition system, image processing, image smoothing, two value, edge extraction

目录

图形速查.....	i
表格速查.....	ii
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景	1
1.2 车牌识别系统的现状	4
1.3 车牌识别技术的应用	5
1.4 本论文的创新点	5
1.5 论文结构安排	6
第二章 车牌识别系统.....	8
2.1 概述	8
2.2 车辆识别系统组成	8
2.4 车牌识别的预处理	10
2.4.1 图像灰度化处理	10
2.4.2 图像灰度拉伸	11
2.5 本章小结	13
第三章 车辆图像的平滑处理.....	14
3.1 图像平滑概述	14
3.2 传统中值滤波的图像平滑方法	14
3.3 改进的中值滤波与高斯滤波相结合的算法.....	15
3.4 实验结果的比较与分析	17
3.5 本章小结	18
第四章 车牌边缘提取.....	19
4.1 小波变换的定义	19
4.2 Mallat 小波快速分解算法	20
4.2.1 Mallat 小波分解	20
4.2.2 基于 Mallat 小波变换的车牌边缘提取改进算法	23
4.2.3 实验结果的分析与比较	25
4.3 基于 Mallat 小波变换的车牌边缘提取改进算法的应用	26
4.3.1 车牌边缘检测	26
4.3.2 边缘连通处理	27
4.3.3 提取车牌区域	28
4.3.4 车牌精确定位	29
4.4 本章小结	31
第五章 车牌字符识别.....	33
5.1 概述	33
5.2 车牌字符切分	33
5.2.1 车牌图像二值化	33
5.2.2 传统的类间方差 Otsu 算法	34
5.2.3 类内方差 Otsu 算法	34
5.2.4 改进的 Otsu 二值化的算法	36
5.2.5 改进算法的结果与分析	38
5.3 改进的 Otsu 二值化算法在车牌字符切分方面的应用	39
5.3.1 字符切分	39

5.3.2 改进的 Otsu 二值化图像的字符切分 40

5.4 车牌字符识别 41

5.4.1 基于模板匹配的字符识别 42

5.4.2 创建匹配模板 42

5.4.3 提取车牌特征 43

5.4.4 模板匹配 44

5.5 本章小结 45

第六章 总结与展望..... 46

6.1 总结 46

6.2 展望 47

参考文献..... 47

附录 1 攻读硕士学位期间申请的专利..... 50

致谢..... 51

图形速查

图 1.1 车牌样本.....	3
图 2.1 车辆识别系统结构图.....	7
图 2.2 软件系统设计的流程图.....	9
图 3.1 车辆图像灰度化效果图.....	11
图 3.2 灰度拉伸线性变换曲线.....	12
图 3.3 灰度拉伸后的车辆图像.....	13
图 3.1 中值滤波后的车辆图像.....	14
图 3.2 高斯滤波后的车辆图像.....	15
图 3.3 中值滤波效果图.....	15
图 3.4 三种算法的输出图像的峰值信噪比.....	16
图 3.5 三种算法的输出图像的均方误差.....	17
图 4.1 小波分解树.....	19
图 4.2 小波变换的 Mallat 算法.....	21
图 4.3 二维小波变换的 Mallat 算法.....	22
图 4.4 车辆图像 Mallat 小波 5 层分解效果图.....	23
图 4.5 第三层分解信号的相似信号提取.....	23
图 4.6 Mallat 算法处理后的效果图.....	24
图 4.7 Sobel 边缘检测图.....	24
图 4.8 邻域结构图.....	25
图 4.9 车辆图像三层小波分解.....	26
图 4.10 车辆图像三层边缘提.....	26
图 4.11 开闭运算后的车辆图像.....	27
图 4.12 提取出的车牌区域效果.....	27
图 4.13 车牌区域水平投影图.....	28
图 4.14 平滑之后的水平投影.....	29
图 4.15 水平投影处理后的字符区域.....	29
图 4.16 平滑后的垂直投影图.....	30
图 4.17 垂直投影处理后的字符区域.....	30
图 5.1 类间方差的 Otsu 二值化效果图.....	33
图 5.2 类内方差 Otsu 二值化效果图.....	34
图 5.3 阈值减少 15 的二值化效果图.....	35
图 5.4 自适应微调量 w 与灰度平均值 E 的关系.....	35
图 5.5 垂直方向的车牌投影图.....	38
图 5.6 字符切分效果图.....	39
图 5.7 加权后的字符与原字符.....	41
图 5.8 特征提取.....	42

表格速查

表 3.1 各算法输出图像平均指标比较.....	18
表 4.1 边缘图的统计数据表.....	26
表 5.1 不同光照条件下两种算法的比较.....	37

第一章 绪论

1.1 研究背景

近年来,随着现代科技的发展,人们的生活质量不断改善。人们的出行方式也由原先的自行车变为汽车。汽车不仅成为很多家庭的交通工具,也出现在很多公共场合。但是,汽车在给人们带来方便的同时,也给人们带来了管理的难题。凡是汽车出现的地方,例如停车场,高速公路,市区等地方都需要对汽车进行有序的管理。汽车管理的首要工作就是要准确及时的获取车牌信息,将车牌信息经过处理之后存储到数据库中,以便在意外发生的时候准确快速的定位到车辆^[19]。为了合理安全的管理汽车,很多工作人员日夜值守,工作量大,而且随着汽车数量的增多,对于工作人员的工作要求也越来越高,人为的管理车辆的工作量巨大,这就对工作人员提出了很高的要求^[45]。因此,如何解决数量较多的车辆的管理问题,减少人为管理的工作量成为人们面临的一大难题。随着计算机科技的发展,能够减少汽车管理工作人员工作量的智能化交通系统管理技术诞生了,其中,车牌识别系统是智能化交通系统管理技术的重要组成部分,车牌识别技术的发展对于智能交通系统的进步发挥了巨大的作用^[26]。人们可以不仅仅依靠人为的管理来实现管理监督,还可以借助智能化的车牌识别系统进行全天化无人化的监督、识别和管理,利用计算机技术对采集到的车辆图像进行处理与识别,可以大大减少人为的工作量,从而提高了车辆管理的效率。

如今,世界各国都在研究能适用于自己国家使用的车牌识别系统。美国智能交通学会 1990 年提出智能交通系统,它通过搜集信息、处理信息、交换信息、分析信息、使用信息的处理过程,提升了交通系统的智能化,是未来交通系统重要的发展方向^[40]。如今,一些发达国家已经将智能交通系统广泛应用于城市道路管理和高速公路等。我国由于科技发展稍稍落后,在智能交通系统领域的发展进步较慢,在智能交通系统方面的研究也稍稍落后于其他国家,但是我们对于智能交通系统的研究一直没有松懈^[34]。经过科学人员的不懈研究,如今,智能交通系统在中国已经到了普遍使用阶段。由于我国人口众多,汽车数量不断增大,我国一直都没有停止对于智能化的交通系统的研究工作。随着人们对车辆牌照识别系统的深入研究,车牌识别技术不断成熟。如今,车牌识别系统已经被各种各样的公共场所所使用,比如停车场管理、高速公路收费系统、交通违章监测、交通事故勘察等^[37]。尽管如此,在现实生活中,由于光照、环境等的影响还是会出现车牌识别偏差,追踪困难的难题。智能视频监控系统要

求计算机不仅能非常准确的捕捉到车牌图像并准确定位车牌位置，还要求计算机能通过图像处理技术准确无误的输出车牌号码，从而才能在突发情况下及时做出反应与对策^[3]。所以，智能识别系统对图像处理技术的要求非常严格。

虽然，在现代社会中，车牌识别技术已日趋成熟，但是世界各国还是都在研究能适用于自己国家车牌识别系统。虽然国外的一些牌照识别技术比较先进，但是我国车辆牌照结构与国外车辆牌照的不同，导致引进的车辆牌照识别系统不能完全适用于我国的车牌，而且引进国外技术的成本过高，因此，引进国外技术对于我国的车牌系统并不完全适用^[6]。因此，车辆牌照识别技术仍然是如今我国研究的热门方向，尤其是人们对夜间车辆牌照识别技术的研究，由于光线暗、噪声大等环境问题的原因使夜间车辆牌照的识别具有一定的特殊性，从而给夜间车牌识别带来一定的难度^[7]。所以，车牌识别技术仍然是目前人们需要深刻研究的课题。在车辆牌照识别的研究中，车牌识别技术的准确性和速率仍然有待改进。因此，车牌识别系统的研究将对人类和社会的进步发挥重要的作用。

在实际应用中，车牌识别系统必须准确快速的定位并输出牌照号码。因此，在车辆牌照识别的技术中，车辆图像的拍摄水平、车辆图像的处理效果以及车辆牌照区域的定位等都是十分重要的技术，其中，较为重要的技术主要有以下四点：

1) 车辆图像处理技术，即对拍摄到的图像进行处理，如灰度化、图像平滑、边缘提取等，这是车牌准确定位的基础。车辆图像预处理的目的是对车辆图像的去噪和对车牌区域的定位，预处理的结果是获得初步定位的车牌区域的图像以便后续的处理。

2) 车牌图像定位技术，即在采集到的车辆图像中定位出牌照所在的位置，该技术是后续进行字符分割的准备工作。在车辆牌照精确定位之前，需要对车辆图像实施边缘提取，通过对边缘提取特征的分析确定车辆的牌照所在区域。

3) 车辆牌照区域字符切分技术，即将获得的车辆牌照的字符切分为一个一个的字符。在字符分割之前，需要先对牌照部分进行二值化处理。传统的二值化算法有很多种，智能化的交通管理系统要求找到最适合车牌识别的二值化算法。对二值化之后的字符进行分割，有利于获取单个字符的特征，便于后续的字符识别算法的研究。

4) 车辆牌照字符识别技术，即经过之前的图像处理，最后通过字符识别算法将车辆牌照的字符准确输出的过程，这是识别系统的最后阶段也是最重要的阶段，字符识别的好坏将影响最终的识别结果。

车牌识别是很复杂的图像处理和图像识别的过程，车牌信息从获取之后要经过复杂的计算机处理才能实现最终车牌信息的输出。在实际应用中，由于环境、光照强度、拍摄设备等

原因的影响，获取的车牌信息质量不高的情况时有发生^[32]。因此，车牌识别系统对计算机技术的要求也越来越高。目前，车牌识别的主要难点有：

1) 车牌格式多样性。我国根据不同的车型规定了不同的车牌，例如民用车，警用车，军用车等。不同用途的车由于车牌结构的区别，车牌的定义方式也有一定的区别，因此，车牌识别系统需要针对不同车型进行车辆牌照识别。车辆牌照的多样性要求车牌识别系统必须具有可移植与多适应的特点。

2) 车牌颜色的多样性。我国的汽车牌照颜色有蓝、黄、白等多种颜色，字符颜色有白，黑，红等若干种颜色。

3) 车牌图像的清晰度不高。由于光照强度不足，天气条件等因素的影响，采集到的车牌图像照片不清晰，图像失真等问题，导致车牌信息辨别错误甚至难以辨别。

4) 我国车辆牌照是由字母、汉字和数字组成，汉字的识别方式比字母难度更高，增加了车牌识别的难度。

在我国，每辆车都拥有属于自己的牌照号码，牌照是车辆经过车辆管理机关的审核、检验与登记之后再发给车主核发登记注册之后的车牌号码，同种类型的车辆它们都具有统一的格式、统一的样式^[15]。目前，我国车辆牌照根据车辆类型已分为多种格式，不同类型的车辆的牌照命名方式不一，且存在上述难题的情况下，导致我国车辆牌照识别技术存在很大的困难，比其他国家的车辆牌照更难识别。因此，有效的提高车辆牌照识别的准确率和实时性是我国智能交通系统可靠性的一个重要的难题。图 1.1 为我国的车辆蓝色牌照的样本。



图 1.1 蓝色车牌样本之一

图 1.1 中，第一个为汉字，代表该车户口所在省的简称，第二个字为字母，代表该车所在地的地市一级代码。第三个为分隔的原点。最后五个字由大写字母与数字组成。由于我国大部分车牌为蓝底白字，为了方便研究，本文所选取的所有图片均为蓝色车牌，适用于大部

分的停车场管理与高速公路缴费等系统。

1.2 车牌识别系统的现状

20 世纪 80 年代, 国外的车辆牌照识别技术已经有了一定的发展, 但是最初的车牌识别技术仅仅局限于基本的图像处理, 一般只能适用于特定的场合, 对普遍的车牌并不具有适用性。而且由于当时的信息技术比较落后, 导致处理出的车牌图像并不是很准确, 很多时候还需要人为的验证才能确定。我国在这方面的比国外更晚, 而且我国的车牌样式和种类与国外有很大的区别, 我国的车牌不仅有英文和数字, 还有汉字, 种类繁多, 民用的、警用的、军用的等等。这就是我国无法直接引用国外的牌照识别系统的原因。所以我们要根据自己车牌的特点研究出适合我们自己使用的牌照系统。

如今, 国外在车牌识别系统方面的发展已经较为领先, 如 Yuntao Cui 提出的车辆牌照识别系统技术, 即在牌照区域定位以后利用马尔科夫场对车牌进行特征提取^[44]; Eun Ryun 等利用图像中的颜色分量对车辆牌照进行定位识别^[8]; Luis 开发出一种车辆牌照识别系统, 该系统可运用于高速公路收费站, 且该系统识别的准确率可达到 90% 以上^[23]。国际上普遍使用的产品有以色列的 Hi-Tech 公司开发的 See/Car system, 该系统能够适用于其他很多国家, 但是该系统并不适用于我国, 因为我国的车牌号码中含有汉字。英国 Alphatech 公司的 RAUS 系统的识别速度特别快, 大约 100ms。新加坡 Optasia 公司的 VLPRS 车牌识别系统等发达国家也有了属于自己国家车牌的是识别系统。

90 年代初, 我国的车辆牌照识别系统取得了很大的进步。现在国内最好的车牌自主识别系统是由中科院自动化研究所开发的^[3]。除此之外, 常见的牌照系统还有香港亚洲视觉科技有限公司研究开发的“慧光”^[42]。至今, 我国的很多高校也一直在深入研究车辆牌照识别技术, 比如清华大学人工智能国家重点实验室、上海交通大学计算机科学与工程系、西安交通大学图像处理与识别实验室等^[17]。

智能交通系统在一定程度上缓解了如今道理上的交通堵塞的问题, 车牌识别系统作为智能交通系统的核心部分, 对车牌识别技术提出了更高的要求。车辆牌照识别系统要求系统能够准确高效的识别出车牌号码, 但是由于外界条件的影响容易造成图片获取不清的问题, 而且人为、环境等因素也会造成车辆牌照模糊不清的情况。因此, 我们还需要对车辆牌照识别系统做出更多的改进和优化。

1.3 车牌识别技术的应用

车辆牌照自动识别技术是智能交通系统的重要组成部分，它在车辆管理和交通管理方面发挥着十分重要的作用。车辆牌照识别技术要求系统能从一幅车辆图像中准确找到车牌所在的区域，并将车牌字符准确的输出，从而达到为交通管理和监督提供基础信息的目的^[5]。

如今，车辆牌照识别系统已经被广泛应用于各种场合，主要使用的领域有：

1) 停车场管理系统。随着汽车大量出现在公共场合，人为设立的停车场也越来越多。人们在管理汽车的时候首要任务就是获取车辆的车牌号进行记录。停车场管理系统需要对进出车辆的车牌号进行采集和记录，将进出时间进行比对，从而实现计时计费的车辆收费系统。

2) 高速公路智能化管理系统。为了加强对高速公路状况的监督，智能化的车牌系统被引用到高速公路管理系统中。利用车辆牌照识别技术与计算机技术相结合，对高速公路上的车辆进行抓拍与牌照识别，从而加强对高速公路行车状况的监督，有利于降低公路事故的发生概率。

