

# 智能交通系统车辆流量检测技术的研究

## Research of Traffic Parameters Detection Technology for Intelligent Transportation System

专        业：模式识别与智能系统

研    究    生：代建辉

指    导    教    师：路志英    副教授

天津大学电气与自动化工程学院

2007年6月



# 中文摘要

随着我国经济的飞速发展和城市化进程的加快，机动车保有量剧增，这在给人们日常生活带来便利、促进社会和经济发展的同时，也导致了道路交通状况的日益恶化，交通阻塞普遍存在、交通事故发生率不断上涨。为了缓解交通运输压力，提高道路的通行能力并降低交通事故发生率，本文立足于计算机视觉技术，构建了一个应用于市区公路上的交通流量检测系统，并对其中车道线检测和车辆的识别与跟踪方法进行了重点研究。本文主要工作如下：

1. 本文分析了交通流量检测中背景提取的各种方法。在均值法提取背景的基础上，对交通场景序列图采用背景差分法进行运动目标提取。另外，建立了直线型车道模型；以车道上的白色标记线为基础，采用基于颜色的图像分割，通过边缘提取和 Hough 变换识别出路面上的车道边缘线。

2. 在车道检测的基础上，采用基于车道标记线的水平投影算法实现车辆检测，即：根据前景目标的水平投影直方图来判断车辆是否存在，通过验证水平投影的像素特征来检测车辆。

3. 以车辆检测为基础，采用“匹配—修正—预测”的循环策略进行车辆跟踪，在跟踪基础上进行了流量参数统计。本文首先检测出运动车辆的角点，然后根据运动车辆的一致性原则，假设同一辆车的各部分具有相同的速度，利用 Kalman 滤波预测技术预测角点在序列图像下一幅图像中的位置，使系统在预测范围内进行角点运算，从而提高运算速度，在车辆跟踪的实时性等方面令人满意。

实验结果表明，本文提出的车道检测和车辆识别与跟踪方法是可行的，能够满足系统实时性和准确性的要求。

关键词：背景提取 水平投影 车道检测 车辆检测 车辆跟踪 角点检测 Kalman 滤波

# ABSTRACT

With the fast development of economy and the process of urbanization in our country, the quantity of motor vehicle grows rapidly which makes the people's life more convenient and worsens the road traffic at the same time, such as the frequent traffic congestion and also more traffic accidents. In order to release the pressure of the transportation, improve traffic capability and reduce the traffic accident, this paper develops a vehicle flow detection technology for urban district on the base of computer vision. The key to this system is the detection of the lane and the vehicle, which are mainly researched. The main work of this paper are as follows:

1. After anglicizing several methods used in background extraction, the background is acquired using method of mean value. Based on that, the moving target is extracted by adopting background difference. And a straight model is constructed to describe the lane mark; Based on the white mark, lane detection is performed by employing the color image segmentation, edge extraction and Hough transform.

2. After finishing the lane detection, a horizontal projection method for vehicle detection based on the white lane marks is adopted. According to the horizontal projective histogram of foreground objects, we can judge and confirm the existence of a car by checking the pixel characteristics of horizontal projection.

3. This paper tracks the vehicles through image sequences by the repetition of the "matching-correction-prediction" strategy and calculates traffic parameters after finishing the tracking. First of all, corner point of the moving vehicle is detected, and according to the hypotheses of motion coherence, every part of the car is at the same speed. Kalman filtering is employed to predict the position of the corner in next frame of the image sequence, which reduces the search region when calculating new corners and consequently improves the operation speed of the system. The real-time characteristic of vehicle tracking is satisfying.

Experimental results show that the lane detection and the moving object detection and tracking algorithm in this paper are robust, efficient and suitable for real-time processing.

**Key words:** background extraction, horizontal projection, lane detection, vehicle detection and tracking, corner detection, Kalman filtering,

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 研究背景和研究现状 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2 交通流量检测技术 .....	4
1.3 课题研究内容 .....	5
1.3.1 主要工作 .....	5
1.3.2 论文的结构安排 .....	6
第二章 理论基础与方法 .....	7
2.1 图像处理技术 .....	7
2.1.1 序列图像特点分析 .....	7
2.1.2 交通图像的特点 .....	7
2.2 图像预处理 .....	8
2.2.1 中值滤波 .....	8
2.2.2 均值滤波 .....	9
2.2.3 频率滤波器 .....	11
2.2.4 图像分割 .....	11
2.3 数学形态学 .....	12
第三章 运动目标提取 .....	15
3.1 运动目标提取方法 .....	15
3.1.1 光流法 .....	16
3.1.2 帧差分 .....	16
3.1.3 背景差分法 .....	17
3.2 背景提取算法及其自适应更新 .....	18
3.2.1 均值法背景提取 .....	19
3.2.2 直方图法背景提取 .....	21
3.2.3 背景更新 .....	22
3.3 前景运动目标提取 .....	23
3.4 形态学处理 .....	24
3.5 本章小结 .....	25
第四章 运动目标检测 .....	26
4.1 车辆检测 .....	26
4.1.1 车辆检测方法分类 .....	26
4.1.2 车道检测 .....	28

4.2 角点检测 .....	34
4.2.1 基于模板匹配的角点检测.....	34
4.2.2 基于几何特性的角点检测方法.....	35
4.3 车辆跟踪 .....	36
4.3.1 Kalman 滤波理论基础 .....	37
4.3.2 车辆实时跟踪 .....	38
4.4 本章小结 .....	40
第五章 总结与展望 .....	42
5.1 系统整体结构 .....	42
5.2 系统软件设计 .....	43
5.3 检测结果及分析 .....	45
5.4 建议与展望 .....	45
参考文献 .....	47
发表论文和参加科研情况说明 .....	50
致    谢 .....	51

## 第一章 绪论

随着现代数字图像处理学的发展及对计算机视觉研究的深入,人们越来越希望能够用计算机代替人进行智能控制、智能操作,实现系统自动化,减少人工参与,从而减少重复性劳动的人工占用。图像处理学及计算机视觉的一个主要研究目的是使计算机能够通过平面图像识别出其中感兴趣的景物信息,例如物体的形状、位置,并能根据这些信息做出判断,从而达到人工智能控制的目的。

### 1.1 研究背景和研究现状

#### 1.1.1 研究背景

交通运输系统是国民经济的基础,也是确保社会生产和人民生活得以正常进行的重要条件。随着公路运输的快速发展,机动车辆保有量剧增,这在给人们日常生活带来便利、促进社会和经济发展的同时,也带来了一系列的负面影响。交通运输业的迅速发展,极大的方便了社会以及人们的生活,但是与此同时,汽车数量的急剧增加,导致了道路交通状况的日益恶化,并且在各个城市中,交通阻塞普遍存在、交通事故发生率不断上涨,从而导致了人身安全、经济损失、环境污染等一系列严重的社会问题。另外,无论是发达国家还是发展中国家,路面交通运输都不同程度地存在着人们最关心的交通安全问题<sup>[1]</sup>。

随着城市化进程和汽车的普及,交通运输问题日益严重。为了解决出现的各种问题,早期主要的做法是修建大量的道路,这虽然初步缓解了交通运行中存在的问题,一定程度上提高了道路的通行能力,然而无论是哪个国家的城市,都存在建设空间有限、资金筹措困难等实际问题。另外由于交通系统是一个相当复杂的大系统,单独从车辆或是从道路方面去考虑都很难从根本上解决问题。因此,为从根本上解决这个问题,20世纪80年代人们开始把车辆、道路、使用者三个方面作为一个系统整体考虑,采用各种新技术如计算机技术、信息技术、通信技术、电子控制技术对三者关系展开研究,不仅有效地解决了交通阻塞问题,而且对交通事故的应急处理、环境的保护、能源的节约都有显著的效果。在这个过程中,智能交通系统应运而生了。

智能交通系统(Intelligent Transportation System),简称ITS,是指将先进的信息采集技术、数据通讯技术、自动控制技术、计算机技术等综合运用于交通管理体系,实现准确、高效、大范围的交通运输综合管理系统,ITS是在传统的交

通工程基础上发展起来的新型交通系统。由于各国国情不同，路面状况也不同，发展交通的重点研究方向不同，所以各国进行研究的的方向也很不相同，其突出体现在 ITS 研究内容方面的不同。当前国外对 ITS 的研究已经比较深入并且已经投入运行，国内方面起步较晚。

ITS 通过对道路交通流信息进行实时监测，了解道路交通的运行情况，根据交通流的动态变化，迅速做出交通诱导控制，减轻道路的拥挤程度，减小车辆行车延误，对车辆进行分流，降低发生交通事故的概率，保证行车安全，并使交通设施得到充分利用，减小道路空置率，实现交通运输的集约式发展，最终达到智能交通系统的目的，从而能够最大限度地利用现有的宏观交通设施（道路、桥梁、隧道等），同时取得更高的交通运输安全性。

总体而言，智能交通系统是以交通指挥中心为主体，包含多个子系统的综合系统。具体说来，一个完整的智能交通系统包括交通管理信息系统、交通信号控制系统、电视监控系统、交通诱导系统、通讯广播系统、闯红灯数字记录系统、流量检测系统、GPS 卫星定位系统等八个子系统，完整的系统组成框图如图 1-1 所示。

如图 1-1 中所示的各个子系统之间既有独立性，又有关联性。独立性是指各个子系统自成体系，可以独立运行，能独立完成特定的功能；关联性则是指各个系统在信息上相互联系，相互补充，从而构成一个完整的交通管理系统。交通管理系统随着科技发展和城市交通问题的发展而不断完善

随着我国经济建设的蓬勃发展，城市的人口和机动车拥有量也在急剧增长，交通流量日益加大，交通拥挤堵塞现象日趋严重，交通事故时有发生。交通问题已经成为城市管理中的重大社会问题，阻碍和制约着城市经济建设的发展。因此，深入研究城市交通问题有着极为重要的现实意义，而要解决城市交通问题，就必须准确掌握交通信息。国外交通管理系统经验表明，我国应该综合考虑国内道路现状以及我国经济发展等方面，在构建国家现代公路网提高交通运送能力的同时，加大各种高新技术运用如信息采集技术、数据通讯技术、自动控制技术、计算机技术等来系统地解决道路交通问题，从而大幅度的提高路网的通行能力和道路管理服务质量的。

### 1.1.2 国内外研究现状

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，采用通信技术、计算机技术、控制技术、信息处理技术等对传统交通运输系统进行深入改造，以提高系统资源的使用效率、系统安全性，减少资源的消耗和环境污染。



基于类似原因，我国对智能交通系统的发展也抱有极大的热情。

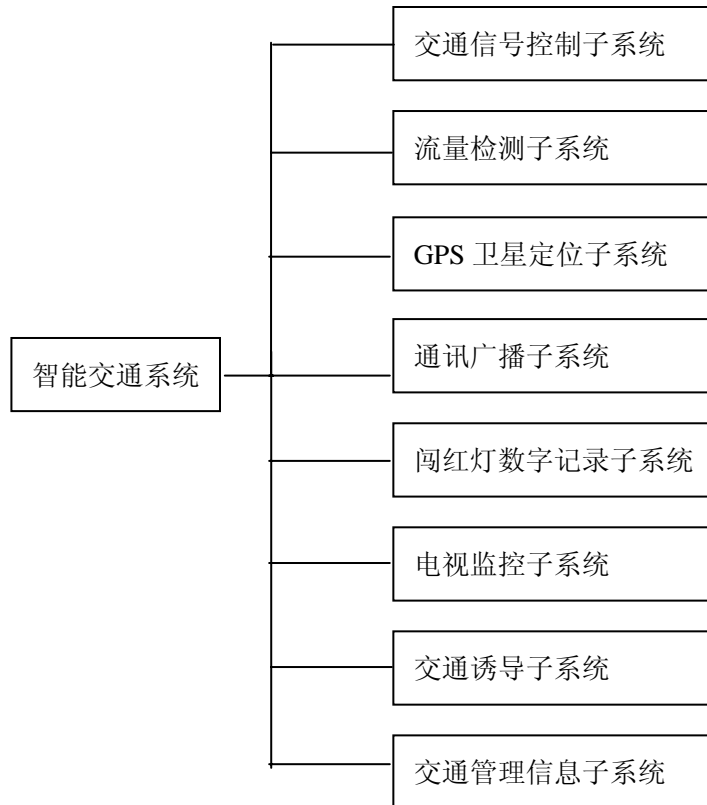


图 1-1 智能交通管理系统框架图

从上世纪 60 年代开始，美国就已经开始了有关智能化交通方面的研究，之后，欧洲、日本等也相继加入了这一行业。经过 40 多年的发展，美国、欧盟、日本成为了世界智能化交通研究的三大基地。在美国、欧洲、日本等工业国家已经建立了全国性的 ITS 发展协调组织，统一制定研究计划并投入大量研究经费，已经取得了重要的研究成果。

1984 年，美国明尼苏达大学（The University of Minnesota）的机器视觉与人工智能实验室首次开展了将计算机视觉应用于高级交通管理的研究。20 世纪 80 年代，该大学成立了 ISS 公司（Image Sensing System, INC.），专门从事交通视频技术相关产品的研究开发。1987 年，ISS 研制了第一台原型机，首次验证了视频检测技术在交通领域的应用，并于 1989 年正式推出了用于外场车辆的 Autoscope<sup>[2]</sup> 2002 视频检测系统。1992 年研制的 Autoscope 2003 系统产品性能趋于成熟，实现了全天候监测。如今 AutoscopeTM 系统是当今世界上最成功的交通视频检测产品之一。

日本对智能交通系统的研究也较早。在 1973 年，以通产省为主开发的“汽车综合（交通）控制系统”（CACS: Comprehensive Automobile (traffic) Control System）是日本最早的 ITS 项目，当时在世界上处于领先地位。经过几十年的发

展,目前日本的 ITS 研究与应用开发工作主要围绕三个方面进行:车辆信息与通信系统(VICS: Vehicle Information and Communication System)、不停车收费(ETC: Electronic Toll Collection)系统、先进道路支援系统(AHS: Advanced Highway System)。总体而言,日本在智能交通系统的研究走到了世界前列。

在我国,ITS 的研究处于起步阶段。我国是一个发展中国家,伴随着经济的发展,城市化进程的加快,大城市交通拥堵以及能源、环境问题也变得相当严重,其主要原因是我国道路基础设施与发达国家有很大的差距,而且我国的道路交通还具有混合交通特点、交通管理科学化水平不高。因此,我国的 ITS 发展要结合实际,总结发达国家交通发展的经验和教训,逐步确立我国特色的 ITS 发展战略。

近几年来,ITS 在国内有了长足的发展,1999 年,科技部牵头,联合建设部、交通部、公安部等十多个相关部委,组织成立了全国智能交通系统(ITS)协调小组,在组织机制方面提供了有力保障;在 2000 年完成了我国 ITS 体系框架研究和标准规范的制定。其中标准规范的制定从一定程度上确定了系统构成、功能模块以及模块之间的通信协议和借口,建立了能与国际接轨的 ITS 标准体系。

## 1.2 交通流量检测技术

交通流量检测技术是指系统能够通过某种技术及时地检测出通过的车辆,并以此为基础准确地统计出某段时间内某段道路的车流量以及车辆本身的运动信息,如车速,车长等。现阶段,国内外的交通流量检测系统都或多或少的存在着一些问题,如有的成本太高、有的安装不方便、还有的检测系统存在识别准确率不高等问题。

目前,实时交通流量检测技术可分为三类。一类为基于压电回路的永久埋入式系统,这类系统虽然可靠,但是费用较高。另外,由于该类检测系统需要将传感器永久埋入地下,其设立和维护都需要挖掘路面,费时费力并且影响交通,同时还浪费了人力以及各种原材料<sup>[3]</sup>。另一类为近年来兴起的悬挂式系统,如基于闭路电视、微波、雷达、红外线或超声波传感器的监测系统。第三类为基于图像处理技术的交通流量检测系统。与其它检测系统相比,采用图像检测的方法具有以下明显优点:检测的覆盖面积广,检测的参数多;安装简单,维护方便,不破坏路面,工程造价相对低廉;使用面广,可以适用于路段以及交叉路口等;可以全天候作业等。由于视频检测方法具有诸多优点,因此从诞生伊始,基于视频图像的交通流量检测方法已经成为各国研究的重点和热点。

