

## 摘 要

将图像处理技术应用到车辆驾驶辅助系统当中可以有效地为车辆安全行驶提供安全保障。利用图像处理技术对障碍物体进行识别是车辆驾驶辅助系统实现的主要功能。本课题采用图像处理中的多种方法并提出了自己的方法，重点研究了背景提取、障碍物体检测及计算障碍物体距离和相对速度的实现算法。

本课题首先在预处理阶段应用了中值滤波对图像进行了去除噪声的处理。在课题中提出了一种取局部平均值的方法用来取得背景，该方法利用了现实中正常情况下、车辆正前方下区域总是为背景区域的常理。在取得背景后，利用最小二乘法进行直线拟合，得到公路障碍识别系统所在车辆行驶所在的当前车道。

为了检测出图像中的障碍物体，本课题设计了一种局部窗口，并在窗口中计算出灰度值为 255 的像素个数占窗口像素总数的比例值，当该值大于或等于某指定阈值时，可认为这些值为 255 的像素属于障碍物体。

关于用图像方法测距，多是应用双目或多目测量。而本课题是用一台摄像机对图像进行捕捉，因此，课题要实现的是单目测量。本课题采用了重庆大学自动化学院导航制导研究所周欣、黄席樾、黎昱等几位博士生及导师提出的单目测距方法，该方法应用了车道线二维重建来实现目标距离的测量。

实现公路障碍识别系统的目的在于为车辆驾驶人员提供驾驶辅助，其最终向驾驶人员提供的服务目的就是对障碍物体进行识别，并在障碍物体进入预警范围时报警。报警的两个依据是障碍物体到系统所在车辆的距离和障碍物体相对系统所在车辆的速度。相对速度的计算需要对同一物体进行连续的跟踪。本课题设计了一种通过设置跟踪窗口实现物体跟踪的方法，用来在设定的窗口区域对障碍物体进行跟踪。

最终课题实现了障碍物体识别功能。实验结果表明课题实现的系统具有很好的实时性和鲁棒性。

**关键词：** 图像预处理，图像分割，背景提取，障碍物体检测，障碍物体跟踪

# Design and Realization of Computer Vision-based Highway Obstacle Detection System

## Abstract

The Applications of the image processing technique on vehicle driver assistance systems can make driving safer. It is the main function that vehicle driver assistance system can detect obstacles. In this thesis, various methods of image processing were made use of and put forward. This thesis mainly deals with background withdrawing and obstacles detecting, mathematic way of obtaining the distance and relative velocity of the obstacles.

Firstly, this thesis applies one method of median filter algorithm to denoise the noise in the precondition. Secondly, in this thesis, a method of obtaining partial average value to withdraw background was put forward. The method applies a general knowledge that there exists certain background area in front of the vehicle. After the background withdrawing, the minimum diplo-multiply method was applied to match line and get the current lane which the driving vehicle is in.

For the purpose of detecting obstacles in the image, this author puts forward a method of obtaining foreground pixel average value of an object in a partial window. If the obtained average value above a threshold, the object can be identified as an obstacle.

In the part of measuring distance of obstacles, a existed method is used to reconstruct driveway line, the method was put forward by Zhou Xin, Huang Xi-Yue and Li Yu .

The aim of realizing highway obstacle detection system is providing assistance for driving. the main function is detecting obstacles and alarming as soon as obstacles approach the dangerous distance. The two parameter based on to give alarm is the distance and the relative velocity of obstacles.

For obtaining the relative velocity of an obstacle, we must track it. In this thesis, a

method of making use of tracking window was put forward and the method be used to track obstacles.

Finally, the function of detecting obstacles was realized. The result of experimentation shows that the system that was designed has the properties of real time and robust.

**Key Words:** Image precondition, Image segmentation, Background drawing,  
Obstacle detection, Obstacle tracking

## 独 创 性 说 明

本人郑重声明：所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写的研究成果，也不包含为获得沈阳工业大学或其他教育机构的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

签名: 于水水 日期: 2005.3.12

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解沈阳工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵循此规定)

签名: 于水水 导师签名: 徐生华 日期: 2005.7.12

# 1 绪论

## 1.1 课题背景

车辆智能辅助驾驶系统是智能交通系统（Intelligent Transport System，简称 ITS）的重要组成部分。相对于激光、雷达和超声波等传感器，视觉信号具有探测范围宽、目标信息完整、价格相对便宜，而且更符合人的认知习惯等优势，特别在对道路及车道线的探测方面，视觉信号具有无法替代的优势<sup>[1]</sup>。因此，很多学者都锲而不舍地尝试用计算机视觉技术来解决智能辅助驾驶系统中的辅助导航问题。本课题的主要任务是对智能车辆辅助导航部分进行研究。实现行车道路检测、车辆跟踪，对障碍物体进行检测等功能。

## 1.2 国内外研究发展状况

20世纪80年代后，日益拥挤的交通给人们带来交通堵塞、事故频发、环境污染和危害人类生命财产等一系列的困扰。为了排除这些困扰，集通讯、信息和管理于一体的智能运输系统<sup>[2]</sup>（Intelligent Transportation System，简称 ITS）应运而生。ITS一般由两部分组成，即智能道路及交通控制系统和智能车辆<sup>[3]</sup>。

智能车辆（Intelligent Vehicle）又称轮式移动机器人（Wheel Mobile Robot）是一个集环境感知、规划决策、自动驾驶等多种功能于一体的综合系统<sup>[4]</sup>。除特殊潜在的军用价值外，还因其在公路交通运输中广阔的应用前景受到西方国家的普遍关注。几个工业发达国家已相继将智能车辆的研究纳入20世纪90年代重点研究开发的“智能运输系统”和“智能车路系统”（Intelligent Vehicle Highway Systems，简称 IVHS）的重要组成部分。

到目前为止，许多国内外专家学者设计了各种算法来实现智能车辆的各种技术。由文献[5]可知，近几十年来，智能车辆进入了深入、系统、大规模研究阶段。自20世纪80年代以来，智能车辆技术取得了突破性的发展，如德国的VaMP车辆系统、美国的NavLab系统、意大利的ARGO系统。在智能车辆的导航技术方面，计算机

视觉系统由于其价格低廉，用途多样，结构简单，能方便地与其它传感器进行数据融合等特点，有着广泛的应用前景，成为当前研究的主流方向。

在文献[6]中，吉林大学的邓剑文等人针对红旗轿车自主驾驶系统的视觉导航，提出并实现了一种基于道路结构特征的自主车辆视觉导航方法。文献[7]中，浙江大学张丽等人提出了一种新的基于阴影检测的 HSV 空间自适应背景模型的车辆追踪检测算法，并将其应用于运动物体的分割。文献[8]中，提出了一种道路边缘识别算法。该算法的创新点在于采用自然边界作为道路识别的依据，同时算法也可以将白色路标作为识别道路边缘的标志。文献[9]中，提出一种基于长序列立体图像处理的三维运动参数估计算法，算法的核心是采用了能有效抑制噪声的边缘检测模板。文献[1]中，提出了基于单目视觉的公路车道线二维重建算法和距离测量算法。文献[10]中，研究了采用模糊神经网络方法来实现 JLUIV-2 型视觉导航智能车辆对模糊和脏污的导航路径的识别，提出了两种模糊神经网络模型。文献[5]中，吉林大学的王荣本等人研究了根据道路特征采用 Hough 变换识别出道路边界，使用感兴趣区域，减少图像处理时间和提高道路识别的可靠性。通过 JLUIV-4 型智能车辆系统的高速导航实验表明该算法具有良好的实时性、可靠性和鲁棒性。文献[11]中，介绍了采用单目视觉技术获取前方车辆多元信息的方法。应用对称性测度确认前方车辆是否存在，利用 Kalman 预估器进行目标跟踪。

在文献[12]中提到：针对夜间行驶和一些复杂环境，我国已经成功研制出两种车辆辅助驾驶系统。系统应用了红外热成像技术和微光技术，通过将机械设计和光学设计结合，使得驾驶员可以在夜间、天气条件恶劣或道路能见度很差的情况下辅助车辆驾驶，从而降低了因能见度差而导致的交通事故发生概率，减少经济损失。由文献[13]可知，吉林大学智能车辆课题组研制成功的 JLUIV-3 型 AGV，即视觉自动导航系统，这一系统可以将地面或工作面上涂设的条带状路标作为路径标识符，运用计算机视觉快速识别路径，对路径进行准确稳定的跟踪；通过实时识别涂设在路面或工作面上的特殊形状标识符，还可以实现车辆加速、减速、直角转弯、特殊地点行车等运动状态控制；具有自动避障、自动报警、自动上线或无线通讯等功能；并具有人工手动遥控驾驶和自动行驶两种工作方式。

### 1.3 课题的研究意义

智能车辆系统对于在复杂的环境下提高驾驶的智能性和安全性都有着重要的现实意义。

本课题的目的在于实现视觉辅助导航中的功能。为公路障碍识别领域的应用提供一种可行的方法选择，为车辆驾驶提供辅助手段以提高车辆驾驶的安全性。

### 1.4 本课题所做的工作

智能车辆系统包括自动驾驶和辅助导航两个重要的组成部分。而车辆辅助导航是进行智能车辆研究的基础。

计算机视觉导航系统的作用包括行车道路检测、车辆跟踪，对障碍物体进行检测等功能。

本课题针对智能车辆视觉辅助导航的功能进行研究。在课题中利用智能车辆前方唯一的视觉传感器——CCD 摄像机所采集的真实道路的长序列图像，依靠对序列图像中车道线及前方包括行人、车辆在内的障碍物体的检测与跟踪，实现智能车辆的辅助导航功能。

