

分类号: _____

密级: _____

U D C : _____

编号: _____

工学硕士学位论文

可配置的机动车牌照识别系统

硕士研究生: 范焱

指导教师: 黄凤岗 教授

学科、专业: 计算机应用技术

学位论文主审人: 刘海波 副教授

哈尔滨工程大学

2009年1月

分类号: _____

密级: _____

U D C: _____

编号: _____

工学硕士学位论文

可配置的机动车牌照识别系统

硕士研究生 : 范 焱

指导教师 : 黄凤岗 教授

学位级别 : 工学硕士

学科、专业 : 计算机应用技术

所在单位 : 计算机科学与技术学院

论文提交日期: 2009 年 1 月

论文答辩日期: 2009 年 2 月

学位授予单位: 哈尔滨工程大学

Classified Index:

UDC:

A Dissertation for the Degree of M. Eng

A Configurable Vehicle License Plate Recognition System

Candidate: Fan Yan

Supervisor: Prof. Huang Fenggang

Academic Degree Applied for: Master of Engineering

Speciality: Computer Applied Technology

Date of Submission: January, 2009

Date of Oral Examination: February, 2009

University: Harbin Engineering University

哈尔滨工程大学 学位论文原创性声明

本人郑重声明：本论文的所有工作，是在导师的指导下，由作者本人独立完成的。有关观点、方法、数据和文献的引用已在文中指出，并与参考文献相对应。除文中已注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经公开发表的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

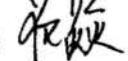
作者（签字）：

日期： 2009 年 2 月 25 日

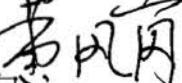
哈尔滨工程大学 学位论文授权使用声明

本人完全了解学校保护知识产权的有关规定，即研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于哈尔滨工程大学。哈尔滨工程大学有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件。本人允许哈尔滨工程大学将论文的部分或全部内容编入有关数据库进行检索，可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文，可以公布论文的全部内容。同时本人保证毕业后结合学位论文研究课题再撰写的论文一律注明作者第一署名单位为哈尔滨工程大学。涉密学位论文待解密后适用本声明。

本论文（在授予学位后即可 在授予学位 12 个月后 解密后）由哈尔滨工程大学送交有关部门进行保存、汇编等。

作者（签字）：

日期： 2009 年 2 月 25 日

导师（签字）：

2009 年 2 月 25 日

摘要

机动车辆牌照识别是现代智能交通中应用最广泛的一门技术。近年来关于车辆牌照识别系统的研究方法种类很多，也达到了很好的效果。但是对于多种格式的牌照的通用性不太好，造成了重复开发。而且解决车牌图像中的噪声和字符粘连等问题也一直是研究的重点。

本文开发了一种可配置的车牌识别系统，它能通过定义斜角、行数、模板参数、字符样式等 4 个因素，适应不同类型的车牌。整个机动车辆牌照识别系统由基于边缘检测的车牌定位、基于模板匹配和连通性分析的字符分割和基于人工神经元网络的字符识别三个部分组成。

车牌定位算法采用的是垂直 Sobel 算子边缘检测，针对边缘检测后图像中干扰边缘的噪声影响，加入了区域生长，剔除了一些离散的边缘。车牌字符分割算法中，利用车辆牌照的标准格式这一先验知识，首先对字符分布区域进行粗分割，一定程度上解决了仅用连通分量提取对字符粘连抗干扰性差的缺陷。在字符识别算法中，采用了典型的三层 BP 神经网络，提取基于灰度值的字符结构特征作为字符的特征，并根据车牌格式将识别系统划分为包括标志、数字和英文字母的识别子系统，减少了分类的数目，提高了识别速度。

用实时采集的车牌图像进行实验，实验结果表明，本系统识别的准确率高，速度快。

关键词：车牌识别；边缘检测；字符分割；字符识别；BP 网络



Abstract

Vehicle license plate recognition is one of the most important intelligent transportation technologies. Nowadays many researches about license plate recognition perform effectively. But few technologies can process multi-style license plates, which caused repeatedly development. Another important problem in research is the noise of image and the riveted joint of characters.

This thesis presents a configurable license plate recognition system with four quantitative parameters: plate skew angle, plate line number, template type and format. The license plate recognition has three parts: license plate location based on edge detection, character segmentation based on template matching and connectivity analysis, character recognition based on ANN.

In the license plate location algorithm, the operator of vertical sobel is used in edge detection, because there are many noise edges in edge map, a region growing is carried out to eliminate the discrete edges. In the character segmentation algorithm, the prior knowledge of license plate format is used to create a template, which draw a raw region of characters, and partly improve the robust of the simple connectivity analysis to riveted joints. A typical 3-layer BP network is used in the character recognition algorithm, with the character figure of structure figure based on grey level. And then, according to different license plate styles, the recognition system is consist of symbol, number and character sub-systems, which decreases the amount of classes, and improves the recognition speed.

The experiments on test set from real captured car pictures shows that, this vehicle license plate recognition system works on a high accuracy and high speed.

Key words: License plate recognition; Edge detection; Character segmentation; Character recognition; BP network

目 录

第1章 绪论	1
1.1 课题背景.....	1
1.2 机动车辆牌照识别系统关键技术研究现状.....	3
1.3 现有车辆牌照识别系统存在的问题.....	5
1.4 本文提出的车牌识别系统.....	6
1.5 本文的主要内容及章节安排.....	8
第2章 基于边缘检测的车牌检测算法	10
2.1 概述.....	10
2.2 图像预处理.....	11
2.2.1 RGB 彩色模型.....	11
2.2.2 RGB 图像转换为灰度图像.....	12
2.2.3 动态全局阈值二值化.....	14
2.3 基于边缘检测的车牌粗定位.....	15
2.4 基于区域生长的车牌精定位.....	17
2.4.1 区域生长.....	18
2.4.2 依密度的区域生长.....	18
2.4.3 车牌选择.....	19
2.5 实验及结果分析.....	20
2.6 本章小结.....	21
第3章 结合模板匹配和连通性分析的字符分割	22
3.1 概述.....	22
3.2 图像预处理.....	23
3.2.1 二值化.....	24
3.2.2 初步噪声去除.....	24
3.2.3 倾斜校正.....	25
3.2.4 多行分割.....	26
3.3 基于模板匹配的字符初步分割.....	26

3.3.1 利用先验知识的标准模板	27
3.3.2 计算实际模板	28
3.3.3 基于动态规划的模板匹配算法	29
3.4 连通性分析	31
3.5 实验结果分析	32
3.6 本章小结	33
第4章 基于ANN的字符识别	35
4.1 概述	35
4.2 字符图像归一化	36
4.3 字符特征提取	37
4.3.1 车牌字符分类	37
4.3.2 字符特征提取	38
4.4 人工神经元网络的结构	39
4.4.1 BP网络的结构设计	39
4.4.2 隐含层的变换函数	40
4.4.3 BP网络的误差选择	41
4.5 BP网络训练	42
4.6 字符识别	43
4.7 实验结果分析	44
4.8 本章小结	45
第5章 实验结果与分析	46
5.1 实验系统构成	46
5.2 实验结果设计及识别结果	47
5.3 实验数据分析	48
5.4 本章小结	49
结 论	50
参考文献	52
攻读硕士学位期间发表的论文和取得的科研成果	56
致 谢	57

第1章 绪论

1.1 课题背景

当今社会已经步入全面信息化的时代，以数字化、网络化为特征的信息化浪潮席卷全球，信息技术已经渗透到经济和社会的各个领域，成为提升产业发展水平，提高劳动生产率，推动经济增长，增强国家综合实力的重要手段。而当今世界科学技术和经济发展的一个重要的特点，就是现代信息技术与传统产业的有机融合。交通作为国民经济基础性产业，大力推进信息化，对于实现交通新的跨越式发展具有十分重要的意义。信息化是实现交通现代化的必然选择。在这种大背景下如何建立一个集中、高效、快捷、网络化的智能交通管理系统（Intelligent Transportation System，简称 ITS）就成为信息处理技术的一项重要课题。

智能交通系统是目前世界交通运输领域的前沿研究课题，发达国家提出并执行了一系列研究计划，其核心是针对日益严重的交通需求和环境保护压力，采用信息技术、通信技术、计算机技术、控制技术等对传统交通运输系统进行深入的改造，最大限度的地开发利用信息技术，降低交通发展对资源的占用和消耗，减少对生态环境造成的不利影响，以提高系统资源的使用效率、系统安全性。1995 年 3 月美国交通部首次正式出版了《国家智能交通系统项目规划》，明确规定了智能交通系统的 7 大领域和 29 个用户服务功能，并确定了到 2005 年的年度开发计划。我国现在也在积极研究、发展并推广智能交通技术，有关部门从 1996 年开始组织了 ITS 领域的一系列国际交流和合作，支持在国内开展研究和开发，并计划在八到十个典型城市进行 ITS 工程示范。

智能交通系统的研究领域广阔，各地区侧重点也有所不同。如：电子收费系统是 ITS 在公路收费领域的具体表现，其应用可解决收费站的“瓶颈”制约作用，较好地缓解收费站的交通拥挤、排队等候以及环境污染等问题。在电子收费系统中，由于收费过程需要实现自动化，车辆直接驶过收费



站而不停车，因而对车辆准确迅速地识别和分类就成了关键的问题。为了满足这些需求，有必要在智能交通管理系统中引入车辆牌照自动识别技术。

车牌识别技术（License Plate Recognition, LPR）自从 1988 年提出以来，受到了人们的广泛关注。它是计算机视觉和模式识别技术在现代智能交通系统中的一项重要研究课题，是实现交通智能化的重要环节。车牌自动识别系统利用每一个汽车都有唯一的车牌号码，能从一幅图像中自动提取车辆牌照图像，自动分割字符，进而对字符进行识别。它综合运用模式识别、人工智能等相关技术，对采集到的车辆图像进行分析和处理，能够实时准确地自动识别出车辆牌照的数字、英文字母及汉字字符，并以计算机可直接运行的数据形式给出识别结果，使得车辆的计算机监控和管理成为现实。

车辆牌照识别系统的特点是在不影响汽车运行状态的情况下，计算机自动完成车牌的识别，可降低交通管理工作的复杂度。主要应用于：

- (1) 车辆过路、过桥全自动不停车收费；
- (2) 交通流量控制指标的测量；
- (3) 车辆自动识别；
- (4) 高速公路上的事故自动测报，不停车检查；
- (5) 车辆定位，汽车防盗；
- (6) 稽查和追踪车辆违规、违法行为。

此外，在维护交通安全和城市治安，防止交通堵塞，提高收费路桥的服务速度，缓解交通紧张状况等方面都有重要作用，因此 LPR 技术研究有重要的现实应用意义，它可以广泛应用于公路和桥梁收费站、公路流量观测站、城市监控系统、港口和机场、停车场等车牌认证的实际交通系统中，以提高交通系统的车辆监控和管理的自动化程度。

车辆牌照识别系统是一个面向车辆牌照识别的专用计算机视觉系统，属于典型的先分割目标，再对目标进行识别的实例。针对这类问题的研究和探索不但是工程方面的问题，也可以对图像处理、模式识别等领域的发展起到推动作用。同时能够从一方面促使中国的交通朝着更安全、更经济、更通畅、更可靠、更便捷、更和谐的方向发展。

1.2 机动车辆牌照识别系统关键技术研究现状

图 1.1 显示了车牌识别系统的流程图。

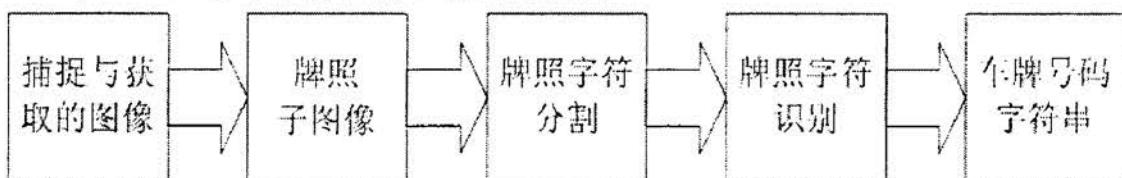


图 1.1 车牌识别系统流程

在整个识别系统中, 图像的来源可以是成像设备获取的车辆的静态图像, 也可能是从视频流中截取的图像帧。牌照子图像检测与定位的目的是要将车牌区域与非车牌区域分开, 为后续的车牌字符识别提供对象。牌照字符分割是将车牌子图像上的字符区域与背景区域分开, 得到一系列字符块, 提供给最后的字符识别。字符识别则是从图像中根据特征识别, 最后得到车牌号码字符串。其中, 字符分割是一个关键步骤, 直接影响识别结果, 所以在进行这一步骤之前, 一般都会对得到的车牌子图像进行一系列的预处理, 提高图像的质量, 使字符分割更加准确。

车牌识别系统的开发主要分为三个部分: 车牌定位、字符分割和字符识别^{[1][2]}, 下面分别介绍这三个部分的国内外研究现状:

(1) 车牌检测定位

目前广泛应用的车牌检测算法, 根据使用特征可分为 3 类——基于边缘的分析、基于色彩的算法^[3]和基于纹理的算法^[4]。

最常用的是综合边缘检测和数学形态学的方法。另一种方法是对图像进行扫描找到边缘密集的区域, 或者用 Hough 变换来描述车牌区域中的密集边缘。边缘分析是最直接的、计算复杂度低和可扩展性高的方法。

基于色彩的算法更依赖于不同国家的车牌类型。因为一个国家常常有一些预定义的颜色, 研究者可以定义颜色模型来划分车牌区域。这种方法容易受光照条件的影响。此外, 要将方法在不同国家间扩展, 还要定义颜色参数。

利用字符纹理定位车牌, 对于光照偏弱、偏强或不均匀, 牌照倾斜和变形等情况定位较好^{[1][25]}。但应用于背景复杂的图像时, 很容易把一些纹理分布比较丰富的其他车牌区域也定位进来, 产生包含真车牌在内的较多的车牌候选区域, 这就需要用其他方法^[7]进一步判别。

(2) 牌照字符分割

常用的车牌分割算法也被分成 3 类——基于投影、连通性分析和全局最优化。

在投影算法^{[6][14]}中，先将车牌二值化，再对车牌的区域作灰度投影，垂直投影的谷底即为字符的垂直分割线，水平投影的谷底即为字符的水平分割线，分割的区域通过垂直投影进一步处理而获得车牌字符的边界框。