界。运算公式表示如下：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3-10)$$

经形态学开运算处理后图像如下所示：

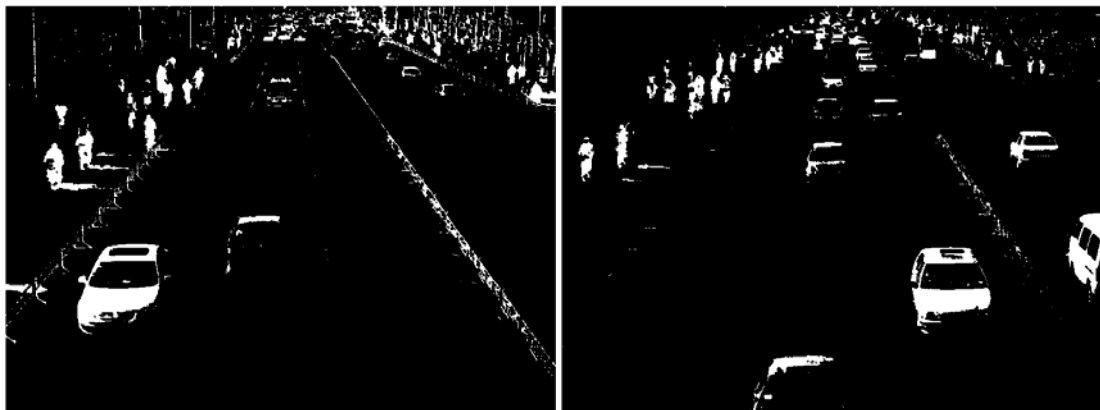


图 3-11 形态学处理

与图 3-10(c)相比，图 3-11 中噪声明显减少，图像变得平滑，为进一步后续处理奠定了基础。

### 3.5 本章小结

本章采用背景差分方法进行运动目标提取。首先，采用了均值法和直方图法进行了背景提取对比研究，由于直方图法对交通场景要求较高，运算速度较均值法慢，所以采用均值法进行背景提取；其次，采用背景差分法提取运动目标，并利用迭代阈值及数学形态学的开运算进行了图像分割处理。经过一系列的试验，运动目标提取效果较好，运算速度较快，能满足实时检测的要求。

## 第四章 运动目标检测

交通流参数的获取是交通控制与诱导的基础，基于视频的交通参数测量，需要了解车辆的运动状态，要求对运动目标进行跟踪，以获得车辆的运动位置，从而为统计交通流参数奠定基础。在本章中，利用基于车道线水平投影来标定运动车辆，一旦确定车道检测区域内第一辆运动车辆，则在后续连续图像序列中，采用基于特征的跟踪方法，利用 Kalman 滤波进行车辆的实时跟踪。在本文研究中，利用角点信息的特征进行目标跟踪。

### 4.1 车辆检测

车辆存在检测是为交通流量检测服务。由于进入设想区域的车辆大小、位置、方向、形状、速度以及颜色等各不相同，而且车辆的外观随着车辆目标的运动会发生变化，同时考虑到车辆遮挡、光照等条件的影响，使得运动车辆存在检测成为颇具挑战性的工作。

本文第三章中，实现了运动前景目标提取（前提是存在车辆），但是对于计算机而言，还无法辨识是否存在车辆；另外，由于本文研究需要对车辆进行跟踪，因此必须进行车辆标定，即检测出车辆的位置，然后才可以根据车辆的运动特征进行预测、跟踪。因此，进行车辆存在检测是研究的关键一步。

#### 4.1.1 车辆检测方法分类

车辆检测器的种类很多，工作原理也各不相同，但是都具有两个基本功能：一是检测出车辆的存在；二是检测车辆的通过，以上两个功能是一个车辆检测器所必须拥有的基本功能。根据以上功能可以将其分为存在型、通过型以及二者混合型检测器。存在型，顾名思义，就是在检测区域内将车辆检出并产生信号。通过型，不仅可以检测出车辆存在，而且可以检测出车辆驶入与驶出检测区域时间，从而计算出车辆速度<sup>[21]</sup>。

目前，按照车辆检测器检测车辆存在的工作原理将其分为三大类：磁频车辆检测器、波频车辆检测器以及视频车辆检测器。其中，各分类车辆检测器又有许多产品。

##### 1. 磁频车辆检测器

实际中应用的磁频车辆检测器有感应（环形）线圈检测器、磁性检测器、地

磁检测器、微型线圈检测器等几种。

例如，感应（环形）线圈检测器是由埋在路面下的线圈和能够测量该线圈电感变化的电子设备组成。当车辆经过时金属部件干扰检测器通过流过线圈的电流产生磁场，从而引起电感变化，由检测器的电子装置进行检测，根据多个环形线圈检测器的输出信号确定车道占有率、车速和交通量等参数。

磁性检测器、地磁检测器以及微型线圈检测器也是利用电磁感应原理，所不同的只是装置的具体设计不同。

## 2. 波频车辆检测器

波频车辆检测器是一种工作在微波频段的雷达探测器，按照多普勒效应原理工作，是以低功率微波信号在扇形区域内发射连续的调制微波，光线在表面上“画出”一道投影，任何没有背景的目标都会返回给波频车辆检测器目标的位置和所测试到的范围。车辆通过微波波束时，引起波束反射回发送部件（天线），利用车辆进入检测区域和离开检测区域产生两个脉冲或产生的频移，即可换算成所需交通参数。

在实际中应用的超声波检测器、光电检测器和红外线检测器等都是波频检测器的具体应用。

## 3. 视频车辆检测器

最简单的视频车辆检测系统类似于电视监视系统，仍是以纪录车辆图像为主，它由检测器、摄像机和简单的图像处理单元构成。如有的超速检测系统，当雷达检测出车辆超速了，才会产生控制信号使摄像机抓拍车辆车牌信息，然后经过图像处理单元提取车牌号，为后续交通管理提供依据。而现在有些先进系统已经可以替代红外线检测器，能够全天候提供车辆排队情况、车速等交通信息。

在视频车辆检测器中，车辆存在性检测主要依据运动车辆灰度值与背景灰度值差别来进行判断。当前广泛应用的是虚拟检测线法，利用虚拟检测线来检测车辆的存在，其判断依据是检测线区域处像素的特征，如产生变化的像素数目是否突破阈值等<sup>[22]</sup>。虚拟检测线示意如图 4-1。

图 4-1 只是大致描述虚拟检测线的设置。由于交通流量参数不仅包括统计出车辆数目，还包括车辆速度、车长等；检测的参数越多，需要设置越多的虚拟检测线；另外，判断是否存在车辆驶过时，为了排除重检或漏检情况的发生，也需要设置多条检测线。因此，实际应用中，虚拟检测线的设置不止一条。

在应用过程中，虚拟检测线的作用类似于电磁感应线圈。系统通过对视频虚拟检测线的预处理将二维的数字图像转化成一维的检测信号，从而减小了运算量，降低了运算负荷。

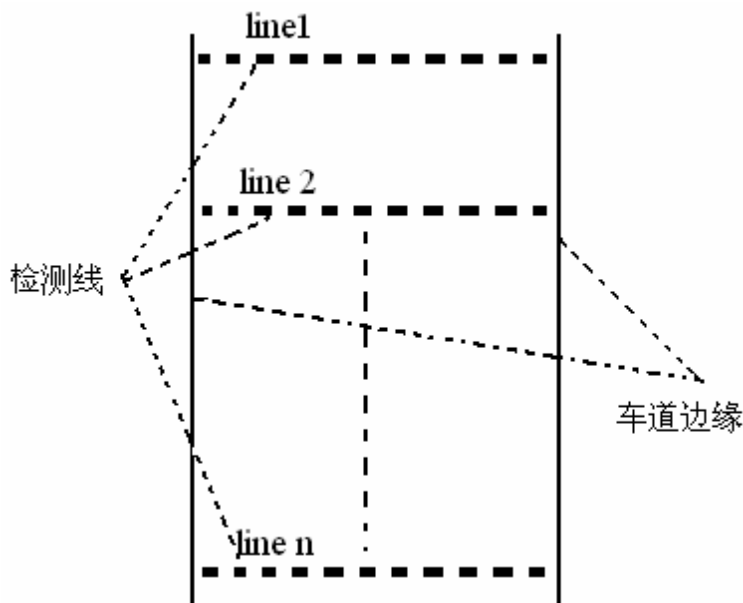


图 4-1 虚拟检测线示意图

### 4.1.2 车道检测

实际中的道路可分为结构化道路和非结构化道路<sup>[23]</sup>。结构化道路一般是指高速公路及市区内等级高的道路。而非结构化道路是指除结构化道路以外的道路，如县、乡（镇）等道路。结构化道路的共同点：1) 道路比较平整，路况维护好，车辆通过量大；2) 道路具有清晰的车道边界线，在道路面具有连续的白线或者黄色的车道标记线；3) 如果道路为多车道（大于 2 车道），白色或者黄色车道标记线间距相等。因此，对于所研究的道路的车道识别，可以简化为车道标记线的识别。

由于现实生活中道路千差万别，因此道路检测是非常复杂的模式识别问题，所以通用的视觉道路检测系统不存在。在该项研究中，从有助于解决实际问题的角度出发，研究人员对道路模型进行了一系列的假设<sup>[24][25]</sup>。

1. 道路形状假设：道路形状基本可以分为回旋线、抛物线、直线和其它特殊形状。由于道路模型多用于智能导航系统，所以世界各大研究机构采用道路模型各不相同，如美国密歇根大学的 MOSFET 系统使用多项式曲线表示车道线，然后采用简单的 Hough 变化进行匹配；中国吉林大学 JUTIV 系统采用直线模型。

2. 道路宽度假设。在检测过程中，假设道路宽度保持不变或者变化缓慢。在一定长度的路段中可以认为道路边缘线平行。

3. 道路特征一致性假设。图像中检测区域路面具有一致的灰度、颜色以及纹理特征。

在本文研究的道路中，由于道路结构化程度较好，并且检测区域中道路曲

率较小；同时结合本文车道检测目的——为车辆存在识别提供一个基准测量位置，我们用一个简单的直线型模型来模拟检测区域内的车道信息。

#### 4.1.2.1 车道边缘提取

为有效的从图像中提取出车道边缘，对图像进行预处理是很有必要的。由于摄像机拍摄到的是序列彩色图像，虽说包含信息量大，但是处理过程复杂性也随之上升。所以，在本文研究中，首先将读入的彩色图像转换为灰度图。由于道路边界的边缘信息比较完整，即使道路边界受损，其信息也比较丰富，因此，在研究中利用道路边界边缘信息恢复道路标志的形状以及在检测区域内的相对位置，这样，就比较容易分割出道路中的每条车道。车道分割步骤如下图所示：

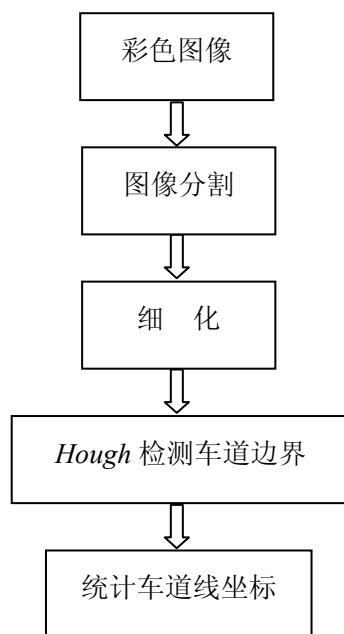


图 4-2 车道线提取流程图

##### 1. 图像分割

本文中采用的是基于色彩模型的图像分割方式。

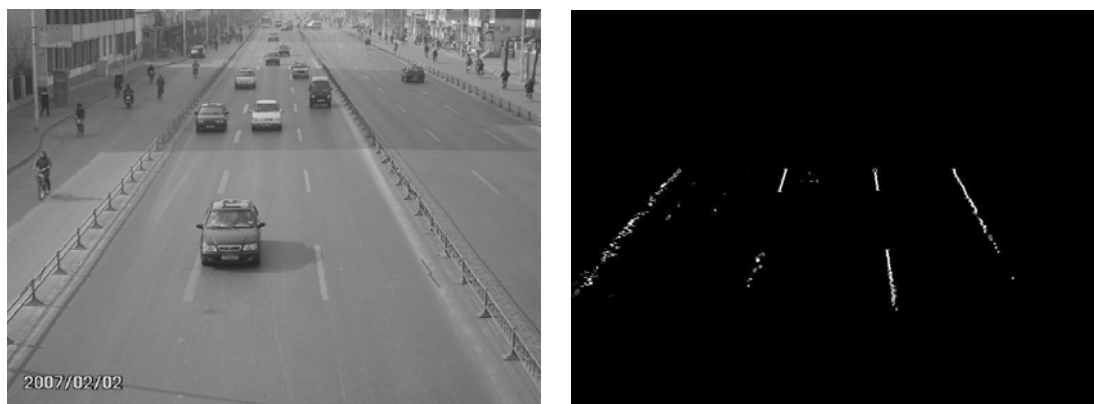
通常，人类之所以可以识别和分辨出千差万别的目标，都是根据一定的先验知识，而这些先验知识都是经过长期经验积累和专门训练学习的结果。在将要进行的道路标记线检测中，如果我们充分利用有关的先验知识，将会大大简化道路检测算法。为此，我们根据道路本身的特点进行车道线标记的提取。

首先确定采用 *RGB* 色彩模型（*R* 表示红色，*G* 表示绿色，*B* 表示蓝色）。对于 24 位彩色图，色彩中的每一个点的颜色都是由 *R*、*G*、*B* 三种颜色混合而成的。

其次，车道标记大都是白色或者黄色的，路面一般为深灰色，这为我们利用颜色差异进行车道标记线提取提供了依据。

根据上述先验知识，实施车道标记线提取过程如下：

利用色彩差异进行图像分割，将原图中  $RGB$  值大于一定阈值的像素点对应的灰度值设为“255”，而将不满足该条件的像素点的灰度值设为“0”。



(a) 原始图像

(b) 分割后图像

图 4-3 基于色彩特征的图像分割

## 2. 细化

图 4-3 所示为基于色彩特征得到的白色车道线区域，为构建车道的线型模型，记录车道线坐标位置，提高车辆存在检测的准确率，需要细化车道线区域。具体操作如下：

首先，由于车道线分割图像存在孤立子块和毛刺，所以通过数学形态学的开运算(先腐蚀后膨胀)进行处理，效果如图 4-4(a)所示；

其次通过 Sobel 算子进行边缘检测，处理效果图 4-4(b)。Sobel 算子如下：

$$f_x = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad f_y = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix} \quad (4-1)$$

$$f = |f_x| + |f_y| \quad (4-2)$$

上式中， $f_x$  表示的  $x$  方向的微分， $f_y$  表示  $y$  方向的微分， $f$  表示的目标像素点的强度。

最后细化车道边缘线。过程如下：从上到下逐行扫描，从每行第一个边缘点开始，找与其最近的边缘点，(i)若未找到，则将此边缘点的灰度值置 0；(ii)若找到且这两个边缘点的距离在 5~20 个像素点之间，则将这两个边缘点的灰度值置 0，并将中点像素以及与中点像素相邻的左右两个像素的灰度值设为 255。(iii)继续上述步骤直至每行的末尾。经上述处理后的图像如图 4-4 (b)所示。