尽管视觉传感器由于障碍物体显像原因和光线条件改变等原因，在某些条件下会有其局限性，但是它具有能够提供更多目标信息的优点。将视觉手段与超声波等手段结合，能够提供给驾驶人员更多的服务。

由于本课题实验设备的限制，而且本课题的目的是通过机器视觉来识别障碍物体，课题的实现是利用视觉的方法对 CCD 摄像机采集的图像序列中障碍物体进行判别，并对车辆驾驶提供辅助手段。

本课题设计公路障碍识别系统的目的在于为智能车辆辅助导航的实现提供一种可行的选择，利用图像识别的算法实现对公路中障碍物体的识别及跟踪，并对障碍物体的运动状态进行分析，估算出障碍物体相对于装载系统的车辆的速度、距离，为车辆的安全行驶提供支持。

本课题具体实现了公路障碍识别系统的各个部分，这些部分包括：背景提取，车道识别，障碍物体识别，障碍物体跟踪，障碍物体距离、速度测量。针对以上部分，

提出及采用了相应的算法和技术，这些算法和技术如下：

(1) 图像处理的第一步是通过预处理来改善图像。预处理中的主要方法是图像增强。

图像增强包括<sup>[14]</sup>：对比度增强，图像平滑，图像锐化，伪彩色和假伪彩色增强等技术。

图像增强的方法基本上分为空间域处理和频域处理两大类。空间域处理是在原图像上直接进行数据运算。它又可以分为两类，一类是在像素点邻域有关的图像域进行，称为局部运算。另一类是对图像进行逐点运算，称为点运算。频域处理是在图像的某种频率域中对图像的变换值进行某种运算处理，然后变换回空域。

在本课题中，利用了图像平滑技术中的中值滤波技术对图像质量进行改善。

(2) 对于背景提取，本课题提出了一种对帧图像取局部平均值的方法，利用该方法，可以将车道中的背景和障碍物体有效的分离出来。

(3) 在车道识别部分，本课题采用了最小二乘法进行直线拟合，可以将车辆所在车道有效的分割开来。

(4) 障碍物体识别，可以根据目标占道路的宽度、目标占障碍物体检测判断窗口面积的比例与预设的阈值比较来识别。课题设计的方法可以将包括行人、车辆在内的各种障碍物体提取出来。

(5) 障碍物体距离测量属于单目测距，为实现此功能，课题采用了一种现有算法并利用该算法中的公式推导出距离。

(6) 对于障碍物体跟踪功能的实现，实现的方法是利用上一被处理帧图像中障碍物体的位置，在当前被处理帧图像中设置跟踪窗口，并在窗口范围内进行检测。

(7) 相对速度利用距离测量的结果求出，具体实现为系统处理的相邻两帧图像中同一障碍物体的距离差除以此两帧图像被采集相距离的时间。

本课题预期实现对公路上包括车辆、行人在内的障碍物体的识别和跟踪，并对障碍物体的距离和相对速度进行测定。

## 1.5 课题中的难点及解决办法

本课题的实际步骤是图像去噪、背景提取、车道识别、障碍物体定位及跟踪、障

碍物体距离及相对速度测量。如下几点是本课题研究的重点：

#### (1) 背景提取

目前背景提取分为针对静止背景的提取以及针对运动背景的提取，本课题实现的系统针对运动背景进行处理。

常用的背景提取方法主要包括帧间差分法及背景差分法<sup>[7]</sup>。

帧间差分法是对相邻两帧图像进行差分，该方法就有较强的适应性，但是对进行差分的两帧图像的选取间隔和物体运动的速度有很强的关联性。

背景差分法，即先选取一帧图像作为参考图像，再用当前帧图像和参考图像做差分，如果参考图像选取适当，就能比较准确地分割出运动物体。

本课题提出一种背景提取方法，其意义在于：缩小了图像处理范围，最主要的是本方法由于将提取平均值的范围进行限定，最大限度地排除了道路之外区域及包括车辆在内的路面物体对背景提取的影响，因此保证了路面背景提取的精度。

#### (2) 车道识别

图像背景提取处理之后，从图片上看，路面区域的标识和车辆已经从道路背景中明显的分离出来，但是要通过计算机对公路中目标进行识别和跟踪则必须先将待识别区域识别出来，这要求首先识别并提取出车辆所在车道。

#### (3) 障碍物体测距及跟踪

完成车道识别后，判断出障碍物体所在位置并测量障碍物体相对公路障碍识别系统所在车辆的距离。然后应用某种手段对车辆进行跟踪。

#### (4) 障碍物体相对速度判定

设计公路障碍识别系统的最终目的在于为车辆行驶提供预警，使得载有系统的车辆得以有效地避开障碍，避免交通事故的发生。因此，系统必须能够得到障碍物体的相对速度，并结合障碍物体的距离判断是否给出预警。

在本课题中，需要解决的主要难点和解决方案如下：

#### (1) 背景提取

本课题中，由于摄像机所摄的序列图像中包括了很复杂的背景，比如：树木、建筑、标识牌等。这些物体给图像分析带来了困难。为了将图像中障碍物体提取出来，首先应该对图像进行处理，将感兴趣区域路面从已进行去噪处理的灰度图像中分离出

来。

解决方法：由于摄像机所摄图像中，正下方某一区域总是为路面，所以本课题的解决方法将此区域作为提取背景的依据并设定阈值进行分割来得到背景。

#### (2) 障碍物体测距

公路障碍识别系统需要在识别出物体后，对物体距离进行测量。而图像处理的分析对象为二维图像，因此，系统需要将物体在图像中的坐标换算为现实世界的三维坐标。

解决方案：在分离出的车道范围内从下至上进行扫描，将符合某一阈值的行认为是可能的物体底部所在行。课题采用了已有的一种单目测距方法，该方法应用了车道线二维重建来实现目标距离的测量。测距的正确实现是障碍物体相对速度计算得到正确结果的前提。本课题利用该单目测距方法对图像中的障碍物体进行距离估算，取得了较好的结果。

#### (3) 障碍物体跟踪

本课题的目的是不仅要将物体识别出来，而且要分析得出障碍物体的连续运动状态，为车辆提供物体参数，为车辆安全行驶提供支持。为此对图像的分析必须针对连续的图像帧而不是处于静态的某一帧。

解决方案：以上一处理帧图像中障碍物体的底为基准，在当前被处理帧图像中的当前车道范围内建立一梯形跟踪窗口。然后在当前被处理帧中该窗口范围内检测物体。

#### (4) 障碍物体相对速度的判定

公路障碍识别系统不仅要对障碍物体距离进行判断，而且要对障碍物体的相对速度进行判断。利用这两个指标对处于预警范围内（即相对速度和距离达到某一阈值）的障碍物体进行报警。

解决方案：利用物体在被处理的相邻两帧图像中的距离差即物体在当前被处理帧中距离减去前一被处理帧中距离的结果除以这两帧图像被采集的时间间隔得出。

## 1.6 论文内容安排

论文包括四章，主要内容如下：

- (1) 第一章，对智能车辆和车辆辅助导航技术进行简单介绍，分析了相关技术的国内外情况，并提出了本课题将要进行的工作和课题中存在的难点，初步介绍了解决这些难点的方法。
- (2) 第二章，介绍了课题中用到的理论和相关知识。
- (3) 第三章，对课题要实现的公路障碍识别系统进行设计。
- (4) 第四章，对公路障碍识别系统进行了模拟实验。

## 2 课题相关理论及技术

### 2.1 智能车辆技术

#### 2.1.1 智能车辆技术内容简介

智能车辆开发应该包括如下功能：驾驶员打盹报警，提供安全补救措施来控制车辆运行，帮助驾驶员避免在公路上碰撞，在某种情况下，还可以暂时接管驾驶员对车辆的控制权。

智能车辆技术功能层次可以分为三层<sup>[16]</sup>，即智能感知/预警系统、辅助驾驶系统和车辆自动驾驶系统。

(1) 智能感知/预警系统，利用各种传感器信息对车辆自身、车辆行驶所在的周边环境和驾驶员本身状态进行感知，在确定存在危险时，做出预警。

(2) 辅助驾驶系统，利用智能感知系统得到的信息，进行决策规划，给驾驶员提出驾驶建议或部分代替驾驶员进行车辆控制。

(3) 车辆自动驾驶系统，这是智能车辆技术的最高层次，它由车载计算机完全自动地实现车辆操作功能。

具体来说，智能车辆开发主要包括以下诸系统的实现<sup>[16]</sup>：

(1) 后碰撞（追尾）避让系统，该系统能判断前方车辆和物体存在，并探测其速度，为车辆报警。

(2) 避让系统，对车道前方目标速度进行探测，给要变更车道车辆的驾驶员提供报警和相关驾驶帮助信息，减少发生碰撞的可能性。

(3) 道路变更和交叉道口碰撞避让系统，该系统检测车道的位置，车辆间相对速度，车辆本身速度，为驾驶员提供报警和劝告，该系统还可以为附近车辆指出潜在的碰撞可能性。

(4) 横向碰撞避让系统，该系统能够检测各个车辆的横向位置，横向的相对速度，通过通信装置给有关驾驶员提供辅助劝告。该系统还应该能够采取适当措施，防止碰撞发生。

(5) 铁路道口避让系统，当车辆行驶到的道口有不安全隐患时，提供报警。

- (6) 视力增强系统，利用红外线雷达，减少因视力所限导致事故的可能性。
- (7) 自动碰撞识别系统，检测车辆的位置和碰撞的程度，并自动向附近公共安全站点发出准确检测到的车辆碰撞信息，以利急救和疏导交通。
- (8) 驾驶员和乘员保护系统，提供先进的碰撞防护装置，给驾驶员和成员以保护，将车辆内人员的损伤减少到最低程度。