投影法的优点是：程序逻辑设计简单，循环执行功能单一，便于设计和操作；程序执行时间快。但是这种简单的分割方法很容易被车牌的旋转而影响，因此，分割歪斜的车牌成为要解决的首要问题。而且垂直投影分割法对铆钉及车牌左右边框等噪声敏感，而且若汉字为左右结构或左中右结构，则容易错分字符。所以现在很多人都将投影算法与模板匹配相结合，利用车牌字符格式的先验知识对分割进行一定的约束^{[5][12]}，提高分割的成功率。

连通性分析法是基于数字形态学原理来实现的。用全局或局部二值化方法从背景中提取前景，对于前景像素进行连通性分析。这种算法对于图像的二值化结果要求比较高。在二值化算法中，用全局或局部二值化方法从背景中提取前景，然后用区域连接操作获得字符区域。

由于基于连通区域的字符分割算法对铆接不敏感，但是对于粘连比较敏感，所以对图像的预处理要求很高，图像二值化变得很重要。在大多数目前的工作中，采用确定局部阈值和滑动窗口的方法来提高分割性能。

在全局最优化算法中，目标不是获得良好的分割结果，而是获得一个折衷的字符空间序列和单独的字符识别结果^[13]。这种算法的优点在于提高了对噪声的鲁棒性。缺点是在分割处理前要有精确的格式定义，方法比较复杂。

(3) 牌照字符识别

字符和标志识别算法主要分为基于学习的算法和模板匹配算法。

前者多数使用人工神经网络(ANN)。待识别的车牌字符往往具有不同程度的噪声、变形，所以应该采用多层前馈神经网络结构。其中以 BP 网络为代表的神经网络具有高度并行性、良好的容错性和联想记忆功能，自适应学习和容错能力都较强^[16,17,18]。经证明当使用一个较大的训练集时，这种方法能获得很好的识别结果^[9]。训练车牌神经网络识别模型时，一个重要的因素是要建立具有良好特征的合理的网络结构^[19]。但人工神经网络学习算法复杂，

中间的隐层不与外界联接，无法直接计算其误差

模板匹配是另一种在车牌字符识别中广泛应用的算法。一般，研究者需要手动建立车牌字符和标志的模板图片^[20,21,22,23]。在模板中，为了强调字符中不同的特征，可以为重要的点如拐点，设置较大的权值。此外，模板匹配也应用特征点的不变性来提高鲁棒性。这里，大量而有效的特征的选择和提取非常重要，影响到识别分类器的设计、性能及其识别结果的准确性。这种方法的缺点是，没有模式识别专业知识的用户很难自己定义新的模板，这就限制了算法的扩展性。

1.3 现有车辆牌照识别系统存在的问题

对于车辆牌照识别系统来说，最重要的评价指标当然是识别准确率。国际交通技术目前公认的识别率指标，是 24 小时全天候车牌正确识别率应至少在 85%以上，但是由于日夜的光照差别、不同天气的光照差别等，必然导致出现不同的识别率，所以并没有统一严格的标准。因此，目前一些识别方法只能在某种特殊的情形下才有较高的识别率，可扩展性差^[10]。

在实时系统中，识别速度也非常重要，如果识别速度超过 1 分钟，或者达到几分钟，就失去了“实时”的意义。于是，1 秒以内是当前普遍接受的单个车辆牌照识别时间，在这个范围内，识别速度越快越好。

虽然机动车辆车牌识别系统已经发展了几十年，发展出了许多的框架和算法，但是在实际应用中的实时识别系统仍然存在着许多其他问题，例如：

(1) 由于图片采集环境不同，可能受采集摄像头的倾斜、污损、遮挡等原因影响，采集到的车辆牌照图片出现扭曲、字符不完整或者粘连等情况，造成识别上的困难。

(2) 由于不同国家的车辆牌照格式不同，每个国家又有多种牌照格式，很少有一个识别系统可以比较容易地适用于多种格式的车辆牌照识别系统中。

(3) 一个车辆牌照识别系统通常只针对专门的使用现场，当政府修改了车辆牌照格式后，要全部进行修改，造成软件的重复开发，浪费人力财力。

1.4 本文提出的车牌识别系统

本论文提出了一种可配置的车牌识别系统，它能通过定义斜角、行数、模板参数、字符样式 4 个因素，适应于不同类型的车牌，尤其是来自不同国家的车牌。用户可以约束参数的范围，此方法能自我调整使识别更快速更准确。

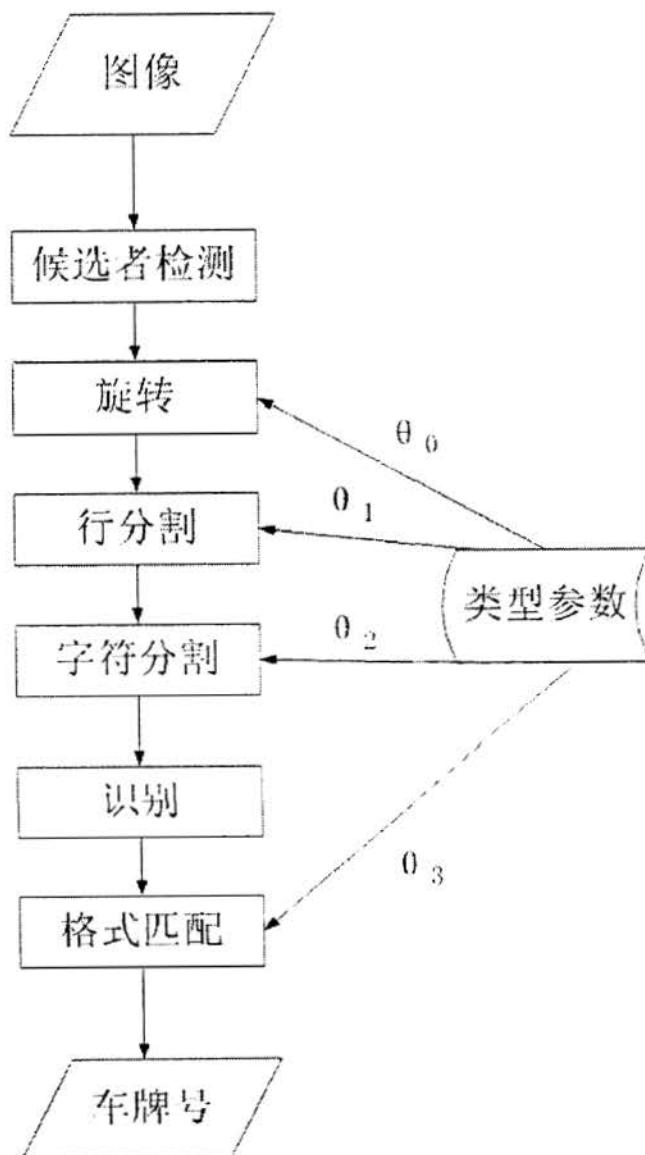


图 1.2 车牌识别系统框架

图 1.2 显示了本文中所实现的车牌识别系统框架。和传统的车牌识别方法一样，这个框架主要有 3 个步骤——检测、分割和识别。这 3 个步骤又可以分解为——候选者检测、旋转、行分割、字符分割、字符识别、格式匹配

算法。其中，候选者检测是在边缘检测和密度生长后确定的车牌区域中找出车牌的真正区域，旋转是对由于采集环境等造成的车牌图像的旋转进行校正，行分割是对可能出现的多行字符的车辆牌照进行分行处理，字符分割是在车牌区域中确认单个字符的区域以供后续识别，字符识别是通过 BP 网络在字符区域内进行字符的识别，最后格式匹配是按照车辆牌照的格式将识别后的字符连接起来称为车牌号码的字符串。

用于配置本车辆牌照识别系统的斜角、行数、模板参数、字符样式 4 个参数具体介绍如下：

(1) 车牌的斜角(θ_0):

在实际应用中，如果摄像机的光轴没有和车牌的水平面垂直，或者与水平方向有一个夹角，捕获的车牌可能会歪斜。此外，由于车牌悬挂等问题，也可能会造成车牌的倾斜。因此，可以定义一个斜角参数用于还原倾斜的车牌图像。

在本系统中，初始设置系统时是先逐个调整斜角参数值，找到还原后使车牌最接近规则矩形的值，设置为固定值，以后整个系统就使用这个参数值进行所有的倾斜校正。

在实际应用中，车牌斜角可以取 (-30, -25, …, 0, 5, …, 30) 之间的离散值。

(2) 字符行数(θ_1)

在一些情况下，车牌被格式化为一行字符串，在另一些情况下被格式化为多行字符。例如，中国的卡车车牌通常有 2 或 3 行字符。由于不同行数的车牌字符分布信息不同，所以要分行后再进行识别。另外，分行识别也使得效率更高。

定义 $\theta_1 \in (1, 2, 3, \dots)$ 表示字符行数。在车辆牌照识别系统中，如果在水平投影处理后发现车辆牌照是多行，即 $\theta_1 > 1$ ，就要调用多行分离程序，然后分别对各行字符进行后续的识别处理。

在本文的实验中，我们只考虑最多 2 行字符的车牌。

(3) 模板参数(θ_2)

车辆牌照可能有很多格式，但是，不同格式的车牌都会有规定的统一标准，如字符区域的尺寸，每行字符的个数，字符的宽度，字符的间距。如果

在车辆牌照识别系统中预先设置了需要识别的车辆牌照的格式信息，就可以减少一些冗余信息或者噪声的干扰，使字符的分割更加准确。

可以表示第 j 个格式为 $\theta_2^j = (S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n)$ ，这里 n 的值根据不同的车牌格式的参数个数设定， S_i 设定为车牌格式的第 i 个参数，分别表示车辆牌照的字符个数，字符区域的宽度，字符的间距等。

(4) 字符格式(θ_3)

一个车辆牌照由多种多个字符组成，这些字符经过不同排列可以组成不同的形式。通常使用的字符都是数字、字母和标志（如中国车辆牌照中的汉字等）。

如果用 D 代表一个数字，A 代表一个字母，S 代表一个标志，我们就可以表示第 j 个格式为 $\theta_3^j = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n)$ ，这里 C_i 表示第 i 个位置的字符类型，它可以是 S，A 或者 D。例如，车牌“沪 A05392”可以格式化为“SADDDDD”。

每个国家通常由政府规定了特定类型的字符格式，从给定的格式我们就可以知道应调用哪种识别模板子系统来识别第 i 个位置的字符。在字符识别后，还可以根据这个格式把识别的字符连接起来，组成车牌号码的字符串。

1.5 本文的主要内容及章节安排

根据上一节提出的可配置的机动车牌照识别系统框架，本文主要介绍了系统中的三个部分，车牌检测、字符分割和字符识别，具体内容如下：

1. 基于边缘检测的车牌检测算法。进行适当的预处理后得到的车牌图像采用 sobel 算子进行边缘检测，提取出边缘，然后利用基于密度的区域增长方法找到图像中拥有密集的垂直边界的区域，即车牌区域。
2. 结合模板匹配和连通性分析的字符分割算法。根据事先设定好的模板参数对车牌区域进行模板匹配，找到车牌中字符的大致区域，然后在每个区域进行基于形态学的连通性分析，找到车牌中的字符。
3. 基于 ANN 的字符识别算法。采用三层人工神经网络对字符进行识别，而根据实现设定好的不同车牌的字符格式，可以训练不同的字符库。

本文第一章综述了关于车辆牌照识别相关理论知识，根据现有识别系统

的不足和改进的难点，提出了一种可配置的车牌识别系统；第二章提出了结合密度生长的改进的边缘检测的车牌检测算法；第三章提出了一种结合模板匹配和连通性分析的字符分割算法；第四章提出了基于 ANN 的字符识别算法；最后在第五章对本文提出的车牌照识别方法进行实验，通过实验结果对系统进行评价。

第2章 基于边缘检测的车牌检测算法

2.1 概述

目前广泛应用的车牌检测算法，根据使用特征可分为3类——基于边缘分析的算法、基于色彩的算法和基于纹理的算法。

其中，基于颜色空间信息的方法，是根据不同颜色车牌出现的概率，合理利用投影技术，进行统计分析，而后定位和分割出车牌，适合人的视觉要求，直观简洁；但由于色彩的多维性，使计算复杂度相对较高。利用字符纹理定位车牌，对于光照偏弱、偏强或不均匀，牌照倾斜和变形等情况定位较好。但应用于背景复杂的图像时，很容易把一些纹理分布比较丰富的其他车牌区域也定位进来，产生包含真车牌在内的较多的车牌候选区域。

对于有车牌的捕捉图像，我们设想会有一个拥有密集的垂直边界的区域被分割出来作为车牌候选者。于是，利用边缘检测的方法检测车牌区域准确率较高，反应时间快，能有效去掉噪声，也更适合于包含多个车牌的图像，并且在多车牌图像的情况下定位速度也很快。

然而，仅仅有边缘检测是不够的。车牌图像中的边缘往往是细长线条，不容易与其他的噪声区分开，而且简单的边缘检测可能会使线条很离散，不能很好地体现出车牌的区域，通过区域生长使边缘变得集中可以很好地解决这个问题。

本文中的车辆牌照定位主要分为以下步骤：

- (1) 图像预处理：将采集到的含有车牌的图像转化为灰度图像，通过动态全局阈值进行二值化。
- (2) 车辆牌照粗定位：对图像进行边缘检测，并进行主干提取，体现密集边缘的车牌区域。
- (3) 车辆牌照精定位：对图像进行区域生长的处理，使密集的边缘变得更加集中，突出车牌区域。
- (4) 根据车辆牌照大致的宽高比从候选区域中确定车牌的位置。