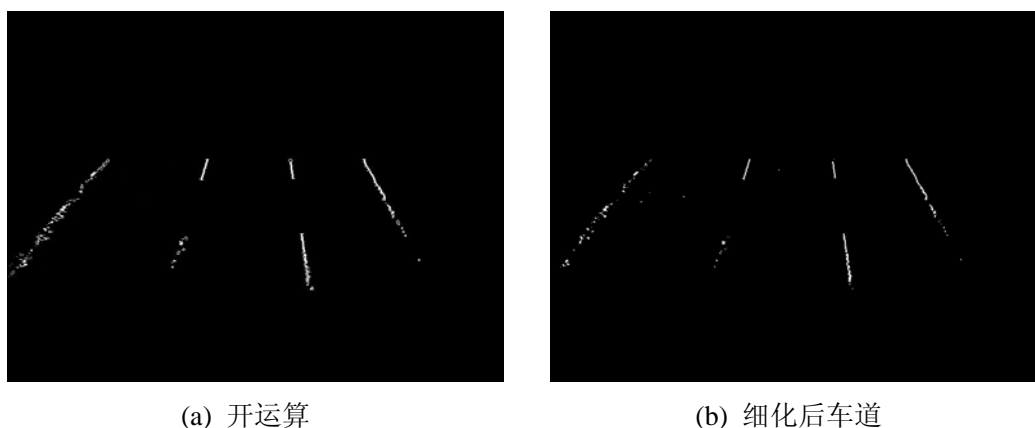


图 4-4 形态开运算及细化运算

### 3. Hough 变换

霍夫变换 (Hough Transform, HT) 是从平面坐标空间到参数空间的变换<sup>[26]</sup>。*Hough* 变换是从图像中识别几何形状的基本方法之一，其主要优点就是检测几何形状的能力较少受到几何形状中间断点的干扰。*Hough* 变换应用广泛，最基本的 *Hough* 变换的应用就是在模式识别领域中对二值图像进行直线检测<sup>[27][28]</sup>。

#### (a) Hough 变换基本原理

*Hough* 变换是从平面坐标空间到参数空间的变换，从平面坐标空间到参数空间的变换。设直线的方程可以用  $y = kx + b$  来表示，其中  $k$  和  $b$  是参数，分别表示斜率和截距，则转换到极坐标下可以表示为：

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (\rho \geq 0, 0 \leq \theta \leq \pi) \quad (4-3)$$

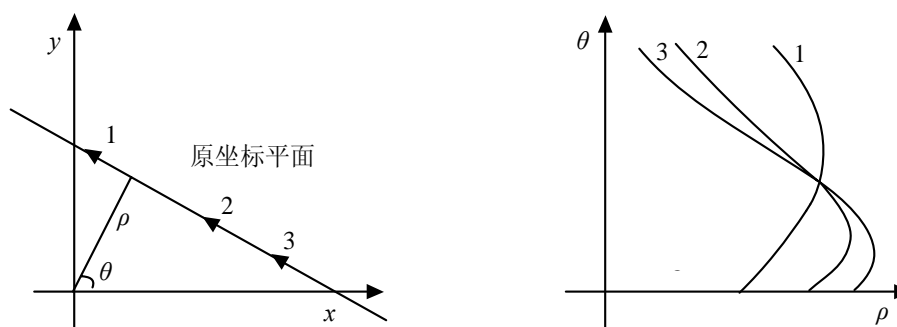


图 4-5 Hough 变化

其中， $\rho$  定义了从原点到线上最近点的向量。 $\theta$  为直线  $l$  与  $x$  轴正方向的夹角。平面坐标空间与参数空间的关系如图 (4-5)。

根据式 (4-3)，直线  $l$  上不同的点在参数平面  $\rho - \theta$  中被变换为一簇相交于  $P$  点的正弦曲线。显然，若能确定参数平面中的  $P$  点，就实现了直线检测。也就是说，图像平面中的直线与参数平面中的点一一对应，反之亦然，这就是 *Hough* 变

换的对偶性原理。通常将以  $\rho - \theta$  为参数的平面称为 *Hough* 空间。

由以上所述可知：如果有一组位于参数  $\rho_0$ 、 $\theta_0$  决定的直线上的点，则直线上的每一点对应了  $\rho - \theta$  空间的一条正弦曲线，并且由于所有点共享这条直线的参数，所有这些曲线必交于点  $(\rho_0, \theta_0)$ 。为了找出直角坐标系  $x - y$  中这些点所构成的直线，采取的算法步骤如下：

- 1) 将  $\rho - \theta$  极坐标系量化成网络， $\theta$  的取值范围为  $0 \leq \theta < \pi$ ；
- 2) 设置网络累加器  $A(\rho, \theta)$ ，初始值为 0；
- 3) 扫描图像中每一个目标像素点，以  $\theta$  的分辨率为步长在  $0 \sim 180^\circ$  逐个按公式(4-3)计算  $\rho$ ，并根据所得到的  $(\rho, \theta)$  使得对应累加器  $A(\rho, \theta)$  加 1；
- 4) 搜索  $A(\rho, \theta)$ ，若其超过一定阈值，则对应的  $(\rho, \theta)$  为直角坐标系中直线对应参数坐标系中参数；

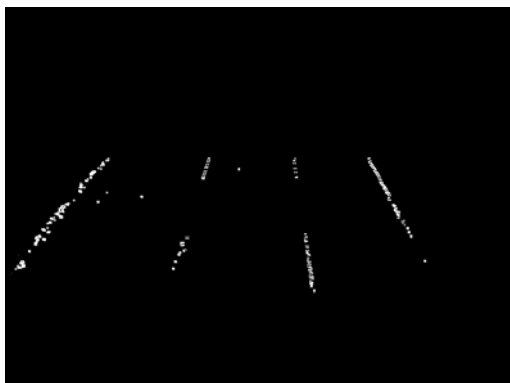
用 *Hough* 变换检测到的直线，是针对整幅图像而言的，其中检测到的许多直线相对于道路边界线而言是干扰直线段。所以需要将 *Hough* 变换和其它方法相结合，才能更有效的获得道路边界线。

#### (b) Hough 检测车道边界线

针对前面处理所得到的图像，采用 *Hough* 方法进行直线检测。在本文算法中， $\theta$  的步长设为  $1^\circ$ ，并且经过调试设  $A(\rho, \theta)$  的阈值为 150 时，可以得到较好的实验结果；所得直线中，选取与水平方向夹角最大的左右两条直线作为初始车道线。图 4-3(b) 的红线即为检测到的左右车道边界线。

#### 4.1.2.2 水平投影检测车辆

由于典型的车辆交通图像具有以下特点：道路上存在与车辆运动方向平行的白色车道线，并且车道线间距相等；车辆运动方向与车道线近似平行，垂直车道线方向速度一般不大，很少出现串道现象。根据以上白色车道线间隔相等的特点，以及前一节检测到的车道边缘线，人工设定车辆检测区域，如图 4-7(b) 示。

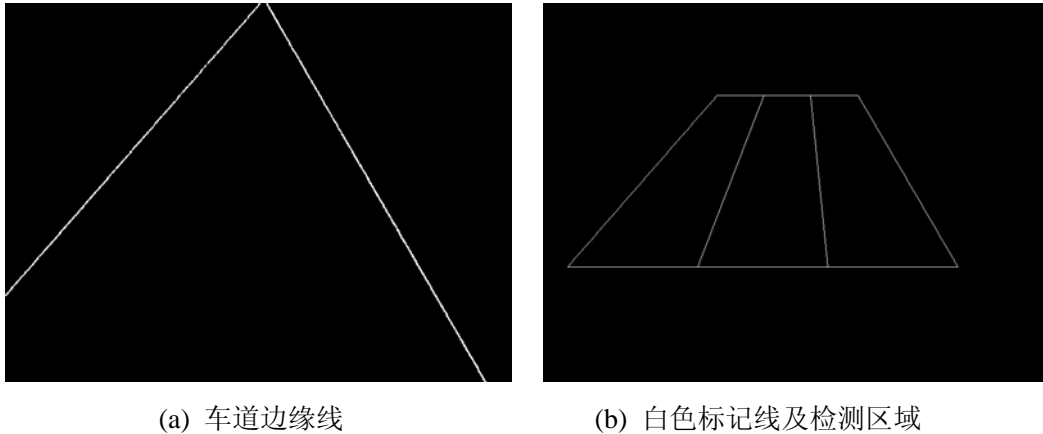


(a) Sobel 边缘检测



(b) 车道边界线

4-6 车道边界图



(a) 车道边缘线

(b) 白色标记线及检测区域

图 4-7 检测区域图

由于在检测范围内，车辆很少发生串道现象，而且车辆依次驶过摄像机，通过考察每个车辆分车道水平投影图像，可以利用该方法检测出运动车辆。各车道车辆水平投影如图 4-8。

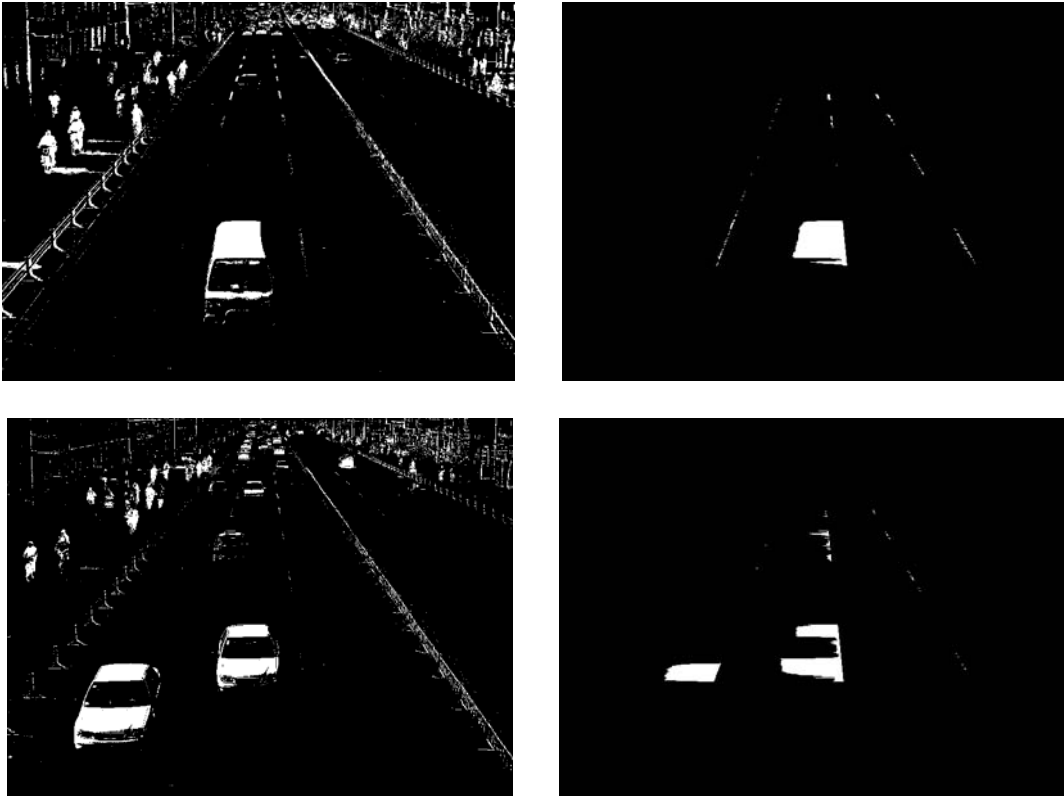


图 4-8 水平投影图

由于车道边缘线有一定宽度，而背景图像与实际交通道路图像灰度有误差，所以在检测各车道通过车辆情况时，需要设定阈值以提高车辆检测准确率。与此同时，当多辆车辆依次通过检测区域时，根据交通法规以及从安全角度考虑，车辆间隔 $\geq 1m$ ，体现在视频图像中，则表现为水平投影之间存在一定阈值范围的

像素间隔。通过人工调试取得车道线阈值以及车辆间隔阈值，即白色车道线阈值设为 5 个像素，车辆间隔阈值为 10 个像素便能取得较好的车辆检测效果。

## 4.2 角点检测

物体的特征(如:直线、弓形、孔洞以及角点)包含有丰富的信息,在物体的图像中,各种特征像素点总数要少的多,通过对这些局部特征处理,极大地提高了计算速度,使得实时处理成为可能。在平面形状分析中,形状轮廓上的角点是形状分析常用的特征。相对于目标识别中的其他特征而言,当目标由于遮挡、缺损等原因而不完整时,仍能从目标可见部分提取角点。角点是图像的一个重要的局部特征,它集中了图像上的很多重要的形状信息。由于角点具有旋转不变性,几乎不受光照条件的影响,而且只包含图像中大约 0.05% 的像素点,在没有丢失图像数据信息的条件下,角点是最小化了的要处理的数据量,因此角点检测具有实用价值,近年来越来越引起人们的重视。

目前对于角点还没有统一的定义,一般认为:角点产生于两条或多条相对直线交叉的区域,不同的检测方法对角点有不同理解。早期研究中,研究人员提出了不同的角点定义,其中代表性的有:A.Rosenfeld 和 E.Johnston 提出的局部曲率最大点为角点,该方法需要计算出曲线上某点前后臂的夹角的余弦值来估算该点的曲率;H.FreemanandL.S.Davis 根据相邻两点的前臂与水平轴之间夹角的变化来检测角点;H.Moravec 把角点定义为各个方向亮度变化足够大的点。

角点检测研究开展 30 多年来,越来越多的角点检测算法涌现。大体而言可将这些算法分为:(1)基于模板匹配的角点检测;(2)基于几何特性的角点检测方法。下面将介绍各种角点检测方法<sup>[29]</sup>。

### 4.2.1 基于模板匹配的角点检测

该类方法首先给出一定数量的模板,然后比较其与图像中所有同样大小的子图像的相似度判断是否存在角点。虽说由于实际中角点类型的多样性,要穷举所有的模板是很困难的,但是在图像处理中,利用模板匹配仍是一种成熟和实用的算法。在实际应用中,Bretschi提供了一套模板<sup>[30]</sup>:

$$\begin{vmatrix} -4 & 5 & 5 \\ -4 & 5 & 5 \\ -4 & -4 & -4 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -4 & 5 & -4 \\ -4 & -4 & -4 \end{vmatrix} \quad (4-4)$$

将(4-4)所示模板连续旋转 90°,各自分别形成 4 个模板,这样总共产生 8

## 第三章 运动目标提取

运动目标提取是基于视频的智能交通系统的基础，其提取效果的好坏直接影响后续处理的精确度和困难程度，因此应对此处理环节予以足够重视。在本章，首先介绍运动目标提取的常用算法及其优缺点，包括光流法、帧差分法和背景差分法；其次，进行背景提取研究，对统计均分法和直方图法两种方法进行了对比，并在提取背景的基础上，进行了情景运动目标的提取。最后，针对提取前景运动目标图像出现空洞、毛刺等现象，用数学形态学运算进行了处理。

### 3.1 运动目标提取方法

运动目标提取是数字图像处理技术的一个主要部分<sup>[12]</sup>，在计算机视觉、模式识别、目标识别与跟踪、运动图像编码、基于内容的检索、安全监控图像理解和精确制导等领域都是研究的热点和难点。笼统地讲，运动目标提取是指将序列图像中的变化区域从背景中分割出来，其基本任务是从图像序列中检测出运动信息，简化图像处理过程，得到所需要的运动矢量，从而能够对物体进行识别与跟踪。

在静态图像处理中，第一步操作常常是图像分割，找出有意义的图像部分，从图像中抽取特征。视频序列图像的分析虽与此不同，但也存在共同之处：将图像分为运动和非运动区域，在分析连续画面间变化部分的基础上抽取运动目标特征。

在实际研究应用中，基于视频的运动车辆提取算法大致分为两大类：基于模型的车辆提取和基于非模型的车辆提取。二者的区别在于，基于模型的提取算法以车辆整体作为识别和跟踪对象，能跟踪车辆并识别车辆的形体结构，方法直观，符合人的认知习惯，但算法实现相对而言较为复杂。而基于非模型的提取算法不能识别车辆，没有车辆看起来“像什么”的概念，仅仅是对检测区域的像素进行处理，不能“认识”这些像素在现实中代表什么物体，但是该种算法具有简单、运行速度快的优点。

由于交通序列图像在大部分情况下都含有运动目标，因此可以采用基于非模型的提取算法——光流法、帧间差分法和背景消去法来检测运动目标，该处理流程可以如图 3-1 所示：



图 3-1 运动目标检测系统

### 3.1.1 光流法

对于运动目标的检测最直接的方法是分析图像序列中各点的运动场，即找到由空间运动而引起的图像上对应点的运动，所以对于一个实时图像序列而言，我们可以计算光流场（Optical flow field）。光流场实际上是目标相对于观察者的三维运动在观察者的图像平面上的二维投影（projection），有时光流场也被称为图像速度场（image velocity field），但是如果当外部光照条件改变时，即使物体没有运动，光流也会被检测到，所以光流场并不一定反映物体的真实运动。但大多数情况，光流场可以近似于运动场的二维投影，换言之，可以通过研究光流场从序列图像中近似计算出不能直接得到的运动场，从而能够进行图像分割。