一个真正具有应用价值的智能车辆系统必须同时具备实时性、鲁棒性、实用性这3个技术特点<sup>[4]</sup>。这也是智能车辆研究必须解决的3个重点课题。

- (1) 实时性，要求系统的数据处理必须与车体的高速行驶同步进行。
- (2) 鲁棒性，要求智能车辆对不同的道路环境（如高速公路、市区标准公路、普通公路），复杂的路面状况（路面及车道线的宽度、颜色、纹理、动态随机障碍与车流）以及变化的气候条件（日照及景物阴影、黄昏与夜晚、阴天与雨雪等）均具有良好的适应性。这是智能车辆系统研究的难点所在。
- (3) 实用性，要求智能车辆系统在体积与成本等方面能够被普通汽车用户接受。

上述技术的要求构成了智能车辆系统研究所涉及的传感器信息处理、车体精密定位、行为规划与决策、自动驾驶与安全监控、综合集成等主要关键技术。

### 2.1.2 智能车辆系统的关鍵支持技术

智能车辆系统有以下关鍵支持技术<sup>[15]</sup>：

#### (1) 计算机视觉技术

计算机视觉技术是智能车辆领域发展最快的技术之一。

与其它传感器相比，机器视觉具有检测信息量大、能够遥测等优点。但数据处理量大，容易导致系统的实时性问题。解决方法是采用更高性能的硬件或提出新的视觉方法。

#### (2) 雷达技术

雷达技术可以轻松解决视觉技术在深度信息方面的难题。利用雷达技术可以得到车辆周围的深度信息，从而可以准确地发现车辆周围包括车辆和行人在内的障碍物。

在准确提供远距离的车辆及障碍信息上，雷达具有其独有的优势。雷达在车辆防撞系统中具有广阔的应用前景。雷达系统一般和视觉系统共同应用在智能车辆上，通

过两种传感器的融合，可以得到更为准确的路面信息。

到目前为止，在车载雷达系统关于探测前方障碍物体方面已经做了大量研究。现在雷达方面的研究已经相对成熟，主要工作已经转到降低工业成本和增强功能方面。

### (3) 磁性导航技术

磁性导航技术源自 AGVS-Auto-Guided Vehicle System 的地下埋线的导航方式中的磁性导航技术。它通过在车道上埋设磁性标志来给车辆提供车道的边界信息。

该技术优点在于具有良好的环境适应性，对各种气象条件和光照条件具有良好的适应性。

不足之处在于需要对现有道路设施做出较大改动，成本较高。而且由于该技术无法预知车道前方的障碍，所以不能单独使用；另外，该技术中使用的磁性参照物所设定的路性固定，可变性差。目前，在工业生产中广泛使用的 AGVS 大多采用这种磁性导航的导航方式。

### (4) 高精度的数字地图和 GPS 技术

高精度的数字地图是智能导航的有力工具。智能车辆可以通过 GPS 获得自身所处的位置，然后根据数字地图确定自身的车道位置和目的地的关系，据此规划最优行驶路线。该技术用来实现车辆导航和定位跟踪。

## 2.2 在图像增强中平滑处理的应用

有些图像由于采集或复制等方面的原因，导致图像质量下降。如果直接对图像进行识别，可能导致识别出现偏差甚至错误，因此，必须在识别之前对图像进行改善。图像增强的目的就在于此。

图像增强技术通常有两类方法：空间域法和频率域法。空域是指图像平面本身，此类方法是直接对图像中的像素进行处理；另一类是频域法，此类方法是将图像看作波，然后利用信号处理中的手段对图像波进行处理。空域技术是基于灰度级映射变换；频域技术的基础是卷积定理。

图像增强包括对比度增强，图像的频域处理增强，图像平滑，图像锐化，伪彩色和假伪彩色增强等技术。

在本课题中应用了图像平滑处理中的中值滤波对图像进行预处理。

图像的平滑是一种实用的数字图像处理技术，主要目的是为了减少图像的噪声。噪声并不限于人眼所能看得见的失真和变形，有些噪声只有在进行图像处理时才可以发现。图像的常见噪声主要有加性噪声、乘性噪声和量化噪声等。图像中的噪声往往和信号交织在一起，尤其是乘性噪声，如果平滑不当，就会使图像本身的细节如边界轮廓、线条等变得模糊不清，如何既平滑掉噪声又尽量保持图像细节，是图像平滑的主要研究任务。

一般情况下，减少噪声的方法可以在空间域或频率域进行处理。空间域可以用邻域平均、空间低通滤波、多图像平均、中值滤波等方法来减少噪声。在频率域，由于噪声频谱通常在高频部分，因此可以采用各种形式的低通滤波器的方法减少噪声<sup>[17]</sup>。

### 2.2.1 邻域平均法

邻域平均法的基本原理是：选中图像中的一个小的区域，求该区域内中心点的邻域内的点的像素平均值，再把这一平均值赋予该中心点。假定有一幅  $N \times N$  的图像  $f(x, y)$ ，平滑处理后得到一幅图像  $g(x, y)$ 。 $g(x, y)$  由式（2.1）决定：

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in S} f(i, j) \quad (2.1)$$

式中： $x, y=0, 1, 2, \dots, N-1$ ；

$S$ —— $(x, y)$  点邻域中的点的坐标的集合，邻域不包括  $(x, y)$  点；

$M$ ——集合内坐标点的总数。

邻域可分为四邻域和八邻域两种。四邻域取点  $(x, y)$  的上、下、左、右四个点，而常用的八邻域还要另取点  $(x, y)$  的左上、右上、左下、右下四个点。

邻域平均法能够有效的抑制尖峰噪声，但是会造成图像细节模糊。为解决这一问题，可以采用阈值法：设定阈值  $T$ ，当  $g(x, y)$  大于或等于  $T$  时， $g(x, y)=g(x, y)$ ；当  $g(x, y)$  小于  $T$  时， $g(x, y)=f(x, y)$ 。阈值  $T$  根据尖峰干扰的大小来设定。

### 2.2.2 中值滤波

中值滤波是一种典型的低通滤波器，它的目的是在保护图像边缘的同时去除噪声。所谓中值滤波，就是指把以某像素点  $(x, y)$  为中心的窗口内的所有像素的灰度值按从大到小的顺序排列，将中值（若窗口中有偶数个像素，则中值取中间两个像素灰度值的平均值）作为灰度值赋给像素点  $(x, y)$ 。

虽然中值滤波能够在一定程度上克服邻域平均法导致的图像细节的模糊，但是也会对图像的细节产生影响。但是因为噪声多为尖峰干扰，中值滤波能够去除尖峰干扰而不会破坏边缘。

对于一些图中细线多、细节多的图像不宜采用中值滤波，而是应该采用加权中值滤波。加权中值滤波法的具体实现是：把窗口内各像素加权，如果某一像素加权值为  $w$ ，即是将窗口像素灰度排队时该像素重复  $w$  个。例如一维  $1 \times 3$  窗口可使中间像素的权值  $w=3$ ，左右像素权值各为  $w=2$ ，然后将得到的 7 个值按大小排队，最后取中值。

中值滤波适用于有散粒噪声而细节不太多的图像<sup>[18]</sup>。

### 2.2.3 其它方法

除了邻域平均法和中值滤波法，图像平滑处理还有选择平均法和多幅平均法。

#### (1) 选择平均法

选择平均法需要对原图像的边缘有先验知识。例如已大体知道图像某一区域存在断裂，而该断裂方向是水平的，则可选择水平边缘模板进行平滑。如：

$$g(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ D & D & D \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

#### (2) 多幅平均法

多幅平均法是去除尖峰干扰的一种有效方法。该方法的实现手段是将同一幅图像重复拍摄或重复传送多次。获得的图像  $f'(x, y)$  为图像  $f(x, y)$  与相加性噪声  $n(x, y)$  的合成：

$$f'(x, y) = f(x, y) + n(x, y) \quad (2.2)$$

若  $n(x, y)$  为零均值白噪声，方差为  $\sigma_n^2(x, y)$ ， $M$  幅进行叠加。其结果是信号  $f(x, y)$  累加而随机噪声  $n(x, y)$  并不增大，从而达到图像平滑的目的。

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f'(x, y) \quad (2.3)$$

$g(x, y)$  的期望即为  $f(x, y)$ ，而  $g(x, y)$  的方差  $\sigma_g^2 = \frac{1}{M} \sigma_n^2$ ，显然，当  $M$  越是增加， $g(x, y)$  越是接近于  $f(x, y)$ ，而噪声的方差明显减小。由于信号得以增强，故噪声也相对减小了。

## 2.3 图像阈值分割技术

本课题在背景提取部分，利用了阈值方法。在此对图像分割中阈值分割方法加以介绍。

### 2.3.1 图像分割技术简介

图像分割是把图像中的目标分成许多感兴趣的区域与图像中的各种物体目标相对应<sup>[18]</sup>。

图像分割是图像处理中图像理解和分析的前一步骤，所以正确的图像分割决定了图像理解和分析的精确性甚至正确性。

多年来人们对图像提出了不同的解释和表达，借助集合概念对图像分割可给出如下定义<sup>[14]</sup>：

令集合  $R$  代表整个图像区域，对  $R$  的分割可看作将  $R$  分成  $N$  个满足下列五个条件的非空子集（子区域） $R_1, R_2 \dots R_N$ ：

$$(1) \quad \bigcup_{i=1}^N R_i = R;$$

(2) 对所有的  $i$  和  $j$ ,  $i \neq j$ , 有  $R_i \cap R_j = \emptyset$ ;