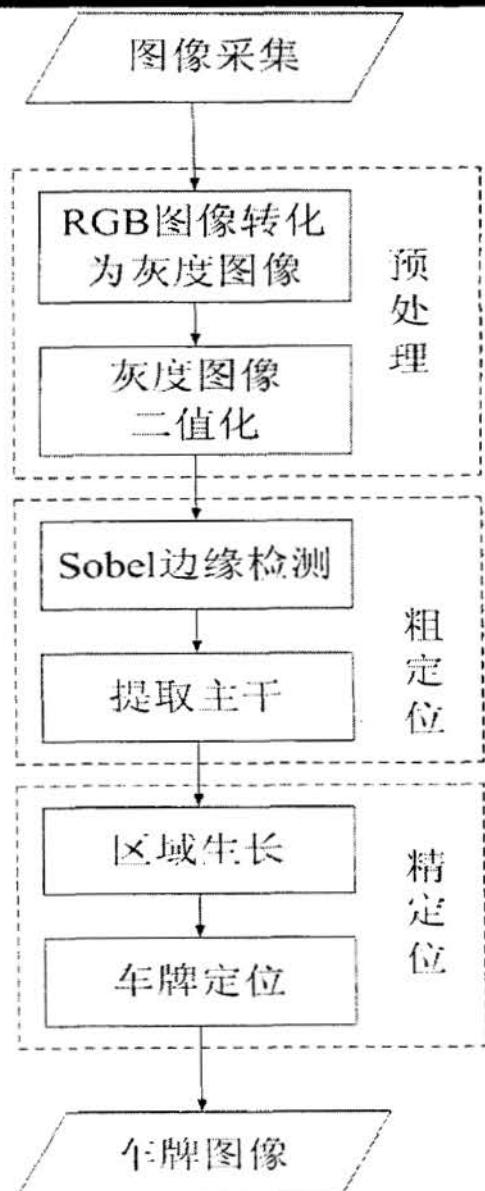


图 2.1 车牌检测与定位流程

2.2 图像预处理

作为图像识别的基础，图像预处理直接影响到后续的识别方法和识别效果。在本文的车牌识别系统中，从摄像头或者采集卡采集到的图像为 RGB 彩色图像。

2.2.1 RGB 彩色模型

在 RGB 模型中，每种颜色出现在红、绿、蓝的原色光谱分量中，这个色

彩模型基于笛卡尔坐标系统，所考虑的彩色子空间是一个立方体（如图 2.2）。在此模型中，不同的颜色处在立方体上或其内部，并可用从原点分布的向量来定义。

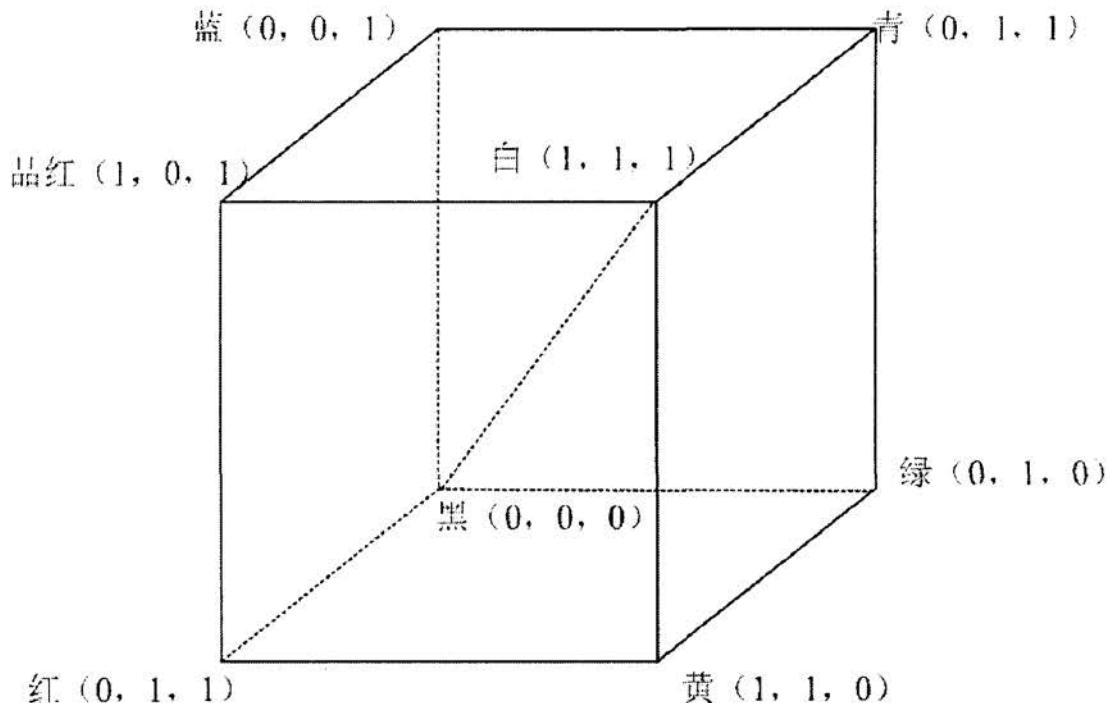


图 2.2 RGB 彩色模型

在图 2.2 中可以看到，立方体的八个顶点分别是黑(0,0,0)，蓝(0,0,1)，绿(0,1,0)，红(0,1,1)，品红(1,0,1)，黄(1,1,0)，青(0,1,1)，白(1,1,1)。

在 RGB 彩色模型中，所表示的图像由 3 个图像分量组成，每一个分量图像都是其原色图像。当送入 RGB 监视器时，这三幅图像在荧光屏上混合产生一幅合成的彩色图像。因此，图像中每一个彩色像素都需要 3 个 Byte 的存储空间，用来表示红、绿、蓝三个分量。

彩色图像较好地保存了图像的信息，对于进一步的辨认车牌区域提供更多的识别特征，直观准确。但是信息量大的代价，是大量的存储空间和巨大的计算量，同时，在实时的车牌照识别系统中对硬件的要求过高，成本较高。

2.2.2 RGB 图像转换为灰度图像

灰度图像是指只含亮度信息，不含色彩信息的图像。通常显示为从最暗的黑色到最亮的白色的灰度，尽管理论上这个采样可以表示任何颜色的不同深浅，甚至可以是不同亮度上的不同颜色。用于显示的灰度图像通常用每个

采样像素 8 位的非线性尺度来保存，这样可以有 256 级灰度。

灰度图像处理的优点是，需要的存储空间少，运算量较低，对硬件的要求较低。

本文中就采用基于灰度图像的处理，将 RGB 图像转化为 256 灰度级的灰度图像。

$$p = 0.114 \times R + 0.587 \times G + 0.299 \times B \quad (2-1)$$

其中， p 代表图像中像素点的灰度值， R 、 G 、 B 分别代表对应点在 RGB 模型中的红、绿、蓝颜色分量。



(a)RGB 图像



(b)灰度图像

图 2.3 RGB 图像到灰度图像的转换

利用公式 2-1 对采集到的含有车辆牌照的 RGB 图像图 2.3(a)进行处理，得到的灰度图像如图 2.3(b)所示。

2.2.3 动态全局阈值二值化

一幅图像由亮的对象和深的背景组成，这样的组成方式将对象和背景具有灰度级的像素分成两组不同的支配模式。从背景中提取对象的一种显然的方法是选择一个门限值 T ，将这些模式分离开。然后，所有 $f(x,y) > T$ 的点 (x,y) 称为对象点；否则，就成为背景点。

假设一幅灰度车牌图像的大小为 M 行 N 列，用 $f(x,y)$ ($0 \leq x < M, 0 \leq y < N$ ， x 和 y 均为整数) 来表示某像素的灰度值。那么二值化处理可以表示如公式(2-2)所示：

$$f(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) > T \\ 0 & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (2-2)$$

当 T 仅取决于 $f(x,y)$ 时，门限就称为全局的。如果 T 取决于 $f(x,y)$ 和该点的局部性质，门限就是局部的。另外，如果 T 取决于空间坐标 x 和 y ，门限就是动态的或自适应的。

全局动态二值化从整个灰度图像的像素分布出发寻求一个最佳的门限值，它是在判别最小二乘法的基础上推导出来的。基本思想是：取一个阈值 T ，将图像像素按灰度大小分为大于等于 T 和小于 T 两类，然后求出两类像素的平均值方差 σ_B^2 (类间方差) 和两个类各自的均方差 σ_A^2 (类内方差)，找出使两个方差比 σ_B^2 / σ_A^2 最大的阈值 t ，该阈值即为二值化图像的最佳阈值。这种方法不论图像的直方图有无明显的双峰，都能得到较为满意的效果。

设给定图像具有 $1, 2, 3, \dots, K$ 共 K 级灰度，阈值设为 t ，把灰度大于 t 和小于 t 的像素分为两类。类1 中的像素总数为 $W_1(t)$ ，平均灰度为 $M_1(t)$ ，方差为 $\sigma_1^2(t)$ ；类2 中的像素总数为 $W_2(t)$ ，平均灰度为 $M_2(t)$ ，方差为 $\sigma_2^2(t)$ ，所有图像像素的平均值为 M 。

类间方差 $\sigma_B^2(t)$ 和类内方差 $\sigma_A^2(t)$ 分别由下两式决定：

$$\sigma_B^2 = W_1(M_1 - M)^2 + W_2(M_2 - M)^2 \quad (2-3)$$

$$\sigma_A^2 = W_1\sigma_1^2 + W_2\sigma_2^2 \quad (2-4)$$

求二值化阈值的算法描述如下：

- (1) 求图像中最大的灰度 \max ;
- (2) 令 $t = 0$;
- (3) 求出大于和小于 t 的这两类像素总数和像素的灰度平均值;
- (4) 计算类间方差 σ_B^2 和类内方差 σ_A^2 ;
- (5) $t = t + 1$, 循环3—5步, 直到 $t > \max$;
- (6) 找出 σ_B^2 / σ_A^2 最大的值, 得到相应的阈值 t 。

通过此算法对如图 2.3(b)的灰度图像进行二值化处理, 二值化后的图像如图 2.4 所示。



图 2.4 二值化车辆图片

可以明显看到, 车牌照区域被很好地突出出来, 其他干扰信息也被很好地抑制。

2.3 基于边缘检测的车牌粗定位

图像边缘是指图像局部亮度变化最显著的部分, 即在灰度级上发生急剧变化的区域。二维图像中边缘灰度变化曲线中常见的信号波形有阶跃型信号

或屋脊型脉冲信号。阶跃型信号边缘两侧的灰度值有明显变化；屋脊型边缘中间的灰度与边远两侧的灰度有明显差异。经典的边缘检测方法是考察图像的每个像素在某个邻域的灰度变化，利用边缘邻近的一阶或二阶导数变化规律来检测边缘，这种方法称为边缘检测局部算子。

常用的边缘算子有 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Laplacian 算子及 Canny 算子^[26]，它们的模板如图 2.5 所示。

-1	0
0	1

(a) Roberts

0	-1
1	0

-1	-1	0	1
0	-1	0	1
1	-1	0	1

(b) Prewitt

-1	0	-1
0	-4	0
-1	0	-1

(c) Laplacian

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

-1	-1	0	-1
0	-2	0	-2
-1	-1	0	-1

(d) Sobel

图 2.5 常用的边缘检测算子模板

Roberts 边缘检测算子利用局部方差算子寻找边缘，定位比较精确，但对于噪声比较敏感。Sobel 算子和 Prewitt 算子都是一阶的微分算子，前者是加权平均滤波，后者是平均滤波，对噪声具有一定的抑制能力，对灰度渐变和具有噪声的图像处理比较好，但不能完全排除检测结果中出现伪边缘。通过改进，应用比较广泛。Laplacian 算子是二阶微分算子，对图像中的阶跃型边缘点定位准确且具有旋转不变性，但是容易丢失一部分方向信息，抗噪能力较差。Canny 算子采用高斯函数对图像作平滑处理，因此具有较强的去噪能力，定位准确，但仍会丢失一些边缘信息。

由于我们认定车牌区域是一个拥有密集的垂直边界的区域。Sobel 算子根据像素点上下、左右邻点灰度加权差，在边缘处达到极值这一现象检测边缘，它对噪声具有平滑作用，提供较为准确的边缘方向信息。于是本文采用了垂

直的 Sobel 算子 $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 。图 2.6 是经过边缘检测的图像。

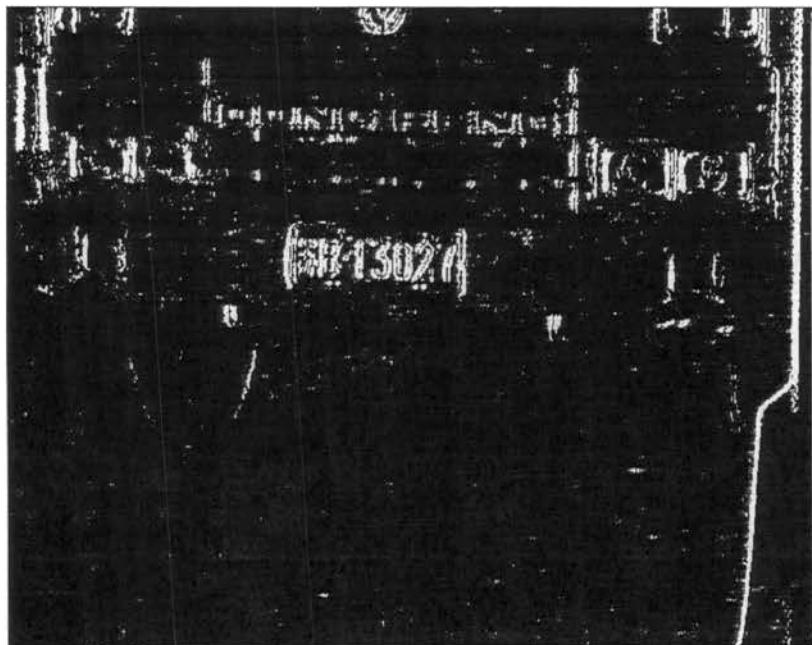


图 2.6 边缘检测结果

从图 2.6 可以看到，图像中边缘的线条被锐化了，很容易辨认。但是，这时仍然有很多干扰车牌线条的信息存在。

2.4 基于区域生长的车牌精定位

从本质上说图像边缘是图像局部特性不连续性的反映，它标志着一个区域的终结和另一个区域的开始。这种不连续性可利用梯度算子等边缘提取算子检测得到，这种方法的优点是边缘定位准确运算速度快，但它有两个明显的问题：

- (1) 不能保证边缘的连续性或封闭性。
- (2) 在高细节区存在大量碎边缘难以形成一个大区域但又不宜将高细节区分成小碎片。

由于上述的两个难点，单独的边缘检测只能产生边缘点而不是一个完整意义上的图像分割过程。这就是说，边缘点的信息需要后续处理或与其他分割算法结合起来才能完成分割任务。

2.4.1 区域生长

区域生长是一种根据事前定义的准则将像素或子区域聚合成更大区域的过程。基本的方法是从一个或若干种子点或种子区域出发，以属性一致性原则为基础，按照一定的生长准则，对邻域像素点进行判别并连接，将相似的相邻像素附加到生长区域的每个种子上，直到不能再找到满足条件的像素为止。