3) 交通道路违章监测。在城市道路上定点设立监控系统，对违反交通规则的车辆进行抓拍，通过车辆牌照识别系统对违章的车辆进行责任追究。

1.4 本论文的创新点

本论文的创新点主要有以下三个方面：

(1) 在车辆图像预处理的图像平滑阶段，本论文针对传统的图像滤波方法中的中值滤波方法对于光照不均的图像去噪效果不足的缺点，提出了高斯滤波与中值滤波两种方法相结合的方法，即利用高斯滤波将车牌灰度图像进行去噪，再利用传统的中值滤波方法处理。

(2) 在车辆图像边缘提取阶段，本论文提出了将 Mallat 小波分解算法应用于边缘提取中。利用小波变换的多分辨率分析的特点，利用 Mallat 小波快速分解算法对车辆图片进行两次小波分解，找出高频区间与低频区间的界限，将高频区域定义为牌照所在的区域，达到初步定位出车牌区域的效果。

(3) 在字符分割阶段，对二值化过程提出了优化的 Otsu 算法，在传统的 Otsu 二值化算法的基础上进行阈值微调。由实验结果表明，优化的 Otsu 算法的二值化效果更好，图像更清晰。

1.5 论文结构安排

本论文一共分为六个章节：

第一章为绪论，该章节主要介绍了智能交通系统的研究背景和车辆牌照识别系统发展的现状，以及对如今车辆牌照识别系统被运用到哪些领域做了简单的介绍。

第二章为车牌识别系统的介绍。该章节主要介绍了车辆牌照识别系统的组成和车辆识别系统的预处理过程。车辆识别系统由硬件系统和软件系统组成，本章分别对硬件和软件的主要构成部分进行了介绍，详细介绍了软件系统的组成部分和工作原理，该部分也是本论文所有章节的研究起点。然后，详细介绍了牌照识别的第一步车辆图像预处理的过程，其中，详细介绍了车牌图像灰度化、图像灰度拉伸两个部分。车牌图像灰度化利用了经典的加权平均值法进行灰度化，在灰度拉伸阶段，利用分段函数将原图像的灰度范围扩大，使原图像的对比度加大，图像更清晰。

第三章对图像平滑阶段进行了平滑算法的研究与改进，首先研究了利用中值滤波算法进行图像平滑，找出了传统的滤波方法对于夜间车牌识别的不足，然后对该方法进行了改进，提出了中值滤波与高斯滤波相结合的方法，改进了对于夜间车牌识别效果不佳的缺点，且该方法经过大量实验表明有效可行。

第四章为车牌图像边缘提取，在边缘提取阶段，本文提出了将 Mallat 小波快速分解方法运用到边缘提取，提取出车辆牌照的高频区域，将牌照区域与背景区域分离。经过 Mallat 小波三层分解，可以成功提取出目标区域。

第五章为车牌字符识别阶段，本章节介绍了车牌图像二值化、车牌字符分割和车牌字符识别三个过程。在二值化阶段，本章节提出了优化的 Otsu 算法，即将传统的 Otsu 算法求出的阈值进行自适应微调，找出了微调量与平均灰度值之间的函数关系。在完成二值化之后，利用垂直方向的投影将牌照区域分割为单个的字符。最后对牌照区域字符识别技术进行了研究，主要研究了基于模板匹配的字符识别算法，将单个字符分为九个区域，分别对这九个区域进行特征提取，利用特征参数找到字符库中与待匹配字符最相近的字符。

第六章为最后一个章节，主要对全文进行了总结，首先总结了本论文的主要研究工作，然后提出了本论文还有待改进的地方，对以后的车辆牌照识别系统的提高和优化指明了方向。

本文就车辆牌照识别系统的过程进行了一系列的研究工作，完整的识别过程包括车辆图像预处理、牌照区域定位和牌照字符识别三大过程。在车辆图像预处理阶段，需要对图像进行灰度化、图像平滑和边缘提取的工作。在牌照区域定位阶段，需要将车辆图像中的牌照部

分进行初步与精确定位、字符分割的工作。最后在字符识别阶段，将分割后的字符通过字符识别算法识别，直到输出正确的车辆牌照号码。

第二章 车牌识别系统

2.1 概述

车牌识别系统是智能交通系统最重要的系统之一，其完整的处理车牌识别的流程为原始图像输入、彩色图像灰度化、图像降噪、灰度图像二值化、车牌区域定位、车牌字符识别，最终完成对车牌字符的输出。车辆牌照识别系统运用的牌照识别技术能够通过对车辆图像的处理获取到车辆的牌照信息。车辆牌照识别技术中最首要的技术是图像处理技术，如数字图像识别与检测、计算机技术、信号处理技术以及人工智能技术等^[20]。因此，随着这些技术的不断更新与进步，车辆牌照识别技术也得到不断的提高。随着时代的发展，车牌识别系统被运用到各种各样的场合，人们对于车牌识别的准确性的要求也越来越高，因此，智能交通系统中的车牌识别系统是一项重要的研究方向。

车辆牌照识别系统分为硬件输入和软件处理两部分。硬件输入是指通过拍摄工具对车牌进行拍摄，软件处理是对收集到的车牌图像进行车牌定位、图像处理，字符分割与识别等，最终将识别结果进行存储^[19]。车辆牌照识别系统主要是软件处理模块，它决定了整个系统是否能够精确的输出牌照信息，这取决于软件处理模块的准确性。车牌识别系统的基本结构如下图所示：

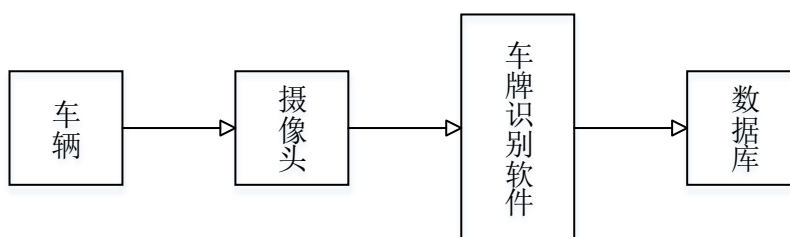


图 2.1 车辆识别系统结构图

2.2 车辆识别系统组成

车辆牌照识别系统的硬件部分主要由摄像机、主控机、采集卡和照明装置组成。例如在停车场的车牌管理系统中，硬件系统主要包括车辆传感探测器、高性能工控计算机、高分辨率摄像机、高倍数放大镜头和视频采集卡等组成。硬件系统主要负责检测车辆的靠近、通过、停留以及离开。我国车辆识别系统运用最多的是利用红外探测器对入口和出口的车辆进行红

外信号的发送和接收。根据光照条件不同,调节摄像机的光圈可以采集到更加清楚的图片信息。对接收到的图片进行编码处理,增强信号的抗干扰能力。接着将获取到的车辆数据保存到数据库中。当车辆离开时,车辆牌照的识别方法与进入时一致,匹配出进入的时间,求出进出的时间差,然后计费。

本论文主要研究的是软件设计模块,软件部分主要负责对已经拍摄得到的车辆照片进行图像处理和图像分析,主要是对车辆图像进行去噪的处理,车牌区域定位,字符切分和字符识别等过程。以下是对软件系统的详细介绍。

车牌识别系统的软件部分是一个具有图像处理和图像分析的软件系统。整个系统的运行过程为:首先将硬件系统获取的图片进行处理,如彩色图像灰度化、灰度拉伸和平滑滤波处理。然后,对去噪之后的图像进行边缘提取,获取牌照的轮廓信息。接着,将采集到的牌照区域进行二值化和字符切分处理。最后,将切分成单个字符的车牌字符进行字符识别。

车牌识别系统的软件部分主要由 VC 或 MATLAB 完成^[41]。MATLAB 的特点是可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法等,主要应用于信号处理于通讯、图像处理、信号检测等领域^[40]。MATLAB 具有编程效率高、移植性与开放性好和方便绘图等优点。本文利用 MATLAB 工具进行车牌识别系统的处理,具有以下优势:

(1)可以直接使用 MATLAB 的 Image Acquisition Toolbox、Image Processing Toolbox 以及 Neural Network Toolbox 作为骨架来搭建整个系统。

(2)利用 MATLAB 的图形用户界面技术编写牌照识别系统面板,可以达到与牌照定位切分程序及字符识别程序的无缝连接。

(3)在研究的过程中开发人员可以利用 MATLAB 自带的工具箱,而无需研究 MATLAB 内部函数的具体实现,只需要研究算法本身,从而大大的减少了工作人员的工作量,为算法的研究改进提供了先决条件。

当然, MATLAB 除了以上的优点之外,也存在自己的缺点。MATLAB 的缺点是与其他的高级编程语言相比, MATLAB 的执行速度较慢。由于 MATLAB 语言不用编译就可执行,也不生成可执行文件,所以执行的速度慢。并且 MATLAB 的界面功能较弱,不能实现交互界面、数据采集以及端口操作等功能。

本文采用 MATLAB 工具对图像进行处理,首先拍摄获取的车辆图像进行灰度化、灰度拉伸与图像平滑,从而达到减少噪声,增强图片对比度,使图像更加清晰的目的。然后,对预处理之后的图像进行边缘提取,提取出车牌的轮廓。接着,利用算法将车牌部位与背景部位分隔开来,根据投影法对车牌进行精确定位。最后,将定位出的目标区域进行字符识别,确

定出车辆牌照信息。整个系统的设计都利用 MATLAB 的 M 语言来执行。

本文软件开发的环境为 Microsoft Windows 8.1 中文，软件开发工具为 MATLAB2016 版；实验所用照片来源为网络选取和自己采集的 300 张图片。整个软件系统的设计流程如下，

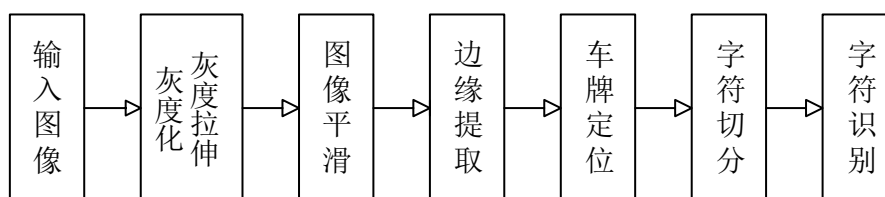


图 2.2 软件系统设计的流程

2.4 车牌识别的预处理

车牌图像预处理是车牌识别系统的第一步，是指对硬件设备搜集到的车辆图像实施图像去噪，达到去除噪声的目的。由于受光照条件、环境等因素，摄像头拍摄到的车辆图像的质量各不相同，往往存在不同程度的噪声。因此，在车辆牌照区域确定之前需要对拍摄到的图片进行预处理。预处理过程使图像更清晰，对比度更加明显，为之后的车牌图车牌区域提取以及车牌字符识别打好基础。车辆牌照图像预处理的目的是将拍摄到的图像处理成灰度图像，且经过处理之后的图像的噪声已经去除，经过预处理之后的图片更加清晰，图片颜色得到增强，为车牌定位做了充分的准备工作。

车牌图像预处理分为车辆图像灰度化和灰度拉伸两个阶段，以下是对这两个阶段的详细介绍。

2.4.1 图像灰度化处理

彩色图像灰度化是指对彩色图片进行灰度处理，将一幅彩色图片处理为灰度图片的过程。例如我们平时看到的黑白图像就是一幅灰度图像。通常，彩色图片可以分为 R、G、B 三种分量，其中，R 为红色分量，G 为绿色分量，B 为蓝色分量。彩色图像灰度化就是使 R、G、B 三个分量相等的过程。我们平时看到图像的各种颜色是因为每个像素点的灰度值不同，灰度值最大为 255，显示为白色，灰度值最小为 0，显示为黑色，灰度图像每个像素点都有它对应的灰度值，灰度大小为 0~255 之间。

图像灰度化的算法主要有：

1) 分量法：将 R、G、B 其中的一个分量的大小作为该像素点的灰度大小，根据需要选择其中一种使用。

2) 最大值法：令 R 、 G 、 B 的大小都取 3 个值中的最大值，即

$$R = G = B = \max(R, G, B)$$

3) 平均值法：令 R 、 G 、 B 三个分量的大小取 3 个值的平均大小，即

$$R = G = B = (R + G + B)/3$$

4) 加权平均法：令 R 、 G 、 B 三个分量的值大小取 3 个值的加权平均值，即

$$R = G = B = (w_R R + w_G G + w_B B)/3$$

其中， w_R ， w_G ， w_B 为 R ， G ， B 三个分量的权值。当 w_R ， w_G ， w_B 取不同的值时，图像将呈现不一样的灰度图像。我们人眼对绿色最为敏感，其次为红色，人眼对蓝色最不敏感，因此当 $w_G > w_R > w_B$ 时的灰度图像更易被人眼识别。通常，在 $w_R = 0.299$ ， $w_G = 0.587$ ， $w_B = 0.114$ 时，图片的灰度效果最满意。

本论文使用加权平均法来对彩色车牌图片进行处理，得到的车辆灰色图像如图所示。



图3.2 车辆图像灰度化效果图

由图3.2可见，利用加权平均法进行灰度处理之后的车辆图像去除了彩色色调，图片的轮廓清晰。车辆前方由于车前灯的光照过强，导致车头的轮廓模糊。因此，接下来利用灰度拉伸，将图片的灰度值进行分段的线性拉伸，使整个图片的灰度级别变大至 $[0, 255]$ 范围内，增强车前方牌照区域与背景区域的对比度，去除光照不均的影响。

2.4.2 图像灰度拉伸

灰度拉伸又叫对比度拉伸，它是一种常见的灰度值线性变换，即使用线性函数对灰度值不同等级的灰度区域进行分段调节。灰度拉伸的主要目的是提高图像处理时灰度值的大小区间，使得原图像的灰度值大小扩充至整个灰度级别的区间内，即 0 至 255 之间。车辆图像灰度拉伸是指依照车辆灰色图像的灰度直方图的灰度分布将整个车辆图像的灰度值进行调整，

使调整后的车辆灰度值区间扩大到 0 至 255。车辆图像灰度化之后的图片由于光照强度的影响，牌照部分与非牌照部分的对比度不是很突出，因此不能直接对灰度化之后的图像进行边缘识别，否则会大大降低边缘提取的准确性。在边缘提取之前，需要对灰色车辆图像进行灰度拉伸，提高牌照区域与非牌照区域的对比度。

假设原图片中某点 (x, y) 的灰度为 f ，灰度值的区间为 $[s_1, s_2]$ ，期望变换后图片的灰度值为 g ，变换后的灰度范围为 $[0, 255]$ ，假设灰度拉伸后原灰度图像中灰度值为 s_1 处的期望灰度值为 t_1 ，原灰度图像中灰度值为 s_2 处的期望灰度值为 t_2 ，则灰度拉伸曲线的线性变换函数如图所示，

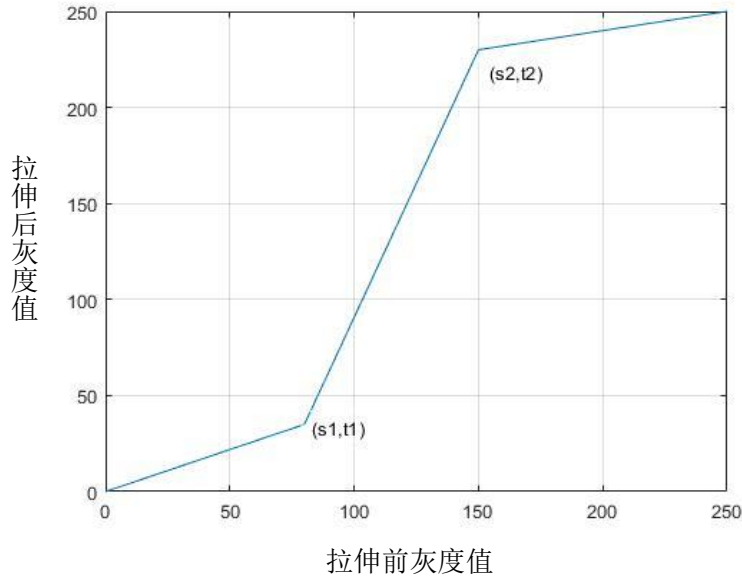


图 2.3 灰度拉伸线性变换曲线

则线性变换函数表达式为

$$g = \begin{cases} \frac{t_1}{s_1} f, & f < s_1 \\ \frac{t_2 - t_1}{s_2 - s_1} f + t_1 - \frac{t_2 - t_1}{s_2 - s_1} s_1, & s_1 \leq f \leq s_2 \\ \frac{255 - t_2}{255 - s_2} (f - s_2) + t_2, & f > s_2 \end{cases}$$