(3) 对  $i = 1, 2, \dots, N$ , 有  $P(R_i) = \text{TRUE}$ ;

(4) 对  $i \neq j$ , 有  $P(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ ;

(5) 对  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $R_i$  是连通区域。

式中:  $P(R_i)$  是对所有在集合  $R_i$  中元素的逻辑谓词,  $\emptyset$  代表空集。

经典的图像分割方法主要有两大类,一类是基于边缘的图像分割,另一类按区域内特征的相似度进行图像分割。随着计算机处理能力的提高,很多方法不断涌现,如基于彩色分量分割、纹理图像分割。所使用的数学工具和分析手段也是不断地扩展,从时域信号到频域信号处理,小波变换目前也被更多地应用到图像分割中。

阈值法是最基本的图像分割方法之一,被应用于很多领域,阈值分割法是一种基于区域的图像分割技术,其基本原理是:通过设定不同的特征阈值,把图像的像素点分为若干类。常用的特征包括:直接来自原始图像的灰度或彩色特征;由原始灰度或彩色值变换得到的特征。简单来说,对灰度图像的取阈值分割就是先确定一个处于图像灰度取值范围内的灰度阈值,然后将图像中各个像素的灰度值都与这个阈值相比,并根据比较结果将对应的像素分割为两类:灰度值大于、等于阈值的像素为一类,灰度值小于阈值的像素为另一类。这两类像素一般分属图像中的两类区域,所以达到了区域分割的目的。

基于边缘的分割方法是将图像中所要求分割的目标边缘提取出来,利用边缘信息将图像分成许多感兴趣区域。物体的边缘在数字图像中是通过其灰度值的不连续性而反映出来的。因此可以通过微分运算来求得信号的变化率,以达到定位物体边缘的目的<sup>[19]</sup>。

基于边缘的分割方法的难点<sup>[20]</sup>在于边缘检测时抗噪性和检测精度的矛盾,若提高检测精度,则噪声产生的伪边缘会导致不合理的轮廓;若提高抗噪性,则会产生轮廓漏检和位置偏差。为此,人们提出各种多尺度边缘检测方法,根据实际问题设计多尺度边缘信息的结合方案,以较好地兼顾抗噪性和检测精度。

边缘检测方法是人们研究得比较多的一种方法,它通过检测图像中不同区域的边缘来达到分割图像的目的。很多的边缘检测算法是基于图像的灰度函数求导和在图像

中匹配特定的边缘模型这两种方法。

基于边缘的分割方法大致可分为五类<sup>[20]</sup>：基于像素属性的边缘检测方法；基于变形模板的边缘检测方法；基于数学形态学的边缘检测方法；基于代价函数的边缘检测方法；基于边缘流的检测方法。

区域分割方法主要是根据区域内像素的相似性来进行分类。它又分为并行区域分割方法和串行区域分割方法。并行区域分割方法又包括阈值法、聚类法和连通区域标记法等，串行区域分割法包括区域生长和分裂合并等。

### 2.3.2 阈值分割技术

阈值分割是一种区域分割技术，将灰度图像依据主观愿望分成两个或多个灰度区间。阈值分割方法主要利用了图像中要提取的目标物体和背景灰度上的差异。该方法通过选取一个合适的阈值，并判断图像中每一个像素点的灰度值是否满足阈值的要求，确定该像素点属于目标区域还是背景区域。由于目标和背景以及不同目标之间的灰度级别有明显的差别，因此，在图像的灰度直方图中会有明显的峰值。比如，当一幅图像只有目标和背景两部分时，如果这两个部分在灰度直方图中的分布大小接近并且均值相距足够远，而且两部分的均方差也足够小，则直方图应为较明显的双峰<sup>[21]</sup>。类似地，如果图像中有多个灰度分布的目标，则直方图有可能表现为较明显的多峰。

一般来说，阈值分割可以分为 3 步：

- (1) 确定图像分割的阈值；
- (2) 将阈值和像素值比较；
- (3) 根据比较结果把像素归类。

在以上的 3 个步骤中，最为重要的是第一步。如果能够确定一个合适的阈值，就可以保证图像能够得以正确地分割。

要将图像中具有各种灰度值的像素分成多类，那么需要选取一系列阈值进行分类。根据阈值选取的个数，可将阈值分割分为单阈值分割和多阈值分割。其中，单阈值分割方法只用一个阈值对图像进行分割，而多阈值分割法则是利用多个阈值对图像进行分割。

#### (1) 阈值方法

假设原始图像为  $f(x, y)$ , 选取的阈值为  $T$ , 则单阈值方法分割后的图像  $g(x, y)$  可以由式 (2.4) 表示:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq T \\ 0 & f(x, y) < T \end{cases} \quad (2.4)$$

## (2) 多阈值分割

在多阈值分割情况下, 分割后的图像可表示为:

$$g(x, y) = k \quad (T_k \leq f(x, y) < T_{k+1}; \quad k = 0, 1, 2, \dots, K) \quad (2.5)$$

式中:  $T_0, T_1, \dots, T_k, T_{k+1}$  ——多阈值分割所选取的一系列分割阈值;

$k$ ——分割后赋予图像各区域的不同标号。

使用阈值法对图像进行分割时, 阈值的选取成为能否正确分割的关键。若将阈值设定过高, 则过多的目标区域将被划分为背景, 相反如果阈值选取过低, 则过多的目标区域被划分为目标区。对阈值分割的研究已有几十年的历史。到目前为止, 已经有多种阈值选取的方法被国内外专家提出。

如果将局部阈值看作是全局阈值的一般情况, 全局阈值则是最简单的图像分割方法。对图像分割往往存在一个最佳阈值。最佳全局阈值的确定常用的有以下几种方法:

### (1) 实验法

在分割前知道待分割图像的一些特征, 试验不同的阈值, 看是否满足已知特征。

### (2) 直方图法

当图像的直方图存在双峰时可以采取直方图双峰之间的谷点作为阈值。

### (3) 最小误差法

最小误差法属于最优化问题, 假定图像的背景与前景的灰度分布都是正态分布的, 则最佳阈值通过灰度分布图中前景和背景分布曲线的交点确定。

目前, 常用的阈值分割方法有最优阈值法<sup>[22]</sup>、分水岭算法等方法。

### (1) 最优阈值法

最优阈值法就是找出一个阈值，使得利用该阈值进行图像分割所造成的误分割率最小。

### (2) 分水岭算法

分水岭 (watershed) 算法不同于简单地直接在最佳阈值分割，它可以被视作一种特殊的自适应迭代阈值分割算法。分水岭变换分割法最初被 Beucher Lantuêjoul (1979, 1981) 提出，看起来接近于区域增长法。第一个实用的运算法则被 Vincent (1990) 提出。Vincent 和 Soille (1991) 使这一算法被实际应用<sup>[23]</sup>。

传统的分水岭方法模拟一个水浸入的过程<sup>[24]</sup>。首先，将图像像素的灰度看作高度，图像中不同灰度值的区域分别被看作山峰和山谷盆地，盆地的边缘被称作分水岭。通过如下方式可以得到分水岭：将一幅图像逐渐沉入一个湖中，图像中灰度值最低的点首先进水，然后水逐渐浸入整个山谷盆地。当水位达到盆地的边缘高度就将溢出，这时在水溢出处建立堤坝，如此直到整个图像沉入水中，所建立的堤坝就成为分开盆地的分水岭。图像最初是在一个灰度值上二值化。灰度值把图像分割成正确数目的物体，但它们的边界偏向物体内部。随后阈值逐渐增加，每一次增加 1 个灰度级，物体的边界将随着阈值增加而扩展。当边界相互接触时，初次接触的点变成了相邻物体间的最终边界。这个过程在阈值达到背景灰度级之前终止，也就是说，当物体被恰当的分割并且边界被正确的确定时，分割停止。

阈值法是一种传统的图像分割方法，因其实现简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中最基本和应用最广泛的分割技术，已被应用于很多的领域。到目前为止，虽然已经有很多种阈值方法被提出，但至今还未能找到一种通用的阈值选取方法。实际的算法一定要根据实际情况适当地选择，并适当的修改阈值，只有这样，分割的结果才能让人满意。

在本课题中，背景提取的目的在于将图像中背景分割出来。课题中背景提取的结果将图像分为两类，即前景和背景。所以课题采用阈值分割技术中的单阈值法。

## 2.4 视频图像中的目标检测与运动检测

到目前为止，经过研究所提出的关于视频图像自动分割的算法有许多种，而通常 是利用视频图像在时间和空间轴上的信息来进行分割。其中一类为利用相邻两帧间的

时域差分来得到目标的运动信息，再用统计学方法来消除掉噪声的干扰；另一大类是基于视频图像的运动估计和分割，即首先把图像中存在的运动估计出来，再根据运动一致性准则，把序列图像分割成不同的区域。另外，还有其它的一些视频分割提取技术，如遗传算法、神经网络等方法。