光流法检测运动目标的主要依据是，当光流场（运动场）确定以后，去除随机噪声以及小的运动影响，判断在检测期间内运动向量始终在一定范围内保持一致的那些区域属于同一个物体。

光流场检测建立在交通图像灰度值不变的基础上，而且运动估计必须利用图像序列的相邻两帧来实现，要求运动车辆不能出现暂时性停止情况，最后由于其计算十分复杂，必须借助硬件才能满足系统实时性的要求。

### 3.1.2 帧差分

在序列图像中，通过逐像素比较可以直接求取前后两帧图像之间的差别。假定条件在多帧图像间基本不变化，那么差分后图像的不为零处表明该处的像素发生了移动。在相减后的图像中，灰度不发生变化的部分被消除，包括大部分背景和小部分目标。

帧差分法即图像序列差分法，它利用了两帧图像亮度差的绝对值来分析视频和图像序列的运动特性，确定图像序列中是否有物体运动。在固定场景中，连续两帧的背景可以认为是静止不变的，因此通过两帧相减就可以消除背景，提取运动区域，如果差的绝对值小于某一阈值 $T$ ，则物体没有出现运动；反之，则存在物

体运动。差分过程可以用公式表示为：

$$OM_c = |F_c - F_b| \quad (3-1)$$

其中  $OM_c$  表示当前帧图像  $F_c$  相对于前一帧  $F_b$  相发生了变化的运动区域。在实际应用中，摄像机与运动物体之间只有平移运动，不会发生旋转运动，所以形成了简单的二维平移运动。

下面简要介绍一下帧差分法原理：

假设参与帧差分的两幅图像为  $I_i$  和  $I_j$ ，每一帧图像均可以表示为：

$$I_k(x, y) = B_k(x, y) + M_k(x, y) + N_k(x, y) \quad (3-2)$$

其中  $B_k(x, y)$  表示第  $k$  帧中的背景点灰度（去除噪声）， $M_k(x, y)$  表示第  $k$  帧中的运动物体灰度； $N_k(x, y)$  表示第  $k$  帧中的噪声，式中“+”表示逻辑“或”关系。两帧差分可以表示如式(3-3)：

$$\begin{aligned} DIF_{ij}(x, y) &= I_i(x, y) - I_j(x, y) \\ &= B_i(x, y) + M_i(x, y) + N_i(x, y) - (B_j(x, y) + M_j(x, y) + N_j(x, y)) \\ &= B_{ij}(x, y) + Cover_i(x, y) + UNcover_j(x, y) + Common_{ij}(x, y) \end{aligned} \quad (3-3)$$

从式(3-3)可以看出，帧间差值可以分为四部分， $B_{ij}(x, y)$  表示两帧中公共背景区域的差值（含有噪声），每一点对应的差值很小，在没有噪声的理想状态下，差值为零。 $Cover_i(x, y)$  表示在上一帧中被运动车辆覆盖的背景区域， $UNcover_{ij}(x, y)$  表示在下一帧中显露出来的背景区域。 $Common_{ij}(x, y)$  表示在两帧中公共运动区域的差值，由于车辆不同部分灰度值不尽相同，因此  $Common_{ij}(x, y)$  对应的差值相对较大；公式(3-3)中“-”表示代数“减”关系。两帧差示意图如图 3-2 示：

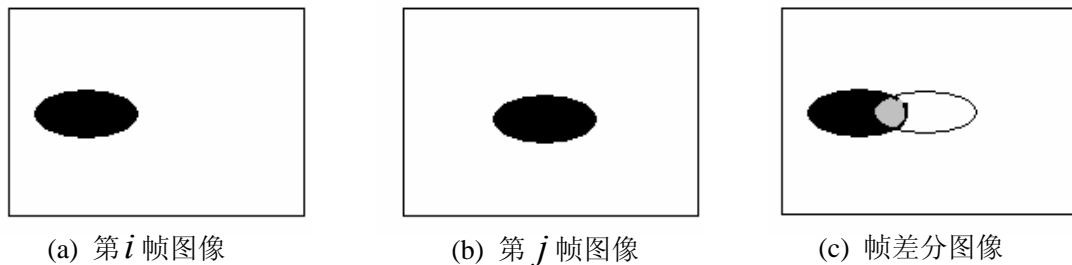


图 3-2 帧差分示意图

### 3.1.3 背景差分法

基于背景差分检测运动目标的原理比较简单。首先获得参考背景图像，用当

前帧和背景图像做差，然后将差分图像进行二值化，从而获得运动的前景图像。算法基本流程图如图 3-3 所示。



图 3-3 算法基本流程图

首先，利用公式 (3-4) 计算出当前帧  $f_k(x,y)$  和背景图像  $B(x,y)$  的差  $DB_k(x,y)$ 。

$$DB_k(x,y) = f_k(x,y) - B(x,y) \quad (3-4)$$

然后，利用阈值分割将运动目标前景提取出来，公式如 (3-5) 所示：

$$F(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{Background} & DB_k(x,y) < T \\ 255 & \text{Foreground} & DB_k(x,y) \geq T \end{cases} \quad (3-5)$$

其中  $F(x,y)$  表示前景目标， $T$  表示选定阈值。显然，随着背景图像的不断更新以及原始图像的不同，阈值  $T$  也应不断调整，因此，应该选择自适应阈值分割方法对图像进行分割。本文采用迭代阈值法实现图像的自适应分割，迭代阈值算法如下：

- 1) 选择初始阈值  $T$ ，通常选择图像灰度值的平均值作为初始阈值；
- 2) 通过  $T$ ，将图像分为  $T_1$  和  $T_2$  两部分；
- 3) 计算两部分图像的灰度平均值  $\mu_1$  和  $\mu_2$ ；
- 4) 定义新阈值： $T = \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{2}$ ；
- 5) 循环进行第二步到第四步，直至平均灰度值  $\mu_1$  和  $\mu_2$  不再变化为止或者其变化额度小于设定阈值，即得到阈值  $T$ ；

和帧间差分相比，背景差分法不仅能够得到比较精确的目标图像，而且在实际运动目标检测中也是最常用的一种方法<sup>[13][14]</sup>。但是，背景的提取和更新是该方法能否成功在实际中运用的关键。

### 3.2 背景提取算法及其自适应更新

在运动目标的检测过程中，初始背景图像提取的质量和更新算法的好坏严重影响到目标检测的结果。在背景差分方法中，理想情况下的背景图像随着时间的流逝是不变的，即只有运动目标区域中的像素灰度值变化。但是这种背景是不存在的<sup>[15]</sup>。因此，为了提高背景差分法的检测效果，人们研究了各种背景提取算法。随着研究的逐渐深入，获得背景的方法越来越多；但是大体而言，背景提取通常



分为三种方法<sup>[16]</sup>：手动获得、Surendra背景更新算法、统计模型算法。

1) 手动获得背景法，该方法要求工作人员在没有运动目标前景情况下抓拍背景图像。受人力物力及周围环境的影响，很难抓拍到理想的背景图像。采用该方法需要建立按季节、日照时间的背景信号模型数据库，因此具有很大的局限性。

2) Surendra背景更新算法，该算法能够自适应获得背景图像。算法的基本思想是通过帧差分法找到物体的运动区域，对运动区域内的背景保持不变，而非运动区域的背景用当前帧进行替换更新，这样，经过给定的一段时间就可以提取背景图像<sup>[17]</sup>。算法的具体步骤如下：

- ① 将第 1 帧图像  $I_0$  作为背景  $B_0$ ；
- ② 选取阈值  $T$ ，迭代次数初始化为  $m = 1$ ，最大迭代次数为  $MAXSTEPS$ ；
- ③ 求当前帧的帧差分图像

$$DB = \begin{cases} 1 & |I_i - I_{i-1}| \geq T \\ 0 & |I_i - I_{i-1}| < T \end{cases} \quad (3-6)$$

- ④ 利用下面公式将二值图像  $DB$  更新背景图像  $B_i$ ，

$$B_i(x, y) = \begin{cases} B_{i-1}(x, y) & DB(x, y) = 1 \\ \alpha I_i + (1 - \alpha) B_{i-1}(x, y) & DB(x, y) = 0 \end{cases} \quad (3-7)$$

式中， $B_i(x, y)$ 、 $DB$  为背景图像和差分二值图像在坐标  $(x, y)$  处的灰度值； $I_i$  为输入的第  $i$  帧图像； $\alpha$  为迭代速度系数；

⑤ 迭代次数  $m$  加 1 返回③；当  $m = MAXSTEPS$  时，迭代结束。此时  $B_i(x, y)$  为求得的背景。

3) 基于模型的方法，目前研究人员已经提出了很多基于模型的背景提取算法，如高斯分布的背景模型和基于 Kalman 滤波的预测背景模型。

下面介绍本文在提取背景时所应用的两种算法——均值算法和直方图算法。

### 3.2.1 均值法背景提取

在交通序列图像中，因为在智能交通管理系统中摄像机悬挂在路面上方某一固定位置，相对于路面处于相对静止状态。由于道路上行驶的车辆有的比背景暗，有的比背景亮，经过时间平均，过往车辆对道路背景的影响逐渐趋于零，因此高斯背景模型认为：路面背景上的某个点在一段时间内的向素值  $X_i$  应该服从高斯分布，可以用统计均值代替背景点的像素值，而该点的统计均值近似于时间平均值。所以高斯背景模型通过对大量连续帧图像求取均值来取得初始背景。其算法如式 (3-8) 所示：

$$B(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{i=N-1} f_i(x, y) \quad (3-8)$$

式中， $B(x, y)$  表示求取的初始背景， $f_i(x, y)$  表示交通图像序列第  $i$  帧图像， $N$  表示提取背景时采用图像帧数。

图 3-4 为第 50 帧、第 100 帧及第 150 帧时的交通场景图像。实际背景提取效果如图 3-5 所示。



图 3-4 序列图像示意图

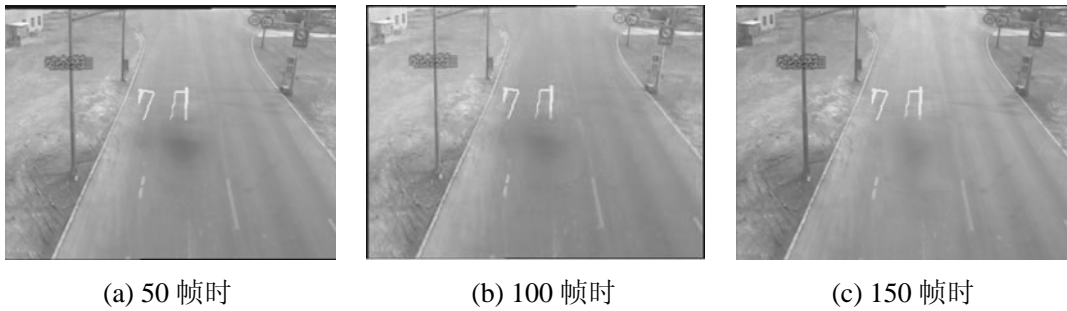


图 3-5 N=50、100 及 150 时的背景图

图 3-5 所示分别为  $N=50$ 、100 和 150 帧时利用均值法所得的背景图像。在图 3-5(a) 中，图像正中颜色比较暗淡，灰度值比较低，原因在于该序列图像中的运动车辆多出现在图正中位置，所以对背景图像的正中灰度影响较大。另外由于该序列图像车辆较少，所以用约 150 帧图像就可得到较为理想的背景图像。

论文对如图 2-4a 交通场景图进行了背景提取，获得背景图像如图 3-6 所示。



图 3-6 N=50、100 时求得背景图

从以上两条道路实验结果得出，背景均值法能较好地提取交通背景。由于本实验中所用交通场景序列图中的运动车辆较少，因此在  $N = 100 \sim 200$  时就可获得较理想的背景图像；但是当车辆较多、交通场景较为复杂时，该方法往往需要  $400 \sim 600$  帧图像才能取得较好的背景，所以初始化背景的速度较慢。

### 3.2.2 直方图法背景提取

在数字图像处理中，灰度直方图是简单、有效的分析工具之一，它是关于灰度级的函数，描述了图像中某一灰度值像素的个数，如图 3-7 所示：

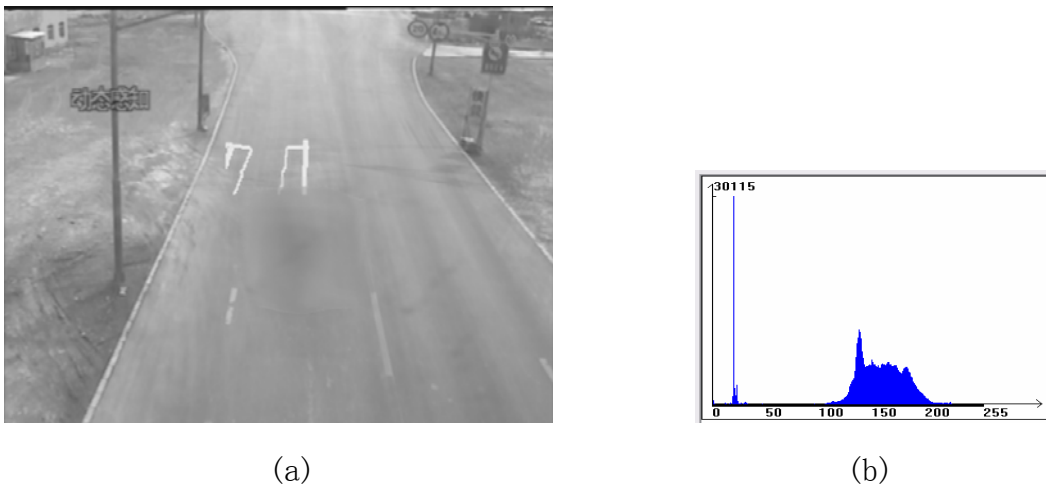


图 3-7 均值背景图及其直方图

灰度直方图是针对静止图像进行分析。在交通场景图中存在一个统计事实：在某一段时间内，序列图像中特定像素位置处出现频率最高的灰度值是该点的背景像素灰度值。由于图像中大部分相邻像素间的灰度变化不是很大，利用图像相邻像素的相关性，采用块直方图分析方法即可实现提取背景。该方法的算法步骤为<sup>[18]</sup>：

- 将图像分割成  $M \times M$  的像素块，对像素块进行直方图统计，减少算法计算量；
- 统计该图像的灰度值范围  $N_{\max}$ ，并获得连续  $N$  幅图像；
- 对各幅图像统计某一像素块内，依次统计各灰度值的频率，频率最高灰度值为该像素块的像素值；
- 经过以上三步运算，即可得到图像的背景图像  $B(x, y)$ 。

利用块直方图求得背景效果及其直方图如图 3-8 所示。



图 3-8 背景图及其直方图

由图 3-8 可以看出，该方法存在块状效应，对于车辆出现频繁地带需要很大图像数量才能取得比较好的背景图。

实验结果表明，均值法比直方图方法适用范围更广，处理速度更快；直方图法对交通场景要求比较苛刻，例如当车辆在道路某一处出现频率过高时，需要更多的序列图像以及更长的时间才能取得较好的背景提取效果。所以，本文的后续工作是在采用均值法提取背景基础上完成的。

### 3.2.3 背景更新

在室外或室内场景中，背景是随着时间变化的，这种变化有可能被当作运动目标前景来处理，所以，背景的自适应更新很重要<sup>[19]</sup>。在背景变化中，有些是局部变化，只影响背景的一部分，而有些则影响全局，对整个背景都有影响。在介绍的三种背景提取算法中，只有 Surendra 算法可以对背景进行更新。在实际生活中，实际场景中的背景是很复杂的，存在着各种各样的干扰噪声。

本文的图像来自于静止摄像机拍摄的交通图像序列，因此包含以下两个方面引起的干扰噪声：

1. 运动变化。背景是静止的，但是含有轻微的扰动，如树枝，行人以及车辆通过时引起的摄像机轻微的震动，但是这些都不会被识别为运动目标。
2. 光照变化。一天当中不同时间段中光线是不同的，光照变化可以分为两种情况：一是渐变的光照情况，如由于太阳位置的不同而引起的光照变化；二是急剧的光照变化，在室内表现为灯光的突然打开与关闭，室外则表现为，道路中洒水车经过后留下水洼等强反光区域。