通常， t_1 的取值为整张图片中灰度值小于 t_1 的像素占 1%的阈值， t_2 为整张图片中灰度值大于 t_1 的像素占 1%的阈值。由图 2.3 的灰度拉伸线性变换曲线可知，当灰度大小小于灰度中间值 127.5 时，拉伸之后的灰度大小比原灰度大小小；当灰度大小大于 127.5 时，拉伸之后的灰度大小比原灰度大小更大。因此，灰度变换处理之后原图像相对暗的部分更暗，相对亮的部分变得更亮，由此来增强图像的亮暗的对比度，使图像亮暗变得更加明显，图片变得更加清楚。因此，经过灰度拉伸处理之后的图像如下图所示，



图 3.4 灰度拉伸后车辆图像

由图 3.4 可见，灰度拉伸之后的图像比灰度拉伸之前的图像更清楚，牌照部位更加明显，非牌照部位的无效部分噪声变小，牌照区域与非牌照区域的对比度增加，为之后的边缘提取提供了很好的条件。

2.5 本章小结

本章首先介绍了车辆牌照识别系统的构成。首先介绍了车辆牌照识别系统的组成部分，分别为硬件系统与软件系统。硬件系统主要由摄像机与照明装置构成，硬件系统的任务主要是对车辆信息进行采集，获得质量较高的车辆图像，由于本文主要研究的是系统的软件部分，所以并未对硬件系统进行详细的研究与说明。系统的软件部分主要由计算机语言来完成，本文选取了方便操作的 MATLAB 来研究与分析。本章对 MATLAB 的优点进行了详细的说明，包括编程效率高、方便使用、移植性与开放性较好、方便的绘图功能等。软件系统主要负责对拍摄到的图像进行处理，过程包括灰度化、灰度拉伸、边缘提取、二值化等。然后详细介绍了智能车牌识别系统的预处理阶段，其中详细介绍了车辆图像灰度化、灰度拉伸两个过程，其中，灰度变换采用线性函数变换来进行灰度大小的拉伸，使得图像的灰度大小的范围变大，目标区域和背景区域的对比度加大，为之后的车辆图像处理奠定了很好的基础。

第三章 车辆图像的平滑处理

3.1 图像平滑概述

图像灰度拉伸之后的图像仍然还有很多独立的噪点，在车辆边缘提取之前，如果没有很好的消除多余的噪声，将会对车辆边缘提取的准确度产生很严重的干扰。为了去除噪声的干扰，在车牌识别算法中，图像平滑是最常使用的方法。

图像平滑也被称为“模糊处理”，图像平滑经常被用来对图片进行去噪的处理。图像平滑最常用的方法为图像滤波，它的主要目的是在不影响目标区域的清晰度的情况下对图片进行去噪，减少噪声对图片的影响，并且还要求处理之后的图片更加清晰。

图像平滑最常用的方法是空域滤波，空域滤波主要采用平均法，即求出邻域像素内的平均亮度值，因此，邻域的大小决定了平滑处理的效果的好坏，邻域越大，平滑的效果越好，但是邻域过大也会使边缘信息损失更大，从而使输出的图像变得模糊。最常用的图像滤波的方法有均值滤波、中值滤波、高斯滤波等。常见的牌照识别系统进行平滑滤波时运用的是中值滤波，以下是本文对中值滤波算法进行的研究与算法改进。

3.2 传统中值滤波的图像平滑方法

中值滤波的原理是：定义一个以某个像素为中心点的正方形区域 F_{jk} ，然后将 F_{jk} 邻域中每个点的灰度大小排序，取所有灰度值的中间大小作为中心点的灰度大小， F_{jk} 邻域被称为窗口；将窗口在图中的各点进行移动，可以将每个点的灰度大小重新赋值。在二维的车辆图像中，一般取特定大小的二维窗口，将窗口中的点的灰度大小进行排序，生成二维数组 $\{F_{jk}\}$ ，这个二维数组是单调的。二维中值滤波函数 $G(i, y) = Mid\{F_{ij}\}$ ，其中， $Mid\{\cdot\}$ 表示窗口中灰度大小的中间值。

在常见的牌照识别系统中，窗口值的大小通常选为 3 或 5。根据滤波效果的好坏可以确定窗口值的大小。本论文选择的窗口大小为 3，图像平滑的效果如下图 3.1 所示。



图 3.1 中值滤波后的车辆图像

由图可见，利用中值滤波进行图像平滑，可以将图片中的噪声很好的消除。但是，由于光照强度不同导致夜间车辆图像各像素点灰度值差距较大，利用中值滤波进行图像平滑导致滤波之后的灰度值变化较大，图像有些失真，尤其是车牌区域，字符的清晰较滤波之前反而变得更加模糊。因此，中值滤波运用于夜间车辆识别系统中还存在一定的缺陷。

3.3 改进的中值滤波与高斯滤波相结合的算法

针对中值滤波对于夜间车辆图像的平滑作用不是很明显，车牌区域失真的问题，本文提出一种新的滤波方法，首先利用高斯滤波对图像的像素点附近邻域的灰度值进行相应的加权平均，这样能有效的消除近似高斯噪声的噪声部分，然后对高斯滤波之后的图像采取均值滤波处理。

引入高斯滤波函数为

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

高斯滤波的原理为：对高斯函数进行离散化，将离散点上的高斯函数值当作权值，对图像的灰度矩阵的每个像素点的灰度值进行加权平均，令矩阵中心点的灰度大小等于加权之后的平均灰度大小。

假设将高斯滤波函数离散化的离散高斯卷积核为 H ， H 的维数为 $(2k+1) \times (2k+1)$ ， H 的计算方法为

$$H_{i,j} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(i-k-1)^2+(j-k-1)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.1)$$

其中, 式(3.1)中, σ 为方差, k 为核矩阵的维数。为方便分析, σ 取值为 1, 当 $k=1$ 时, H 的维数为 3, 即窗口大小为 3。所以, 所产生的核矩阵为

$$H = \begin{bmatrix} 0.0585 & 0.0965 & 0.0585 \\ 0.0965 & 0.1529 & 0.0965 \\ 0.0585 & 0.0965 & 0.0585 \end{bmatrix}$$

由于进行加权计算时所有的加权系数之和为 1, 因此需要对高斯核矩阵进行归一化处理, 使得权值和等于 1。因此 H 归一化之后为

$$H = \begin{bmatrix} 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \\ 0.1238 & 0.2043 & 0.1238 \\ 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \end{bmatrix}$$

利用核矩阵 H 对车辆图像进行平滑滤波, 得到的处理后的图像为



图 3.2 高斯滤波后的车辆图像

由上图 3.2 可见, 经过高斯滤波之后的车辆图像噪声明显减少, 车辆图像的车牌区域的边缘清晰度提高, 便于之后的牌照区域的提取, 并且车辆牌照的字符区域比中值滤波之后的牌照区域更加清晰。针对高斯滤波对不含边缘信息区域的去噪效果不明显的特点, 将高斯滤波之后的车辆图像再次进行中值滤波, 处理过后的效果如图 3.3 所示,

中值滤波后



图 3.3 中值滤波效果图

由图 3.3 可见，对高斯滤波之后的车辆图像再次进行中值滤波处理，图像的噪声点明显减小，车辆牌照的字符区域无明显变化，非车牌区域的干扰信息明显减少，为接下来的边缘提取去除了背景区域的影响。实验表明，改进后的平滑滤波方法可以明显的改善传统的中值滤波方法对于夜间图像处理的不足，经过多次实验的结果总结，该方法有效可行。

3.4 实验结果的比较与分析

通过对传统的中值滤波图像平滑算法和改进的两种滤波方法相结合的研究，从直观来看，改进的高斯滤波与中值滤波相结合的算法的平滑效果较好。为了客观的证明新算法的有效性，本文采用客观的参考标准来衡量，分别为峰值信噪比（PSNR）和均方误差（MSE），详细定义如下：

$$\text{PSNR} = 10 * \lg \frac{255^2 \times m \times n}{\sum_i \sum_j (f(i,j) - f^*(i,j))^2}$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum_i \sum_j [f(i,j) - f^*(i,j)]^2}{m \times n}$$

其中， $f(i,j)$ 为原图像的像素值， $f^*(i,j)$ 为平滑后的图像的像素值， m, n 为图像的尺寸。通过对实验库中 300 张图像的灰度图像进行图像平滑后，获取算法处理之后的图像，计算出标准的参数值。图 3.4 为三种算法处理后的输出图像的峰值信噪比的值。

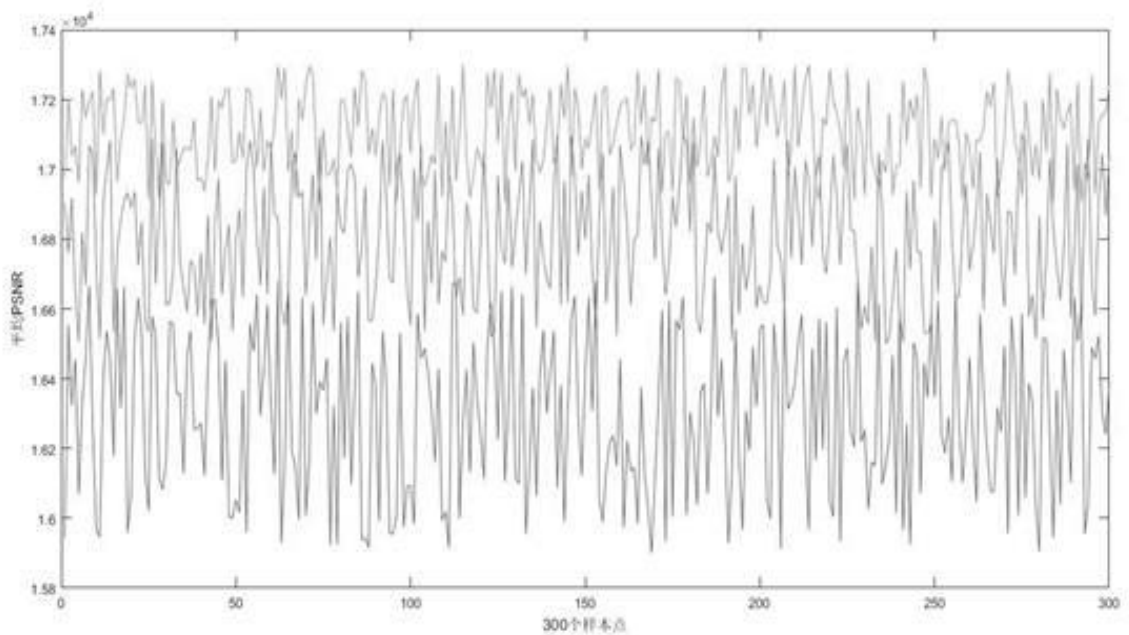


图 3.4 三种算法的输出图像的峰值信噪比

在图 3.4 中，峰值信噪比最高的曲线为高斯滤波与中值滤波相结合的算法，其次为高斯滤波算法，峰值信噪比最低的曲线为中值滤波。图 3.5 为三种算法输出图像的均方误差。

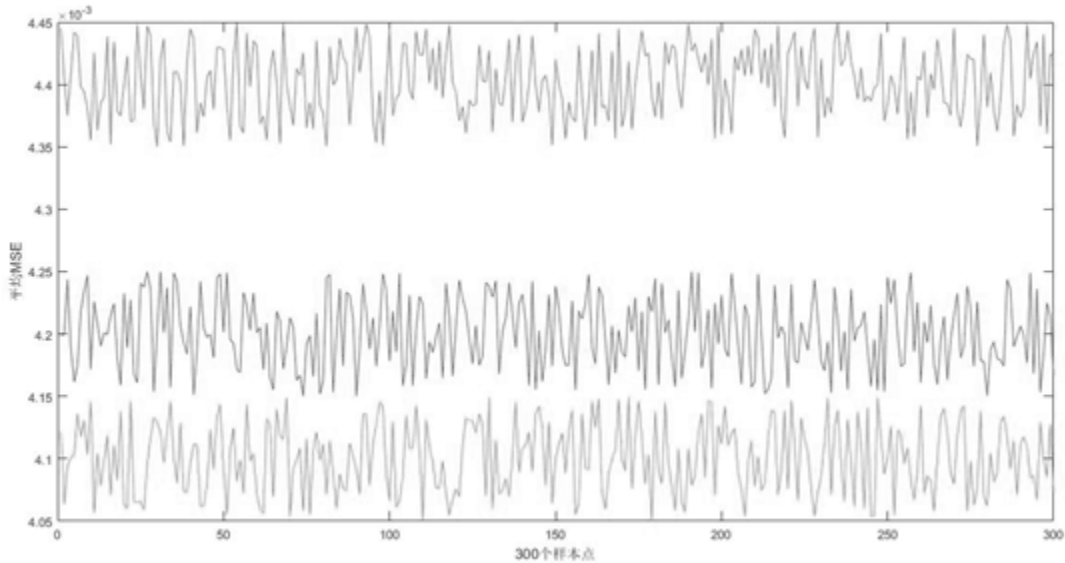


图 3.5 三种算法的输出图像的均方误差

在图 3.5 中，均方误差最大的算法为高斯滤波算法，其次为中值滤波算法。由图 3.5 可见，均方误差最小，即降噪效果最好的算法为高斯滤波与中值滤波相结合的算法。以下是针对这三种算法对 300 张图像的平均指标进行比较。

表 3.1 各算法输出图像平均指标比较

算法	平均 PSNR	平均 MSE
中值滤波	15795	0.0042
高斯滤波	16879	0.0044
两种滤波结合	17078	0.0041

由表 3.1 可以看出，中值滤波的平均峰值信噪比最低，平滑效果较中值滤波和高斯滤波相结合的算法较差。因此，改进的算法对于含有类似高斯噪声的车辆图像的去噪效果较好。

3.5 本章小结

本章节详细研究了智能车牌识别系统的图像平滑过程。首先对传统的图像平滑算法进行了研究。针对传统算法的不足，本文提出了采用改进的图像平滑方法，即高斯滤波与经典的滤波方法相结合的方法，改进了传统的滤波方法平滑灰度值变化较大的部分的不足，且经过实验数据的结果可得，改进之后的平滑滤波的方法对于灰度值变化较大的图像效果较好，弥补了传统的平滑滤波方法的不足。

第四章 车牌边缘提取

4.1 小波变换的定义

若函数 $\varphi(x) \in L^2(R)$ 满足：

$$C_\varphi = \int_R \frac{|\hat{\varphi}(w)|^2}{|w|} dw < \infty$$

令

$$\varphi_{a,b}(x) = |a|^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

则函数 $f(x) \in L^2$ 的小波变换定义为：

$$W_f(a,b) = \langle f, \varphi_{a,b} \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(x) \varphi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx$$