目标检测与运动检测分为静止背景下的运动目标检测和运动背景下的运动目标检测。

#### 2.4.1 静止背景下的运动目标检测

静止背景下的运动检测，可以采用帧间变化检测（Change Detection）检测出运动目标。

对于静止背景下的运动目标检测，主要分为三个部分：预处理、背景恢复、运动目标提取。

##### （1）预处理

在对图像进行分割前去除图像中噪声的影响。图像的预处理是目标检测和识别前的重要环节，其主要目的<sup>[25]</sup>是消除图像中的无关信息，恢复有用的真实信息，增强有关信息的可检测性和最大限度地简化数据，从而改进检测和识别的可靠性。只有这个阶段处理好了，后面的工作才能得以正确地实现。

##### （2）背景恢复

在视频序列帧中，各帧具有很强的关联性，仅仅利用单帧的信息进行处理是不充分的，可能会产生错误，所以可以结合视频序列中更多的帧来进行分析。因此，可以根据帧中各个坐标像素在整个视频序列中的统计信息对运动场景的背景进行恢复。

视频图像记录的是视频目标在一段时间内的运动和变化的信息，因此理想的视频分割方法是在较长的时间范围内对数据进行分析并充分利用帧间的相关信息。基于这一思想，对图像中像素点沿时间轴的变化规律进行分析，并根据统计结果得出的规律在整个序列中挑选出合适的点对背景进行恢复。

定义图像序列为  $I(x, y, i)$ ，其中  $x, y$  代表空间坐标， $i$  代表图像序列中的第  $i$  ( $i=1 \dots N$ ) 帧， $N$  为图像序列总帧数。序列的亮度分量为  $I_L(x, y, i)$ ，则视频差（Change Detection Mask, CDM）反映了相邻帧之间的灰度变化，视频差的计算公式如式（2.6）

所示：

$$CDM(x, y, i) = \begin{cases} d, & d \geq T \\ 0, & d < T \end{cases}, \quad d = |I_L(x, y, i+1) - I_L(x, y, i)| \quad (2.6)$$

式中：  $T$ —— 阈值  $T$ 用来去除图像中存在的噪声；

$CDM(x, y, i)$ ——对于图像中固定的坐标位置  $(x, y)$ ,  $CDM(x, y, i)$  可以表示为图像序列中帧数  $i$  的函数，它记录了图像序列在位置  $(x, y)$  处像素点沿着时间轴的变化曲线。

根据  $CDM(x, y, i)$  是否大于零将这条曲线分段，并将其中被检测到的静止部分用集合  $\{S_j(x, y), 1 \leq j \leq N\}$  表示 ( $T$  代表静止部分的数目)，如图 2.1 所示，其中， $S_j$  的起点为  $ST_j$ ，终点为  $EN_j$ 。然后，在图像坐标范围内，在每一位置  $(x, y)$  对应的  $\{S_j\}$  集合中，挑选出最长的静止分段，将该分段中点的对应帧号记录为  $M(x, y)$ 。最后，用第  $M(x, y)$  帧处的点来填充视频背景中的相应位置。以上步骤可以用式 (2.7) 描述：

$$\begin{aligned} M(x, y) &= (ST(x, y) + EN(x, y)) / 2 \\ B(x, y) &= I(x, y, M(x, y)) \end{aligned} \quad (2.7)$$

式中：  $ST(x, y)$  和  $EN(x, y)$ ——对应于  $\{S_j\}$  集合中最长静止分段的起点和终点；

$B(x, y)$ ——恢复得到的位置  $(x, y)$  的背景。

该方法的基本假设是在视频序列中，运动物体不会始终在某一位置固定不动，而是必定会移开，暴露出背景。

### (3) 运动目标提取

利用恢复的背景和当前帧的信息，分割出所有运动目标的近似区域。可以在每一帧和背景之间用减法运算得到背景帧差图。如果某帧图像中的某点的像素值与该点对应的背景像素值相差大于或等于预先设定的阈值，则认为该点属于目标区域。

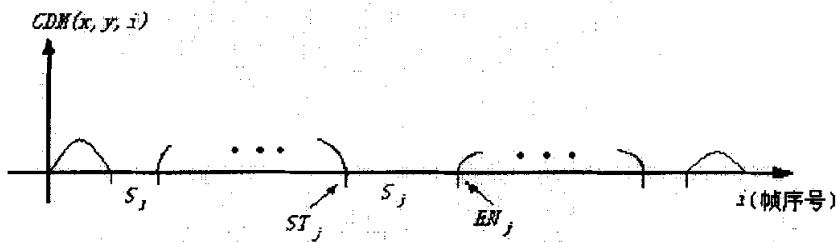


图 2.1 亮度帧差图沿时间轴的变化函数

恢复背景之后，将视频序列中每一帧图像和背景进行减法运算，得到亮度分量的背景帧差图  $ID_L$ ：

$$ID_L(x, y, i) = \begin{cases} d, & d \geq T \\ 0, & d < T \end{cases}, \quad d = |I_L(x, y, i) - B_L(x, y)| \quad (2.8)$$

式中：  $B_L$ ——背景的亮度分量。

利用帧间变化检测可以有效的检测出静止背景中的运动目标。然而，在实际情况中，背景并非完全静止。因为光照的改变或其它的原因，导致噪声的产生。由于噪声的干扰，导致图像识别中对运动物体的检测和定位的正确性产生影响。对于这些问题，可以应用色度等其它信息或形态学的方法来解决并去除噪声。

#### 2.4.2 运动背景下的运动目标检测

运动背景下目标检测和静止背景下检测的方法是不同的。由于静止背景的图片中背景是固定的，所以可以很容易地恢复出背景。而运动状态下由于背景是不固定的，所以无法恢复出背景。在运动前景和运动背景的情况下，分割是个困难的问题，同时需要被分割的各个块的形状估计和运动参数<sup>[26]</sup>。

有运动背景的图像一般来讲是属于全局运动的。针对运动背景下的目标检测，有两种经典的方法：光流法、根据当前帧和其前面的帧的信息来预测背景的方式来得到运动目标的方法。

### (1) 光流法

光流法是用来计算图像的光流的方法，该方法用来检测运动目标的运动，包括运动的速度和方向。

当物体运动时，在图像上对应物体的亮度模式也在运动。光流法检测采用了目标随时间变化的光流特性，利用光流法可以通过计算位移向量光流场来初始化目标的轮廓，从而使其子轮廓的跟踪算法能够有效地检测和跟踪目标。

光流法一般是根据当前帧及前后帧的信息，计算某个像素的运动矢量。

令  $F(x, y, k)$  是图像序列中的第  $k$  帧  $(x, y)$  点对应的像素， $F(x + d(x), y + d(y), k + m)$  表示第  $k+m$  帧中  $(x + d(x), y + d(y))$  点对应的像素。如果点  $(x, y)$  对应于运动目标的某一点，并且在第  $k+m$  帧运动到位置  $(x + d(x), y + d(y))$ ，那么当捕捉到的视频不存在噪声时，应该存在等式：

$$F(x, y, k) = F(x + d(x), y + d(y), k + m) \quad (2.9)$$

该等式还有一种等价形式：

$$F(x, y, k) = F(x - d(x), y - d(y), k - m) \quad (2.10)$$

式中： $d(x)$  与  $d(y)$  是位置  $(x, y)$  的像素的运动矢量。

这两个等式在本质上是相同的，区别在于式 (2.9) 是第  $k$  帧的像素运动到第  $k+m$  帧中，而式 (2.10) 是第  $k$  帧的像素运动到第  $k-m$  帧中。其中式 (2.9) 叫做前向预测，式 (2.10) 叫做后向预测。

式中的运动矢量  $d(x)$ 、 $d(y)$  不能直接获取。这是因为在捕获的图像中存在噪声，使得上边的式子不能成立，而且  $d(x)$  与  $d(y)$  的获得是后验的：只有视频信息，没有运动信息，而且在从三维图像生成二维图像时会丢失一部分信息。三维信息的丢失会带来两个问题：第一个是遮挡问题<sup>[27]</sup>，第二个是孔径问题<sup>[28]</sup>。为了解决这些问题，应用光流法提取运动信息的实际应用中，常常利用包括颜色、形状在内的各种信息。

利用光流法计算运动矢量的方法包括求解光流方程法、块运动法、二阶微分法、

梯度估计方法等方法。

光流法计算量很大，运算复杂。所以在实时的场合一般是不用的。

## (2) 全局运动检测

利用帧差方法进行目标检测计算并不总是要求背景是固定的。严格来讲，只要能够利用某种方法得到一段视频中每一帧的背景，那么帧差的方法仍然是可以使用的。

全局运动是需要解决的最大问题，为了处理全局运动给背景带来的变化，可以使用一种基于预测的方法。该方法的基本思想是：假设已经根据图像序列中第 1 帧到第  $i-1$  帧目标检测结果计算出背景的大致运动情况，那么就可以利用已知的信息，对第  $i$  帧的背景进行预测。在某些视频中，尤其是全局运动和运动速度相差不多时，利用该预测方法进行视频中目标的检测，可以有效的减少计算时间并得到很好的检测结果。图 2.2 为全局运动检测的流程。