在实际应用区域生长时需要解决三个问题：

- 1.选择或确定一组能正确代表所需区域的种子像素（选取种子）；
- 2.确定在生长过程中能将相邻像素包括进来的准则（确定门限）；
- 3.确定让生长过程停止的条件或规则（停止条件）。

通常根据所解决问题的性质而选择一个或多个种子点。当一个先验信息无效时，这一过程将对每个像素计算相同的特征集，最终这个特征集在生长过程中用于将像素归属某个区域。如果这些计算的结果呈现了不同簇的值，则那些由于自身的性质而处在这些簇中心附近的像素可以作为种子。

生长准则的选取不仅依赖于具体问题本身，也和所用图像数据类型有关，如彩色图和灰度图。一般的生长过程在进行到再没有满足生长的像素时停止，为增加区域生长的能力常需考虑一些与尺寸、形状等图像和目标的全局性质有关的准则。

区域生长的关键是选择合适的生长或相似准则，大部分区域生长准则会使用图像的局部性质。生长准则可以根据不同原理制定，而使用不同的生长准则会影响区域生长的过程。

2.4.2 依密度的区域生长

如果像素 P 的邻域中候选像素的比例大于一个阈值 TD ，它就是一个种子像素。邻域是一个由车牌的大小决定的 $R*R$ 的模板。一般来说，给定一个图像的大小， R 就取车牌图像高的 10%-20%。 TD 可以根据图像的大小调整，根据经验设为 0.10。如果 P 是一个种子像素， P' 在它的邻域内，就认为像素 P' 与像素 P 是依密度连接。根据这个定义，区域生长方法描述如下：

- (1) 搜索未标识的候选像素，找到种子像素；
- (2) 如果找到 1 个种子像素 P ，建立一个新的区域。然后，迭代式收集

与 P 依密度相关的未标识的候选像素，用同样的区域标识标记这些像素；

(3) 如果还有种子像素，返回 (1)；

(4) 标示每一个找到的区域为值域。

如图 2.7，就是区域生长后的车牌边缘图像，在这里，我们已经可以明显地看到图像中间的部分已经有了一块矩形的前景区域。

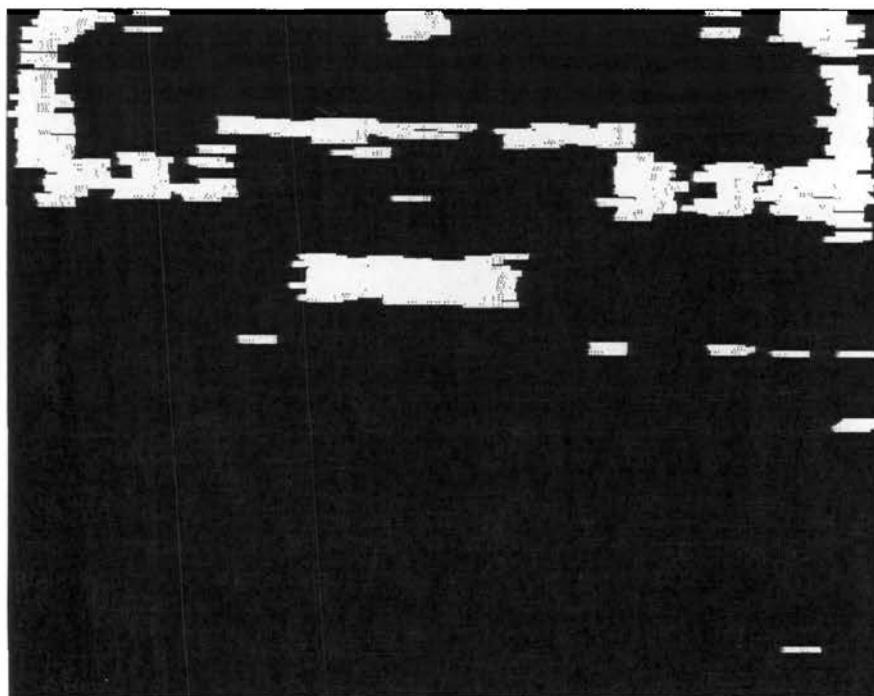


图 2.7 区域生长后的边缘

2.4.3 车牌选择

在密度生长处理后的理想状态是图片中只存在一个连通区域，这便是我们需要的车辆牌照区域。但是在实际情况中，如图 2.7，我们可以发现，车辆图片中会有多个边缘密集的部分，产生多个连通区域对车牌区域造成干扰。这时我们就需要对候选的连通区域进行筛选。

由于车辆牌照的形状很特殊，一般是宽高比一定的矩形框，我们就可以利用这一纹理特征进行判断。比如中国现行车辆牌照标准中，车辆牌照的宽高比大约为 3: 1，利用这个标准对各个候选区域的宽高比进行计算，筛选出牌照区域。

考虑到车辆牌照倾斜的可能性，在实际应用中可以适当放大宽高比的范围，一般为 2.5~4: 1。同时考虑到车辆牌照识别系统一般会固定应用于某个

现场，则采集的图片中，车辆牌照的总面积占图片面积的比例也会有一定的范围，又可以利用这一纹理特征对候选的连通区域进行限制。

通过车牌区域宽高比和总面积这两个约束条件分析图像，可以从中提取出真正的车辆牌照区域。如图 2.8，我们可以清楚的看到车牌的区域已经被独立了出来。

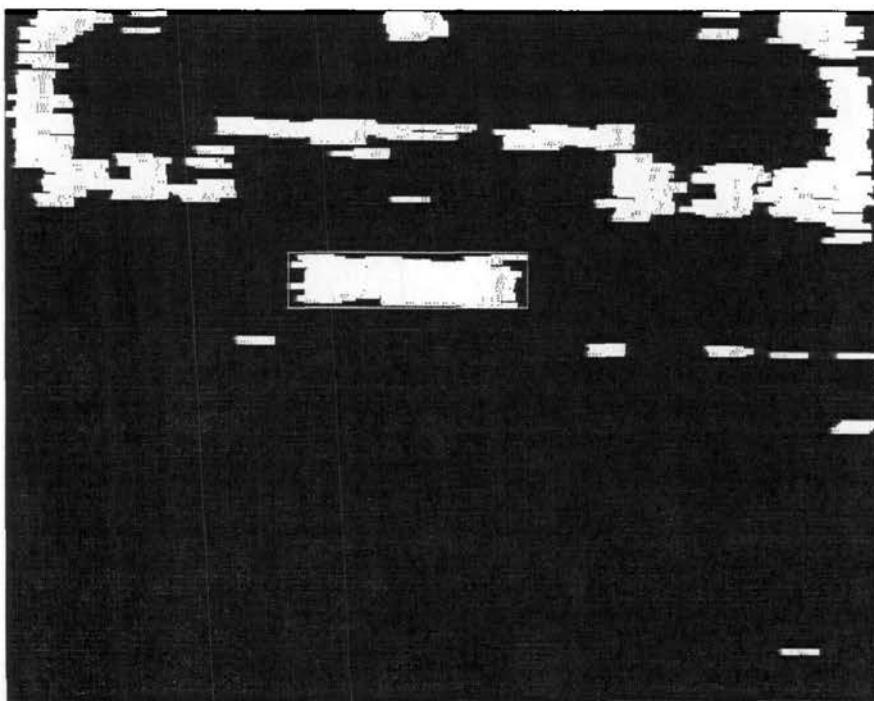


图 2.8 车辆牌照区域的精定位

2.5 实验及结果分析

实验选取了实时拍摄的数据库中图片 1000 幅，这些图片的格式包括 bmp, jpg 等，图片尺寸统一为 768*576 像素。对本文中的车牌检测定位算法进行测试，结果见表 2.1。

表 2.1 车牌定位实验数据

实验图片数	定位成功的图片数	平均耗时（单位：毫秒）	准确率
1000	959	54	95.9%

从表中可以看出，文中提出的改进的基于 Sobel 算子边缘检测的车辆牌照定位算法，平均定位准确率可以达到 95.9%，平均耗时 54 毫秒。可见本算法较好地达到了定位的准确性和高效性，而且对于光照等条件干扰的鲁棒性好。

2.6 本章小结

本章从车辆牌照区域是一个拥有密集的垂直边界的区域这个特点出发，采用 Sobel 边缘检测算子对图像进行边缘提取，再通过主干提取、依密度的区域生长等对图像进行处理，进一步根据车辆牌照的宽高比这一纹理特征精确定位车辆牌照的位置。实验证明，算法实现的检测准确性高、速度快，满足了实时系统的要求。此外，改进的基于 Sobel 算子边缘检测的车牌定位，有效地剔除了大量的离散噪声和非条纹干扰信息，且受光照影响较小。

但是在实验中也发现，如果车辆上悬挂其他矩形标志，而尺寸和宽高比与车辆牌照近似，就容易误识别为车辆牌照。

第3章 结合模板匹配和连通性分析的字符分割

3.1 概述

字符分割是指将车牌区域分割成单个的字符区域，理想目标是包括单个字符的最小矩形区。切分越准确，则后面对识别效果越好。它的主要过程是：首先对车牌定位提取的牌照图像进行预处理，得到利于字符分割的二值化图像；然后根据不同的分割方法进行字符切分；最后把切分好的字符图像送交字符识别系统进行识别。

目前广泛应用的机动车牌照字符分割算法主要有三种，它们分别是基于投影、连通区域和全局最优化。

投影法程序逻辑设计简单，便于设计和操作，但是这种简单的分割方法容易被车牌的旋转而影响，而垂直投影分割对铆钉及车牌左右边框等噪声敏感。而全局最优化算法虽然对于噪声的鲁棒性好，但是在分割处理前要求有精确的格式定义。综合考虑以上因素，本文采用连通性分析的方法来实现字符的分割。但是这种方法对图像二值化要求比较高，而且对粘连比较敏感，所以需要对基本的连通分量提取算法进行改进。

字符的垂直分隔是一个难点。针对这个问题，根据机动车辆牌照标准的先验知识，我们可以得到一个标准的车辆牌照模板，通过这个模板可以大致确定字符在牌照区域的分布。在这几个可能区域中再进行连通分量提取，就可以有效解决粘连和噪声等问题。

但是，模板匹配是基于图像的垂直灰度投影的，确定最佳的匹配位置是一个关键，需要有一个优化的匹配算法。本文引入了动态规划这个概念。

本文中字符分割的步骤如图 3.1。

为了满足分割对图像质量的要求，需要进行预处理，包括二值化、初步的噪声处理、倾斜校正和多行字符分割。然后计算出适合图像中车牌区域的模板，确定每个字符的大致区域。最后在每个区域中分别进行连通分量的提取划分出字符的具体区域。

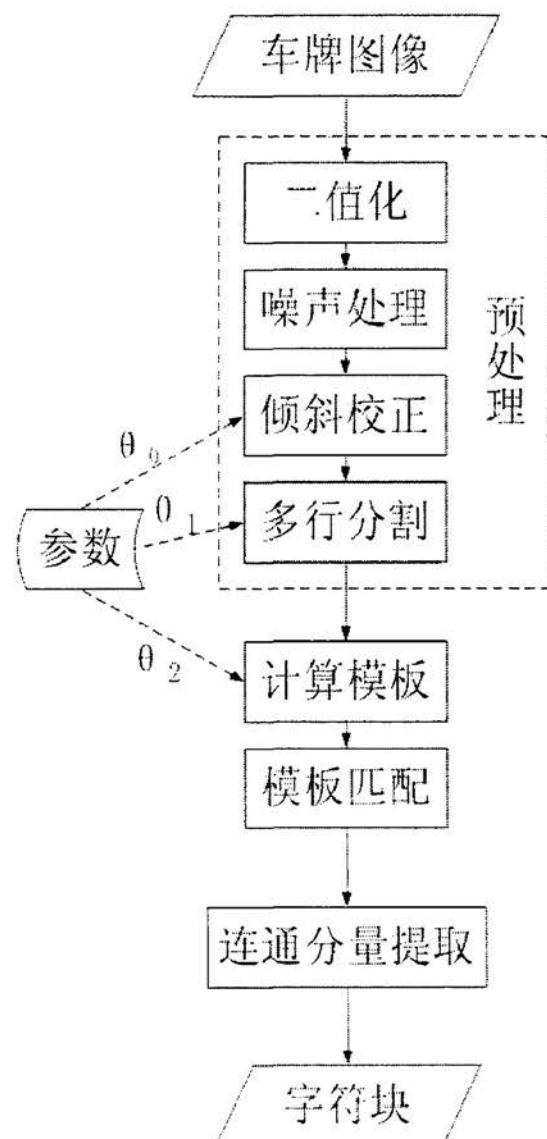


图 3.1 字符分割算法流程

3.2 图像预处理

虽然在车辆牌照的检测定位中已经对图片进行过诸如 RGB 图像到灰度图像的转换和二值化的处理，但是字符的分割和识别处理过程对图像的质量要求比较高。而且获取的车牌区域图像后，待处理图像的尺寸大大缩小了，使得图像中的非车牌信息（如颜色、噪声等）减少了许多。重新对获取的原始的车牌区域的 RGB 图像进行处理，可以得到更满足字符分割和识别要求的二值图像。

3.2.1 二值化

直方图均衡化或灰度拉伸在增强目标像素的同时，也增强了背景像素，同时还容易引入噪声。根据统计，车牌中字符所占像素点的比例大约是 20%。只要对这 20% 的前景像素进行增强，大部分的字符像素点就可以得到增强，实现削弱背景、增强目标的目的，并可以有效地抑制噪声。

把车牌区域的 RGB 图像转换为灰度图像，然后对其进行灰度投影，灰度值高的 20% 像素作为阈值划分出前景，剩余的 80% 作为背景像素，将车牌区域图像进行二值化处理^[24]。由于车牌背景的颜色不同，灰度化后可能会有黑底白字和白底黑字两种，通过分析直方图，可以判别出车牌的种类，为了后续处理的方便，将白底黑字反色处理成黑底白字。