相应的反变换公式为

$$f(x) = C_\varphi \iint_{R^2} W_f(a,b) \varphi_{a,b}(x) \frac{da db}{a^2}$$

式中， $\hat{\varphi}(w)$ 是 $\varphi(x)$ 的傅里叶变换^[35]。

由小波变换的定义可知，小波变换的特点如下：

(1) 小波变换可以看成是窗口大小自适应变化的加窗 Fourier 变换， $\varphi_{a,b}(t)$ 的时窗宽度减小，当 a 值减小时，时间分辨率高， $\varphi_{a,b}(t)$ 的频谱向高频方向移动，从而对高频信号作分辨率较高的分析；当 a 值增大时， $\varphi_{a,b}(t)$ 的时窗宽度增大，时间分辨率低， $\varphi_{a,b}(t)$ 的频谱向低频方向移动，从而对低频信号进行分辨率较低的分析。小波变换可以由粗及细地逐步观察信号^[9]。

(2) 小波变换可以看作是由基本频率特性为 $\varphi(x)$ 的带通滤波器在不同尺度下对信号作滤波的结果。由傅里叶变换的尺度特性可知这组滤波器具有品质因数恒定的特点，即相对带宽（带宽与中心频率之比）恒定。其中， a 越大，频率越低^[10]。

(3) 适当的选择基小波，使 $\varphi(t)$ 在时域上为有限支撑， $\varphi(w)$ 在频域上比较集中，就可以使 W_f 在时域、频域都具有表征信号局部特征的能力，因此有利于检测信号的瞬态或奇异点^[47]。

由以上小波变换的特性可以看出，小波变换在图像分析领域有着很大的优势。

4.2 Mallat 小波快速分解算法

4.2.1 Mallat 小波分解

Mallat 在 1986 年提出多分辨率分析, 假设 $\{V_j: j \in \mathbb{Z}\}$ 是空间 $L^2(R)$ 中的一系列闭子空间, 如果:

- 1) 渐进完全性: $\bigcap_{j \in \mathbb{Z}} V_j = \{0\}$; $\lim_{j \rightarrow \infty} V_j = \text{closure}(\bigcup_{j=-\infty}^{+\infty} V_j) = L^2(R)$
- 2) 二进伸缩相关性: $f(x) \in V_j \leftrightarrow (2t) \in V_{j+1}$
- 3) 平移不变性: $f(t) \in V_j \rightarrow f(t - k) \in V_j$
- 4) Riesz 基存在性: 存在 $\phi(t) \in V_0$, 使得 $\{\phi(t - k)\}_{k \in \mathbb{Z}}$ 构成 V_0 的 Riesz 基。
- 5) 单调性: $\dots \subseteq V_{j-1} \subseteq V_j \subseteq V_{j+1} \subseteq \dots$

则称 $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 为 $L^2(R)$ 的一个多分辨率分析。其中, $\phi(t)$ 称为多分辨率分析的尺度函数或父函数。

多分辨率分析的三角分解的小波分解树如下图 4.1 所示, 其中, S 表示原始信号占据的总频带空间, 将 S 进行一层分解, 分解成两个子空间: 低频空间 cA_1 和低频空间 cD_1 。然后再将低频空间 cA_1 进行二层分解为两个子空间, 分别为 cA_2 和 cD_2 , 依次类推, 其小波分解树如下图所示。

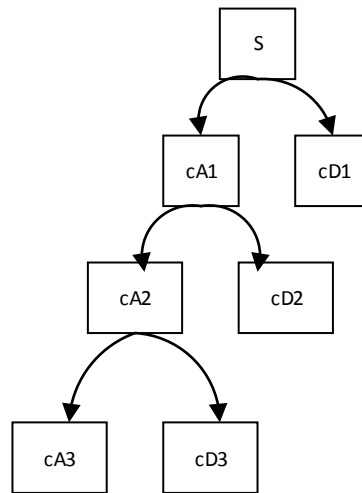


图 4.1 小波分解树

从图 4.1 可以看出, 多分辨率分析是对信号的低频部分二次分解, 分解成高频部分和低频部分的算法, 不考虑高频部分, 则原始信号总频带空间 S 为: $S = cA_3 + cD_3 + cD_2 + cD_1$ 。

1988 年 Mallat 根据小波变换的多分辨率分析特性, 提出了小波变换分解与重构的快速算法, 称为 Mallat 算法^[46], 下面以一维的 Mallat 算法为例研究 Mallat 小波分解的过程。

设 $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 为 $L^2(\mathbb{R})$ 的多分辨率逼近, 由以上分析可得

$$\begin{cases} V_j \oplus W_j = V_{j-1} \\ V_j \in V_{j-1} \end{cases} \quad W_j \in V_{j-1} \quad (4.1)$$

$\varphi(t)$ 为尺度函数, 令 $\varphi_j(x) = 2^{-j}\varphi(2^{-j}x)$, 则 V_j 的规范正交基为:

$$\varphi_{j,n} = 2^{\frac{j}{2}}\varphi_j(2^{-j}x - n) \Big|_{n \in \mathbb{Z}}$$

$\psi(x)$ 为小波函数, 令 $\psi_j(x) = 2^j\psi(2^{-j}x)$, 则 W_j 的规范正交基为:

$$\psi_{j,n} = 2^{\frac{j}{2}}\psi_j(2^{-j}x - n) \Big|_{n \in \mathbb{Z}}$$

且

$$\begin{cases} 2^{\frac{j}{2}}\varphi_j(2^{-j}x) \in V_j \in V_{j-1} \\ 2^{\frac{j}{2}}\psi_j(2^{-j}x) \in W_j \in V_{j-1} \end{cases} \quad (4.2)$$

根据式 (4.2), 可以用 V_{j-1} 空间的规范正交基表示 V_j 空间的基函数, 即

$$2^{-\frac{j}{2}}\varphi_j(x - 2^jn) = \sum_k \langle 2^{\frac{j}{2}}\varphi_j(x - 2^jn), 2^{j-\frac{1}{2}}\varphi_{j-1}(x - 2^{j-1}k) \rangle \cdot 2^{-\frac{j-1}{2}}\varphi_{j-1}(x - 2^{j-1}k)$$

令 $j = 1$, 则有

$$h_k = \langle 2^{\frac{1}{2}}\varphi_1(x - 2n), \varphi_0(x - k) \rangle$$

可以证明, 对任意 j , 上式均成立, 因此

$$2^{\frac{j}{2}}\varphi_j(x - 2^jn) = \sum_k h_{k-2n} \cdot 2^{-j-\frac{1}{2}}\varphi_{j-1}(x - 2^{j-1}k)$$

将 $\varphi_j(x) = 2^{-j}\varphi(2^{-j}x)$ 代入上式, 可得:

$$2^{-\frac{j}{2}}\varphi(2^{-j}x - n) = \sum_k h_{k-2n} \cdot 2^{-j-\frac{1}{2}}\varphi(2^{-(j-1)}x - k)$$

$$h_{k-2n} = \langle 2^{-\frac{j}{2}}\varphi_1(2^{-j}x - n), 2^{-j-\frac{1}{2}}\varphi(2^{-(j-1)}x - k) \rangle \quad (4.3)$$

$$2^{\frac{j}{2}}\psi_j(x - 2^jn) = \sum_k g_{k-2n} \cdot 2^{-j-\frac{1}{2}}\psi_{j-1}(x - 2^{j-1}k)$$

$$2^{-\frac{j}{2}}\psi(2^{-j}x - n) = \sum_k g_{k-2n} \cdot 2^{-(j-1)/2}\psi(2^{-(j-1)}x - k)$$

$$g_{k-2n} = \left\langle 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}x - n), 2^{-(j-1)/2} \varphi(2^{-(j-1)}x - k) \right\rangle \quad (4.4)$$

根据式(4.1)，有

$$2^{-\frac{j}{2}} \varphi(2^j x - n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left\langle 2^{\frac{j}{2}} \varphi(2^{-j}u - n), 2^{-\frac{(j-1)}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}u - k) \right\rangle \cdot 2^{\frac{j+1}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}x - k) \quad (4.5)$$

$$2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^j x - n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left\langle 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}u - n), 2^{\frac{(j+1)}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}u - k) \right\rangle \cdot 2^{-\frac{j-1}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}x - k) \quad (4.6)$$

将式(4.3)和式(4.4)定义的 h_{k-2n} 和 g_{k-2n} 代入式(4.5)和式(4.6)得

$$2^{-\frac{j}{2}} \varphi(2^{-j}x - n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_{k-2n} \cdot 2^{-\frac{j-1}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}x - k) \quad (4.7)$$

$$2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}x - n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_{k-2n} \cdot 2^{-\frac{j-1}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}x - k) \quad (4.8)$$

因此，由式(4.7)可得

$$\left\langle f(u), 2^{-\frac{j}{2}} \varphi(2^{-j}u - n) \right\rangle = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_{k-2n} \left\langle f(u), 2^{-\frac{j-1}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}u - k) \right\rangle$$

即

$$a_n^j = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_{k-2n} a_k^{j-1} \quad (4.9)$$

由式(4.8)可得

$$\left\langle f(u), 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}u - n) \right\rangle = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_{k-2n} \left\langle f(u), 2^{-\frac{j-1}{2}} \varphi(2^{-(j-1)}u - k) \right\rangle$$

即

$$d_n^j = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_{k-2n} a_k^{j-1} \quad (4.10)$$

令 $\bar{h}_n = h_{-n}$, $\bar{g}_n = g_{-n}$, 则式(4.9)和式(4.10)变为

$$a_n^j = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \bar{h}_{2n-k} a_k^{j-1} \quad (4.11)$$

$$d_n^j = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \bar{g}_{2n-k} a_k^{j-1} \quad (4.12)$$

式(4.11)和式(4.12)就是一维小波变换的 Mallat 算法，其过程如下图 4.2 所示

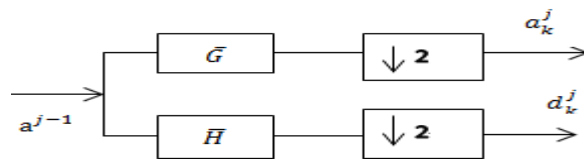


图 4.2 小波变换的 Mallat 算法

其中, $\downarrow 2$ 表示 1/2 抽样, 即从 a_k^{j-1} 到 a_k^j 和 d_k^j , 样点数减少一半。Mallat 的二维分解与一维分解类似, 如图 4.3 所示,

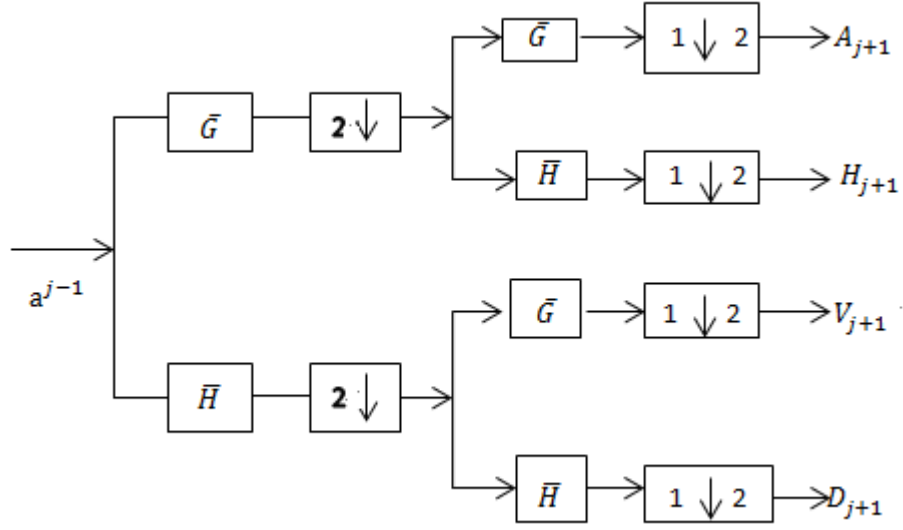


图 4.3 二维小波变换的 Mallat 算法

图 4.3 中 \bar{G} 为低通滤波器, \bar{H} 为高通滤波器, $2\downarrow$ 为列抽样, $1\downarrow 2$ 为行抽样。如图所示, 输入图像经过小波变换之后被分为四个分量, 其中 A_{j+1} 为平滑分量, 表示垂直方向的低频分量和水平方向的低频分量; H_{j+1} 为水平分量, 表示水平方向的低频分量和垂直方向的高频分量; V_{j+1} 为垂直分量, 表示水平方向的高频分量和垂直方向的低频分量; D_{j+1} 为对角线分量, 表示水平方向的高频分量和垂直方向的高频分量。

4.2.2 基于 Mallat 小波变换的车牌边缘提取改进算法

传统的边缘检测算子有 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子和 Canny 算子。但是由于车牌图像的光照条件不一, 导致以上的边缘检测算法无法准确的实现车牌定位, 有时噪点将随着检测算子扩散, 使以上的边缘检测出的信息中含有很多干扰信息, 因此以上的边缘检测算法存在很大的不足, 如何从车辆图片中精准的确定车牌的边缘是很困难的^[1]。

由于以上方法在光照强度不足时不能准确的识别出车辆边缘, 本文提出基于 Mallat 小波变换的车牌边缘提取方法。由于车辆牌照区域的纵向纹理较多, 所以可以将小波变换多分辨率分析的特性运用于边缘提取中, 将车辆图像分为高频区域与低频区域。由车辆牌照图像的特点可知, 车牌图像的垂直方向比水平方向包含的信息更加丰富, 尤其是车辆牌照的字符区

域包含的信息尤为丰富，给牌照部分的定位提供了丰富的信息，因此，牌照部分包含在垂直边缘的高频部分中。

因此，可以利用 Mallat 算法对车辆图像进行分解，可以反映出车牌图像在不同方向上的高频分量与低频分量。如图 4.4 所示是对采集到的图片运行 Mallat 小波分解的效果图。

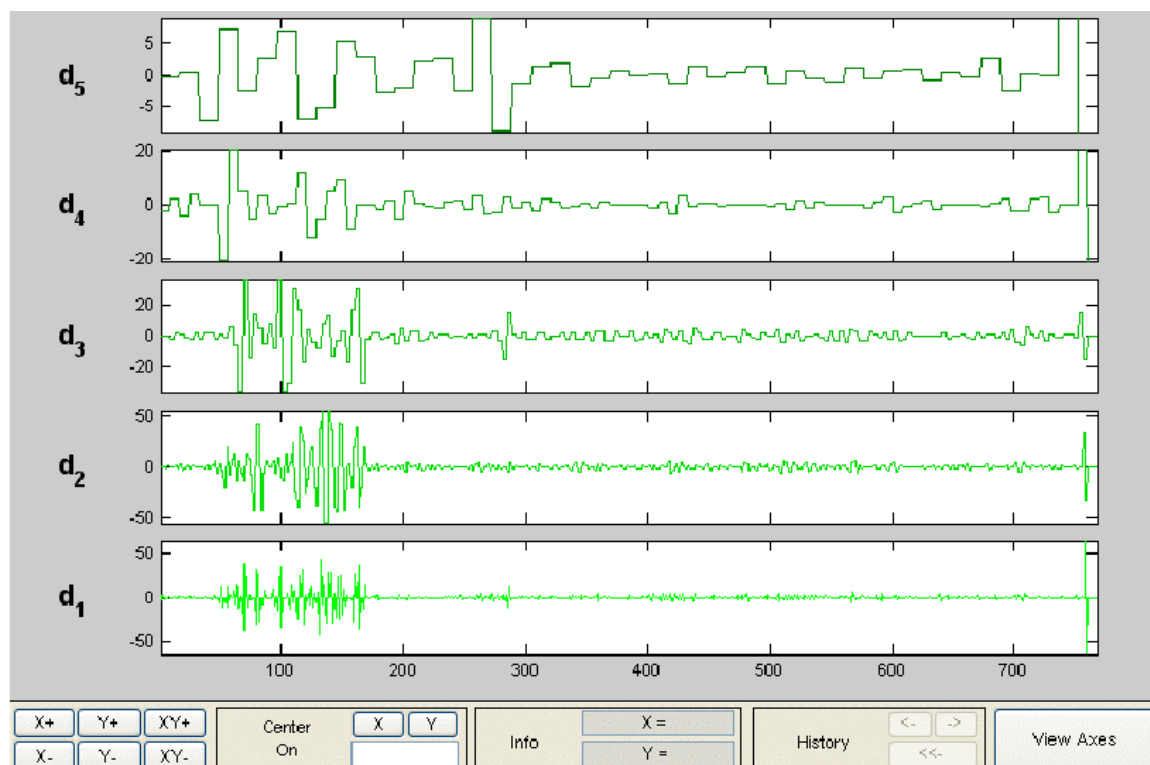


图 4.4 车辆图像 Mallat 小波 5 层分解效果图

图中， d_1 为车辆图像 Mallat 小波一层分解图，同理，其余分别为 2 至 5 层分解图，其中，横坐标为图像的尺度分布，纵坐标为图像所包含的信息分量。图中的频率较高的区域即为牌照所在范围，频率较低的部分即为背景部分。由图可知，Mallat 进行三次分解时，牌照部分的高频与低频之间的界限十分明显，而 Mallat 四层和五层分解时，牌照部分的细节信号的干扰越来越严重，且牌照区域与背景区域的分界线变得越来越不清晰。因此，对于采集到的图像，采取三层 Mallat 小波分解进行牌照的准确定位是最合适的。