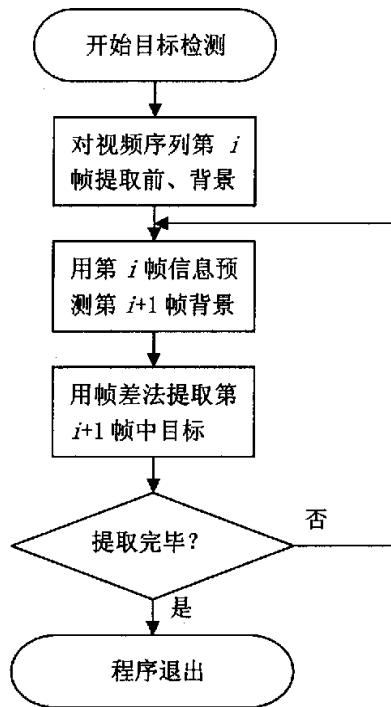


图 2.2 全局运动检测框图

以上两种方法讲述了如何处理运动背景的全局运动。但是如何检测全局运动是一

一个重要而复杂的问题。目前，还有一种基于块（Block\_Based）的运动检测方法，该方法就是把图像中的每一帧分成很多小块，然后利用这些小块进行跟踪和处理的操作。

基于块的运动检测方法的假设条件是：图像或者视频中的目标能够被分成很多小块，也就是说，如果把一帧图像分成许多小块，那么这些小块就会完全地属于目标或者背景。尽管这种假设存在漏洞，然而在某些应用中，基于块的运动检测方法已经能够被用来检测并得到足够精确的目标。

假设图像序列中第  $i$  帧中含有块 A，如图 2.3 所示。经过运动后，在下一帧这个块出现在图 2.4 中相应的位置，设块 A 的大小  $N \times N$ ，那么在理论上：

$$F_i(x, y) = F_{i+1}(x + d(x), y + d(y)) \quad (x, y) \in A \quad (2.11)$$

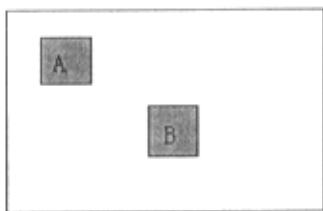


图 2.3 第  $i$  帧图像

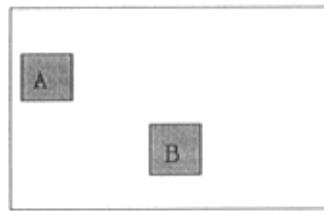


图 2.4 第  $i+1$  帧图像

根据这一理论，可以对 A 块进行全图像范围的搜索，找到 A 块的运动矢量。但是该方法存在如下问题：

- (1) A 块可能不完全属于帧图像中的目标或背景；
- (2) 实际上，在视频捕获过程中，由于各种因素会导致实际捕获到的视频存在噪声，所以即使视频中不同帧中的内容相同，对应像素的像素值也可能不同。
- (3) 如果运动物体移出镜头，就找不到对应的块，即使找到，也是错误的。
- (4) 处理过程中，从三维到二维的信息转换会遇到遮挡等难以解决的问题，如物体变形、光照变化、角度改变等。

在实际操作当中，基于块的运动矢量计算方法一般考虑了物体形变等多方面的因素，而不仅是只考虑平移的情况，一般采用的方法是利用可变形块（Deformable Block）进行匹配，计算运动矢量。在这方面，可以利用 6-参数，或者 8-参数的仿射（Affine）变换模型来试图解决这个问题。

下面是仿射变换的简单介绍。

如果运动只有平移，那么可以逐像素地进行计算。令  $(x_i, y_i)$  表示第  $i$  帧的一个像素点，而  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  是其在第  $i+1$  帧对应的像素点，那么，这两点应该满足：

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + d(x) \\ y_{i+1} &= y_i + d(y) \end{aligned} \quad (2.12)$$

如果运动同时包含有旋转和形变，那么可能需要更为复杂的公式，如 6-参数仿射变换（Affine Transformation），该变换具体的公式形式见式 (2.13)：

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= ax_i + by_i + d(x) \\ y_{i+1} &= cx_i + dy_i + d(y) \end{aligned} \quad (2.13)$$

式中：  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  是待定的参数。

这个变换可以处理平移、旋转以及二维的形变。除了仿射变换，还有其它的两个变换，分别称作透视变换和双线性变换。 $(x_1^i, x_2^i)$  表示第  $i$  帧的一个像素点， $(x_1^{i+1}, x_2^{i+1})$  是其第  $i+1$  帧对应的像素点，透视变换的变换公式为：

$$\begin{aligned} x_1^{i+1} &= \frac{a_1x_1^i + a_2x_2^i + a_3}{a_7x_1^i + a_8x_2^i + 1} \\ x_2^{i+1} &= \frac{a_4x_1^i + a_5x_2^i + a_6}{a_7x_1^i + a_8x_2^i + 1} \end{aligned} \quad (2.14)$$

双线性变换（Bilinear）公式为：

$$\begin{aligned}x_1^{i+1} &= a_1x_1^i + a_2x_2^i + a_3x_1^ix_2^i + a_4 \\x_2^{i+1} &= a_5x_1^i + a_6x_2^i + a_7x_1^ix_2^i + a_8\end{aligned}\quad (2.15)$$

图 2.5 展示了上述几种变换能够处理的运动。

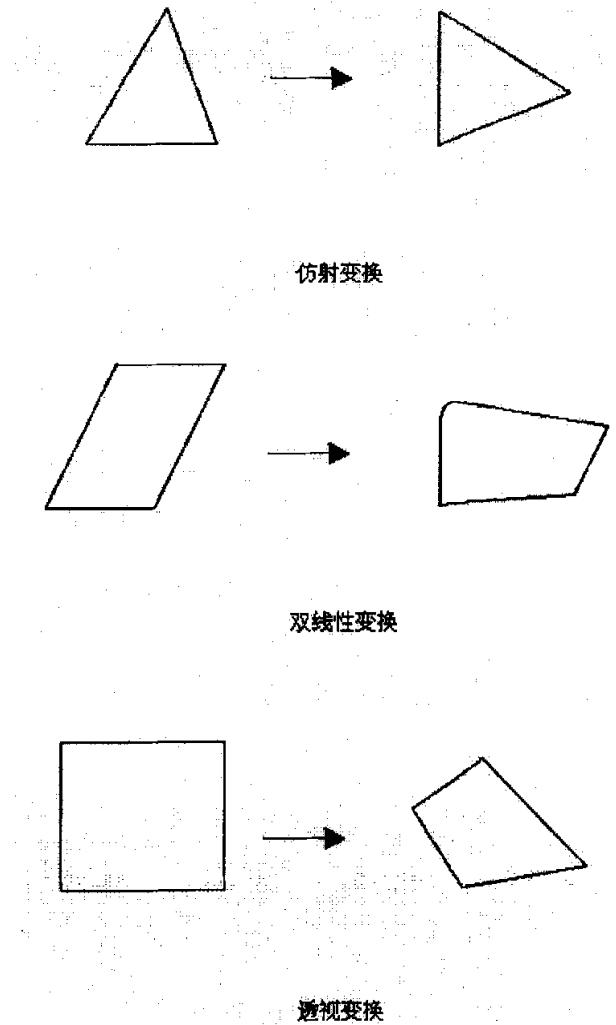


图 2.5 几种变换的实现

运动检测算法比较多，主要有： Bayes 法则的门限检测法，最大后验概率运动

检测法，神经网络的运动检测法，近似熵的运动检测法，基于模型的运动检测法。

## 2.5 透视投影

好的视觉系统是人类所具有的、机器仍然无法超越的人类视觉系统，是面向 3D 世界的。其中 3D 场景的性质是从 2D 图像表示中推断出来的。在对运动目标物体进行跟踪时，为了得到目标的空间位置、道路和目标以及摄像机相互之间的关系，需要用到坐标系和坐标系的变换。

在模型匹配中，需要从二维图像恢复物体目标的三维信息，同时将三维模型投影到图像平面上，因此必须计算三维空间到图像平面的投影关系矩阵。这个过程就是摄像机定标。本课题采用基于针孔模型的摄像机定标方法，其基本原理是利用给定的一组三维世界的点坐标和这些点在图像中的坐标，求解线性方程组，计算透视投影矩阵中的各个元素。透视投影矩阵见式 (2.16)：

$$Z_e \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = MX_w \quad (2.16)$$

式中：( $u, v$ ) 是图像坐标，( $X_w, Y_w, Z_w$ ) 是三维坐标， $M$  为投影矩阵， $Z_e$  为三维空间中点到摄像机镜头的矢量在光主轴上的投影距离。

要求解  $M$  的各个元素，通常方程组不独立，没有唯一解，采用近似计算的误差很大。在式 (2.16) 基础上经过变形，将 12 阶方程分拆成三个 4 阶方程组，只需要利用 4 个点的投影关系，方程组的阶次也只有 4 阶，可以有效避免出现奇异矩阵，求出唯一解。由式 (2.16) 可以得出：

$$\begin{bmatrix} X_{w1} & Y_{w1} & Z_{w1} & 1 \\ X_{w2} & Y_{w2} & Z_{w2} & 1 \\ X_{w3} & Y_{w3} & Z_{w3} & 1 \\ X_{w4} & Y_{w4} & Z_{w4} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \\ m_{14} & m_{24} & m_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{c1}u_1 & Z_{c1}v_1 & Z_{c1} \\ Z_{c2}u_2 & Z_{c2}v_2 & Z_{c2} \\ Z_{c3}u_3 & Z_{c3}v_3 & Z_{c3} \\ Z_{c4}u_4 & Z_{c4}v_4 & Z_{c4} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