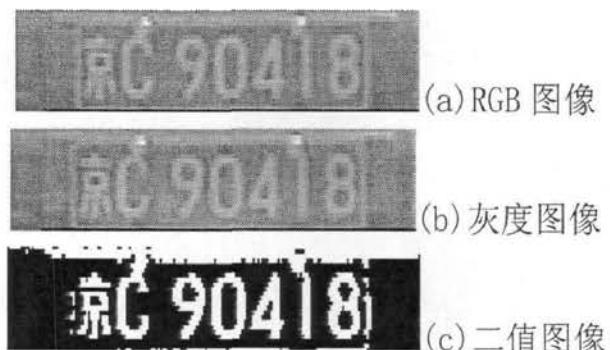


图 3.2 车牌的二值化处理过程

3.2.2 初步噪声去除

影响车牌字符分割的准确性的因素有很多。首先，脱色、污损、反光等原因会使车牌图像质量变差，产生严重噪声。其次，车牌的边框和铆钉对于字符信息来说是冗余的车牌信息，需要剔除。车牌字符间的分隔符，对字符识别也有影响。此外，图像采集过程中，车牌的旋转会影响水平分割，光照的不均匀也会影响图像的质量。

噪声的去除是一个很复杂的任务，容易连有效的信息也去除掉。通过对车辆牌照图像的统计分析，车牌的边框是长的连续的线条。对图像进行行扫描和列扫描，只要前景像素超过一定的比例，就可以认为此行或列为车牌的边框区域。

去除车牌边框和车牌中离散的斑点噪声。如图 3.3 所示。



京C 90418

图 3.3 去除边框和离散噪声

3.2.3 倾斜校正

车辆牌照的理想图像是一个矩形区域，但由于摄像机和车牌之间角度的变化或者车牌本身悬挂的角度变化，常常使所拍摄的车牌图像产生倾斜现象，给字符的分割带来不利影响。

目前，有很多图像倾斜校正方法。比如，依据检测牌照的边框获得牌照倾斜角之后进行倾斜校正；或通过牌照的字符局部特征以及整个牌照的特征进行投影判断，然后进行倾斜校正^[15]；或者通过统计方法获得不同字符的中心点，然后拟合出一个倾斜直线然后进行校正的等等。通过检测图像中的边框来进行倾斜校正是一个简单易行的方法，然而牌照定位后所得到的牌照的边框并不一定完整，校正常常会失败。另外在不能准确判断字符位置和字符数量（单行和双行牌照的字符数量是不一致的）或者牌照区域存在类似于字符的噪声时，这种统计的倾斜校正方法就表现出其缺陷。

本文充分考虑到牌照的一个显而易见的特征就是牌照的对称性，采用统计字符像素相对于最低点像素的高低位置以及字符在牌照中的分布特点进行牌照的倾斜校正，本文可以通过两个步骤求出牌照的倾斜夹角 θ ，然后对图像进行旋转校正。

首先，如图 3.4 所示，对牌照进行水平方向直方图投影，从图中可以看出对于单行的牌照中间区域的投影所得的值较大，而上下两边的部分区域呈现较小的值，可以很容易的看出，如果从直方图发生跳跃的地方对应出牌照上的一对平行线，平行线之间的像素也就是字符在水平方向投影所得到的值最大的地方，也就是说，这是字符像素最密集的地方。其中绿色矩形对角线与水平线的夹角就是倾斜角。



图 3.4 牌照水平投影及倾斜角确定和校正

然后，如上图所示，连接这两个水平线间像素的左下角像素至右上角像素（在另一种倾斜情况下可以连接左上角至右下角的像素）做一直线。则这一直线与水平线间的夹角就是倾斜角 θ 。最后利用这个角度可以完成图像的旋转，成功地对牌照进行倾斜校正，效果如图 3.5 所示。

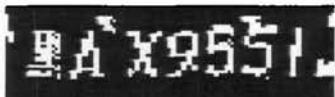


图 3.5 倾斜校正后的牌照图像

3.2.4 多行分割

车辆牌照可能具有多行字符。由于不同行字符的特点不同，需要先进行行分割，然后才能对各行分别进行字符分割和识别。

对车牌区域进行扫描，进行水平投影。由于多行字符之间会有较为明显的分隔区域，分析水平投影图，其中的“峡谷”就可以确定字符行间的分割线，然后再对各行字符分别进行后续处理。若不存在这样的分割线，则直接按照单行的车辆牌照进行后续处理。

如图 3.6，分别是单行和双行字符牌照的水平投影图，在图 3.6(b)中，我们可以快速的找到行间的分割线。



(a) 单行字符车牌水平投影 (b) 双行字符车牌水平投影

图 3.6 车牌水平投影分析

投影分析后，可以确定可配置系统中的参数字符行数 θ_1 ，为接下来的识别进行指导。

3.3 基于模板匹配的字符初步分割

对车牌二值图像进行垂直灰度投影，可以确立字符的垂直分割线。灰度投影算法把投影结果中的“峡谷”被认为字符中的空隙，这种方法简单直观，效率高。但是灰度投影的一个难点就是对于投影波谷的判断。

在现实获取的车辆牌照中，由于污损、光线昏暗等问题，在字符区域常

常出现很多的噪声和字符断裂等问题，这就会导致再投影后出现一种情况——在一个范围内有多个波谷存在，这些波谷都可能被认为是字符垂直分隔线的候选者，无法确定哪个位置是最佳选择。

利用车牌尺寸标准这个先验知识进行模板匹配可以解决这个问题。

3.3.1 利用先验知识的标准模板

车辆牌照是识别机动车辆的重要特征。每个国家虽然车牌各不相同，但是机动车牌照有固定的格式和标准，即在一定尺寸的车牌上，字符的个数、每个字符的宽高比例和字符的间距是固定不变的。

以中国的单行普通民用车辆牌照为例，现行的行业标准就是从 2007 年 11 月 1 日起执行的《中华人民共和国机动车号牌》（GA36-2007）如图 3.7 所示。



图 3.7 单行普通车辆牌照标准

可以看到，单行字符的车牌主要特点如下：

1. 机动车牌照采用矩形牌照，分为前牌和后牌两种。前牌尺寸一般是 440mm×140mm。
2. 单行机动车牌照含有 7 个字符，主要分为 3 类：汉字、字母、数字。

车牌号的第一个字符一般是汉字，代表该车户口所在地，用户口所在省、自治区、直辖市的简称。第2个字符是大写英文字母，代表该车发牌机关代号，用所在地的地市一级代码。其后是一个间隔符“·”。第3至7个字符代表车辆的编号，为阿拉伯数字或者大写英文字母，但是最多只允许有两个字母。

3. 每个字符统一宽度为45mm，高90mm，第2、3个字符间隔为34mm，其余字符间隔为12mm。

参照图3.7中单行普通车辆牌照标准尺寸，可以建立中国机动车辆单行牌照的模板如图3.8所示。

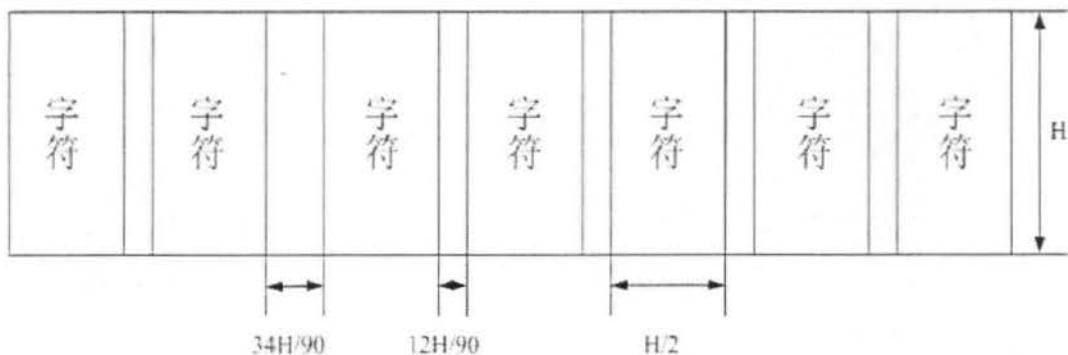


图3.8 单行机动车辆牌照模板（H为车牌字符区域的高度）

此模板以字符的高度为基准，字符的宽度和字符的间距都可以按照一定的比例获得。通过对于车牌区域像素的水平灰度投影，精确定位车牌字符的上下边界后，即可确定字符区域的高度H，然后利用图3.8建立符合本车牌图像的标准模板。

系统中设置第三个参数车辆牌照格式 θ_2 决定一个标准模板。以图3.5的单行机动车辆牌照为例，可以设置一个车辆牌照格式为

$$\theta_2 = (7, 90, 45, 34, 12) \quad (3-1)$$

其中，第一个参数表示车辆牌照中有效字符的个数，第二个参数表示字符区域的高度，第三个参数表示每个字符的统一宽度，剩下的参数表示字符间的距离，由于在图3.8中，第二个字符与第三个字符的间距与其他相邻字符的间距不同，所以有两个字符间距离的宽度34和12。

3.3.2 计算实际模板

标准模板是根据标准尺寸的车辆牌照设置的，而实际获得的车辆牌照图像的尺寸与标准尺寸存在一个比例。得到这个缩放比，才能计算出实际用于

匹配的模板尺寸。本文以字符区域的高度 H 为基准得出缩放比。

设标准模板的高度为 H_1 , 实际模板的高度为 H_2 , 则可以计算出标准模板到实际模板的缩小比例 p :

$$p = H_2 / H_1 \quad (3-2)$$

把标准模板中的字符宽度和字符间距等乘以这个缩小比例 p , 就可以得到实际模板中响应的尺寸, 得到实际模板。用数组 $Model[i]$ 表示实际模板中字符垂直分割线的位置, w_M 是模板的总宽度:

$$Model[i] = \begin{cases} 1 & \text{模板中字符垂直分割线位置} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3-3)$$

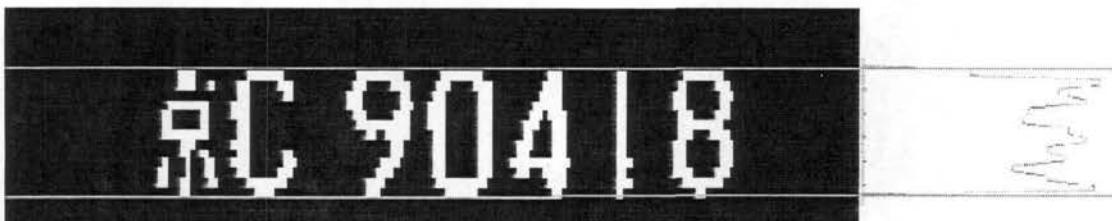


图 3.9 字符区域的上下边界

如图 3.9, 经过水平投影分析, 得到字符的上边界 E_1 和下边界 E_2 , 则字符区域的高度 $H_2=E_2-E_1$ 。根据式 (3-2) 计算出缩小比例 p , 然后可以确定图片中每个字符的实际宽度和字符间距。

3.3.3 基于动态规划的模板匹配算法

在模板匹配中, 有两个问题:

(1) 车牌图像进行预处理后, 车牌区域中除字符外可能出现大片的空白, 这就可能导致进行模板匹配后确定的字符区域中根本没有字符像素。

(2) 由于车牌图像中垂直分割线的候选者众多, 可能在模板匹配中出现多个匹配结果, 不同的匹配确定的字符区域会直接影响最终获得的字符的特征信息是否更加有效, 直接影响到后续的识别效果。

针对第一个问题, 需要在进行模板匹配前设定匹配开始的范围, 不一定是从图像的边缘开始, 而是要从出现第一个字符的附近区域, 即出现满足一定数量的前景像素的位置开始。

针对第二个问题, 本文的算法引入了动态规划的思想。

动态规划(dynamic programming)是运筹学的一个分支, 是求解决策过程

(decision process)最优化的数学方法。如果一类活动过程可以分为若干个互相联系的阶段，在每一个阶段都需作出决策(采取措施)，一个阶段的决策确定以后，常常影响到下一个阶段的决策，从而就完全确定了一个过程的活动路线，则称它为多阶段决策问题。各个阶段的决策构成一个决策序列，称为一个策略。每一个阶段都有若干个决策可供选择，因而就有许多策略供我们选取，对应于一个策略可以确定活动的效果，这个效果可以用数量来确定。策略不同，效果也不同，多阶段决策问题，就是要在可以选择的那些策略中间，选取一个最优策略，使在预定的标准下达到最好的效果。

本研究采取一种基于动态规划的模板匹配，确定字符的大致区域。

用数组 $M[i]$ 表示二值图像中字符分隔线的候选，这是通过对图片垂直灰度投影获得的， w 为图像的宽度：

$$M[i] = \begin{cases} 1 & \text{图像中字符分割处的候选} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3-4)$$

则模板匹配可以用公式 (3-5) 表示：

$$E = \min_{0 \leq j \leq w - w_M} \sum_{0 \leq i \leq h_M} |M[j+i] - Model[i]| \quad (3-5)$$

利用公式(3-5)，在图片上从左至右移动模板。使 E 最小的 i 值即为最终匹配模板的第一个字符的左侧分割线。根据模板中的相关参数，可以确定其他的字符垂直分隔线。相邻两条分割线之间的区域就是字符的大致区域，然后在该区域里利用连通性分析找到字符的具体区域。

图 3.10 显示了一个成功的模板匹配，可以看到，字符的大致区域已经确定。



图 3.10 字符的模板匹配

3.4 连通性分析

像素的连通性是一个基本概念，它简化了许多数字图像概念的定义，如区域和边界。为了确定两个像素是否连通，必须确定它们是否相邻及它们的灰度值是否满足特定的相似性准则。常见的邻接性主要有3个类型：4邻接、8邻接、m邻接（混合邻接）。其中，4邻接是最常用的，它的表示如图3.11所示：

在图像中，某个像素 p 坐标为 (x,y) ， p 有4个水平和垂直的相邻像素，其坐标分别为 $(x-1,y)$ 、 $(x+1,y)$ 、 $(x,y-1)$ 、 $(x,y+1)$ ，这个像素集称为 p 的4邻域，一般用 $N_4(p)$ 表示。