本文利用当前帧图像和背景图像加权平均的方法更新背景图像。公式表示如下：

$$B_n(x, y) = \theta I_n(x, y) + (1 - \theta) B_{n-1}(x, y) \quad n > 1 \quad (3-9)$$

其中,  $B_n(x, y)$  表示更新后背景;  $I_n(x, y)$  表示当前需要处理的即时交通场景视频图像,  $B_{n-1}(x, y)$  表示启动更新前的背景图像;  $\theta$  为权值, 其取值范围为  $0 \sim 1$ , 含义为当前场景图对背景的贡献程度; 下标  $n$  和  $n-1$  分别表示当前处理帧号和前序相邻帧的帧号。图 3-9(b) 表示经过一段时间后, 由图 3-9(a) 得到的背景更新图像。



图 3-9 背景更新效果图

### 3.3 前景运动目标提取

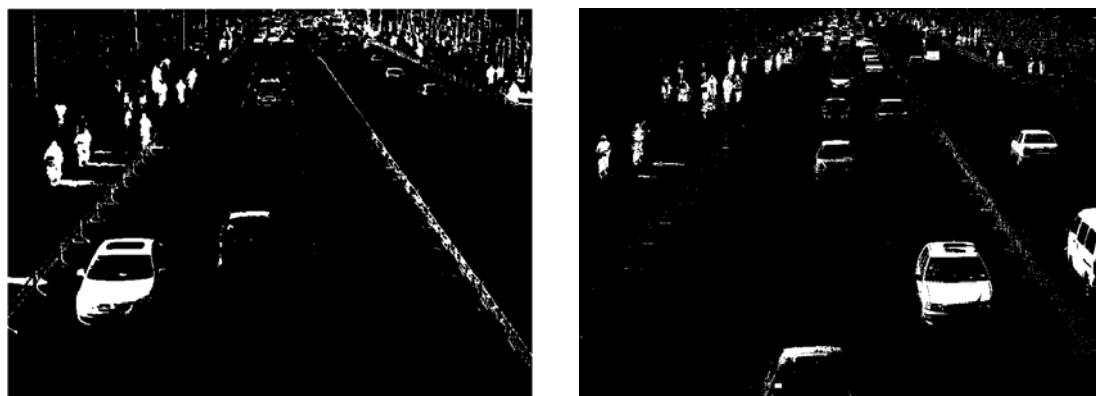
由前面背景差分法叙述可知: 运动物体和场景中的静止背景在灰度上是不同的, 将图像序列的每一帧图像与背景图像做差, 然后利用适当方法进行二值化, 就可以得到每一帧图像中的运动目标前景。在差分图像中, 如果每一像素的灰度值大于某个选定的阈值  $T$ , 则识别为运动物体, 否则判别为背景, 计算公式为 (3-6)。差分效果图如下所示:



(a) 交通场景原图



(b) 差分图像



(c) 迭代阈值

图 3-9 背景差分效果图

图 3-10(a)中表示实时交通序列场景图；(b)图表示经过背景差分后图像；由于光线突变、背景提取效果等原因的影响，在拍摄的交通序列图像中会出现一些灰度值突变点，因此，经过迭代阈值算法后的图像如图 3-10(c)所示。实现的详细算法步骤参见节 3.1.3。

试验结果表明背景差分法处理效果令人满意。

### 3.4 形态学处理

由于存在着噪音的干扰以及运动目标与背景图像之间往往有小部分颜色和灰度相近，于是迭代二值化后得到的图像中往往会含有许多孤立的点、孤立的小区域、小间隙和孔洞（如图 3-10(c)所示，白色代表前景物体），这些都给后续运动目标标定及跟踪处理带来了干扰，因此需要将孤立的点、小区域消除，将小间隙连接。

本文通过数学形态学开运算对图像进行先腐蚀后膨胀的处理<sup>[20]</sup>。去除了孤立的小点、毛刺和小桥（即连同通两块区域的小点），消除小物体、平滑大物体边

### 1.3 课题研究内容

当今智能交通系统中所用到的交通流量检测技术还没有达到十分完善的程度，都或多或少的存在这样或者那样的问题。尤其是基于视频图像处理技术的交通信息采集技术还有待进一步改进和完善；车辆检测算法的速度以及识别的准确性等问题也都还有待进一步的提高。

基于上述问题，本课题研究的内容——智能处理系统中车辆检测与流量统计技术，其主要目标就是要进一步研究车辆检测与流量统计算法的特点，改进或者提出一个新的算法，提高车辆检测的准确率，改善算法的适应环境，增加算法的鲁棒性，为进一步的研究打下坚实的技术基础。

#### 1.3.1 主要工作

本论文以摄像机获取的交通场景连续图像作为研究对象，获取场景内的交通参数，对所涉及到的背景提取及其自适应更新、车辆目标检测等关键技术问题进行深入的研究，并在这些研究的基础上设计了一个基于车辆检测区域和车辆跟踪区域的交通流量检测算法，分车道进行车流量统计、车速提取以及车型的初步识别。

论文主要完成以下几个方面的工作：

##### 1. 阐明视频交通流检测系统的设计思想及其原理。

视频交通流检测系统的设计思想是通过视频检测技术、图像处理技术，实时地检测道路交通流信息，监视道路交通状况，记录交通流数据和道路交通状况等信息，是综合了信息采集和信息管理的一套完整的管理系统。其工作原理是通过摄像机将道路交通图像捕捉下来，再将序列图像送入计算机进行图像处理、图像分析和图形理解，从而得到交通状况信息，为道路管理提供必要且准确的信息。

##### 2. 背景提取及自适应更新模型。

背景图像是指所取得的场景图像中没有车辆经过时的图像，在该图像中仅包含静止的道路信息。当前取得背景图像的方法有多种：手动取得背景图像；基于高斯模型分布等统计方法取得背景图像；Surendra背景更新算法等。本文对时域均值法及直方图法提取的背景图像进行统计对比，采用了时域均值法进行背景提取，利用自适应更新算法进行背景更新，有效地解决了背景更新问题，实验结果令人满意。

##### 3. 运动目标的检测与跟踪

目前运动目标检测主要有两种方法：基于帧间变化检测的方法和基于光流场估计的方法。光流场方法计算量比较大，实时检测比较困难；帧间变化检测方法

中相邻帧差分法过于依赖图像中的运动信息，容易出现背景误检和物体丢失现象。

本文采用背景差分法进行运动目标提取；另外，采用 Hough 变换提取车道线，采用基于车道标记线的水平投影算法实现车辆检测；以车辆检测为基础，检测车辆角点，采用 Kalman 滤波预测技术预测角点在序列图像中下一帧图像中的位置，实现运动车辆跟踪，实验结果令人满意。

### 1.3.2 论文的结构安排

本文共分五章：

第一章为绪论，介绍问题的研究背景及意义，交通流量检测技术的研究现状和现有的算法，以及本文主要研究内容。

第二章主要介绍课题后续处理所需要采用的理论基础与方法，以及智能交通系统采用的计算机视觉、图像处理知识，包括：滤波算法、图像阈值分割、数学形态学等。

第三章运动目标提取。详细介绍了交通背景的特点以及广泛应用的背景提取方法，较好地实现了交通场景背景、车道线以及交通场景中运动车辆的提取。

第四章运动目标检测。介绍了运动目标识别与跟踪算法。在角点检测基础上，采用 Kalman 预测技术对车辆角点进行预测，从而较好的实现了运动车辆的跟踪。

第五章为总结与展望。



## 第二章 理论基础与方法

在复杂的交通检测环境中，气候、光线的变化、阴影以及随机噪声等都会影响基于视频的图像处理系统，因而，要准确的提取出运动车辆，首先要利用图像预处理排除各种干扰因素的影响，然后才能更好地实现对视频图像的实时处理和图像分割，从而获得较为准确的车辆交通流数据。因此，本章主要介绍本文工作中涉及到的计算机视觉、图像处理及相关技术，包括：数字图像的平滑处理、数字图像的直方图统计、数字图像的阈值分割。然后又介绍了数学形态学及其运算。

### 2.1 图像处理技术

#### 2.1.1 序列图像特点分析

19 世纪 60 年代兴起的序列图像的研究至今已经非常盛行。其基本任务为：从图像序列中检测出运动信息、识别与跟踪运动目标以及估计运动参数。图像序列又称为动态图像，由一系列连续图像组成，它们具有一定的相对顺序，本文中所用的序列图像具有一定的时间间隔顺序<sup>[4]</sup>，可以表示为：

$$\{f(x_i, y_i, t_0), f(x_i, y_i, t_1), \dots, f(x_i, y_i, t_{n-1})\} \quad i, j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2-1)$$

序列图像相对于静止图像而言具有如下特点<sup>[5]</sup>：

- 数据量庞大。序列图像的数据量很大，对于摄像机传送而来的 24 位全彩色图，大小为  $320 \times 240$ ，若不经压缩，在 PAL（25/秒）制式下，1 分钟需要处理大约 300M 的信息。因此，高效处理必不可少。
- 物体的重叠。由于物体的运动，造成物体本身一部分时隐时现，从而引起画面内图像结构发生变化，计算机应该解释这些变化。对抽取出来的运动模式也要分析并赋予某种意义。

#### 2.1.2 交通图像的特点

典型的车辆交通图像具有如下几个特点<sup>[6]</sup>：

- 车辆是在场景中唯一运动的物体，并且车辆是刚体；
- 在道路上存在与车辆运动方向平行的白色车道线，并且车道线间距相等；
- 车辆运动方向与车道线近似平行，垂直车道线方向速度一般不大，很少出现并道现象；

- 一般而言，出于交通安全考虑，车辆间有较大的间隔，至少大于 1m；运动目标和背景的占空比严重不均；

## 2.2 图像预处理

图像在采集、转换和传输过程中，经常会受到成像设备、传输设备以及外部环境噪声的影响，使得数字化后的图像或多或少的带有各种噪声<sup>[7]</sup>。反映在图像上，表现为原本均匀和连续变化的灰度突然变大或者变小，从而导致出现虚假边缘和轮廓。在实际应用操作中，大致可以将噪声分为 3 类：

- (1) 敏感元件内部产生的高斯噪声；
- (2) 光电转换过程中泊松噪声；
- (3) 感光过程中产生的颗粒噪声。

由于噪声的影响，在对图像进行视频分割操作前，需对图像进行预处理，消除或减弱噪声的影响。

目前，已经有许多成熟的方法用来对图像进行预处理。在预处理过程中，可以根据不同情况，选取针对性的方法进行操作。通常，在一幅所处理的图像中，相邻像素间大都有很强的相关性，即一幅图像中大多数像素的灰度值相差不大，而一般图像的能量主要集中在低频区域内，只有图像的细节部分和噪声的能量才处于高频区域内，因而消除噪声的一般方法是采用低通滤波以衰减高频分量，由此又带来了图像细节部分的视觉效果较处理前图像差的问题<sup>[8]</sup>。

在滤波除噪处理上可以分为空间域处理和频率域处理，即。

- (1) 空间域噪声处理方法主要包括：邻域平均法、中值滤波法等。

- (2) 频率域处理方法狭义而言是指图像经过傅立叶变换 ( $FT$ )，然后利用已经设计好的低通滤波器消除高频噪声；广义而言是指图像经过  $DFT$  变换或  $Walsh$  变换或者  $Wavelet$  变换后，利用各种变换自身算法的特点以达到衰减噪声的目的。

抑制或者消除噪声而改善图像质量的过程称为图像的平滑过程。一个好的平滑方法应该既能消除噪声又不使图像的细节变得模糊——这是研究图像平滑追求的目标。下面介绍几种滤波方法。

### 2.2.1 中值滤波

中值滤波法，指用局部中值来代替目标像素点的灰度值，即以目标像素点为中心的某个窗口的各像素的中间值作为处理后图像中该点像素的灰度值。该方法是以像素为处理对象的空间域非线性滤波方法。

在中值滤波算法中，首先确定一个以 $(x, y)$ 为中心的 $N$ 个像素（ $N$ 为奇数）的移动窗口 $W$ ，窗口内各像素按灰度大小排序后，用其中间值 $g(x, y)$ 来代替 $f(x, y)$ ，用公式表示如下：

$$g(x, y) = \text{median}\{f(x - k, y - t), k, t \in W\} \quad (2-2)$$

$W$ 为选定窗口大小。采用 $3 \times 3$ 模板进行中值滤波的效果图 2-1 所示：



(a) 原图

(b) 中值滤波

图 2-1 中值处理效果对比图

实际应用中，针对随机脉冲噪声，中值滤波效果很明显，但对于作用形式较为缓和的噪声，处理效果较差。

### 2.2.2 均值滤波

均值滤波法是对选中图像的小区域内各像素元灰度进行平均，并将所得灰度值 $g(x, y)$ 作为该小区域中点位置 $(x, y)$ 处像素点的灰度值，典型公式如下表示：

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(W)} f(x, y) \quad (2-3)$$

式中 $W$ 是区域内的点集， $M$ 是点集 $W$ 中总像素点数。该方法便于实现，计算速度较快，在平滑技术中广泛应用，但处理结果在一定程度上较原图模糊。

在实际应用中，区域通常为 $N \times N$ 窗口，如 $3 \times 3$ 。窗口沿水平和垂直方向逐点移动，进行平均，因而图像变得平滑。均值滤波法的前提假设是：首先，图像由许多灰度值变化不大或连续的像素元组成，这一假设能够反映多类图像的灰度特征；其次，图像的噪声为互不相关、均值为零的加性噪声。均值滤波原理如下：

设一幅含有噪声的数字图像表达式为：

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y) \quad (2-4)$$

式中  $f(x, y)$  表示原始图像， $n(x, y)$  表示噪声。经均值滤波处理后数字图像表示为：

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in W} g(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in W} f(x, y) + \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in W} n(x, y) \quad (2-5)$$

式中  $W$  是区域内的点集， $N$  是点集  $W$  中的总的像素点数。根据前提假设，可以看出上式右侧第一项与原始图像相差无几；上式右侧第二项代表平滑后图像中的噪声，它的均值为零，它的方差为原方差  $\sigma_n^2$  的  $1/M$ ，即：

$$D\left\{\frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in W} n(x, y)\right\} = \frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in W} D\{n(x, y)\} = \frac{1}{M} \sigma_n^2 \quad (2-6)$$

虽说图像经平滑处理后噪声方差衰减为原来的  $1/M$ ，但简单的局部平均却带来图像模糊、黑白交界处轮廓不清晰问题。

为了克服以上缺点，利用加权思想改进均值滤波，即用邻域内各像素的加权平均值取代中心像素原来的灰度，该方法称为加权局部平均法。常用的加权局部平均法所用窗函数有：

$$\frac{1}{9} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \frac{1}{10} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \frac{1}{16} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

采用  $3 \times 3$  窗口函数对图像进行均值平滑处理效果如图 2-2 所示。



(a) 原图

(b) 均值滤波后

图 2-2 均值滤波处理效果对比图

上述方法是通过空间域处理方式——微分、积分、多项式运算对图像进行锐化和平滑处理，具有方法直观、操作简便等优点；但当图像数据量大时，存在预测性差等缺点。在这种情况下，可以采用频谱变换的方法处理。

### 2.2.3 频率滤波器

图像频谱变换，首先利用傅立叶变换将图像从空间域映射成频率谱，通过检测和研究图像的频谱特性进行滤波处理，然后经傅立叶反变换将处理结果从频谱形式恢复于空间域，其简单的操作流程如图 2-3 所示。图中  $F(u,v)$  是带噪声的原始图像  $f(x,y)$  的傅立叶变换， $H(u,v)$  为滤波器的传递函数， $G(u,v)$  为经过滤波处理后的图像，通过傅立叶反变换可以得到增强或者平滑后的图像  $g(x,y)$ ，其中  $G(u,v) = H(u,v)F(u,v)$ 。