对 Mallat 小波的第三层分解信号进行相似信号的提取，如图 4.5 所示，



图 4.5 第三层分解信号的相似信号提取

经过 Mallat 小波快速分解后的频率较高的部分可以准确的体现出牌照所在的区域，尤其是水平方向的频率较低的分量和垂直方向的频率较高的分量。对车辆图像运用 Mallat 小波分

解之后的效果如下图 4.6 所示。



图 4.6 Mallat 算法处理后的效果图

由图 4.6 可见，牌照区域与其他区域分离成功，为白色长方形区域，和其他的连通区域存在明显的区别，车牌区域比其他区域更长。

4.2.3 实验结果的分析与比较

为了证明 Mallat 小波快速分解算法在车牌边缘检测方面的优势，本文将该算法与传统的 Sobel 算子的边缘提取算法进行比较，图 4.7 为 Sobel 算子^[22]进行边缘检测的车牌边缘图片，



图 4.7 Sobel 边缘检测图

由图 4.7 和图 4.6 可知，Mallat 小波快速分解算法在边缘检测时，可以较好的保留车辆牌

照区域中字符的边缘，而 Sobel 算子在边缘检测时容易丢失字符区域的边缘信息。为了证明 Mallat 算法的优越性，借助连通成分参数衡量算法的好坏，其中，4-连通成分是指在 4-邻域内是否有与它连通的像素，如果有就称其为一个 4-连通成分，如图(a)所示。同理，8-连通成分是指在 8-邻域内是否有与它连通的像素，如图(b)所示，

	$[i-1, j]$	
$[i, j-1]$	$[i, j]$	$[i, j+1]$
	$[i+1, j]$	

(a) 4-邻域

$[i-1, j-1]$	$[i-1, j]$	$[i-1, j+1]$
$[i, j-1]$	$[i, j]$	$[i, j+1]$
$[i+1, j]$	$[i+1, j]$	$[i+1, j+1]$

(b) 8-邻域

图 4.8 邻域结构图

其中，4-连通成分数为 B ，8-连通成分数为 C ， C/B 的大小反映了边缘线形连接程度， C/B 越小，表明边缘线形连接程度越好，证明提取的边缘效果越好^[1]。根据上述原理对图 4.6 和 4.7 进行边缘计算，得到的边缘检测统计数据如表 4.1 所示，

表 4.1 边缘图的统计数据表

算法	B	C	C/B
Sobel	183	130	0.7104
Mallat	305	135	0.4426

因此，由表 4.1 可以看出，本论文提出的 Mallat 小波变换算法的 C/B 较小，表明其边缘线形连接程度较好，效果较佳，车辆边缘提取的效果较好。

4.3 基于 Mallat 小波变换的车牌边缘提取改进算法的应用

4.3.1 车牌边缘检测

通过以上对 Mallat 小波快速分解算法的研究，将其运用于车牌边缘检测。对图像平滑后的车辆图像进行三层小波分解，可以很好的将车辆图像分为高频的有效信息区域与低频的无效信息区域。图 4.9 为车辆图像进行三层 Mallat 小波快速分解的结果。

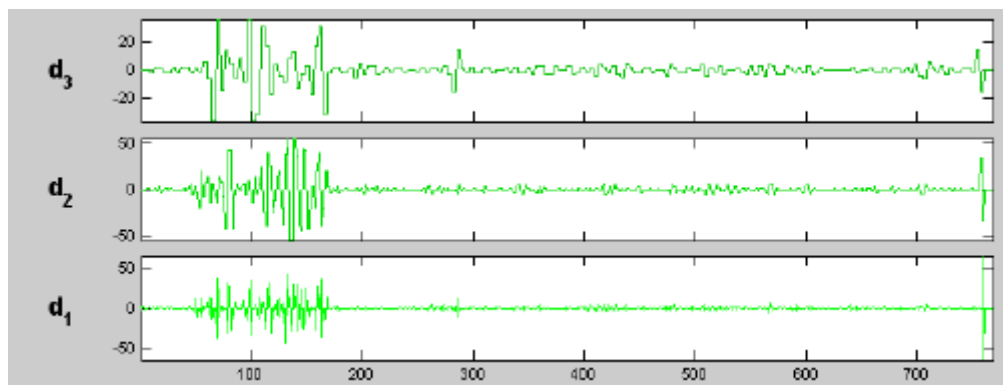


图 4.9 车辆图像三层小波分解图

根据图 4.9 所示的三层小波分解图，将图中的高频区域提取出来，得到如图 4.10 所示的车辆边缘提取图，

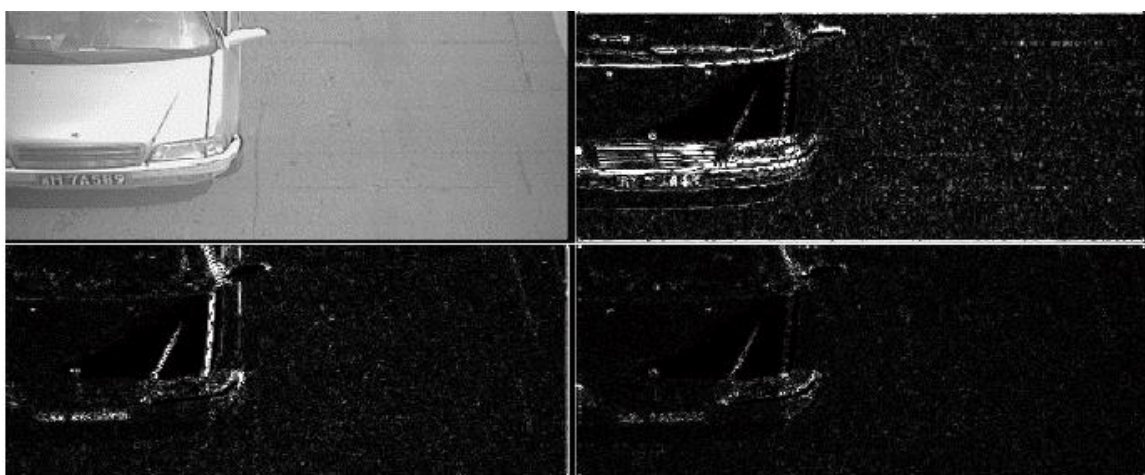


图 4.10 车辆图像三层边缘提取图

4.3.2 边缘连通处理

由图 4.10 可见，经过 Mallat 小波分解获取的边缘图像中，牌照区域与背景区域的差别显而易见，但是牌照部分获取的边缘部分不是连续的长方形区域。所以，需要对小波变换之后的边缘图像进行连通处理，使边缘检测之后的边缘部分变成连通的整体，有助于之后的车牌准确定位。

连通处理采用的方法是 MATLAB 自带的工具箱中的开运算和闭运算对边缘提取后的车牌图像进行边缘连通处理。开运算是指对图像首先进行一次腐蚀的过程，然后再对其进行膨

胀，开运算主要目的是改变物体在纤细处的分离，平滑物体的边缘，并且能并不明显的改变物体的面积。闭运算与开运算的处理过程相反，它是先进行一次膨胀的过程，然后再进行一次腐蚀的过程，主要目的是能够排除小型的黑色区域。

对车辆边缘提取之后进行形态学处理，首先一次闭运算，将水平方向上的边缘部分处理成为连通的部分。然后在此基础上再进行两次开运算，使得牌照部分与其他非牌照部分分离开来。经过两次处理之后，连通处理之后的牌照部分和其他含有边缘的部分成为白色的连通区域，如图 4.11 所示。由图可见，牌照部分与背景部分的连通区域的大小明显不同，为提取牌照部位做了很好的准备工作。

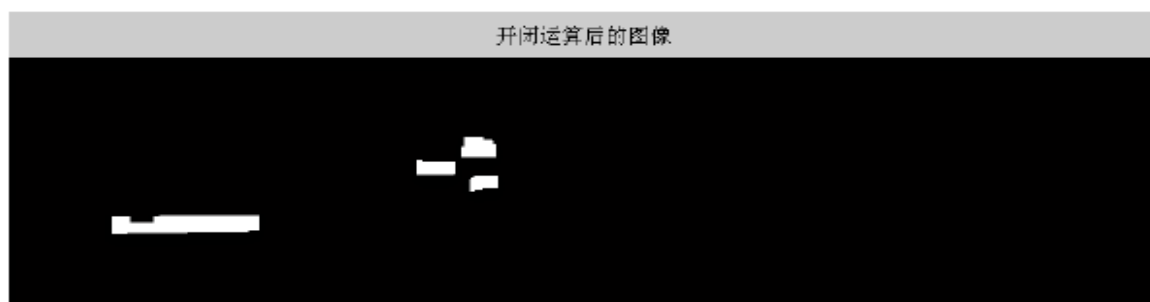


图 4.11 开闭运算后的车辆图像

4.3.3 提取车牌区域

在经过上述的开闭运算之后并没有定位到车牌所在的具体位置，还需要对车牌所在的位置进行提取，去除背景区域。

车牌区域定位的步骤为：将连通处理之后的图像分为几个部位进行特征提取，求出每块连通区域的特征参数，再得到每块的特征数之后，将每块的特征参数与我国标准的车牌的特征参数比较，然后取出相似度最高的区域作为车牌区域。本论文根据车牌的宽和高的比例特征来对牌照部分进行提取。

我国车牌的标准大小为宽 440mm, 高 140mm, 宽和高之比为 $440/140 \approx 3.15$ 。因此，在开闭运算之后的图像中提取出宽和高的比例最接近于 3.15 的区域作为车牌所在区域。由牌照的宽高的比例特征提取出的车辆牌照区域如下图 4.12 所示。



图 4.12 提取出的车牌区域效果图

由图可见，在经过一系列的处理之后，车辆图像的背景区域已经被全部去除，只剩下含有有效信息的车牌区域。由于边缘提取时无法准确定位车牌的边缘，只能对边缘进行粗定位，

使得所获取的车牌区域的边缘比实际的车牌边缘较大。因此，我们还需要对上图进行精确定位，去除不包含字符的边界部分，以便于后续的车牌字符识别阶段的处理。以下是对模糊确定出的车辆牌照部分进行精确定位的研究。

4.3.4 车牌精确定位

车牌图像经过连通之后获得了车辆牌照的大体区域，然后需要精确的确定车辆牌照中字符所在的位置。在车牌定位算法中，经常被应用的牌照精确定位的算法有投影法、利用牌照纹理特征进行定位的算法、利用图像信息差进行定位的算法和利用车辆牌照的颜色进行定位的算法等，其中，投影法可以将车辆牌照部分与非牌照部分分隔出来，是最常被使用的方法，也是一种很实用的方法^[46]。使用其余的算法来确定牌照区域时也需要借助投影法来对车牌中的字符进行切分。

由以上牌照的二值化图像可以看出，车辆牌照部分在横向的灰度具有十分明显的变化的特点，在纵向的灰度值大小具有突出的谷峰相连续的特点，因此，根据牌照部分灰度值突变的特点，可以对以上提取出的牌照图像进行准确的定位，确定出字符所在的区域。字符精准定位的过程包括车牌图像的横向定位和车牌图像的纵向定位。

由车辆牌照区域的灰度图可以看出车牌图像具有如下特点：车辆牌照的字符区域与非车牌区域的灰度值差别较大，且车辆牌照部分由于字符的存在使得水平方向的灰度值的跳变较为频繁。因此可以使用水平方向的一阶差分运算，将灰度大小变化的频率较高的部分突出。

对以上提取出的车牌图像 $f(i, j)$ 进行水平方向上的一阶差分之后变为 $g(i, j)$ ，即：

$$g(i, j) = |f(i, j) - f(i, j + 1)|$$

其中， $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ； m 为图像的高度；

$j = 1, 2, 3, \dots, n$ ； n 为图像的宽度。

将一阶差分之后的 $g(i, j)$ 的灰度大小沿水平方向累加后得到的 $T(i)$ 如下图所示，其中

$$T(i) = \sum_{j=1}^n g(i, j)$$

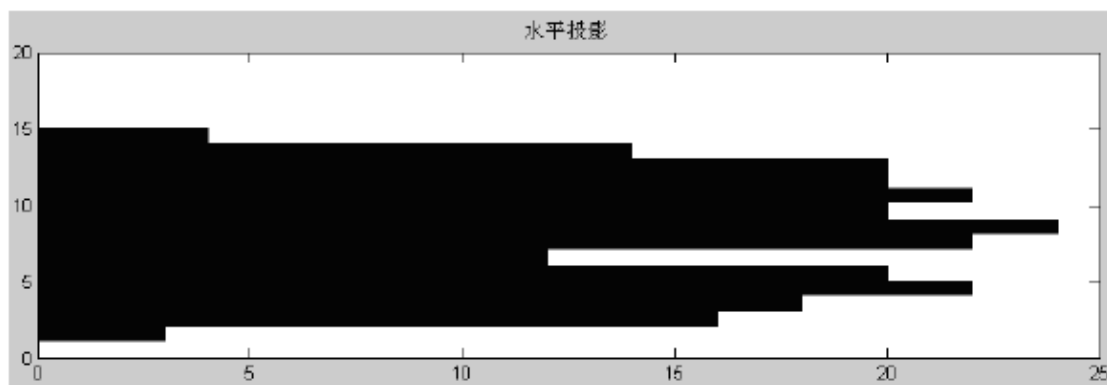


图 4.13 车牌区域水平投影图

由上图可知,图像中的字符区域存在于2至15之间,但是水平方向的投影图还不够平滑,需要将图 4.13 进行平滑处理,否则会对之后的牌照字符区域的确定有较大的影响。因此,利用均值法对水平方向的投影图进行平滑处理,其公式为

$$T(i) = (T(i-1) + T(i) + T(i+1))/3$$

经过平滑后的投影图如下图所示,由于牌照的背景区域的外围边框部分在水平方向和垂直方向上都是水平的,在车辆边缘提取的时候牌照的边框已经被去除。因此,通过投影图确定车牌区域的字符界限时,采用从上往下搜索的方法,第一个不为零的点即为字符区域的上边界。同理,从下往上搜索时,第一个不为零的点即为字符的下边界。对车辆牌照照片水平投影后的投影图如图 4.14 所示。