另外，除了这 4 组点的坐标之外，还需要测定摄像机镜头主光轴的水平、垂直倾角的值。

本课题采用的线性摄像机模型如式（2.18）所示。

设空间点  $(x, y, z)$  在图像平面上的投影为  $(x', y', z')$ 。如果成像模型为透视投影，则：

$$x' = F \frac{x}{z} \quad y' = F \frac{y}{z} \quad (2.18)$$

式中： $F$  —— 摄像机焦距。

### 3 公路障碍识别系统的研究与设计

计算机视觉属于人工智能的一部分，它具有类似人类视觉的特性。到目前为止，计算机视觉已经被应用到工业自动化、机械手工程、生物医学、人造卫星观测等领域<sup>[29]</sup>。

尽管视觉传感器由于障碍物体显像原因和在光线条件改变时性能不及触觉超声波传感器，但是它具有能够提供更多信息的优点<sup>[30]</sup>。计算机视觉运算法则紧密地基于先进的数学方法。有效的发展新方法的工具逐渐地以诸如 Matlab, Maple 和 Mathematica 的计算机代数学系统为基础。为了快速地设计原型，需要各种诸如代数的代号。然而，对于大的如图像这类的数据组的应用一直由于昂贵的内存或过长的计算时间而受到挫折。今天，此类的程序已经在数字数据处理方面取得了实质上的提高，这使得它们成为理想的应用于计算机视觉原形设计方面的工具<sup>[31]</sup>。

在汽车领域，使用视觉信息的应用可以被分为三类<sup>[32]</sup>：视觉增强、导航和目标检测。

车辆从一点行驶到另一点可以被分为 3 种功能<sup>[33]</sup>：

- (1) 控制功能，比如驾驶、刹车和加速；
- (2) 指导，比如速度和路径选择；
- (3) 导航，导航包含指导的功能，导航目的在于实现定位、防撞等功能。

本系统属于智能车辆系统中车辆辅助导航部分功能的实现。系统利用图像识别的算法实现对公路中障碍物体的识别及跟踪，并对障碍物体的运动状态进行分析，估算出障碍物体相对于装载系统的车辆的速度、距离，为车辆的安全行驶提供支持。

系统包括 10 个模块，分别是：

- (1) 图像采集模块；
- (2) 图像灰度化处理模块；
- (3) 图像预处理模块；
- (4) 背景提取模块；
- (5) 车道识别模块；
- (6) 障碍物体识别模块；

- (7) 障碍物体测距模块;
- (8) 障碍物体跟踪模块;
- (9) 障碍物体测速模块;
- (10) 报警评估模块。

具体实现如图 3.1 所示：

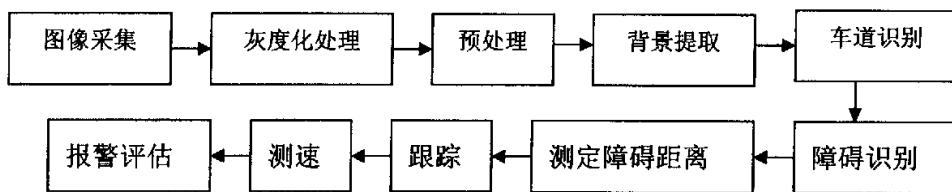


图 3.1 系统功能模块

### 3.1 图像的灰度化处理

采集后的图像为彩色图像，为加快处理，工程中经常要将彩色图像转换为灰度化图像。

本课题中视频使用 CCD 摄像机采集。通过图像采集卡转化为 BMP 格式图像。本课题中图像保存为 256 色图像。

由 256 色图像转换为灰度图像利用公式 (3.1) 实现。

$$Gray(i, j) = r \times R(i, j) + g \times G(i, j) + b \times B(i, j) \quad (3.1)$$

式中：  $r$ 、 $g$ 、 $b$ ——像素点所对应红色、绿色、蓝色分量的比例系数；

其中  $r=0.299$ ,  $g=0.587$ ,  $b=0.114$ ;

$Gray(i, j)$ ——转化后灰度图像在  $(i, j)$  点的灰度值；

$R(i, j)$ ——红色分量的值；

$G(i, j)$ ——绿色分量的值；

$R(i, j)$ ——蓝色分量的值。

### 3.2 图像预处理

图像在采集、转换和传输中，常常因受到成像设备与外部环境噪声的影响而产生降质。由于车辆在行驶中因为道路和车辆本身的原因产生震动，导致采集到的图像质量受到影响。在图 3.2 原始图像的灰度化图像中路线边界和车辆边缘存在边缘毛刺，这将影响图像识别。为此必须在进行识别处理前对图像进行预处理，提高图像的质量。为了抑制噪声改善图像质量，必须对图像进行平滑处理，处理可以在空域或频域中进行。为了保证图像识别的正确性，在抑制噪声时应尽量不损害图像边缘。



图 3.2 原始图像的灰度化图像

针对以上要求，本课题采用了中值滤波技术。

中值滤波是非线性滤波，类似于卷积，但不是加权求和计算，而是把窗口中的像素按灰度等级进行排序，然后选择该组的中间值作为输出像素值。中值滤波能够减弱或消除傅里叶空间的高频分量，但影响低频分量。因为高频分量对应图像中的区域边缘的灰度值具有较大较快变化的部分，该滤波可将这些分量滤除，使图像平滑。其主

要原理是：首先确定一个以某个像素为中心点的窗口，一般为方形窗口；然后将窗口中的各个像素的灰度值按照大小进行排序，取其中间值作为中心点像素灰度的新值。当窗口在图像中上下左右进行移动后，利用中值滤波算法可以很好地对图像进行平滑处理。算法具体步骤如下：

- (1) 将窗口在图像中漫游，并将窗口中心与图像中某个像素的位置重合；
- (2) 读取窗口中各像素的灰度值；
- (3) 将这些灰度值按照从小到大的顺序排列成一列；
- (4) 找出排在中间的一个值；
- (5) 将这个中间值赋给对应窗口中心位置的像素。

中值滤波的输出像素是由窗口图像中各像素的中间值决定的，因而中值滤波对极限像素值（与周围像素灰度值差别较大的像素的值）远不如均值滤波那么敏感，中值滤波既可以消除孤立的噪声点，又可以使图像产生较少的模糊<sup>[34]</sup>。

中值滤波器是一种统计排序过滤器，是一种非线性处理技术，它能够有效地去除尖峰噪声，并且对边缘起到很好的保护作用。图 3.3 展示了几个在实际应用中常被用到的中值滤波窗口：

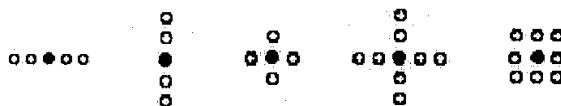


图 3.3 常用的中值滤波窗口

在本课题中，预处理采用如图 3.4 所示的中值滤波窗口。

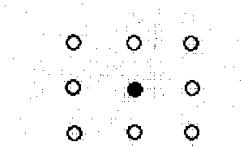


图 3.4 本课题采用的中值滤波窗口

利用中值滤波技术，本课题有效地去除了图像中的脉冲噪声和随机噪声，同时又保护了图像边缘信息。

### 3.3 背景提取

在本课题所实现的公路障碍识别系统中，背景提取是障碍物体识别的前提条件。只有背景提取得以正确地实现，才能保证障碍物体能够被正确地从背景中分离出来。

目前背景提取分为针对静止背景的提取以及针对运动背景的提取，课题实现的公路障碍识别系统针对运动背景进行处理。

对于公路障碍识别系统来说，常用的背景提取方法主要包括帧间差分法及背景差分法<sup>[4]</sup>。

帧间差法是对相邻两帧图像进行差分，该方法具有较强的适应性，但是对进行差分的两帧图像的选取间隔和物体运动的速度有很强的关联性。如果选择的两帧图像时间间隔较大而且物体运动速度较快，则两帧图像无覆盖区域，因此无法检测出运动物体。而时间间隔过小并且运动速度较慢，则可能造成物体完全覆盖，检测不到物体。

背景差分，即首先选取一帧图像作为参考图像，再用当前帧图像和参考图像做差分，如果参考图像选取适当，就能比较准确地分割出运动物体。由此可见，背景差分的关键在于背景模型的自适应更新。如果参考图像选取不当，将给以后的物体分割造成较大的误差甚至错误。

本课题的背景提取方法属于阈值分割方法的范畴。

本课题提出的背景提取方法的总体思想是在图像局部范围内取像素灰度平均值，根据该平均值来得到背景，算法缩小了图像处理范围，最主要的是由于本方法将提取平均值的范围进行限定，最大限度地排除了道路之外区域以及包括车辆在内的路面物体对背景提取的影响，因此提高了路面背景提取的精度。

由于摄像机所摄的序列图像中包括了很复杂的背景，比如：树木，建筑，标识牌等。这些物体给图像分析带来了困难。为了将图像中障碍物体提取出来，首先应该对图像进行处理，将感兴趣区域路面从已进行去噪声处理的灰度图像中分离出来。

本课题采取的方法实现步骤如下：

首先，设置观察区域：由于在实际拍摄的图片中，图像的最下方区域必然是背景

区域，所以本课题从图片底部取图像高度（height）的 1/6 作为观察区域高度，区域宽度为从图像正中左右各取 1/6 图像宽度（width），据此设置观察区域；

下一步，将观察区域内各点像素值进行求和，并对求和得到的值按观察区域面积取平均值  $avg$ ；

最后，设定阈值  $T$ （在本课题实现的系统中取值为 35），并根据式（3.2）提取背景，得到的背景如图 3.5 所示，所得二值化图像背景为黑色。

$$f(x, y) = \begin{cases} 255 & f(x, y) - avg \geq T; \\ 0 & f(x, y) - avg < T; \end{cases} \quad (3.2)$$