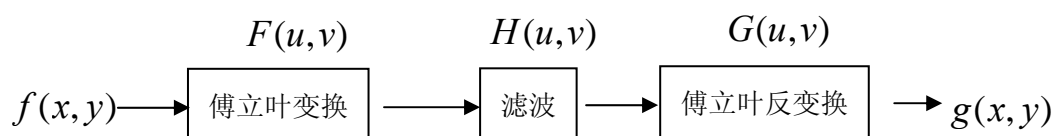


图 2-3 图像频域处理流程示意图

图像频谱算法的优点为：处理速度快、构成方式清晰、滤波广度大，预测性好。

为实现频域的高通和低通滤波，关键是选择滤波器的形式。当  $H(u,v)$  为低通滤波器的传递函数时，经过傅立叶反变换会得到去除噪声后的平滑图像，从而实现图像的低通滤波。同理，当  $H(u,v)$  为高通滤波器的传递函数时，则会实现图像的高通滤波操作。图像低通滤波示例如图 2-4。



图 2-4 低通滤波处理效果对比图

### 2.2.4 图像分割

数字图像处理的目的之一是图像识别，而图像分割是图像识别工作的基础。简单地说，图像分割就是将给定的图像按照某种准则划分为互不相交的有意义的子图的过程。根据给定图像信息量的大小，图像分割方法大体可以分为以下三个

方面<sup>[9]</sup>:

- 利用图像灰度统计信息的方法, 包括以为一维直方图阈值化和二位直方图阈值化方法;
- 利用图像空间域信息和光谱信息的图像分割方法, 此类方法包括区域分裂、合并生长法、纹理分割、多光谱图像分割等;
- 利用图像中灰度变化最剧烈区域信息方法—边缘检测方法;

阈值处理是一种区域分割技术, 是图像分割算法中数量最多的一类, 是将灰度根据主观愿望分成两个或多个灰度区间, 从而将感兴趣物体划分到某一特定灰度区间。该技术利用图像中要提取的目标物体和背景在灰度上的差异, 因而一般适用于物体与背景灰度差异较大的图像。

阈值化分割算法主要有两个步骤: 一是确定需要的分割阈值  $T$ ; 二是将分割阈值与像素灰度值进行比较, 用以划分物体所属灰度区间。

在一般情况下, 灰度阈值  $T$  的取值对所抽取物体的边界定位、整体尺寸都有较大影响。出于这个原因, 如何确定阈值是阈值分割处理的关键。常用的阈值分割方法包括: 直方图法和自适应阈值方法。

## 2.3 数学形态学

形态学 (Morphology) 是生物学中研究动植物结构的一个分支学科, 后来, 随着图像处理技术的发展而与图像处理技术相融合, 并最终发展成为研究、处理图像的全新方法——数学形态学<sup>[10]</sup>。

数学形态学是近几十年发展起来的关于数字图像处理和识别的新理论和新方法, 它诞生于 1964 年, 建立在严格的数学理论上, 其理论基础涉及到拓扑学、现代概率论、近代代数与集合论、图论等一系列数学分支。用于描述数学形态学的语言是集合论。事实上, 数学形态学已经构成一种新型的图像处理方法和理论。形态学图像处理已经成为计算机图像处理的一个主要研究领域。在计算机文字识别、计算机显微图像分析、医学图像处理、工业检测 (如印刷电路自动检测) 以及机器人视觉等方面中, 数学形态学都有许多非常成功的应用。

作为一种图像分析的数学工具, 数学形态学的基本思想是以具有一定形态的结构元素 (structure element) 为工具去度量和提取图像中的对应形状特征, 从而达到对图像目标进行处理和识别的目的。其主要内容是用一整套变换来描述图像的基本特征或基本结构。其最基本最重要的两种变换是膨胀 (Dilation) 和腐蚀 (Erosion); 把此两种变换经过组合可以形成其他 5 种基本变换, 它们分别是开、闭、击中、细化和厚化。数学形态学包括二值图像的变换和灰度图像的变换, 下

面介绍常用的二值图像的腐蚀和膨胀运算<sup>[11]</sup>。

设  $B$  为待处理数字图像,  $S$  是选定的结构元素, 则  $B$  被  $S$  腐蚀的结果定义为:

$$E = A \ominus S = \{(x, y) \mid S_{xy} \subseteq B\} \quad (2-8)$$

其中  $S_{xy}$  为  $S$  的元素,  $A \ominus S$  又称为明科夫斯基(Minkowski)差。腐蚀操作示意如图 2-5 示。

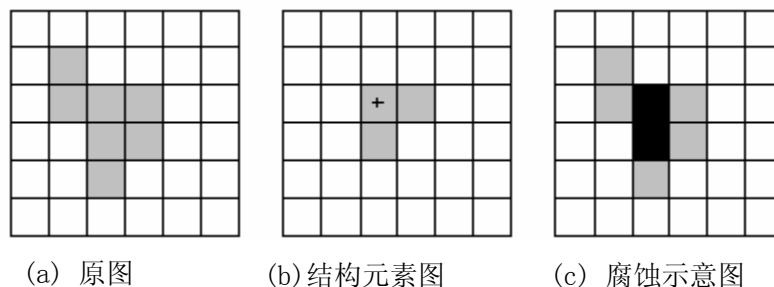


图 2-5 腐蚀示意图

$B$  被  $S$  膨胀的结果定义为:

$$D = B \oplus S = \{(x, y) \mid [\widehat{S}_{(x,y)} \cap B] \neq \phi\} \quad (2-9)$$

$\widehat{S}_{(x,y)}$  为  $S_{(x,y)}$  的映像元素, 并称  $\widehat{S} = \{x \mid x = -b, b \in B\}$  为  $B$  的映像。 $B \oplus S$  又称为  $S$  与  $B$  的明科夫斯基(Minkowski)和。膨胀是将与目标物体接触的背景点合并于该物体中, 从而使边界向外部扩张的过程, 因此可以用来填补物体中的空洞。腐蚀操作示意如图 2-6 所示。

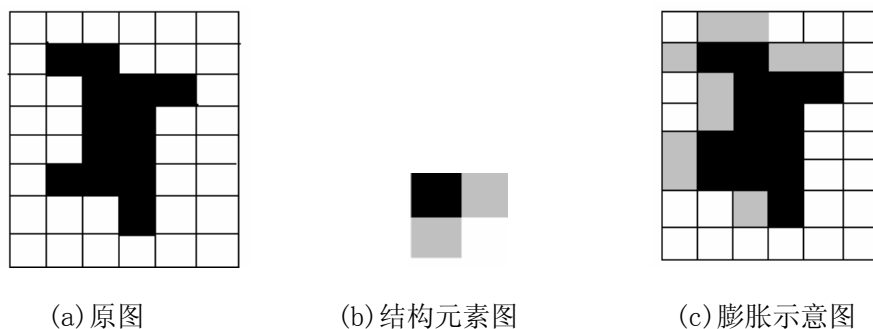


图 2-6 膨胀示意图

在腐蚀和膨胀基础上定义开闭运算。所谓闭运算是先膨胀后腐蚀操作; 而开运算是先腐蚀后膨胀。图像经过开运算后, 能够去除孤立的小点、毛刺和小桥(即连同通两块区域的小点), 消除小物体、平滑大物体边界; 闭运算用来填充物体内细小空洞、连接邻近物体、平滑物体边界。两者都不明显改变图像面积。

击中运算是利用结构元素判断元素是否属于目标图像。

细化运算就是将图像减去被结构元素击中后所得到图像。

厚化运算就是将图像加上被结构元素击中后所得到图像。

从以上介绍中可以看出，在进行数学形态学运算时，都要用到结构元素  $B$ ；利用结构元素来考察图像各部分之间的关系。因此，在数学形态中，结构元素是最重要、最基本的概念。



### 5.3 检测结果及分析

系统构建完成后，对市区采集的一段序列图像进行处理。在城市道路中，出于安全，行驶车辆之间间隔不会小于 1m，在视频图像体现为，视频图像的直方图中，肯定会出现大于  $N$  个像素的间隔，其中  $N$  与摄像头假设高度以及倾斜角度有关（可以通过人工交互设定）。在本实验中，经调试  $N$  设为 10 个像素。统计 1 分钟时间内各车道车辆数目，检测车辆流量实验结果如下：

表 5-1 车流量检测结果

	第一车道	第二车道	第三车道	合计
实际数目	11	23	6	40
检测数目	14	24	10	48

经测试：第一车道检测正确率：75%，第二车道检测正确率：89.9%，第三车道检测正确率：70.1%。经过本文算法统计，出现车辆多检情况，但不会出现漏检情况，造成车辆多检情况的出现，1) 是因为差分图像迭代阈值处理时，出现一辆车被“断开”情况；2) 是因为两侧车道中车辆检测数目与实际通过车辆差别较大。

### 5.4 建议与展望

视频图像检测技术应用于智能交通系统的研究和开发工作目前在我国尚处于起步阶段，作为一种新兴的交通信息检测技术，视频图像检测技术以其具有的算法柔性大和适应能力强等特点，在智能交通系统中具有广泛的应用领域。

本课题是针对监控道路通行能力的视频检测系统研制，属于视频监测技术在交通领域的应用性研究。

本课题基本实现了车辆的检测与跟踪，但是由于时间不足以及作者个人能力有限，论文中还存在许多缺憾和不足，还有许多方面等待进一步的研究和开发。要将其真正应用于现实环境中，还需解决以下几个问题：

1. 本文的研究工作主要是针对结构化道路进行的，而且，本文为简化运算，构建的是直线型车道路面模型，今后可以发展其它的模型，以提高车道识别的精度。对市区拥挤的道路，为准确识别出车道路面，可以采用两种方法进行：一是可以利用路面灰度一致性特征，采用聚类的方法来构建路面特征模型，而不局限于只识别和跟踪路面上的白色标记；二是可以采用人工交互的方法

进行设定，这种方法在安装调试过程中需要工程人员设定车道位置。

2. 本文采用基于车道的水平投影的方法进行车辆检测，对背景图像质量要求较高，因此需要对背景图像进行进一步的研究；
3. 在检测过程中，由于摄像机拍摄视觉角度的不同，使得远离摄像机的车道线的间隔不同于靠近摄像机的车道线。因此，需要进行摄像机标定技术的研究。
4. 本文采用离散线性的 Kalman 滤波预测车辆的下一状态，实际系统往往呈现出非线性，为提高预测的准确性，可以采用扩展 Kalman 滤波（EK）对车辆状态进行预测；
5. 为提高系统的处理速度，对多车道及多车辆的跟踪可以考虑采用分布式处理、并行计算以及多线程技术。

## 参考文献

- [1] 展望 21 世纪智能交通系统 (ITS) 的发展, 黑龙江工程学院学报, 2001.3, 15 (1) : 52-56
- [2] Panos G Michalopoulos Vehicle Detection Video Through Image Processing: the Autoscope System IEEE Transaction on Vehicular Technology. 40(1) 1991.21~29
- [3] 罗欣, 基于图像处理技术的车辆检测流量统计技术研究: [硕士学位论文], 电子科技大学, 2005
- [4] 周志宇, 汪亚明, 黄文清, 基于动态图像序列的运动目标跟踪, 浙江工程学院学报, 2002, 19(3): 165-170
- [5] 王积分, 张新荣著, 计算机图像识别, 北京: 中国铁道出版社, 1988
- [6] 杨培龙, 车载视频图像中运动目标的识别与跟踪方法研究: [硕士学位论文], 天津: 天津大学, 2005
- [7] 冈萨雷斯著, 阮秋琦, 阮宇智译, 数字图像处理 (第二版), 北京: 电子工业出版社, 2003
- [8] 陈兵旗, 孙明著, Visual C++ 实用图像处理, 北京: 清华大学出版社, 2004
- [9] 章毓晋, 图像分割, 北京: 科学出版社, 2001
- [10] 崔屹, 图像处理与分析—数学形态学方法及应用, 北京: 科学出版社, 2002
- [11] 唐常青, 数学形态学及应用, 科学出版社, 1990
- [12] 丁伟强, 董育宁, 基于计算机视频图像的车辆检测, 电视技术, 2004, No.10: 81-83
- [13] 乔光军, 杨兆选, 基于虚拟线的交通信息视频检测技术及应用, 电子技术应用, 2005 年第 9 期: 23-25
- [14] Shahbe Mat Desa, Qussay A. Salih, Image Subtraction for Real Time Moving Object Extraction, Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, 26-29 July 2004, IEEE.41-45
- [15] Yong Fan, A Real-Time Algorithm of Dynamic Background Extraction in Image Sequence, Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, 2005:4997-5000

- [16]左奇, 交通图像检测与处理方法研究: [博士学位论文], 西安: 西北工业大学, 2003
- [17]于成忠 朱骏 袁晓辉, 基于背景法的运动目标检测, 东南大学学报(自然科学版), 2005年第35卷(增): 159-161
- [18]彭 强, 李华, 基于块直方图分析的视频背景提取方法, 西南交通大学学报, 2006.2, 41(1): 48-53
- [19]艾海舟, 乐秀宇, 面向视觉监视实时跟踪的动态背景更新方法, 计算机工程与应用, 2001.19: 104-106
- [20]冯俊萍, 赵转萍, 徐涛, 基于数学形态学的图像边缘检测技术, 航空计算技术, 2004, 34(3): 53-56
- [21]M. Kilger. Video-based Traffic Monitoring. In IEEE 4<sup>th</sup> intl. Conf. On Image Processing and its Applications, 7-9 Apr 1992: 89-92
- [22]杜楠, 复杂气候条件下的视频交通流量检测算法: [硕士学位论文], 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004
- [23]C. Kreucher S, Lakshmanan, and Lana. A Lane Extraction Algorithm that Uses Frequency Domain Features. In IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1999: 343-350
- [24]M. Bertozzi, A. Broggi, Real-time Lane and Obstacle Detection on the Gold System, IEEE Intelligent Vehicle Symp., 1996: 213-218
- [25]陈震, 高满屯, 杨声云, 基于 Hough 变换的直线跟踪方法, 计算机应用, 2003, 23 卷 10 期, -30-32
- [26]江泽洲, 严超华, 直接 Hough 变换在灰度图像中多直线检测的研究, 科技广场, 2005, 卷 2 期, 28-31
- [27]Bonci, A, Leo, T. Longhi. A Bayesian Approach to the Hough Transform for Line Detection, Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on Volume 35, Issue 6, Nov. 2005 Page(s):945 – 955
- [28]赵文彬, 张艳宁, 角点检测技术综述, 计算机应用研究, 2005.9: 17-20
- [29]刘文予, 朱光喜, 二值图像角点检测的形态骨架法, 信号处理, 2000.9, 16(3): 276-280
- [30]HARRIS.C, STEVEN.M, A Combined Corner and Edge Detector, Proc. 4th Alvey Vision Conf., Manchester[C], 1988: 189-192
- [31]Miroslav Trajkovic, Mark Hedley. Fast Corner Detection Image and Computing, 1998, 16: 75-87

- [32] N.Moghadam Charkari, Hideo Mori. A New Approach for Real Time Moving Vehicle Detection, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1993
- [33] 丁明跃, 吴晏, 彭嘉雄, 用于飞行器导航的边缘匹配方法研究, 宇航学报, 1998, 19(3): 72-78
- [34] 余静, 游志胜, 自动目标识别与跟踪技术研究综述, 计算机应用研究, 2005: 12-15
- [35] 秦钟, 徐建闵, 刘利频, 基于视频角点信息特征的交通流参数测算方法, 华南理工大学学报, 2006.9, 34(9): 70-74
- [36] 张江山, 朱光喜, 一种基于 Kalman 滤波的视频对象跟踪方法, 中国图象图形学报, 2002.6, vol.7(A).No.6: 606-609
- [37] 李华, 基于视频图像的交通信息提取关键技术研究: [硕士学位论文], 成都: 西南交通大学, 2005
- [38] 王新成, 高级图像处理技术, 合肥: 中国科学技术出版社, 2001
- [39] 冯玉琳, 黄涛, 倪彬, 对象技术导论, 北京: 科学出版社, 1998
- [40] David J Kruglinski, Scot Wingo, George Shepherd, 希望图书创作室译, Programming Visual C++6.0 技术内幕, 北京: 希望电子出版社, 1999
- [41] 杨枝灵, 王开, Visual C++ 数字图像获取、处理及实践应用等, 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [42] D.H.巴拉德, C.M.布朗, 计算机视觉, 北京: 科学出版社, 1987
- [43] Emrullah Durucan, Joel Snoeckx and Yves Weilenmann. Illumination Invariant Background Extraction, 27-29 Sept. 1999, IEEE, Page(s):1136-1139
- [44] Jen-Chao Tai\* and Kai-Tai Song. Background Segmentation and its Application to Traffic Monitoring Using Modified Histogram, International Conference on Networking, Sensing & Control, 2004: 13-18
- [45] 余胜生, 肖德贵, 周敬利, 蒋纲, 自适应背景抽取算法, 小型微型计算机系统, 2004 年 24 卷第 7 期: 1331-1334
- [46] Y. Wang, D. Shen, E.K. Teoh. Lane Detection Using Catmull-rom Spline. In Intelligent vehicles symposium, 1998: 51-57
- [47] Wang H, Brady M, Real-time Corner Detection Algorithm for Motion Estimation[J], Image and Vision Computing, 1995, 13(9): 695-703
- [48] 刘东, ITS 中的车辆检测技术, 公安大学学报(自然科学版), 2000 NO.4: 36-39