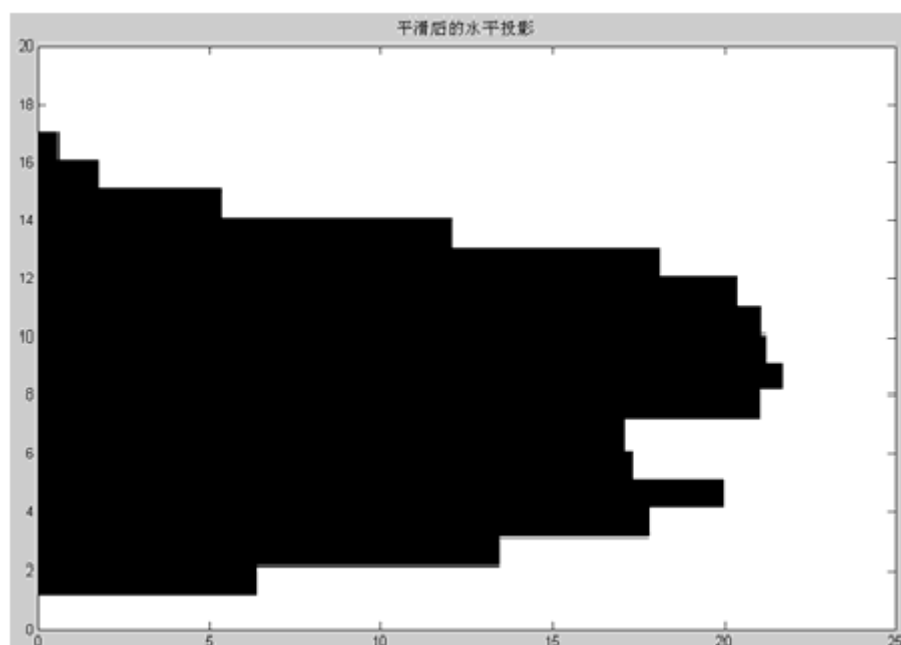


图 4.14 平滑之后的水平投影图

平滑后的水平投影图如图所示,图中顶部和底部之间没有干扰信息,因此,可以把从下往上第一个不为零的点作为字符区域的下边界。同理,将从上往下第一个不为零的点作为字

符区域的上边界。通过对车牌区域的水平投影，我们去除了上下边界的无效区域，去除无效区域的车牌图像如下图所示，



图 4.15 水平投影处理后的字符区域

车辆牌照字符区域的纵向定位方法和横向定位方法相同，先对车辆牌照区域进行垂直方向的差分运算，再对差分后的图像进行垂直方向上的投影，最后利用均值法对投影图平滑处理，平滑处理的投影图如下图 4.16 所示，

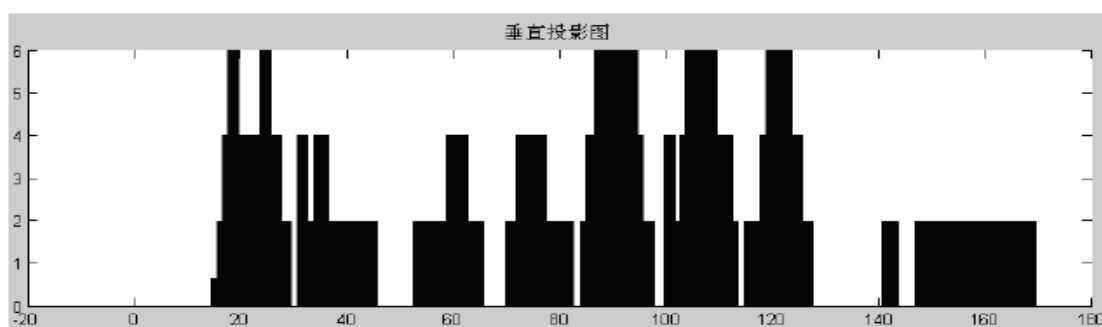


图 4.16 平滑后的垂直投影图

由图可知，平滑后的垂直投影图是一群波峰聚集的投影图，字符所在区域的波峰的峰值比字符之间的间隙的波峰的峰值高很多。因此，可以选取最大峰值的 0.6 作为阈值。将从左向右的第一个大于这个阈值的波峰作为车牌区域的第一个波峰，将这个波峰左边的第一个波谷的左边部分去除。同理，将最后一个大于该阈值的波峰所在区域作为车牌区域的右边界，将这个峰值右边的第一个波谷的右边部分去除。精确定位后的车牌图像如下图所示：



图 4.17 垂直投影处理后的字符区域

4.4 本章小结

本章节主要对车辆边缘提取阶段进行了研究，提出采用 Mallat 提出的小波分解算法，将车牌图像分为明显的高频部分与低频部分，高频部分即为车牌所在的区域。将 Mallat 小波分解算法与传统的 Sobel 算子边缘检测算法进行比较，可以看出 Mallat 小波快速分解算法获得的牌照区域更加完整。牌照区域的定位分为字符部分初步定位与精确定位两个过程。字符部分初步定位利用 MATLAB 工具箱里自带的开运算与闭运算功能，将牌照的字符部分从整个车辆图像中中提取出来。字符部分的精确定位是指将提取得到的牌照字符区域去除边缘，只留

下包含字符的部分。精确定位运用水平方向和垂直方向的投影方法，利用车牌字符区域投影的灰度直方图波峰波谷连续跳变的特点，准确定位字符所在的位置。

通过对本章节的研究，我们已经准确确定了牌照字符所在的区域，去除了车辆图像中其他背景区域，且处理之后的车牌区域清晰可见，噪声明显减小，有利于下一步对字符的研究。

第五章 车牌字符识别

5.1 概述

在精确的找出车牌所在的区域之后，需要将确定好的字符区域切分和识别。由于在模板库中是一个个单个的字符，且现有的技术只能对单个的字符进行字符识别。在完成车牌字符切分之后，牌照字符识别是识别系统过程的最后一步，也是最重要的一步，牌照字符识别的错误将会整个牌照识别系统的失败。因此，人们对于车辆牌照字符识别阶段十分重视。因此，只有将字符区域分割为一个一个的单独的字符，才可以将车牌上的字符识别出来。以下是对这两个过程的详细的研究。

5.2 车牌字符切分

5.2.1 车牌图像二值化

彩色图像灰度化的过程是将图片中的每个点的灰度大小变成 0 或 255，经过灰度化处理之后的彩色图像呈现一张灰色的图片。对获得的灰色图像进行二值化的方法是运用特定的算法求出相应的阈值，将图片中每个点的灰度大小与该阈值的大小比较，根据比较的结果把该像素划分为两类——目标和背景^[31]。经过二值化处理之后，图中的像素点的灰度大小只有 0 和 255 两种大小，不含有其他的灰度大小。二值化处理时，将所有灰度大小大于或等于阈值的图片中的点定义为目标，将灰度大小设置为 255；将所有灰度大小小于该阈值的点定义为背景，将其灰度大小设置为 0。

设经过前面章节处理后的图片为 $f(x,y)$ ，二值化的分割方法为：

$$g(x,y) = \begin{cases} 255, & f(x,y) \geq T \\ 0, & f(x,y) < T \end{cases} \quad (5.1)$$

式(5.1)中 $f(x,y)$ 表示图像中坐标 (x,y) 处的像素值， $g(x,y)$ 表示二值化方法处理后的图像中 (x,y) 坐标处的像素值， T 为二值化的阈值^[45]。二值化的基本过程如下：

- 1) 将获取的图片运用中低通滤波的方法对图像进行预处理，达到削弱或者清除噪声的目的；
- 2) 用算法确定最佳阈值，保证在最佳阈值的分界线下，目标区域与背景区域可以很好的分离开来。

3) 将图片中所有的灰度大小大于求出的阈值的点的灰度大小设为 255, 将所有灰度大小小于这个阈值的点的灰度大小设置为 0。因此, 得到的图片只有黑色和白色两种颜色, 即将图片划分为目标区域和非目标区域两种区域, 这就完成了图片的二值化^[32]。

由于夜间车牌具有光照强度不足, 图像偏暗的特点, 给夜间车牌识别带来一定的难度, 夜间车牌识别的难度主要有:

(1) 光线不足, 车辆快速运动导致采集到的车辆图像具有不清晰, 明暗不均等特点。有时前车尾灯对后面车辆的影响使后车采集到的图像反光强也是夜间识别的难度之一。

(2) 车辆牌照区域的确定受到背景区域中噪声的影响。由于夜间车辆处在背景昏暗的环境当中, 容易出现车牌定位困难, 偏差等问题。

(3) 拍摄角度问题导致的车牌图像难以识别。目前的车辆牌照识别系统的拍摄设备中, 拍摄牌照的角度主要有正上方、右侧方与左侧方。为了提高识别的准确率, 应该确保拍摄设备与车辆牌照的倾斜角度越小越好, 这样才可以提高整个系统识别的准确率。

在完整的车辆牌照识别体系的研究过程中, 二值化效果的好坏对整个系统的影响十分重要。二值化是图像处理的基本技术, 而选取合适方法的分割阈值可以说是图像二值化的关键一步^[13]。对于一幅灰色图像, 确定合适的灰度大小 $t(0 \leq t \leq 255)$, 将目标区域与非目标区域分开, 这个灰度大小 t 称为二值化处理的阈值。二值化算法主要有 Berners 算法、Otsu 算法^[22]。

5.2.2 传统的类间方差 Otsu 算法

Otsu 算法使用一个特定的准则函数作为分类的标准求出二值化的阈值大小^[14]。二值化算法为使整张图片上的点的灰度值在阈值 t 处分割为两类 $C_0 = \{0, 1, \dots, t\}$ 代表背景区域。

设牌照区域进行灰度处理之后的像素总个数为 N , 所有像素点的灰度最大级别为 L , 那么整个图片的灰度大小所在的区间为 $[0, L - 1]$, 灰度值为 i 的像素个数为 n_i , 则 i 的概率为

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

假设阈值为 T , 灰度值为 $[0, T - 1]$ 为 C_0 区域, 灰度值为 $[T, L - 1]$ 为 C_1 区域, 那么 C_0 出现的概率为

$$W_0 = \sum_{i=0}^{T-1} p_i$$

C_1 出现的概率为

$$W_1 = \sum_{i=T}^{L-1} p_i = 1 - W_0$$

所以, C_0 与 C_1 的灰度均值分别为

$$u_0 = \sum_{i=0}^{T-1} ip_i$$

$$u_1 = \sum_{i=T}^{L-1} ip_i$$

整个图像的灰度均值为

$$u = W_0 u_0 + W_1 u_1$$

类间方差定义为

$$\sigma^2 = W_0(u_0 - u)^2 + W_1(u_1 - u)^2$$

令 T 在 $[0, L-1]$ 的范围内, 以步长为 1 依次递增, 当 σ^2 最大时对应的 T 值即为二值化的最佳阈值^[27]。

由于方差衡量的是分布的均匀性问题, 方差值越大, 分布越不均匀, 即图像白色区域与灰色区域的面积差距越大。若将代表背景区域的黑色区域错当成车牌字符区域的白色区域, 将会导致白色区域增多, 从而导致方差变小。因此, 类间方差最大时代表黑色区域错分为白色区域的概率最小, 即当 σ^2 最大时对应的 T 值即为二值化的最佳阈值。这就是类间方差 Otsu 算法的准则^[29]。

经过传统 Otsu 算法处理后得到的二值化图像如图 5.1 所示, 由以上二值化的效果清晰可见, 对于夜间光照强度不足, 车牌反光的车牌图像来说, 传统的二值化效果并不是十分理想, 车牌区域出现字符不清晰等现象。



图 5.1 类间方差 Otsu 二值化效果图

针对类内方差的 Otsu 算法的不足, 有人在传统的 Otsu 算法的基础上做出了一些改进。

以下是对类内方差的 Otsu 算法的详细介绍。

5.2.3 类内方差 Otsu 算法

基于以上类间方差 Otsu 算法，引入类内方差

$$\sigma_1^2 = W_0 u_0^2 W_1 u_1^2$$

令

$$s(t) = \frac{\sigma^2}{\sigma_1^2} \quad (5.2)$$

当式 (5.2) 中 $s(t)$ 最大时，所得到的 T 即为最佳阈值。

下图 5.2 是对类内方差算法进行二值化的效果，由图可见，类内方差算法较之类间方差算法，对于光照不均匀的夜间车牌图像，效果并没有明显的提高。反之，由于该算法较之传统的 Otsu 算法更为复杂，运算效率明显降低。



图 5.2 类内方差 Otsu 二值化效果图

所以，针对上述两种方法处理的效果都不是最佳的情况，本文提出改进的 Otsu 算法，并且由大量实验数据可得，改进的 Otsu 算法不仅运算效率高，二值化效果也得到了明显的提高。

5.2.4 改进的 Otsu 二值化的算法

由大量夜间车牌图像仿真结果表明，由于光照不均等原因的影响，传统的类间方差求最大阈值的方法无法将车牌部位精确的二值化。由大量灰度图像仿真实验表明，传统的 Otsu 算法对于光照不均匀且目标与背景差别较小的夜间车牌图像的二值化存在很大的局限性，处理效果不佳。由上图可见，图 5.1 和图 5.2 中仍然有很多属于字符关键区域的部分没有被提取出来，因此，上面两种 Otsu 算法算出的阈值是比理想的阈值稍微高一点的。

综上，可见对上述的 Otsu 算法得出的阈值做适量调整可以达到预期二值化的效果。假设在上述阈值的基础上阈值减少 15，可见二值化效果如下图 5.3 所示。



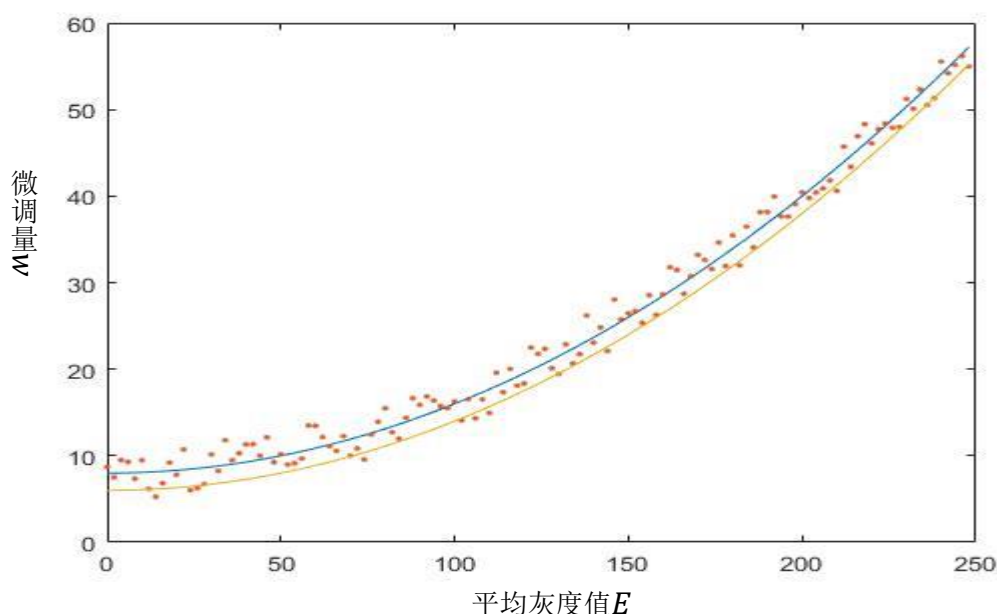
图 5.3 阈值减少 15 的二值化效果图

显然，由上图可知，将阈值减少 15 之后的二值化效果图比减少之前的效果图效果变好，尤其是该方法对于汉字部分的二值化效果较好。

可见，在传统的 Otsu 算法上适当减少阈值这样的方法是可行的，但是该方法具体该如何实行还需要进一步研究。从图可见，虽然改进之后的车牌部分汉字更清晰，但是数字部分的二值化效果没有明显的改善。因此，本文针对传统的二值化效果进行了改进，对需要调整的阈值大小进行了分析。

针对以上方法，对 100 幅夜间车牌图像进行仿真，并对二值化后的图像进行自适应微调，使得二值化的效果最佳。由以上研究表明，每张图片所需的微调量是不同的，在光照不足的部分，即灰度平均值较小的部分，所需的微调量也是较小的；而在光照过强的部分，即灰度平均值较大的部分，所需的微调量是较大的；当光照强度处于两者之间时，所需的微调量也是处于上面两种情况的微调量之间的。