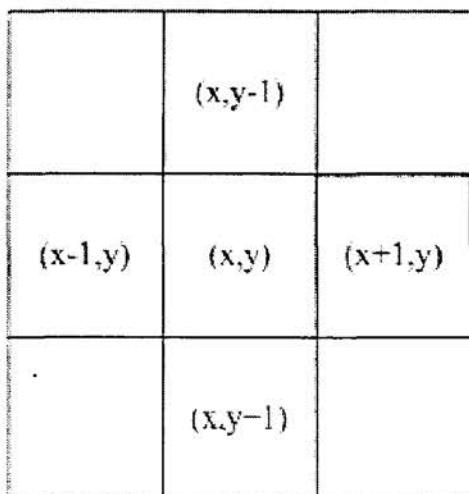


图 3.11 像素的4邻接

令 S 代表一幅图像中像素的子集。如果在 S 中全部像素之间存在一个通路，则可以说两个像素 p 和 q 在 S 中是连通的。对于 S 中的任何像素 p ， S 中连通到该像素的像素集叫做 S 的连通分量。

令 Y 表示一个包含于集合 A 中的连通分量，并假设 Y 中的一个点 p 是已知的。然后，用迭代表达式(3-6)生成 Y 的所有元素：

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A, k=1,2,3\cdots \quad (3-6)$$

这里 $X_0=p$ ， B 是一个适当的结构元素。如果 $X_k=X_{k-1}$ ，则算法收敛，并且令 $Y=X_k$ 。

连通性分析法是基于数学形态学原理来实现的。在之前的模板匹配得到的字符区域内对前景像素进行连通分量提取，具体的算法如下：

- (1) 搜索没有处理过的像素，并且找到一个种子像素；
- (2) 如果在图像中找到一个种子像素 $P(x,y)$ ，则建立一个新的区域。接着，不断地搜索 P 的 4 邻域像素 $(x-1,y)$ 、 $(x+1,y)$ 、 $(x,y-1)$ 、 $(x,y+1)$ ，若有像素也为字符像素，则和 P 标定为相同的区域标号。对于区域中的每一个像素进行和 P 一样的操作，直至找不到符合条件的像素位置。这时，当前连通量提取程序结束；
- (3) 如果仍然有种子像素，转到第(1)步；
- (4) 将找到的所有区域标记为目标候选区域，将不包含在任何区域内的像素合并到背景。

图 3.12 显示了最后完成的字符分割结果。可以看到车牌中的字符已经被分离抽取出来。



图 3.12 单行字符分割结果

通过连通性分析分割字符的方法，对于离散的噪声抗干扰性很好，但是对于粘连等形成的噪声不敏感。

3.5 实验结果分析

为了测试字符分割算法的准确性，从实时的数据库中抽取了 1000 张具有一定特点的正确定位的车牌图像。这些牌照大致可以分为 4 类：

- (1) 单行字符没有倾斜的牌照 700 张；
- (2) 单行字符有倾斜的牌照（倾斜度在 5° 到 20° 之间）100 张；
- (3) 双行字符没有倾斜的牌照 100 张；
- (4) 一些特殊种类无倾斜牌照（如警车或消防车）100 张；

在 Visual C++6.0 软件平台实现字符分割算法，并且在 PIV 3.0G CPU，1G 内存的计算机上实验得到实验数据如表 3.1 所示。

从表中可以看出无倾斜单行字符的车辆牌照被正确分割占该类全部测试图片的 97.5%，倾斜的单行字符的车辆牌照被正确分割占该类全部测试图片

的 96%，无倾斜双行字符的车辆牌照被正确分割占该类全部测试图片的 95%，特殊种类牌照被正确分割占该类全部测试图片的 97%。数据证明结合模板匹配和连通性分析的字符分割算法很好地完成了功能，并且识别速度很快，完全能满足实时的要求。

表 3.1 字符分割实验数据统计

牌照图像类型	倾斜度	实验图片数	字符分割成功图片数	平均耗时(单位：毫秒)	字符分割准确率
单行字符牌照	无倾斜 (0° ~5°)	700	678	40	97.5%
	有倾斜 (5° ~30°)	100	96	42	96.0%
双行字符牌照	无倾斜 (0° ~5°)	100	95	55	95.0%
特殊种类牌照	无倾斜 (0° ~5°)	100	97	63	97.0%

当然，字符分割中也存在着一些错误。比如车牌受到污损，造成字符粘连比较严重，影响了分割的效果。还有一些字迹掉色的字符，尤其是汉字，在连通分量提取的过程中很可能造成提取的不完整，造成分割错误。这些都说明本文的字符分割算法在抗干扰性上还有待进一步提高。

3.6 本章小结

本节主要论述了车辆牌照的字符分割方法。综合考虑模板匹配充分利用了先验知识的特点，和连通性分析快速准确的特点，提出了一种结合模板匹配和连通性分析的字符分割方法。首先，在对图像的预处理中，为提高图像的二值化质量，采用了倾斜校正、边框和离散噪声的去除等处理。然后，为了解决模板匹配中确定垂直灰度投影“峡谷”的困难，引入了统筹学中动态匹配的思想，得到最优化的字符垂直分割线。最后，在初步确定的字符区域中，进行连通分量提取，确定了字符的精确位置，完成字符分割。

通过对算法进行的一系列实验，可以看到本算法能够达到较高的分割成功率，并且能适应当前多种类型牌照，比如不同格式、不同字符行数等存在的情况。

但是，在实验中也发现对于牌照污损比较严重造成的字符粘连，以及字符缺损比较严重的情况，本字符分割算法还有待提高。

第4章 基于ANN的字符识别

4.1 概述

字符识别是车辆牌照识别系统的最后一个步骤，这个部分的主要功能是对之前处理过的车牌图像进行识别，得到车牌号码的字符串。机动车牌照的字符识别类似于 OCR 字符识别，一般都采用 OCR 字符识别方法。

字符和标志识别算法分为基于学习的算法和模板匹配算法。在模板匹配算法中，研究者需要手动建立车牌字符和标志的模版图片，此外，为了应用特征点的不变性提高鲁棒性，需要选择和提取大量而有效的特征。考虑到算法的可扩展性，本文采用了人工神经元网络(ANN)来识别车牌中的字符。

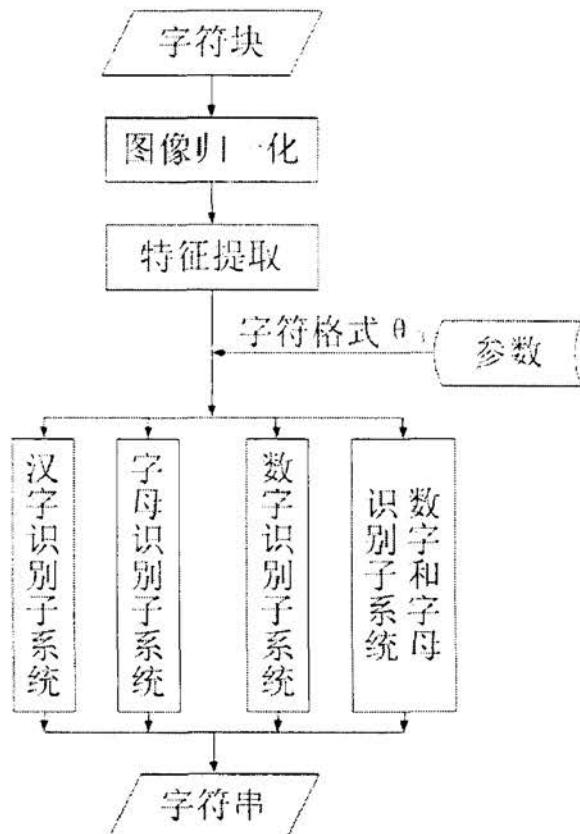


图 4.1 字符识别流程

由于车牌都有固定的格式，所以字符的类型和范围都是可以预知的。例

如，中国的车牌，就主要有三类字符：汉字、大写英文字母和阿拉伯数字。这样，只要分别建立汉字、大写英文字母和阿拉伯数字的识别子系统，就可以将识别字符时考虑的类别缩小到更小的范围。

字符识别的流程如图 4.1 所示。首先对于分割后的字符块进行图像尺寸的归一化处理，然后进行特征提取，调用相应的字符识别子系统，然后将识别出来的字符连接在一起，构成字符串。

4.2 字符图像归一化

由于分割后的字符图像大小不同，而在特征提取的过程中，不同大小的字符图像提取的特征维数和每一维的特征的意义都不相同，这就失去了特征提取的意义。因此，我们要将输入的大小不同的字符图像进行变换，使之称为统一尺寸大小的文字。这个过程被称为图像尺寸的归一化。

常用的图像尺寸归一化方法有两种，一种是将文字的外边框按比例放大或者缩小成为规定尺寸的文字的线性归一化法，另一种是根据水平和垂直两个方向文字黑象素的分布进行大小归一化的非线性归一化法。

线性归一化的方法对边框的噪声影响很敏感。非线性归一化会使一些字符的形状发生改变，虽然经过去噪处理，但是不可避免地仍存在着少量的噪声干扰，因此在本文中考虑使用非线性归一化将识别的字符图像归一化到 16*16 大小的图像上。

设字符图像的宽为 W，高为 H，图像中某像素点 $c(i,j)$ ，若 $c(i,j)=1$ ，表示该像素点为文字黑点；若 $c(i,j)=0$ ，表示该像素为背景。计算文字的质心 G_i 和 G_j ：

$$G_i = \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} i \times c(i,j) / \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} c(i,j) \quad (4-1)$$

$$G_j = \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} j \times c(i,j) / \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} c(i,j) \quad (4-2)$$

然后计算水平和垂直方向的散度 σ_i 和 σ_j ：

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=0}^{H-1} \left(\sum_{i=0}^{W-1} c(i,j) \right) \bullet (i - G_i)^2 / \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} c(i,j) \quad (4-3)$$

$$\sigma_j^2 = \sum_{j=0}^{H-1} \left(\sum_{i=0}^{W-1} c(i,j) \right) \bullet (j - G_j)^2 / \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{i=0}^{W-1} c(i,j) \quad (4-4)$$

最后，按比例将文字线性放大或缩小成规定散度的点阵。

4.3 字符特征提取

特征提取的基本任务是把高维特征空间压缩到低维特征空间，以便有效设计分类器。

车牌字符特征提取主要有结构、统计两种方法。统计方法是字符识别发展最早的一种方法，它的基本思想就是把字符图像分割、简化为若干的基元，主要有基于骨架、轮廓和字符笔画等的方法。结构方法主要是对字符的笔画框架进行分析得到，更好的体现出局部细节，如笔段、交叉点、拐点等。这两种方法各有优缺点，还需要分析待识别的车牌字符特征，确定合适的特征。

4.3.1 车牌字符分类

要提取更易于识别的字符特征，首先应该对车辆牌照的字符特点进行分析。在中国车辆牌照的现行标准中，规定了车辆牌照的字符特点，归纳如下：

(1) 由于我国警用、军用等特殊车辆的牌照上字符的颜色分为两种一般是用红色字符表示特殊车辆种类，另外用黑色表示牌照编号，所以，可以扫描整个牌照图像并检测牌照中字符的颜色种类数，获知目标牌照是否为特殊类型牌照。如果是此类型牌照的话可以按照“单行字符警、军等特殊牌照字符分类方法”进行字符分类；

(2) 对于其他的牌照而言，单行和双行字符牌照对字符分类影响很大，所以按照在行分割中得到的系统参数字符行数 θ_1 ，获取牌照信息。如果是单行字符牌照则按照“单行字符普通牌照字符分类方法”进行字符分类；

(3) 在双行字符牌照中，上行只是表示牌照发行地区的省名简称和地区英文字母，下行一般是一些大写英文字母和数字编号。如果是双行字符牌照则按照“双行字符牌照字符分类方法”进行字符分类。

下面分别对这四种字符分类方法进行简要的描述：

(1) 单行字符警、消防等特殊牌照字符分类方法：如果牌照字符总数为

7个则是警车牌照，将其第一个字符标识为汉字，第二个字符标识为大写英文字母，最后标识为汉字，其余为阿拉伯数字，如：沪A 3577警等；如果是武警或消防类牌照的将前两个字符块作为大写英文字母，第五个字符块为汉字或阿拉伯数字，其他的为阿拉伯数字。

(2) 单行字符普通牌照字符分类方法：将第一个字符块标识为汉字，第二个字符标识为大写英文字母，第三个字符至第七个字符标识为阿拉伯数字或大写英文字母，如：黑A T0697 或苏B 25401等。

(3) 双行字符牌照字符分类方法：将上行的第一个字符块标识为汉字，

京 A
第二个为英文，下行的字符为阿拉伯数字或者大写英文字母，如：931745 等。

4.3.2 字符特征提取

好的特征抽取方法必须满足以下条件：特征之间相互独立，类内距离小类间距离大，特征向量的维数尽量小。

通过之前的字符特点分析，我国车辆牌照字符是一种符合国家标准，且本身带有较多约束条件的印刷体字符，其笔画规范工整，人眼很容易就能够对牌照上的字符进行区分。显然，人眼对字符的识别用不着过多的计算，而主要依据的是牌照字符本身所具有的结构、轮廓等直观的特征进行的，即根据字符的结构特征（由字符的笔画数量、笔画的走向、笔画间的相互关系组成）不难推断，因此若能够精确地表征和提取字符的结构特征，那么就可以准确的对各个字符进行有效区分。

本文综合考虑了车辆牌照中字符的数量少（所有标志汉字、英文字母和数字总数不超过 80 个）、字符图像尺寸大小统一和字体为规范的印刷体的特点，选择基于字符结构特征的逐像素扫描特征提取方法。经实验证明这种方法不仅能够提取字符的有效特征，而且实现起来也相当的方便，最为重要的一点是它能够使 BP 神经网络快速的收敛，这样可以缩减训练过程中的资源消耗。

这种特征提取方法的基本思想为：将已经分割好的二值字符块作为特征提取对象，进行逐行地像素扫描，扫描的方法按照从左至右，从上至下的原则，将像素灰度值为“255”的像素点的特征值设定为“1”，同样，将像素

灰度值为“0”的像素点的特征值设定为“0”。最后，就形成了一个与图像大小一致的特征向量矩阵，这个矩阵就是以后用于 BP 神经网络训练以及进行字符识别的字符特征数据。

4.4 人工神经元网络的结构

BP(Back Propagation)网络是一种多层前馈神经网络，其神经元的变换函数是 S 型函数，因此输出量为 0 到 1 之间的连续量，它可以实现从输入到输出的任意的非线性映射，权值的调整采用反向传播的学习算法，因此而得名。它具有较强的学习性、自适应性和容错性，在模式识别、语音识别、智能控制、信号处理、生物工程、非线性优化等领域都有大量的应用，显示了其巨大的潜力。