## 发表论文和参加科研情况说明

发表的论文：

路志英，代建辉，杨玉峰，刘还珠，Research on the Forecasting Model of Sand-dust Storm Based on the Grid Field, ICNC-FSKD2007, 2007 年 8 月（已录用）

参与的科研项目：

1. 基于视频的违规车辆自动识别方法的研究
2. 国家级精品课程建设工作的网络课程制作

## 致 谢

本课题的顺利开展及完成，与导师路志英副教授的热切关怀与悉心指导是分不开的。作为我步入学术领域的启蒙老师，路老师从我刚刚入学就开始引领我进入人工智能课题的研究，悉心解答学习过程中遇到的困难，帮助我设立总体目标，指点不同阶段的研究方向，这些都对我今后的人生道路奠定了基础；感谢路老师长期以来对我的信任。路老师对工作一丝不苟、精益求精的严谨作风是我终生学习的榜样。路老师在课题期间悉心解答我的问题，并在百忙之中为我提供了试验数据和相关资料，对本课题的完成做出了重要贡献，在此深表感谢。

我同样将最诚挚的谢意致与模式识别专业每一位曾经给予我帮助和关心的老师。真诚感谢课题组的刘正光教授、王萍教授、杨正瓴副教授、岳士弘岳老师、张军讲师在学习和科研上的指点与帮助。

此外，还要感谢课题组狄光敏、王波、李维、李艳英及其他同学在论文工作期间给予的帮助和支持。

最后，感谢家人在读研期间对我的支持，没有他们就没有我现在的一切。

个模板。利用前所述方法计算图像与这 8 个模板的相关度, 得到目标像素点角点测度, 选取最大值的像素为角点。但是, 该模板适用范围有限, 仅能在简单图像中应用, 复杂图像中不可行。

#### 4.2.2 基于几何特性的角点检测方法

该类方法又可分为基于边缘的方法和直接对灰度图像像素进行操作的方法。

##### 4.2.2.1 基于边缘的方法

目前大多数方法都是基于这类角点检测原理。这类角点检测方法是把角点定义在图像边缘上, 通过对边缘进行分析来提取角点。同时该方法又分为基于边界链码的角点检测、基于边界曲率的角点检测以及基于小波变化的角点检测<sup>[31]</sup>。

基于边界链码的方法首先分割待分析图像, 提取边界形成 Freeman 链码, 将方向改变迅速的点标记为角点, 由于该类方法依赖前期图像分割, 而图像分割涉及到复杂的浮点运算和区域支持的选择, 这样使得角点检测算法的复杂度加大, 另外在图像分割中出现的任何错误都有可能影响角点的检测准确度。

基于边界曲率的角点检测方法的特点是通过各种方法计算边缘某点处的曲率, 找出局部极值, 再通过阈值技术来进行角点检测。

基于小波变化的角点检测。由于小波变换其对图像局部特征分析十分有效, 被称为“数学显微镜”。在利用小波变化检测角点时, 大致过程如下: 首先提取目标边缘, 计算目标轮廓线平滑后的方向角函数  $\phi(i)$ , 然后在不同尺度下对  $\phi(i)$  进行小波变化, 当某一位置在多尺度下都出现模最大值时, 把这一点设定为候选角点, 最后根据阈值技术除去伪角点, 从而检测出真正的角点。

##### 4.2.2.2 基于直接对灰度图像像素的方法

这类方法的特点是不依赖于目标的其它局部特征, 利用角点本身的特点直接提取角点, 该类方法检测到的是角点局部范围内灰度和梯度变化剧烈的极大点, 所应用的手段主要是通过计算曲率及梯度来检测角点。由于它无需进行边缘提取, 所以在实际中得到了广泛应用<sup>[32]</sup>。

##### 4.2.2.3 本文采用算法

本文采用算法如下:

1) 利用 Sobel 边缘检测算子对如图 3-9 所示的图像进行处理, 提取出图像候选角点的特征图  $T(x, y)$ 。其中, Sobel 算子以及特征值分别如式(4-5)和式(4-6)所示。

$$f_x = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad f_y = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix} \quad (4-5)$$



$$T(x,y) = D_x^2 D_{yy} + D_y^2 D_{xx} - 2D_x D_y D_{xy} \quad (4-6)$$

式(4-6)中  $D_x$  和  $D_y$  表示对图像进行  $X$  或  $Y$  方向进行一阶图像差分,  $D_{xx}$  以及  $D_{yy}$  表示在相应方向进行二次图像差分;

2) 对候选角点特征图  $T(x,y)$  进行形态学膨胀运算得图像  $D(x,y)$ , 其中膨胀结构元素采用  $3 \times 3$  结构元素;

3) 利用公式  $T(x,y) = T(x,y) - D(x,y)$  对图像进行处理;

4) 对图像  $T(x,y)$  进行阈值处理, 得到角点图  $Cor(x,y)$ ;

经过上述算法处理后所得的检测区域内的图像角点如图 4-7(b):

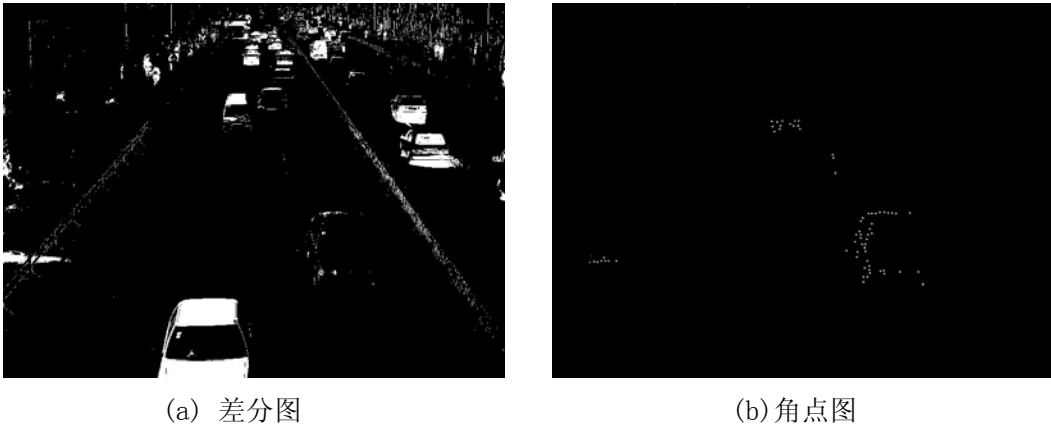


图 4-7 角点图示意图

### 4.3 车辆跟踪

目标跟踪方法的研究和应用是计算机视觉的一个重要研究方向, 日益应用于国防建设、航空宇航、医药卫生以及国民经济的各个领域。实现目标跟踪的关键在于完整的分割目标、合理的提取特征, 同时也要考虑算法实现的时间, 保证实时性。常用的跟踪算法有基于运动分析的帧间差分法、光流分割法和基于图像匹配的区域匹配、特征匹配、模型匹配和频率域的匹配方法。基于图像匹配的方法可以识别待定目标及确定运动目标的相对位置<sup>[33]</sup>。

为了更加准确地预测车辆的位置和运动, 本文在研究中, 充分利用运动目标的内在信息及前一节中提取的运动物体的角点信息, 通过Kalman滤波实现前一帧图像中的车辆位置和状态预测下一帧图像中车辆的位置, 这样减小了再次提取特征点的搜索范围, 从而提高车辆跟踪的实时性和准确性<sup>[34]</sup>。

车辆跟踪依据的原理是: 作为刚体的车辆各个部分具有相同的速度, 并且同一车辆不同角点具有相同的运动速度<sup>[35][36]</sup>。

### 4.3.1 Kalman滤波理论基础

Kalman滤波器是从被提取信号有关的量测量中通过算法估计出所需信号，其中被估计信号是由白噪声激励引起的随机响应，激励源与响应之间的传递结构（系统方程）已知，量测量与被估计量之间的函数关系（量测方程）也已知。在估计过程中，利用了系统方程、量测方程、白噪声激励的统计特性、量测误差的统计特性。Kalman滤波器是在时域内设计的可以适用于多维的滤波器，所用的信息也都是时域内的量<sup>[37]</sup>。

一个离散动态系统可以分解成两个过程： $N$ 维的动态系统和 $M$ 维( $m \leq n$ )的观测系统（见图4-8）。在时刻 $k$ ， $l$ 维输入向量 $u_k$ 经过动态系统，再加上 $m$ 维噪声向量 $n_k$ 产生 $N$ 维状态向量 $x_k$  ( $x \in R^n$ )。

一般而言，有确定性控制时的 $N$ 维动态系统的与 $M$ 维观测系统的离散系统的状态方程和量测方程可以描述为：

$$\text{状态方程: } X_k = AX_{k-1} + BU_{k-1} + W_{k-1} \quad (4-7)$$

$$\text{量测方程: } Z_k = HX_k + V_k \quad (4-8)$$

其中：

$X_k$  ( $X_{k-1}$ ):  $t_k$  ( $t_{k-1}$ )时刻系统的 $n \times 1$ 状态向量；

$A$ :  $n \times n$ 矩阵，是 $t_k$ 至 $t_{k-1}$ 时刻的一步状态转移矩阵；

$B$ : 系统控制作用矩阵；

$Z_k$ :  $t_k$ 时刻的 $m \times 1$ 状态观测向量；

$H$ :  $m \times n$ 矩阵，是状态向量与观测向量之间的联系矩阵；

$U_k$ : 系统的确定性输入；

$W_k$ :  $n \times 1$ 向量，均值为 $E(W_k) = 0$ ，协方差为 $E(W_i W_k^T) = \begin{cases} Q_k & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases}$ 的系统噪声；

$V_k$ :  $m \times 1$ 向量，均值为 $E(V_k) = 0$ ，协方差为 $E(V_i V_k^T) = \begin{cases} R_k & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases}$ 的观测噪声，且 $V_k$ 和 $W_k$ 不相关。

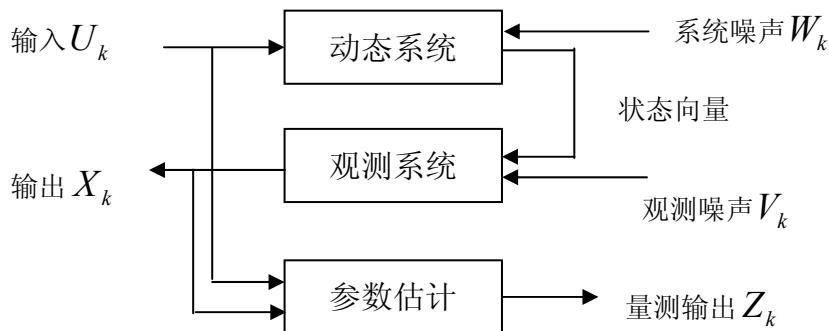


图 4-8 离散动态系统描述

Kalman 滤波利用反馈控制系统设计运动状态；滤波器估计某一时间的状态，并获得该状态的预测值。也就是说，Kalman 滤波公式分成两部分：预测和修正。预测公式负责利用当前的状态和错误协方差估计来为下一步时间状态得到先验估计；而修正公式负责反馈部分。其基本方程表示如下：

Kalman 预测方程： 预测状态向量  $\hat{X}_k = AX_{k-1} + BU_{k-1}$  (4-9)

预测协方差矩阵  $\hat{P}_k = AP_{k-1}A^T + Q$  (4-10)

Kalman 修改方程： Kalman 滤波增益  $K_k = P_k H^T (HP_k H^T + R)^{-1}$  (4-11)

修改状态向量  $X_k = \hat{X}_k + K_k (Z_k - H\hat{X}_k)$  (4-12)

修改协方差矩阵  $P_k = (I - K_k H)\hat{P}_k$  (4-13)

Kalman 滤波算法如图 4-9 所示。

### 4.3.2 车辆实时跟踪

本文用角点来表示跟踪的运动车辆区域<sup>[38]</sup>。描述各个角点的参数有角点的位置  $(x, y)$  和两个方向的速度  $V_x(k)$  和  $V_y(k)$ 。在跟踪过程中，行驶车辆在一段时间内保持匀速行驶状态。状态向量定义为：

$$X(k) = [x(k) \quad y(k) \quad V_x(k) \quad V_y(k)]^T \quad (4-14)$$

式中  $x(k)$ 、 $y(k)$ 、 $V_x(k)$  和  $V_y(k)$  分别表示车辆角点第  $k$  时刻坐标值及横向和纵向的坐标值和速度。本系统中，由于没有确定性的外部输入，因而外部输入  $U_k = 0$ 。

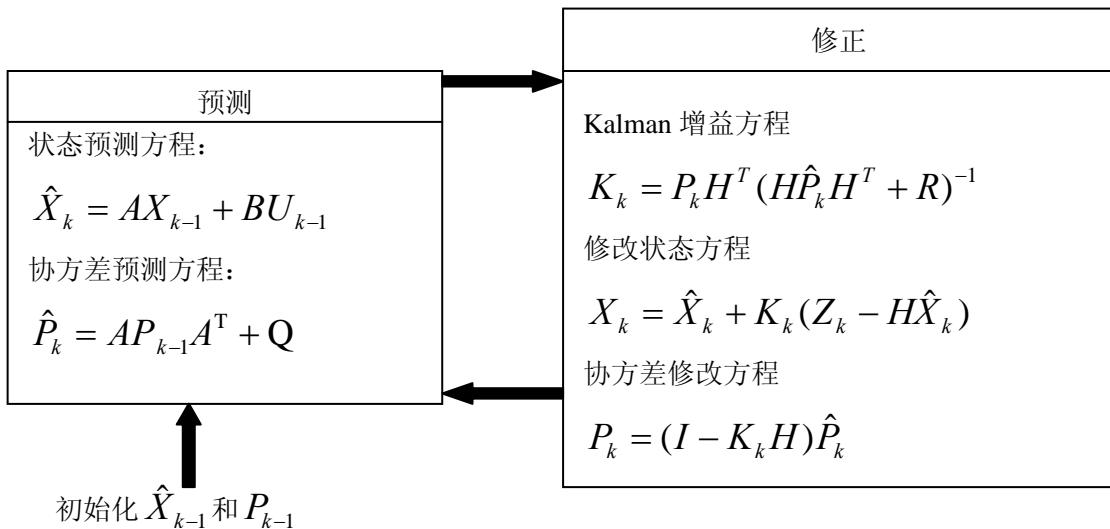


图 4-9 Kalman 滤波算法图

由于将系统简化为线性系统，所以状态矩阵  $A$ ，观测矩阵  $H$  都为常数。据

此，建立系统模型如下：

$$\begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ V_x(k) \\ V_y(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x(k-1) \\ y(k-1) \\ V_x(k-1) \\ V_y(k-1) \end{bmatrix} + W_k \quad (4-15)$$

$$Z_k = HX_k + V_k, \text{ 其中 } Z_k = [x(k) \quad y(k)]^T, H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, W_k \text{ 和 } V_k$$

是服从正态分布的系统噪声和观测噪声，即  $W_k$  满足  $p(W) \sim N(0, Q)$ 、 $V_k$  满足  $p(V) \sim N(0, R)$ ，其中， $Q$  设定为  $4 \times 4$  的单位阵， $R$  是对角线元素为 2 的 2 阶对角阵。协方差矩阵  $P$  的初值设为 4 阶单位阵。