所以，二值化处理的阈值需要调整的大小与整张图片的灰度平均值大小是正相关的。假设，所需要调整的大小为 w 与灰度平均值 E 的关系如图 5.4 所示，

图 5.4 自适应微调量 w 与灰度平均值 E 的关系

如图 5.4 所示，图中的曲线为一段圆弧。假设 (x_0, y_0) 为圆心，所以 x_0 与 y_0 的关系为

$$y_0 = -\frac{E_{\max} - E_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} \left(x_0 - \frac{E_{\min} + E_{\max}}{2} \right) + \frac{w_{\max} + w_{\min}}{2}$$

其中， E_{\max} 和 E_{\min} 分别为图片中单列灰度平均值的最大值与最小值， w_{\max} 与 w_{\min} 为整个图像中光照最强的部分所需的调整量大小与光照最弱的部分所需的调整量大小。由大量车牌图像实验统计得出， $w_{\max} = 35$ ， $w_{\min} = 10$ 。

由于 x_0 与 y_0 有上式的关系， x_0 决定圆的曲率。若 x_0 较小，则曲率较小；若 x_0 较大，则曲率较大。为保证拟合曲线的弧度适中，经实验 x_0 取 $E_{\min} - 50$ 与 $E_{\min} - 60$ 之间的值最为合适，最终拟合的圆的方程如下：

$$(w - x_0)^2 + (E - y_0)^2 = (x_0 - E_{\min})^2 + (y_0 - w_{\min})^2$$

因此，微调量 w 与任意列的平均灰度值 E 的关系值为

$$w = -\sqrt{(x_0 - E_{\min})^2 + (y_0 - w_{\min})^2 - (E - y_0)^2} + x_0$$

综上所述，可以得出微调量与平均灰度值之间的关系。对传统的 Otsu 算法进行如上式所示的改进，对传统的二值化得出的阈值进行调整，可以得到较好的效果。

5.2.5 改进算法的结果与分析

针对以上改进的 Otsu 二值化算法，选取一天中不同时间段的车辆图像进行实验分析，分别取上午、中午和下午的 100 张车辆图像。以下是从三个时间段选取的 300 张图像进行改进的二值化的结果比较。

通常，当目标区域与背景区域的像素数量相差越大且两区域的平均灰度值比较接近时，最容易出现目标与背景错分的情况。根据这个特点，设二值化后的目标区域和背景区域的像素点个数分别为 S_O 和 S_B ，原图像经过阈值分割前两个区域平均灰度值分别为 G_O 和 G_B ，那么两个区域的面积比之差为

$$\Delta S = \frac{|S_O - S_B|}{S_O + S_B}$$

平均灰度差的绝对值为

$$\Delta G = |G_O - G_B|$$

当 ΔG 越大， ΔS 越小时，图像的二值化效果越好。因此，对实验库中的 300 张图像进行两种算法的二值化处理，分别比较在两种情况下的 ΔG 与 ΔS 的大小。表 4.1 为不同光照条件下两种算法的比较。

表 5.1 不同光照条件下两种算法的比较

时间段	实验照片 (幅)	改进的 Otsu $\Delta G >$ 传统 Otsu ΔG (幅)	改进的 Otsu $\Delta S <$ 传统 Otsu ΔS (幅)
上午	100	87	92
中午	100	89	95
下午	100	83	93

由表 5.1 可以看出，改进的 Otsu 算法处理之后的图片的目标区域与背景区域的面积比通常大于传统的 Otsu 算法，且改进的 Otsu 条件下的平均灰度值大于传统的 Otsu 算法，因此，改进的 Otsu 算法的处理的准确率较传统的 Otsu 算法更高。且综合来看，改进的算法在光照的影响下仍然可以达到较好的效果，能够适用于不同的光照条件。

5.3 改进的 Otsu 二值化算法在车牌字符切分方面的应用

5.3.1 字符切分

车辆牌照的字符切分是把提取出的车辆牌照所在的区域切分成一个个的字符块的处理，字符区域切分的准确度将对最终的识别结果又重大的影响。经过以上的二值化处理，获得是一张只包含字符区域的黑白图像。为了进行后续的字符识别，即将正确的车牌号码输出，必须先进行字符切分的过程^[33]。常用的车辆牌照字符的切分方法为水平切分与垂直切分。水平分割的方法主要有：

(1) 基于车牌区域的纹理特征进行水平分割。该方法是根据车牌中字符所在部分的颜色与背景所在的颜色的灰度大小的差距来进行水平切分，由图可以看出字符所在的部分由于字符的存在导致灰度大小的变化较为剧烈。

(2) 基于连通字符进行水平分割。该方法可以用来对字符所在区域进行水平方向和垂直方向的分割。

(3) 利用 Hough 变换进行水平分割。利用 Hough 变换检测直线线段相连的部分，将相连成直线的部分进行水平分割^[25]。

常见的垂直分割方法有：

(1) 基于连通区域进行垂直分割。根据牌照的特点可以将牌照分为三种不同的识别对象，分别为为字母、数字、汉字，且汉字笔画特点与数字和字母不同来实现垂直分割。

(2) 基于垂直投影的垂直分割。将牌照部分垂直投影，利用字符所在部分的特点是波峰波

谷聚集的特点来划分出单个字符所在的区域。

5.3.2 改进的 Otsu 二值化图像的字符切分

经过改进的 Otsu 算法的处理，车辆牌照为如图 5.5 所示的二值化图像。本文采用垂直方向和水平方向投影相结合的方法对车辆的牌照区域进行分割。首先将牌照区域进行垂直方向的投影，利用每个字符中间没有波峰的特点，将车牌分为一个个单独的字符隔开。如图 5.5 所示，将牌照部分进行垂直方向上的投影。

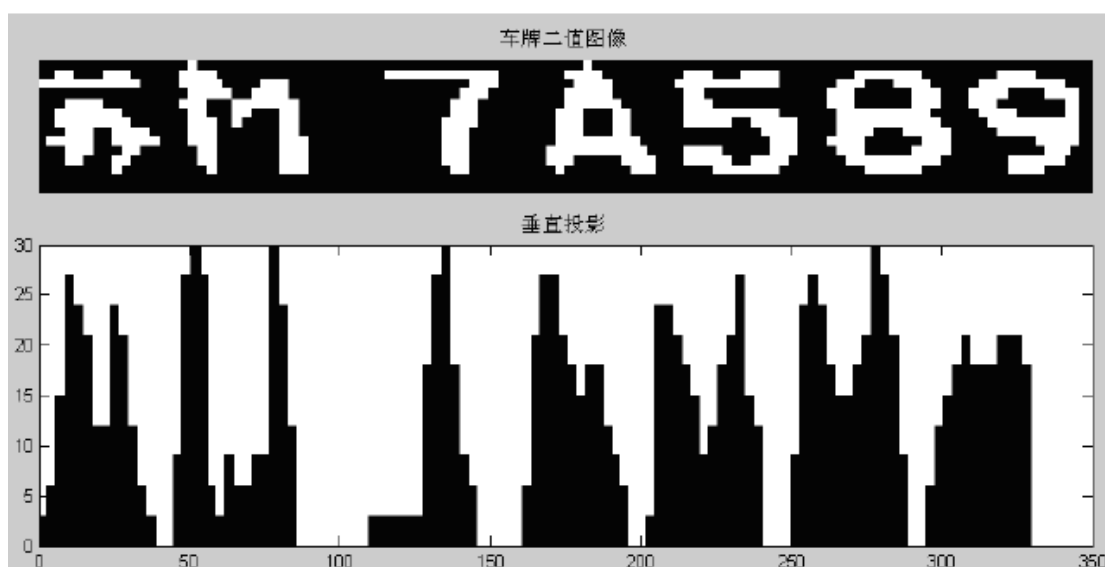


图 5.5 垂直方向的车牌投影图

由图 5.5 可知，字符所在的部分存在很多的波峰波谷，且波峰波谷的变化较为频繁，因此垂直投影图的峰值变化明显。从图中可以看出，字符区域存在较多的峰值，而非字符区域无峰值。利用牌照中字符之间区域无峰值的特点，牌照被分割为一个个单独的字符。车辆牌照的字符切分的具体算法为：

(1) 对车牌图像进行垂直投影，将没有峰值的区域确定为字符之间的间隙，将峰值集中的区域确定为字符区域。计算出相邻两个字符的相隔的距离，其中，由牌照的结构特点可以确定，第二个字符与第三个字符之间的距离为六个距离中的最大值。

(2) 将垂直分割之后的字符进行水平方向上的投影。同理，将无峰值的部分确定为非字符区域。去除字符的上下背景区域，将处理结果保存于数组中。

切分后的字符如下图所示，



图 5.6 字符切分效果图

5.4 车牌字符识别

如今，被广泛运用的车辆牌照字符识别算法主要有四种：

(1) 利用模板匹配进行字符识别的算法。该算法是指将获取的字符部分与样本中的字符部分进行比较，将与所给字符相似度最大的样本作为目标字符。模板匹配算法识别速度快，准确率高，但是该方法对于噪声比较敏感，对于含有噪声大的车牌图像识别准确率有所下降。在一般的识别系统中，为了提高模板匹配算法的准确性，需要使用很大的匹配模板库，因此，车牌字符识别的速度也会随着模板数量的增加进行变慢。

(2) 基于神经网络的字符识别算法。该算法的实现方法主要有两种：第一方法是将获取的单个字符进行特征提取，然后利用提取出的特征训练神经网络分类器。其中，在提取特征参数时，训练时间将会随着提取的特征参数的个数而变化，这容易导致神经网络判断的结果出错。第二种方法是不需要人为提取特征参数，而是直接输入图像，由网络自动识别出图像的特征参数。该方法处理的信息量大，且抗干扰能力强，识别的准确率较高。

(3) 统计特征匹配的字符识别算法。该算法是指提取出所给字符的统计特征，然后按照一定的规则对获取的特征参数分类。在实际应用中，由于噪声的影响，车牌字符模糊，笔画断裂或者缺失时，将会导致识别的准确率大大降低。因此，统计特征匹配的字符识别算法的效果不理想，且稳定性较低。

(4) 支持向量机的模式识别算法。支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是 Vapnik 及其研究小组在 1995 年提出的^[11]，该方法在解决小样本、非线性以及高维模式的识别中具有许多特有的优势^[37]。支持向量机的识别算法的主要方法是在样本空间或者特征空间中，构造出一种超平面，使得超平面与不同的样本集之间的距离最大，把这个超平面称为最优平面，从而达到最大的泛化能力。在机器学习中，SVM 是与相关的学习算法有关的学习模型，可以用来分析数据，识别模式，用于分类与回归分析^[20]。SVM 中通常有两种方法：一种是首先提取出单个字符的特征，然后利用所获取的特征来训练 SVM 分类器。另一种是将整张图像输入到 SVM 分类器，这种方法简化了工作，节省了更多的时间^{[43][42]}。

在上述四种方法中，最常用的方法为基于模板匹配的字符识别算法。其次，基于神经网络的字符识别算法也慢慢被运用到牌照的字符识别的过程中。本文主要研究了最普遍的算法——模板匹配识别算法。

5.4.1 基于模板匹配的字符识别

基于模板匹配的字符识别算法的主要思想是将分割完成的车辆牌照图像与模板库中的字符比较，采用相似度函数求出两种字符之间的相似度，取出使相似度函数最大的字符就是正确的匹配结果。

模板匹配的字符识别算法的相似度函数定义为

$$S(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{ij}^2(m, n) - 2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{ij}(m, n)t(m, n) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N t_{ij}^2(m, n)$$

其中， $f(i, j)$ 为需要识别的字符图像中像素点 (i, j) 的灰度值， $f(i, j)$ 的可能取值为 0 或者 1， $t(i, j)$ 为模板中的字符图像的点 (i, j) 处的灰度值，取值也为 0 或 1； M 和 N 分别为模板库中的字符水平方向和垂直方向的像素点的个数。

模板匹配算法的实现步骤为：

(1) 从车牌识别系统中的字符模板库中依次取出其中的字符，利用大小为 5 的窗口在字符的上、下、左、右四个方向移动，每次计算出匹配的相似度 S ，将最大的 S 值作为目标字符与库中字符的相似度值。

(2) 找到相似度值最大的字符之后，若该相似度的值 S 大于 T ， T 为待识别字符的识别阈值。那么待识别的字符匹配的模板字符即为正确；若 S 小于 T ，则匹配失败，需要进行重新匹配。

以下是对模板匹配算法的详细研究。

5.4.2 创建匹配模板

创建匹配模板是建立用来识别牌照中的字符的库的过程。在字符库中，为了便于比较，字符的大小应该是一样的。由我国车辆牌照的结构特点可知，用来匹配的字符模板库中应该含有数字，字母和汉字。其中，汉字的格式为宋体，英文和数字的格式来自于 OCR 字库。由上式可以看出，车辆牌照越大，字符识别的任务量越大，需要的时间越长；反之，如果图像小，匹配时间越快，但是图像中的有效信息也会相应的减少，影响匹配的准确性。因此，模板匹配的模板尺寸必须适中。

在车牌识别系统中,车辆牌照的单个字符的大小通常小于 20 个像素,为了保证模板库中的字符信息的完整性,同时结合实际中车牌的大小以及宽高比例,规定二值化后的模板大小为 24×48 像素。

在车辆牌照的处理过程中,待识别的字符受到噪声的影响,需要对模板库中的匹配字符进行加权处理,来提高库中类似字符的区别度,从而更好的区分类似字符。同时,在模板库中,应该适当添加实际拍摄到的车辆牌照的单个字符,可以提高模板匹配的准确度和适用性。

如图 5.7 所示,左边为字符 2 为模板库中加权之后的模板,右边是没有加权的字符模板,左边图像中的黑色方块区域为加权区域。假设在下图中,黑色区域为 1,白色区域为 0,因此,加权区为-1。在实际生活中,车牌识别系统中运用的模板匹配识别算法都是通过加权的。



图 5.7 加权后的字符与原字符

5.4.3 提取车牌特征

将车辆牌照中的字符切分为单个字符之后,如果将它直接与库中的字符匹配,需要比较的信息量较大,所耗费的时间较多。因此,首先提取出单个字符的特征参数,将特征参数分类,再将特征参数匹配直到输出正确的字符。本文主要使用了如下图 5.8 所示的分割方法,将待识别的字符分割为 3×3 的 9 部分。在提取特征参数时,分为水平方向的提取和垂直方向的提取。在水平方向,利用三条水平方向的直线从左到右扫描,进行特征提取;同理,在垂直方向,利用三条从上到下的直线扫描。然后,将获得的六个特征参数作为该字符的特征。

以下是以数字 2 为例研究特征提取的过程。



图 5.8 特征提取

(1) 水平方向的特征提取

如图 5.8 所示，将数字 2 分为上、中、下三个部分，利用直线从左到右扫描三个部分，然后从上往下扫描，求出每次扫描得到的直线与黑色部分的交点个数。将直线与上部分的交点个数称为上部特征数，与中间部分的交点个数称为中部特征数，与下部分的交点个数称为下部特征数。在图 5.8 中，数字 2 的上部特征数为 2，中部特征数为 1，下部特征数为 1。

(2) 垂直方向的特征提取

同理，如图 5.8 所示，将数字 2 分为左、中、右三个部分，利用直线从上到下扫描三个部分，然后从左到右扫描，求出每次扫描得到的直线与黑色部分的交点个数。将直线与左侧部分的交点个数称为左部特征数，与中侧部分的交点个数称为中部特征数，与右侧部分的交点个数称为右侧特征数。在图 5.2 中，数字 2 的左侧特征数为 2 或 3，中部特征数为 3，右侧特征数为 3。