4.4.1 BP 网络的结构设计

(1) 隐含层个数的选择

由于隐含层的存在，使得神经网络可以实现输入到输出的非线性映射。增加网络层数可以更进一步的降低误差，提高精度，但同时也使网络复杂化，增加了网络权值的训练时间。

由于误差精度的提高也可以通过增加隐含层中的神经元数目来实现，其训练效果也比增加层数更容易调整。因此，一般的 BP 网络采用三层就可以胜任函数的映射。而且，考虑到车牌字符的类别较少，于是本文也采用了三层 BP 网络结构。

(2) 输入层和输出层神经元的选择

输入层神经元个数主要是依据待分类字符抽取的特征向量确定。对于归一化为 16×16 点阵大小的字符，以每个像素点为一个网格，输入层神经元个数为 256。

输出层的神经元个数由设计网络时所采用的输出表示和决策规则所确定。在本文设计的针对中国机动车牌照的识别系统中，各子网络的输出层神经元个数分别为：汉字网络，51；字母网络，25（除 I）；字母数字网络，34（除 I 和 O）。

(3) 隐含层神经元的选择

隐含层神经元个数直接影响着神经网络的学习能力和归纳能力。隐含层神经元数目较少时，网络每次学习的时间较短，但有可能因为学习时间不足导致网络无法记住全部学习样本的信息，无法达到全局最小的权值。隐含层神经元数目较大时，学习能力增强，但网络每次学习的时间相对较长，网络的存储容量随之变大，导致网络对未知输入的归纳能力下降。

因此，对于隐含层神经元个数的选择是个需要折中考虑的问题。目前，公认最佳的选择见公式 4-5。

$$h = \sqrt{m + n} + \alpha \quad (4-5)$$

其中， m 为输入层神经元个数， n 为输出层神经元个数， h 为隐含层神经元个数， α 为 1 至 10 之间的常数，依据神经网络训练过程中训练的次数和收敛速度进行调整。

4.4.2 隐含层的变换函数

BP 网络中隐层神经元变换函数通常是 log-sigmoid 型函数、tan-sigmoid 型函数和纯线性函数 purelin，它们的函数图像如图 4.2 所示。

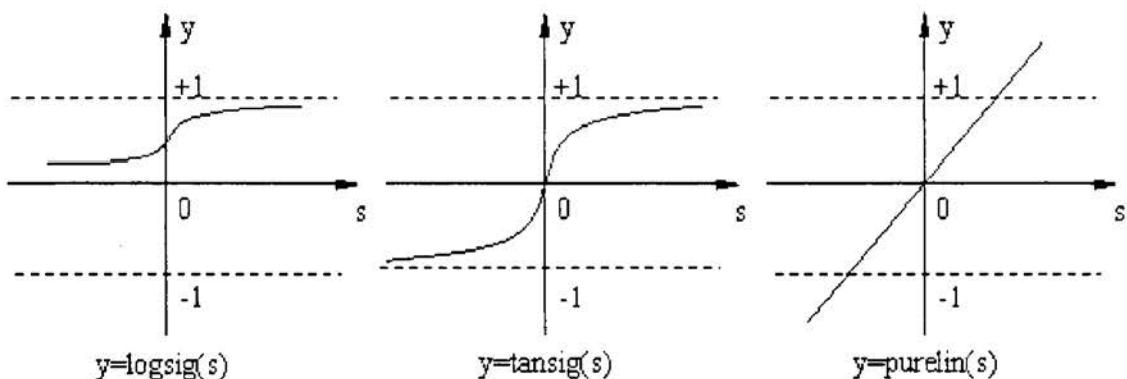


图 4.2 三种 S 型函数的比较

可见，三个传递函数都是可微的单调递增函数。其中 log-sigmoid 型函数是非对称型，取值仅在(0,1)内，而 tan-sigmoid 型函数可在(-1,1)内取值。

如果 BP 网络的最后一层是 sigmoid 型神经元，那么整个网络的输出就限制在一个较小的范围内；如果 BP 网络的最后一层是 purelin 型线性神经元，那么整个网络的输出可以取任意值。

本文中选取了非对称的 S 形函数 log-sigmoid: $\frac{1}{1+e^{-x}}$ 。

4.4.3 BP 网络的误差选择

在 BP 神经网络中，需要有一个误差限制，可以控制收敛速度和训练的时间。一般常用的误差公式主要有三种。

(1) 标准误差定义

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (t_j^p - y_j^p)^2 \quad (4-6)$$

其中， E_p 是第 p 个样本的误差， t_j^p 是期望输出， y_j^p 是实际输出，m 是输出结点的个数。

每次受到不同样本作用时，都会对上面这个权矩阵进行一次修改，由于每次权矩阵的修改都没有考虑权值修改后其它样本作用的输出误差是否也减小，因此将导致迭代次数增加。

(2) 累计误差

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^m (t_j^p - y_j^p)^2 = \sum_{p=1}^P E_p \quad (4-7)$$

其中，m 为输出节点的个数，P 为训练样本数目， t_j^p 为网络期望输出值， y_j^p 为网络实际输出值。

这个公式目的是为了减小整个训练集的全局误差，而不针对某一特定样本，因此如果作某种修改能使全局误差减小，每一个特定样本的误差不一定都能同时减小。它不能用来比较 P 和 m 不同的网络性能。因为对于同一网络来说，P 越大，E 也越大；P 值相同，m 越大 E 也越大。

(3) 均方误差 MSE:

$$MSE = \frac{1}{mp} \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^m (\hat{y}_{pj} - y_{pj})^2 \quad (4-8)$$

其中，m 为输出节点的个数，P 为训练样本数目， \hat{y}_{pj} 为网络期望输出值， y_{pj} 为网络实际输出值。均方误差克服了上述两种误差的缺点，所以在 BP 神经网络的实际应用中以均方误差为最为理想的选择。

4.5 BP 网络训练

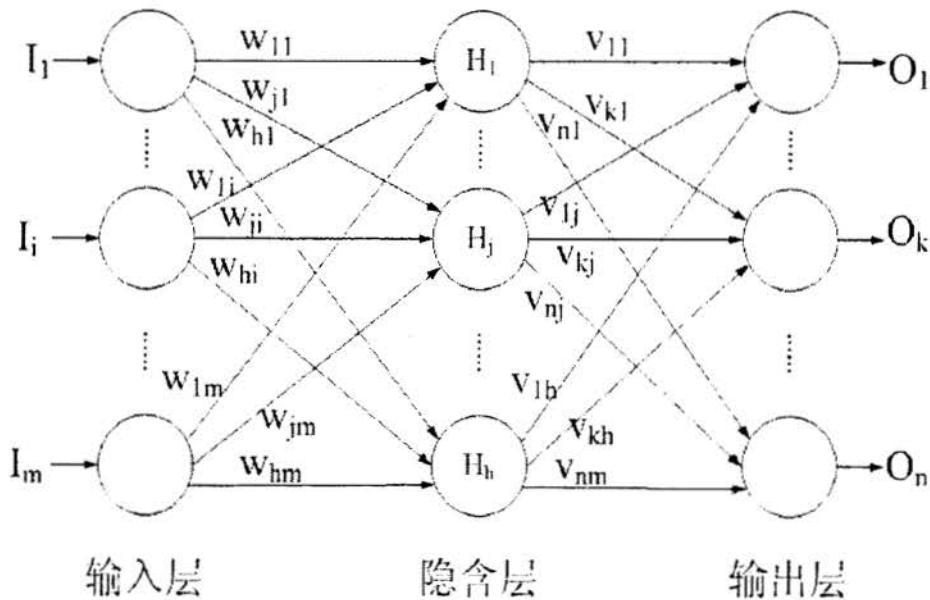


图 4.3 三层 BP 网络

典型的三层 BP 网络结构如图 4.3 所示，它包含输入层、隐含层和输出层，相邻节点全互连，同层节点之间不相连。BP 算法的学习过程由正向传播和反向传播组成。正向传播过程中，输入模式从输入层经过隐含层逐层处理，并传向输出层，每一层神经元的状态仅影响下一层神经元的状态。如果在输出层不能得到期望的输出，则转入反向传播，将误差信号沿原来的连接通路返回，通过修改连接权值与各神经元的阈值，使得误差信号最小。

输入到输出的变换公式如式 4-9 所示。

$$G_k(X) = f \left(\sum_{j=1}^n v_{kj} f \left(\sum_{i=1}^d w_{ji} x_i + w_{j0} \right) + v_{k0} \right) \quad (4-9)$$

其中，\$X\$ 是分类器的输入像素值向量，\$G_k(X)\$ 是最终识别的结果，\$f\$ 是不同网络层间的传递函数，\$w_{ji}\$ 是从输入层节点到隐藏层节点的权值，\$v_{kj}\$ 是从隐藏层节点到输出层节点的权值。如果两个节点间没有连接，则 \$w\$ 为 0。

从 ANN 识别后输出的字符分布在 \$(0.0, 1.0)\$，把字符用二进制数表示。以阿拉伯数字的训练为例，期望得到如表 4.1 的输出。

表 4.1 数字网络期望输出值

输出神经元	训练字符									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
输出神经元 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
输出神经元 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
输出神经元 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
输出神经元 4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
输出神经元 5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
输出神经元 6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
输出神经元 7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
输出神经元 8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
输出神经元 9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
输出神经元 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

在实际的网络中，把数字的输出结果用 4 位二进制数表示，例如数字 9 的识别结果就是 1001，然后再将二进制数转化称为十进制阿拉伯数字。

4.6 字符识别

经过对各个识别子系统的训练，确定了各子系统的相关参数，接下来就可以利用这些子网络进行字符识别。识别的具体步骤有：

- (1) 从已分割的字符块中提取字符特征，输入到 BP 网络中，根据格式匹配可以判定调用哪个识别子网络进行识别。
- (2) 按照输出层输出的编码判断最后识别的是哪个字符。
- (3) 按照格式把识别的字符连接起来，输出识别的字符串

如图 4.4，是一个车牌的识别结果。

识别结果：

苏 B13027

图 4.4 识别结果

在这里，为了避免对一些非车牌区域图像的误识别，可以为最终识别字

符的平均时间设置一个阈值。

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T G(X(t)) > T_t \quad (4-10)$$

如果 ANN 的平均响应时间比阈值 T_t 大，则图像是一个车牌；否则，是一个错误的识别。实验显示 T_t 合适的值域是 0.75 至 0.85。 T_t 的值越高，精确性越高，反馈率越低。

4.7 实验结果分析

本章实验主要是考察各个字符识别 BP 网络子系统的识别效果，实验中采用 1000 幅实时车牌图像，从中分别提取 1000 个汉字字符块、1000 个英文字符块、1000 个数字字符块以及 1000 个英文/数字混合的字符块作为这次实验的素材。在 Visual C++6.0 软件平台实现字符分割算法，并且在 PIV 3.0G CPU，1G 内存的计算机上实验。得到实验数据如下：

表 4.2 字符识别实验数据

识别子系统	字符块数	识别成功字符数	平均耗时（单位：毫秒）	字符识别成功率
汉字	1000	901	73	90.1%
英文字母	1000	924	47	92.4%
数字	1000	932	37	93.2%
数字/英文字母	1000	928	42	92.8%
平均值	1000	921	49.7	92.1%

分析表 4.2 中的数据可以发现，改进的基于 BP 神经元网络的识别算法识别的准确率平均值达到了 92.1%，而且平均耗时仅有 49.7 毫秒，准确率高，识别速度快，完全可以达到车牌字符识别实时高效的要求。

其中，对于数字的识别成功率最高，英文字母次之，汉字略低。汉字笔画的和结构的复杂性，是造成汉字识别成功率较低的主要原因，目前这也是诸多人研究中的难点问题。而英文字母的识别的难点在区分近似形状的字母，如“O”和“D”。这都使得字符识别算法在特征的选择上有进一步的提高。

4.8 本章小结

本章主要介绍了 BP 神经网络的训练和字符识别过程。

在特征选取上通过灰度值扫描，提取了字符的结构特征用于识别。这种方法简单易行，而且特征提取的较充分。在 BP 神经元网络的设计中采用了典型的三层网络，并且为汉字字符、英文字母字符和数字字符分别建立了子网络，利用车牌字符的特点，缩小了分类的范围，大大提高了识别的速度。

但是在实验和分析中，可以看到，今后字符识别的重点和难点放在了对于特征的选取上。

第5章 实验结果与分析

本文开发了一个可配置的机动车辆牌照识别系统，应用了基于改进的边缘检测方法的牌照定位算法、基于模板匹配和连通量分析的字符分割算法和基于BP神经网络的字符识别方法，同时设定了一个有四个系统参数的框架。

在文中，已对车辆牌照识别的三个主要技术模块进行了实验分析，为了评价整个系统的性能，在本章中，会对集成系统进行实验和分析。

5.1 实验系统构成

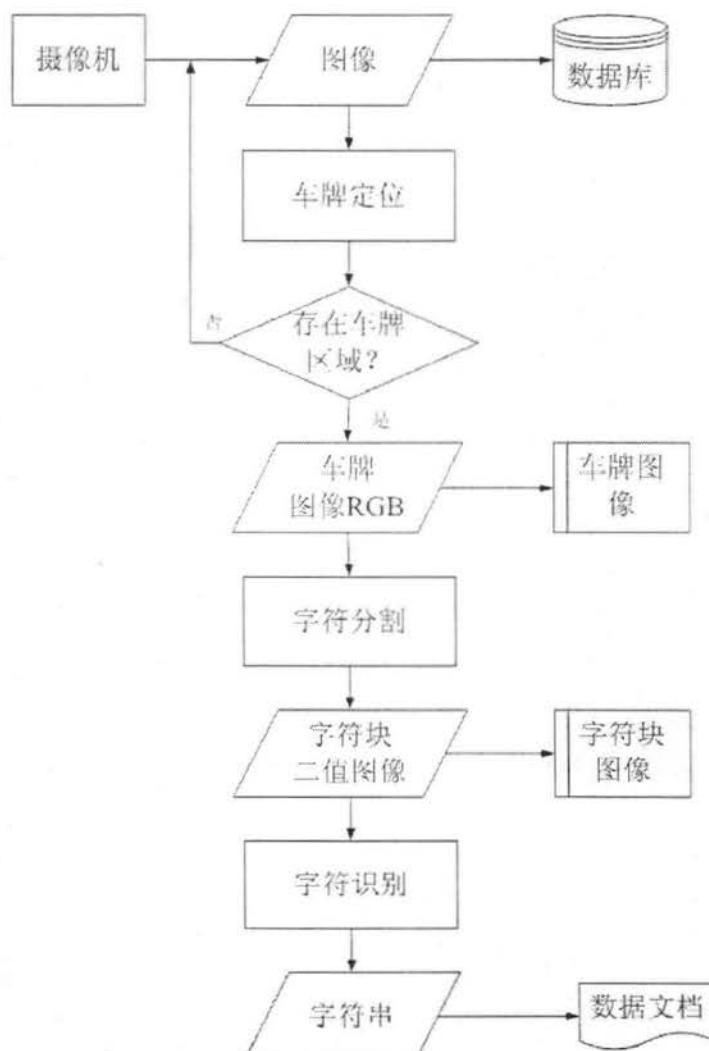


图 5.1 实验系统结构

本系统的实验数据来源是某公路收费站实时采集数据库，在 Windows XP 操作系统下采用 Visual C++6.0 软件开发工具获得此系统的软件实验平台，并在具有 PIV 3.0G CPU，1G 内存的计算机上进行实验。从图像采集设备中获得 RGB 格式的彩色图像格式有 bmp、jpg 等，尺寸统一为 768×576 像素。然后分别经过牌照定位模块、字符分割模块和字符识别模块处理后获得可以被计算机处理的牌照文本字符信息，最后实现对于车辆牌照数据的实时管理。