根据上述 Kalman 滤波的思想以及本系统的动态运动模型，设计跟踪过程的算法如下：

- 1) 设置方差  $Q$ ， $R$  和协方差  $P$  的初始值，根据车辆检测模块得到的各车道第一辆机动车初始化匹配模板和系统的状态向量；
- 2) 根据车辆检测部分检测到的各车道车辆进行角点检测阶段；
- 3) 根据 Kalman 滤波，由已知的第  $k$  帧的状态向量，预测第  $k+1$  帧的状态向量；由第  $k$  帧的后验误差协方差矩阵  $P_k$  预测得到先验误差协方差矩阵  $\hat{P}_{k+1}$ 。
- 4) 根据第二步预测的状态向量计算第  $k+1$  帧预测各个角点位置， $x$  和  $y$  方向的速度，并以预测得到角点组成的各个范围作为第  $k+1$  帧检测角点的感兴趣区域。在此感兴趣区域，对应于每个预测角点周围半径为  $r$  内进行角点检测，更新角点。
- 5) 由角点检测区域对应的范围内得到对应的系统观测向量，以此修改系统的状态向量，并由计算出的 Kalman 滤波增益，修改系统的协方差。
- 6) 转步骤 3，继续跟踪下一帧。

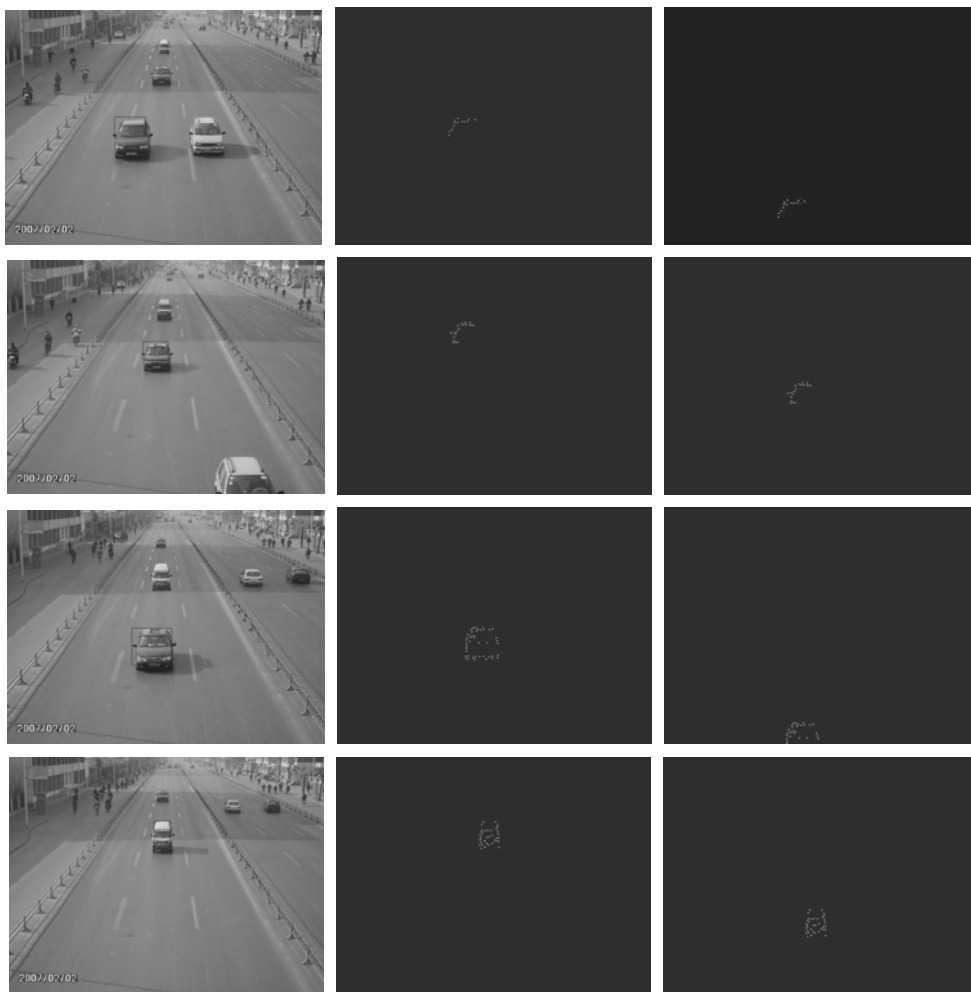
利用 Kalman 滤波有效地预测车辆在下一帧图像中的位置，缩小了角点计算的搜索区域，提高了跟踪的速度。

角点跟踪结果如图 4-9 所示，其中，图(a)表示跟踪结果，图(b)表示根据上一帧角点预测结果进行的角点检测。

## 4.4 本章小结

识别跟踪过程刚刚开始时,启动车辆检测部分在图像各个车道检测区域内搜索可能出现的车辆,并为每个车道检测到的第一辆车创建一个跟踪器。在跟踪过程中,考虑到路面中新出现的车辆只会存在于被跟踪车辆后侧,因此,须要设定终止检验区域。当一个车辆区域的全部角点离开跟踪区域时,表明车辆离开检测区域,此时,应当停止对该车辆进行跟踪,并进行相应数据的处理。与此同时,应锁定随之而来的后续车辆,如此反复,达到车辆跟踪以及各种交通参数的统计,完成车辆流量的检测。算法流程如下:

- 1) 检测出各车道头一辆车,对其进行角点检测;
- 2) 根据检测到角点区域,创建 Kalman 跟踪器,并进行跟踪滤波;
- 3) 当跟踪车辆离开驶出检测区域时,统计交通参数;与此同时,检测后续车辆中第一辆车并转向步骤 1),如此反复;



(a) 跟踪结果

(b) 角点检测

(c) 角点预测

图 4-9 角点跟踪结果示意图

图 4-9(b)表示采用 4.2.2.3 节角点检测算法,获得的检测区域中间车道运动车辆的角点;图 4-9(c)表示经过 Kalman 滤波预测后得到的角点。图 4-9 中第一行图像中的三幅图像分别为:场景灰度图、角点图、角点预测图;由于第一行图像经过预测,已经驶出检测区域,所以对其后续图像进行检测,并将检测结果显示在第二行图像第一列图像中,第二行第二列和第三列图像分别为角点图、角点预测图;第三行第一列图像是根据第二行第三列角点预测图像进行标定的运动车辆,第三行第二列图像是对第三行第一列图像中标定的车辆进行角点检测与更新,并将角点预测结果显示为第三行第三列图像;依此类推第四行各幅图像。

## 第五章 总结与展望

本章将前面章节中车道识别以及车辆识别与跟踪的方法综合起来,构建了市区公路上跟踪多个车辆的流量检测系统,并对各功能模块进行有效的调度。此外,展望了本课题今后的发展方向,并对进一步工作提出了建议。

### 5.1 系统整体结构

根据第三章背景提取与自适应更新、前景目标提取以及第四章车辆识别与跟踪方法,本文构建了一个有效地用于跟踪公路各车道上车辆的视觉系统。整个视觉系统包括以下几个主要功能模块:视频图像输入模块、背景提取模块、车辆检测模块、车辆跟踪模块,过程协调模块和系统输出模块,如图 5-1 所示。各模块的功能如下:

1 图像输入模块负责将摄像机拍摄到的图像以一定的采样频率采样输入,为系统提供连续的图像序列。

2 背景提取模块利用均值法进行背景提取,并采用自适应方法进行背景更新。

3 车道检测模块根据构建的直线型车道模型,利用基于颜色的图像分割方法识别路面上的白色车道标记,采用 Hough 变换检测左右车道边界线。

4 车辆检测模块利用基于车道白色标记线的水平投影进行车辆检测,通过验证水平投影的水平高度来确认车辆。

5 车辆跟踪模块采用 Kalman 滤波预测技术,通过基于特征点跟踪的方法并适时动态更新特征点来实现对车辆的跟踪。

6 过程协调模块负责启动和停止车辆跟踪模块,并在车道识别跟踪的基础上设定检测车辆的区域。

7 系统输出模块根据车辆是否驶出检测区域及驶过检测区域的时间来计算各种交通流量参数。

在系统的各主要功能模块中,过程协调模块是系统的“中枢”,它负责协调其它几个模块的工作,通过过程协调模块的合理调度,实现系统的有效运行。在系统刚刚启动时,过程协调模块启动车道检测模块检测路面上的车道边缘线,并在此基础上划定检测区域。一旦确定了各车道白色标记线和检测区域,则启动车辆检测模块检测车辆。在后续连续图像序列中,以检测到的车道初始化车辆检测模块,并启用水平投影算法进行车辆检测。在系统启动时,若车辆检测模块检测

到道路各车道均有车辆驶过时，则过程协调模块为每个车道中检测到的第一辆车分配一个车辆跟踪模块。跟踪过程中，若被跟踪车辆在图像中的位置驶出检测区域时，则停止对该车辆的跟踪，然后计算各种交通流量参数，如车速、车流量等。此外，在对已有车辆的跟踪过程中，可能还有新的车辆驶入路面区域，为此，过程协调模块在该车辆驶出检测区域的基础上，迅速进行后续车辆的检测与跟踪。

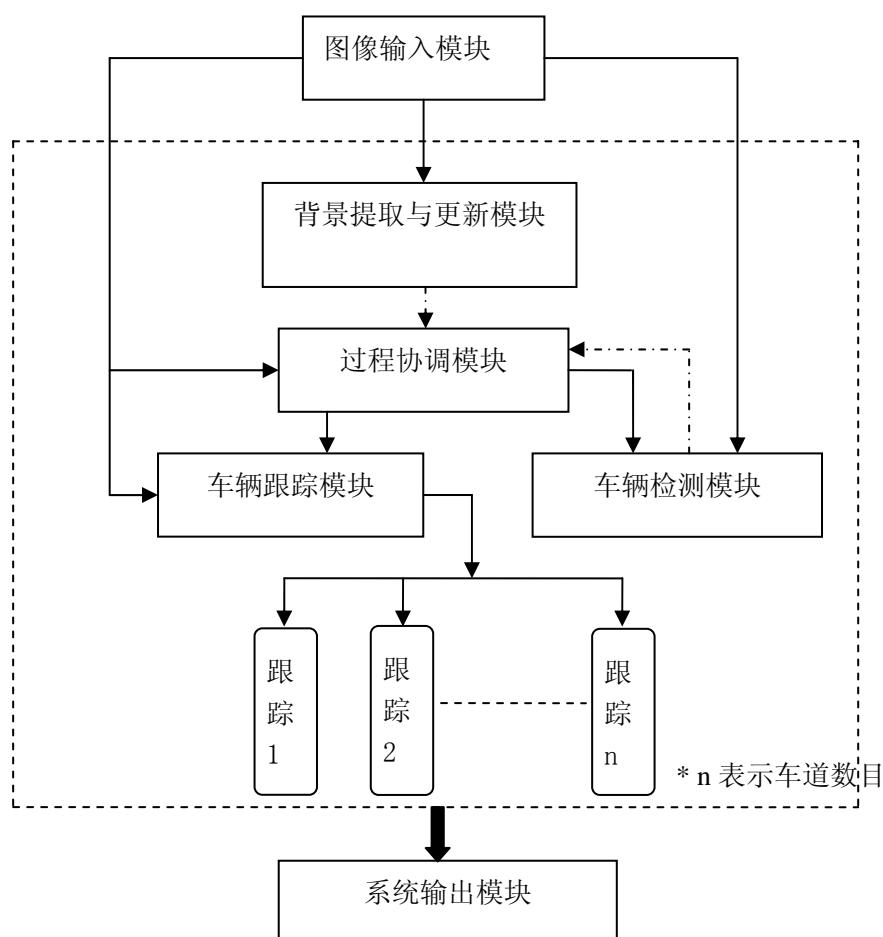


图 5-1 视觉跟踪系统整体框图

## 5.2 系统软件设计

整个系统以Microsoft Visual C++6.0 为开发平台，并利用了Intel公司提供的用于计算机视觉处理的OpenCV库函数，系统在Windows XP环境下实现，用户界面友好，操作简便<sup>[39]</sup>。实验在Intel Celeron 2.53G/512M环境下运行，整个系统用面向对象开发技术进行系统分析、设计与实现，使得系统的扩充性和维护性大大提高，以类的形式来封装模块，模块与模块之间有着高独立性、低耦合性的联系，整个系统的模块化程度高，为进一步的开发打下了良好的基础<sup>[40][41][42]</sup>。



本文主程序流程图如图 5-2 所示。

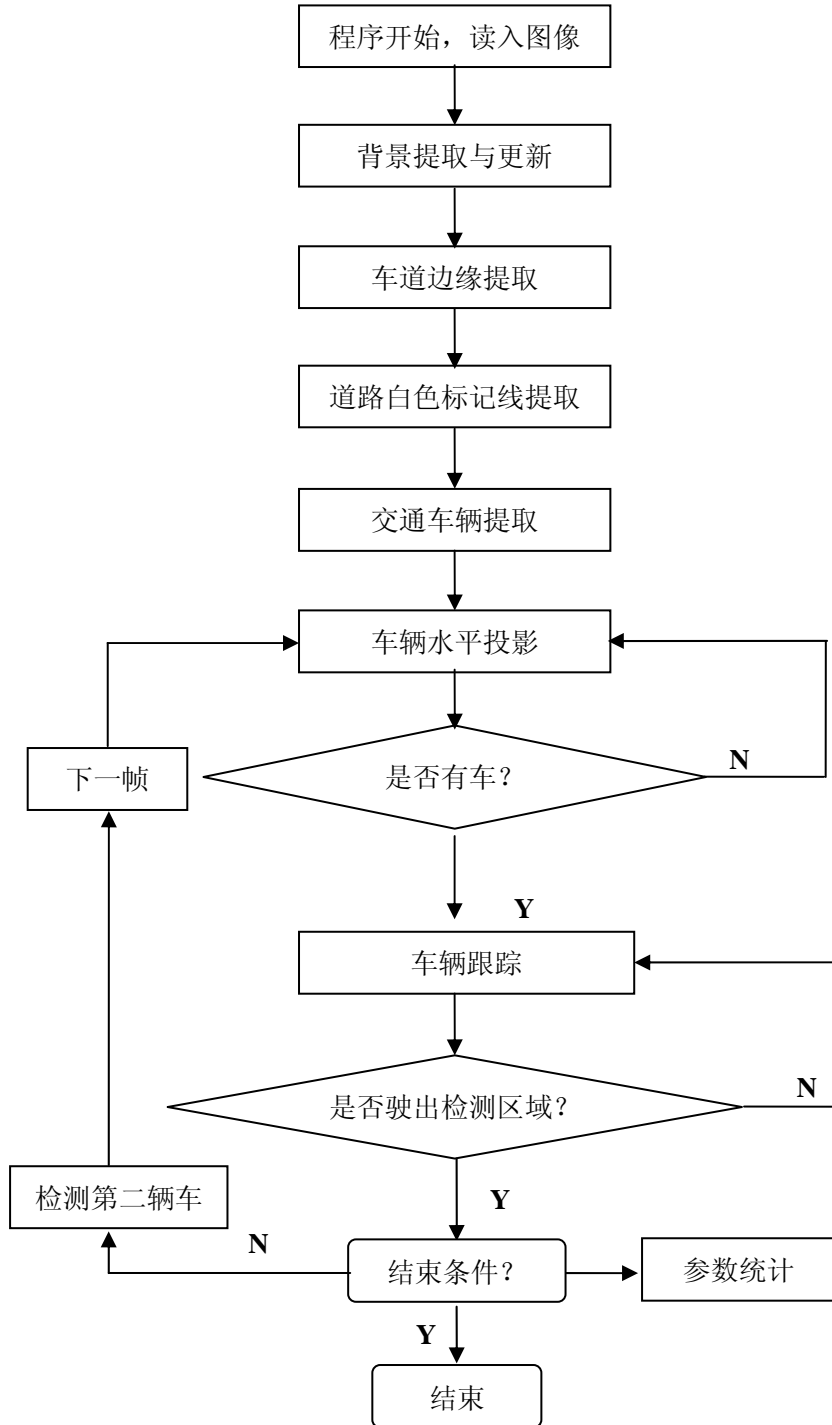


图 5-2 主程序流程图