综上所述，可以得到数字 2 的六个特征数，分别为 2、1、1、2 或 3、3、3。

因此，由上述特征提取的方法，可以求出每个字符的特征数的值。

5.4.4 模板匹配

通常，模板匹配是指将目标字符与模板中的字符匹配，然后平移至下一个像素点，直到所有的像素点都匹配完成^[12]。本文研究的模板匹配是基于对提取的特征参数的对比。

假设待识别的图像为 I ，根据提取的特征参数将待匹配的字符归入可能的字符集中，需要识别的字符类型集为 $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ ，相关度量函数 $C(i)$ 的最大可信度为 $p(S_i|I)$ ， $C(i)$ 的最大值为 $MAX[C(i)]$ 。 $p(S_i|I)$ 为通过加权矩阵计算出的各个字符匹配的最大匹配字符的概率，为：

$$p(S_i|I) = \frac{C(i)}{MAX[C(i)]} \quad (5.2)$$

因此，计算出每个字符的加权匹配概率 $p(S_i|I)$ ，当 $p(S_i|I)$ 最大时， S_i 即为所求字符的正确

字符。

模板匹配算法要求待匹配的字符十分清楚,因此该算法对于图像处理的技术要求也较高。而且,在车牌识别系统的应用中,为了得到较高的准确率,所要使用的模板库中的字符数量要很多,这会导致识别效率大大降低,所需要的识别时间也会大大增加^[26]。

目前,模板匹配的字符识别算法的缺点有:

(1) 计算量大,如式(5.2)所示,图像中的像素点越多,相似度的计算量越大,并且需要识别的字符个数越多,匹配的次數越多,因此,模板匹配的效率并不高。

(2) 待识别字符的平均灰度值的不同将会影响匹配的正确性^[47]。

(3) 抗噪声性能差,待识别字符的噪声的大小将会对字符识别的结果有较大的影响。

(4) 待识别的字符的倾斜或者部分缺失,将会导致字符的失真,这对字符识别有十分重要的影响。

本论文利用模块匹配算法对实验准备的 300 幅图像进行字符识别,识别准确率为 90.3%,平均识别时间为 0.7s。

5.5 本章小结

本章主要研究了车辆牌照的字符切分和字符识别的过程,字符切分主要分为包含牌照图片二值化和字符分割两个部分。本章对字符图像的二值化方法提出了改进的 Otsu 算法,在传统的 Otsu 算法的基础上对阈值进行微调。微调量由平均灰度值的大小决定。平均灰度值与微调量之间存在曲线函数的关系。本章将改进后的二值化效果与传统的二值化效果进行比较,二值化效果明显提高,字符区域更加清晰,与背景区域的对比度明显提高,且在不同的光照条件下改进的 Otsu 算法处理的准确率更高。在字符分割阶段,本文研究了垂直投影与水平投影相结合的方法,利用字符区域峰值连续,非字符区域无白色像素点的特点,去除牌照中字符的四周的背景区域,从而准确的定位字符所在的区域。在字符识别阶段,本章主要介绍了牌照识别系统的字符识别过程,主要研究了基于模板匹配的字符识别算法,该算法将待识别的字符分为六个部分,然后对它们进行特征提取,然后在模板库中找到与车牌字符相似度最高的字符作为最终的输出,从而完成整个系统的研究工作。

第六章 总结与展望

6.1 总结

车辆牌照识别系统是智能交通管理系统中十分重要的部分之一，它的研究对于智能交通管理系统的完善具有重大的意义。在现代社会，人们不断跟进对牌照识别系统的研究，虽然现有的牌照识别系统已经可以达到很高的识别率，但是由于光照、环境的影响，传统的车牌识别系统难免会出现准确率不高、光照适应性差等缺点。为了提高识别的准确度，有时候还需要人为的辅助才能完成，所以，对于车牌识别系统的研究一直是人们需要深刻研究的课题。

本文通过对图像处理技术的研究开展了对车牌识别系统的一系列研究，通过对 300 张采集到的车辆图像的研究比对，对各阶段的算法展开了研究，并针对传统算法的不足提出了改进的算法，且经过 300 张图片的实验，证明效果较好。在本论文中，主要完成了以下几项研究工作：

(1) 车辆图像预处理作为整个系统的第一步，是后续研究工作的重要前提。车辆图像预处理包含车辆图像灰度化、灰度拉伸两个过程。本文在该阶段先对彩色的车辆图像进行灰度化，得到车辆图像的灰度图像。由于灰度图像存在光照不均引起的灰度级范围偏小的问题，对灰度图像进行灰度拉伸，使拉伸后的图像的灰度级范围为 0 至 255。

(2) 在图像平滑阶段，通过对传统的中值滤波平滑方法的研究，发现了传统的中值滤波方法对于光照不足的夜间车牌图像的平滑效果不佳的特点。针对传统方法的不足，本文提出了先利用高斯滤波的方法去除类似高斯分布的噪声，再进行传统的中值滤波去噪的方法。实验证明，通过高斯滤波与中值滤波相结合，可以明显减小车辆图像中的噪声点，使背景部分的边缘信息明显减少，有利于准确的提取出目标部分。

(3) 在边缘提取阶段，本文提出了将 Mallat 小波快速分解算法运用于边缘提取阶段。利用 Mallat 提出的小波变换快速分解的算法进行车辆图像的边缘提取，能够准确的将车牌部分的边缘特征与背景区域的边缘特征区分出来，从而可以定位到车牌所在的区域。

(4) 在牌照字符分割阶段，重点是对车牌图像的二值化。本文提出了优化的二值化方法，在传统的 Otsu 算法的基础上对阈值自适应微调，克服了传统的二值化方法的对比度不足的缺点。在二值化处理之后进行字符切分，将牌照部分划分为单个的字符。本文研究了水平分割与垂直分割相结合的方法，利用投影法确定字符所在区域。

(5) 字符识别是整个系统的最后一步, 本文主要对基于模板匹配的字符识别算法进行了研究, 该算法的实现过程为创建匹配模板、提取车牌特征和模板匹配三个过程。其中, 提取车牌特征时采用水平方向的特征提取和垂直方向的特征提取相结合的方法, 将字符区域分为六个部分进行特征提取。最后, 通过匹配找到与目标字符相似度最大的即为输出字符。

6.2 展望

目前, 智能车牌识别系统已经开始普遍运用于各种场合, 但是牌照识别系统的准确率和速率还可以有很大的优化空间, 尤其是对算法的改进。本课题在以下几个方面还有待更深入的研究:

(1) 车辆牌照识别系统的图片采集的硬件设备有待提高。通过提高采集图像的摄像头等硬件设备, 可以获取较高分辨率的车辆图像, 有利于进行去噪处理, 提高软件处理的效果。

(2) 本文中的算法还需要更多的优化: 如在牌照字符的识别阶段, 传统算法可以考虑增加容易混淆的字符模板, 还可以将实际应用中采集到的字符加入模板库中, 从而增加模板库中匹配字符的数量, 提高识别的准确率。

(3) 现有的车辆牌照识别系统在同一时间只能识别出一张牌照, 暂时还无法识别出图中有多个牌照的车辆图像, 本文研究的算法只适合一张图像中只含有一张车牌的图像。研究出在同一张图像中同时识别出多张牌照是以后智能交通系统重要的方向之一。

(4) 在未来牌照识别系统中, 除了需要得到车辆的牌照信息外, 还可以研究出一种算法获取更多关于采集到的车辆的信息, 如车型、车速等, 这将对高速公路监控和突发情况的处理具有重大的研究意义。

经过对智能车牌识别系统的学习与研究, 笔者发现智能交通系统仍然还有许多地方需要改进, 希望能够得到老师和专家的指正, 也希望获得更多的意见和建议。

参考文献

- [1] 陈彦燕,王元庆.常用边缘检测算法的定量比较[J].计算机工程,2008,202-204.
- [2] 陈银燕.车牌识别算法的研究与实现[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学学位论文,2008.
- [3] 陈振学,汪国有,刘成云.一种新的车牌图像字符分割与识别算法[J].微电子学与计算机,2007,24(2):42-44.
- [4] 迟晓君,孟庆春.基于投影特征值的车牌字符分割算法[J].计算机应用研究,2006,(7):256-257.
- [5] Dong W M, Zhou N, Paul J C. Perspective-aware texture analysis and synthesis [J]. The Visual Computer, 2008, 24(9): 515-523.
- [6] Efros A, Freeman W. Image quilting for texture synthesis and transfer [C]//SIGGRAPH 2001, Los Angeles, ACM Press, 2001: 341-346.
- [7] Efros A, Leung T. Texture synthesis by non-parametric sampling [C]//Intl. Conf. on Computer Vision, Corfu, Greece, 1999: 1033-1038.
- [8] Eun Ryung Lee, Kee King, Automatic recognition of a car license plate using color image processing[J].Journal of Korea Institute of Telematics and Electronics,1995,24(2),128-131.
- [9] 飞思科技产品研发中心.MATLAB 6.5 辅助小波分析与应用[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [10] Feng Wang,Lichun Manb,Bangping Wang,Yijun Xian,Wei Pan,Xiaochun Lu.Fuzzy-based algorithm for color recognition of license plates[J]. Pattern Recognition Letters, 2008,29(7):50-54.
- [11] 甘龙,高隽,梁栋.基于分形维数的车牌字符识别[J].中国公路学报,2002,15(4):75-77.
- [12] 高昊飞.一种基于小波分析和支持向量机的车牌识别算法[D].西安:西安电子科技大学学位论文,2014.
- [13] 高学,金连文,尹俊勋.一种支持向量机的手写汉字识别方法[J].电子学报,2002,30(5):651-654.
- [14] 郭佳,刘晓玉,吴冰,付晓薇.一种光照不均匀图像的二值化方法[J]. 武汉科技大学,2014,23(1):1-5.
- [15] 韩智广,老松杨,谢毓湘.车牌分割与校正[J].计算机工程与应用,2003,6(1):210-257.
- [16] 郝颖明,朱枫.2 维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J].中国图像图形学报,2005,10(4):484-488.
- [17] 洪健,陈继荣.基于修正思想的车牌图像定位与二值化处理[J].计算机工程,2007,33(8):175-177.
- [18] 仇魏. 基于 MATLAB 的夜间车牌识别算法[D]. 吉林:吉林大学学位论文,2016:1-10.
- [19] 梁大宽.复杂背景下多车牌识别算法的研究与软件系统实现[D]. 太原:太原理工大学学位论文,2016.
- [20] 梁金明,魏正曦.OTSU 算法的改进研究[J].四川理工学院学报, 2010,05-0543-03: 1-3.
- [21] 李驰.智能交通中的车牌识别算法研究[D].武汉:华中科技大学学位论文, 2012.
- [22] 刘静.几种车牌字符识别算法的比较[J].电脑与电信,2008,1(8):72-74.
- [23] 刘同焰.车牌识别系统的相关算法研究与实现[D]. 广州:华南理工大学学位论文,2012.
- [24] 刘智勇,刘迎建.车牌识别中的图像提取及分割[J].中文信息学报,2000,14(4):26-29.
- [25] Luis Salgado. Automation car plate detection and recognition through intelligent vision engineering[J]. IEEE Trans PAMI,1999,vol.17,17-76.
- [26] Otsu N.A Threshold Selection Method From Gray-level Histograms[J].IEEE Trans Systems, Man and Cybernetics. 1979 ,9(1):62-66.
- [27] 欧阳庆.不均匀光照下车牌图像二值化研究[J].武汉大学学报,2006,39(4):209-211.
- [28] 潘梅森,张奋,雷翊阳.一种车牌号码图像二值化的新方法[J].计算机工程,2008,34(4):209-211.
- [29] 乔万波,曹银杰.一种改进的灰度图像二值化方法[J].电子科技.2008,1007-782(2008):1-3.
- [30] Shigueo Nomura,Keiji Yamanaka, Osamu Katai,Hiroshi Kawakami,Takayuki Shiose.A novel adaptive morphological approach for degraded character image segmentation[J]. Pattern Recognition,2005,38(11):1961-1975.
- [31] 孙少林,马志强,汤伟.灰度图像二值化算法研究[J].价值工程,1006-4311(2010):1-2.
- [32] 索静.基于图像处理的车牌识别系统的分析与设计[J].信息技术与信息化,2017,(12):32-34.
- [33] 田晶.车牌识别算法研究[D].西安:长安大学学位论文,2013.

-
- [34] 王丰元.计算机视觉在交通工程测量中的应用[D].中国公路学报,1999,Vol.15(7),32-34.
- [35] 王璐.基于MATLAB的车牌识别系统研究[D].上海:上海交通大学学位论文,2009:35-37.
- [36] 魏诚.车牌图像二值化效果的改进算法研究[D].杭州:浙江大学学位论文,2006.
- [37] Wenjing Jia, Huaifeng Zhang, Xiangjian He. Region-based license plate detection[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2007,30(4):1324-1333.
- [38] 吴大勇,魏平,侯朝桢.一种车牌图形中的字符快速分割与识别方法[J].计算机工程与应用,2002,(3):232-233.
- [39] 吴进军,杜树新.SVM在车牌字符识别中的应用[J].电路与系统学报,2008,13(1):84-87.
- [40] 解梅.基于小波分析的自动车牌识别算法的研究与设计[D].成都:电子科技大学学位论文,2005.
- [41] 熊厚博.基于MATLAB的车牌识别系统研究[J].自动化应用.2013,4(1):12-15.
- [42] 熊军,高敦堂,沈庆宏.基于字符纹理特征的快速定位算法[J].光电工程,2003,30(2):60-63.
- [43] 薛丹,孙万蓉,李京京,贾海龙,杨子峰,王政.一种基于 SVM 的改进车牌识别算法[J].电子科技,2013(11):22-25
- [44] Yuntao Cui, Qian Huang, Automatic license extraction from moving vehicles[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1999,7(4),126-130.
- [45] 张晶.车牌图像的的定位算法研究[D].重庆:重庆大学学位论文,2008: 20-25.
- [46] 张引,潘云鹤.彩色汽车图像牌照定位算法[J].中国图像图形学报,2001,6(4):374-377.
- [47] 郑治真,沈萍,杨选辉.小波变换及其 MATLAB 工具的应用[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [48] 朱东方.基于车牌识别的二值化算法研究[J].电脑知识与技术, 2011, (14):3429-3430.

附录 1 攻读硕士学位期间申请的专利

[1]唐加山,顾李云.一种基于改进的 OTSU 算法的夜间车牌二值化方法,201710549177.0,2017.7。

致谢

两年半的研究生生活，使我感慨颇深。在这即将结束学业生涯的最后几个月中，感谢在我的研究生生涯中帮助过我的所有人。

首先要感谢我的导师，在近三年的研究生学习中，唐老师给予我生活上和学习上的许多帮助。唐老师为人和蔼，待人热诚，在学术上更是以身作则，对待科研一丝不苟。每当我遇到科研难题时，唐老师总是尽自己最大的能力为我们答疑解惑，它像一盏明灯照亮着我们的科研前进之路。在生活上唐老师教导我们同门师兄弟要团结一致，不管是学术上还是生活上遇到困难了，大家都应该互相帮助。正是唐老师对我们在学术上和生活中的教导，才使得我与同门和其他同学共同完成了这篇论文，为科研工作的有序进行迈出了良好的一步。和唐老师近三年相处下来，他既是我们的导师更成为了我们的朋友。唐老师，感谢您这三年来对我们付出的心血，我们一定不辜负您对我们的期望。

其次，感谢我的同门师兄弟，室友，以及和我一起做实验的学弟学妹们。因为有你们我的研究生三年生活更加丰富多彩，每次在实验室大家一起讨论科研问题，以及每周的例会，这些都让我们在科研的道路上紧紧的凝聚在一起。还要感谢我的室友们，因为有你们，我的课余生活也变得如此精彩，面临毕业我们也要各奔东西了，三年的相聚时间虽短，但是我们的友谊长存！

最后要感谢我的家人，不管生活是顺境还是逆境，他们都在背后默默的支持着我。当我求职碰壁时，他们给我鼓励，开导我。如今马上就要毕业离开南邮了，我一定会带着爱和感激继续前行，不辜负所有爱我的人对我的期望。