系统的主界面如图 5.2 所示。



图 5.2 系统主界面

在主界面中，可以显示实时拍摄的车辆图片，车牌定位的区域和最后识别的字符串。同时，系统不仅可以对单幅图像进行检测，也可以对一个目录中的多幅图像进行检测。

5.2 实验结果设计及识别结果

实验从某实时摄像机采集的图片数据库中选取静态图片 3000 幅，均为包含机动车辆的 RGB 彩色图像，其中包含各种颜色和不同类型的车辆牌照。采集环境为用于采集图片的实时摄像机与车辆牌照的夹角范围在 -30° 到 30° 之间，距离大约 5 米采用上节设计的实验系统，实验数据如表 5.1 所示。

表 5.1 实验数据

牌照类型	图像采集环境	平均时耗 (单位: 毫秒)	牌照定 位成功 率	字符分 割成功 率	字符识别 成功率	牌照识别 成功率
单行普通	白天	122	99%	98%	94%	91.2%
	夜晚	142	98%	97%	94%	89.3%
双行普通	白天	132	99%	98%	95%	92.2%
	夜晚	152	98%	97%	94%	89.3%
特殊车牌	白天	145	99%	98%	96%	93.1%

实验所用的图片按照车牌类型可以分为单行字符的普通车辆牌照、双行字符的普通车辆牌照和部分单行的特殊牌照（主要是警车牌照）。按照光照条件又可分为白天和夜晚的图像。牌照定位成功率是指从采集的车辆图像中检测车辆牌照定位成功的比例，字符分割成功率是指从定位成功的车辆牌照图片中正确分割出字符块的比例，字符识别成功率是指将正确分割后的字符块图像识别正确的字符比例。而最后的牌照识别成功率计算公式为：牌照识别成功率=牌照定位成功率×字符分割成功率×字符识别成功率。

5.3 实验数据分析

从表 5.1 可以计算出牌照平均定位成功率为 98.6%，平均字符分割成功率为 97.6%，平均字符识别成功率为 94.6%，平均耗时 138.6 毫秒。可以看出，各项指标已经达到了实时系统的识别率在 80% 以上，耗时在 400 毫秒以内的要求，证明本机动车辆牌照识别系统已经可以用于实际的应用。

然而，进一步分析实验数据，也可以看到在光照条件比较差，以及污损干扰比较大的环境中，车辆牌照的识别准确率仍然会受到很大的影响。基于边缘检测的车牌定位算法准确率较高。本文提出的结合模板匹配和连通性分析的字符分割方法在一定程度上解决了字符粘连的问题，但是仍然需要进一步的改进。在整个系统中字符识别的准确率最低，这主要由于实验数据主要采用的是中国车辆牌照，对于汉字的识别一直是 OCR 字符识别的难点，在今后的研究中，是一个重要的方向。

5.4 本章小结

本章对整个机动车辆牌照识别系统进行了集成系统测试。从数据分析的结果来看，满足了实时的需求，识别效率较高。同时也分析了在今后研究中需要进一步深入解决的问题。

结 论

机动车辆牌照识别技术是智能交通系统中的重要环节。近年来，越来越多的自动牌照识别系统被广泛应用于交通、生活的各个领域。本文对于机动车辆牌照识别系统的研究现状进行了分析，针对目前存在的一些问题，开发了一种可配置的机动车辆牌照识别系统。本系统主要包括车辆牌照定位、车牌字符分割和车牌字符识别三个部分。

车辆牌照定位是整个车牌识别系统中最关键的一步。本文从车辆牌照是一簇密集的垂直边缘的区域这个特点出发，对 Sobel 算子边缘提取方法进行改进，加入了区域生长的处理，有效地剔除了噪声的干扰，从图像中定位了车辆牌照的位置。不过在实验中发现，对于车辆上悬挂的形状和宽高比与车辆牌照类似的物体抗干扰性有待提高。

车牌字符分割是车牌识别中很重要的一个环节，直接影响到下一步字符识别的准确率。连通分量提取的方法通用性好，灵活快捷，但是对于字符粘连鲁棒性差，本文针对这一缺陷提出了先用模板匹配的方法粗定位字符区域，达到了较好的效果。但是对于模板的设计与提取等还需要进一步的提高。

车牌字符识别是整个识别系统中的决定环节。本文利用了目前广泛应用的三层 BP 网络识别算法，又利用车牌字符类型的标准这一先验知识，将识别划分为多个子系统，降低了识别中分类的数量，提高了识别的速度。但是字符的特征提取仍然是一个亟待解决的关键问题。

本文从实时采集的图片库中提取了大量的数据进行实验，并进行了多方面的分析和研究。实验结果表明此系统在多种车牌类型中的通用性好，在不同的工作环境中能充分适应光照条件等的改变，无论是识别的准确率还是识别的速度都足以满足实时系统的需要，每秒的识别率可以达到 8 幅图像。

但是，随着科技和交通技术的迅猛发展，车辆牌照识别系统的要求也越来越高，本系统仍然有很多改进的空间。比如：

- (1) 如果车辆上悬挂多个类似车辆牌照的标志，如何排除它们的影响，准确定位牌照；
- (2) 对于车牌的污损、字符掉色和反光等原因对于字符图片质量的影响，

如何更好的解决噪声和字符粘连等问题。

- (3) 如何提取更加充分反映字符特点的特征，更好地解决诸如像汉字这样结构复杂的字符识别，和诸如“O”和“D”、“1”和“7”这样易于混淆的字符识别。

参考文献

- [1] 张美多, 郭宝龙.车牌识别系统关键技术研究.计算机工程, 2007, 33(16): 186-188 页
- [2] 赵启升, 李存华.基于 VC++的车牌识别系统关键技术研究.计算机科学, 2006, 33(12): 207-210 页
- [3] 王枚, 王国宏.利用伴生与互补颜色特征的车牌定位新方法.计算机工程与应用, 2007, 43(1): 206-209 页
- [4] 周开军, 陈三宝, 徐江陵.复杂背景下的车牌定位和字符分割研究.计算机工程, 2007, 33(2): 198-200 页
- [5] 张云刚, 张长水.利用 Hough 变换和先验知识的车牌字符分割算法.计算机学报, 2004, 27(1): 130-135 页
- [6] 潘中杰, 谭洪舟.模板匹配法和垂直投影法相结合的一种新的车牌字符分割方法.自动化与信息工程, 2007, 28(2): 12-14 页
- [7] 王森, 陈炬桦.基于神经网络和综合特征的车牌定位算法.计算机技术与发展, 2008, 18(2): 38-41 页
- [8] 王兴玲.最大类间方差车牌字符分割的模板匹配算法.计算机工程, 2006, 32(19): 193-195 页
- [9] Q.X Ye, Q.M, Huang, W.Gao, et al. Fast and robust text detection method in images and video frames. Image and Vision Computing, 2005, 23: 565-576P
- [10] Sherin M.Youssef, Shaza B.Abdel Rahman. A smart access control using an efficient license plate location and recognition approach. Expert Systems with Applications, 2008, 34(1):256-265P
- [11] D. Zheng, Y. Zhao, J. Wang. An efficient method of license plate location. Pattern Recognition Letter, 2005, 26: 2431-2438P
- [12] Yungang Zhang, Changshui Zhang. A new algorithm for character segmentation of license plate. Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE, 2003, 6:106-109P
- [13] Vojtěch Franc, Václav Hlaváč. License Plate Character Segmentation Using

Hidden Markov Chains. Pattern Recognition, 2005, 36(6):385-392P

- [14] 吴红梅, 陈继荣, 鹿晓亮.一种新的车牌字符分割方法.计算机仿真, 2007, 24(2): 252-254 页
- [15] 李硕明, 付仲亮, 彭彬慧.基于字符行特征的车牌倾斜矫正算法.江汉大学学报, 2006, 34(1): 35-37 页
- [16] 杨凡, 赵建民, 朱建忠.一种基于 BP 神经网络的车牌字符分类识别方法.计算机科学, 2005, 32(8): 92-95 页
- [17] 李中凯, 王效岳, 魏修亭.BP 网络在汽车牌照字符识别中的应用.山东理工大学学报, 2004, 18(4): 69-42 页
- [18] 王春, 刘波, 周新志.采用 BP 神经网络的车牌字符识别方法研究.中国测试技术, 2005, 31(1): 26-28 页
- [19] 王智文.基于改进 BP 神经网络的车牌字符识别研究.广西工学院学报, 2006, 17(3): 86-88 页
- [20] 刘春雨, 李俊.一种字符识别算法在自动识别系统中的应用.微电子学与计算机, 2008, 25(3): 71-73 页
- [21] 胡乃平, 王丽.字符识别中改进的神经网络算法设计.自动化与仪器仪表, 2006, 2: 12-14 页
- [22] 卜质琼, 邹卫强, 周运祥.基于神经网络集成的汽车牌照识别.计算机工程与设计, 2007, 28(19): 4741-4743 页
- [23] 吴进军, 杜树新.SVM 在车牌字符识别中的应用.电路与系统学报, 2008, 13(1): 84-87 页
- [24] 王冠, 敖志刚, 刘永跃等.基于快速连通域标记的车牌字符分割.计算机与现代化, 2007, 6: 55-58 页
- [25] 马永力, 夏秋华.基于数学形态学的车牌精定位算法的研究.微计算机信息, 2008, 1: 227-229 页
- [26] 任俊, 黄丹丹, 李志能.结合纹理分析和支撑矢量机的汽车牌照定位研究.浙江大学学报工学版, 2006, 40(8): 1352-1357 页
- [27] 吴舟舟, 李树广.基于分级边缘间距的实时车牌检测.中国图像图形学报, 2007, 12(2): 315-321 页
- [28] 朱俊梅, 陈少平.基于改进的投影方法的车牌图像字符分割.中南民族大

学学报: 自然科学版, 2007, 26(4): 58-61 页

- [29] 索中英, 吴华, 朱林户等.车牌自动识别的图像匹配追踪算法.探测与控制学报, 2008, 30(1): 77-80 页
- [30] 宋晨光, 叶海建.基于数学形态学的车牌字符分割算法.光电子技术与信息, 2005, 18(2): 58-62 页
- [31] D. Zheng, Y. Zhao, J. Wang. An efficient method of license plate location. Pattern Recognition Letter, 2005, 26(15):2431-2438P
- [32] E.N.Vesnin, V.A.Tsarev. Segmentation of Image of License Plates. Pattern Recognition and Image Analysis, 2006, 16(1):108-110P
- [33] T. D. Duan, T. L. Hong Du, T. V. Phuoc, et al. Building an automatic vehicle license plate recognition system, in Proc. Int. Conf. Computer Science. RIVF, 2005: 59-63P
- [34] X. Shi, W. Zhao, Y. Shen. Automatic license plate recognition system based on color image processing. Computational Science and Its Applications, ICCSA, 2005, 3483: 1159-1168P
- [35] S.L. Chang, L.S. Chen, Y.C. Chung, et al. Automatic license plate recognition. IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5(1): 42-53P
- [36] S. Norul, H. Sheikh, A.M. Khalid, et al. License plate recognition using multi-cluster and multilayer neural networks. Information and Communication Technologies, ICTTA, 2006, 1: 1818-1823P
- [37] M.R. Lyu, J. Song, M. Cai, A comprehensive method for multilingual video text detection, localization, and extraction. IEEE Trans. CSVT. 2005, 15: 243-255P
- [38] V. Kamat, S.Gannan. Efficient implementation of the Hough transform for detecting vehicle license plates using DSP'S. Real-Time Technology and Applications Symposium, 1995. Proceedings, 1995, 5:58-61P
- [39] Liying Zheng, Abbas H.Hassin, Xianglong Tang. A new algorithm for machine printed Arabic character segmentation. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(15):1723-1729P

- [40] Shigeko Nomura, Keiji Yamanaka, Osamu Katai, et al. A novel adaptive morphological approach for degraded character image segmentation. Pattern Recognition, 2005, 38(11):1961-1975P

攻读硕士学位期间发表的论文和取得的科研成果

致 谢

本文是在黄凤岗教授的指导下完成的。黄老师严谨的学风及广博的知识给我留下了深刻的印象。在我攻读硕士学位期间，黄老师在学习和研究中给予我精心的指导和教诲，使我获益良多。在论文的完成中，黄老师耐心地对我进行指导和帮助，并给予我很多鼓励和启发。此外，黄老师高尚的人格魅力和道德情操也对我产生了很大的影响。在此对于黄老师表示深深的感谢。

在我的系统设计和论文完成阶段，中国科学院研究生院系统开发实验室的焦建彬教授和叶齐祥老师也给予了很多的帮助和指导，在此也表示感谢。

感谢教研室的老师和同学们在学习中提供的热心帮助，感谢姚欣和宝晓娜等同学在生活中对我的关怀和支持。感谢我的父母对于我继续学习的支持。

最后，感谢培养了我 7 年的母校哈尔滨工程大学。