式中： $f(x, y)$  对应图像中相应坐标点的像素值。

由于序列图像背景灰度在一定时间间隔内是比较连贯的，所以在课题中第一帧图像  $avg$  按以上方法获得，之后连续 9 帧均取同一灰度值为  $avg$ ；第 11 帧再次按照以上重新方法计算  $avg$ ，之后再次连续 9 帧取  $avg$ ，如此循环。也就是说，算法每隔 9 帧重新取一次  $avg$ 。

另外，为去除二值图像中的孤立点噪声，课题对提取背景后的二值图像进行了二值去噪处理。



图 3.5 提取背景后得到的结果

### 3.4 车道线提取

图像背景提取处理之后，从图片上看，路面区域的标识和车辆已经从道路背景中明显的分离出来，但是要通过计算机对公路中目标进行识别和跟踪则必须先将待识别区域识别出来，这要求首先识别出车道线。

到目前为止，世界上已经发展了多种基于视觉的适用于不同车道线的检测算法。这些算法采用了不同的道路模型（如直线或曲线模型）和不同的识别技术（如霍夫（Hough）变换法、模块匹配法、神经网络法等）<sup>[8]</sup>。

Yutaka J. Kanayama 和 Fariba Fahroo 提出的算法用以实现小汽车之类的车辆对连续曲率的线和路径的跟踪<sup>[35]</sup>。O. Sánchez, A. Oliero 和 G. Heredia 提出了一种分级的基于模糊原理的路径跟踪方法<sup>[36]</sup>。邓剑文等基于道路结构特征来重构道路标识线位置<sup>[6]</sup>。苏开娜等利用边缘检测模板检测车道线并利用卡尔曼滤波器预测模型进行运动模型估计<sup>[9]</sup>。

由于实际景物表面反射和纹理不同，加上成像过程所混杂的噪声，使得对采集得到的图像进行分析处理变得十分复杂。普通的边缘检测算法对此类图像难以取得较好的效果。

本课题没有应用边缘检测方法也没有使用预测的方法来得到车道线，而是在应用 3.3 节方法得到提取出背景的二值化图像之后，利用直线拟合进行车道线提取。

由于本课题所实现的公路障碍识别系统识别的环境主要是针对高速公路，基于高速公路曲率很小的事实，高速公路的车道线在一定范围内可以被看作直线<sup>[37]</sup>。

由于车辆行驶总是保持在车道的中心位置附近，所以本课题以图像中心为基准线对左右两侧车道线进行判断，所用的方法可以得到驾驶车辆所在车道的车道线。

首先，设定判定区域。由于公路存在着多条车道线，N 车道的车道线应为 N+1 条，所以如果设定判定区域应该将区域设定的比较小心。如果设定不当将会给后面进行的直线拟合带来很大的误差。本课题相对应的系统中将判定区域设定为高： 5 到 1/3 ×height，宽： 1/6×width 到 5/6×width。

下一步，首先在判定区域中从下至上从中到左扫描，定位左边车道线（右车道线从下至上从中到右扫描并定位得到），将判定区域中每行所遇到的第一个值为 255 的

像素的坐标保存并将累计变量加 1，然后进入下一行扫描，循环直至累计变量达到某预定值。此预定值越大，即样本点越多，此后直线拟合得到的直线方程越是准确。这个值根据系统所处理图片的大小而不同。在本课题所实现的系统中，此值设为 20。

最后，根据上文所得的样本点坐标利用最小二乘法进行直线拟合，利用这些样本点求出回归方程（直线经验公式）： $y = a_0x + a_1$ ，其中  $a_0$  为斜率， $a_1$  为截距。

最小二乘法见式（3.3）：

$$\begin{cases} na_0 + (\sum_{k=1}^n x_k) a_1 = \sum_{k=1}^n y_k \\ (\sum_{k=1}^n x_k) a_0 + (\sum_{k=1}^n x_k^2) a_1 = \sum_{k=1}^n x_k y_k \end{cases} \quad (3.3)$$

利用式（3.3）得到  $a_0$ 、 $a_1$ 。直线方程即可确定。对图 3.5 进行相应处理后，得到如图 3.6 所示的两条车道线。



图 3.6 直线拟合后得到的结果

至此，装载公路障碍识别系统的驾驶车辆所在车道的两条车道线被识别出来，进一步可以将本车道区域提取出来。

在车道线提取过程中，存在这样一种情况：当系统所在车辆从目前车道跨越到另一车道时，如果车道线在图像的正中，这时如果按上面方法进行车道提取，将发生错

误。在本课题中，如果出现这种现象，将存在这样一种结果——“两条”车道线的斜率几乎是同一值，也就是说这“两条”车道线其实是同一条车道线。实际上，在摄像机光轴不是垂直于图像平面时，现实中两条平行线在图像中应该相交于一点。所以当系统求出的两车道线的斜率之差小于某一设定阈值时，认为当前正在穿越车道。

对上述问题的解决方法是：当系统所在车辆向左跨越车道时，车道扫描中心向左移动  $m$ （本系统取 30）个像素，以此代替上面方法的扫描起始位置。同理当系统所在车辆向右跨越车道时，车道扫描中心向右移动  $m$  个像素。

### 3.5 障碍物检测

目前，硬件技术、图像分析技术快速发展。运动图像的处理与分析技术得到广泛的应用，在运动图像背景下，运动目标的识别与跟踪因其广泛的应用前景而成为一个重要的研究课题。在背景中进行目标检测是计算机视觉中的重要一环，在军事、工业和交通领域有着广泛的应用。在对图像目标进行实时检测和跟踪过程中，跟踪摄像器件由于震动原因而相应地发生运动，从而导致运动目标在图像上造成的变化与背景本身的变化混淆在一起，在这种情况下如何精确地实时检测和跟踪目标成为研究课题的重点和难点。

目前的障碍检测方法还处在理论阶段，一些典型的方法在运用到实际中时都会出现这样或那样的问题。

目前常见的几种典型的障碍物检测方法有<sup>[38]</sup>：

- (1) 基于光流分析的方法；
- (2) 重投影的方法；
- (3) 立体匹配。

光流计算是计算机视觉中一直关注和研究的问题，这是因为光流场的准确估计是图像分割、图像压缩、机器人导航以及从运动序列图像中估计运动物体的结构参数等研究领域的基础。传统的光流场计算方法主要是基于灰度守恒假设和光流场分布的光滑性假设，但是这些假设往往在阴影具有透明性和遮挡性的地方不再成立。故基于这些假设的计算方法不能对存在遮挡性、透明性的图像的光流场分布提供正确的估计。在光流场的分布估计中最主要的困难是处理由于遮挡性和透明性带来的光流场不连

续性，而常用的光流场计算方法往往不能同时处理这些不连续性问题。基于光流场法的运动目标跟踪的缺点是计算比较复杂，受背景影响较大<sup>[39]</sup>。

目前，重投影变换的方法是基于双目成像系统来实现，即使是单摄像机也要利用光学设备实现双目成像<sup>[40]</sup>。所以本课题没有采用此方法。

用立体视觉实现障碍物检测最大的难点在于计算复杂性。因为该方法在每一时刻必须计算两帧或多帧图像。而且，为了简化方法对应的问题，必须对图像进行一定的几何校正和光学校正。然而，在实际的系统实现中，由于系统所在车辆颠簸等外界因素的干扰，摄像机参数不可能保持不变。

在本课题实现的公路障碍识别系统中，将车辆、行人和普通意义上的障碍物体均视为障碍物体。

由于本课题的实现环境主要是针对高速公路，而在高速公路上，一般情况下只包括车辆，但是考虑到在某些路段存在路人在高速公路上违章行驶（行走和骑自行车）和某路段有突发事件发生、出现已知和未知障碍的情况，本课题不能使用传统的针对车辆检测的方法。本课题设计了一种方法，通过设定检测判断窗口并将窗口中值为 255 的像素占窗口中像素总数比例与预先设定的阈值比较来进行障碍物体的判别。

在车道从图像中提取出来之后，障碍物体的搜索范围得以确定。搜索障碍物体是在装有车载障碍识别系统的车辆所在车道内进行的。

搜索的方法是对图像中本车道范围内从下至上扫描，某一行灰度为 255（即为白色）的像素超过本行  $1/6$ ，则疑似为障碍物体，标记当前行（CurrentRow），然后进行进一步判断。

判断的方法是设定一个窗口，对该窗口中值为 255 的像素个数求加总值，对得到的结果进行判断，当得到的加总值 SUM 除以窗口总面积 S 的结果大于或等于某一百分比阈值 T（实际设置为 25%）时，认为该窗口中值为 255 的像素属于障碍物体的一部分，障碍物体的位置，即是该窗口的底的位置。如果比值小于 T，则认为该窗口中值为 255 的像素并非属于障碍物体的一部分。这时须对图片当前行的下一行进行重新判断，此时下一行被作为当前行处理。

窗口的具体设置如下：

(1) 以当前行为基准，对图片从下至上连续五行进行扫描，计算这五行值为 255

的像素灰度值总和  $SL$ 。计算时要考虑去除道路车道线的像素点，所以每行扫描位置为车道线之间的一个线段；具体为左车道线位置加 10，右车道线位置减 10。 $SL/5$  为物体近似宽度  $W$ 。

(2) 以图像中疑似的障碍物体在当前行最左端的点  $s1$  为矩形左下角交点，得到边长  $W$  的矩形。

以上步骤得到的矩形即为障碍物体检测判断窗口。结果见图 3.7。

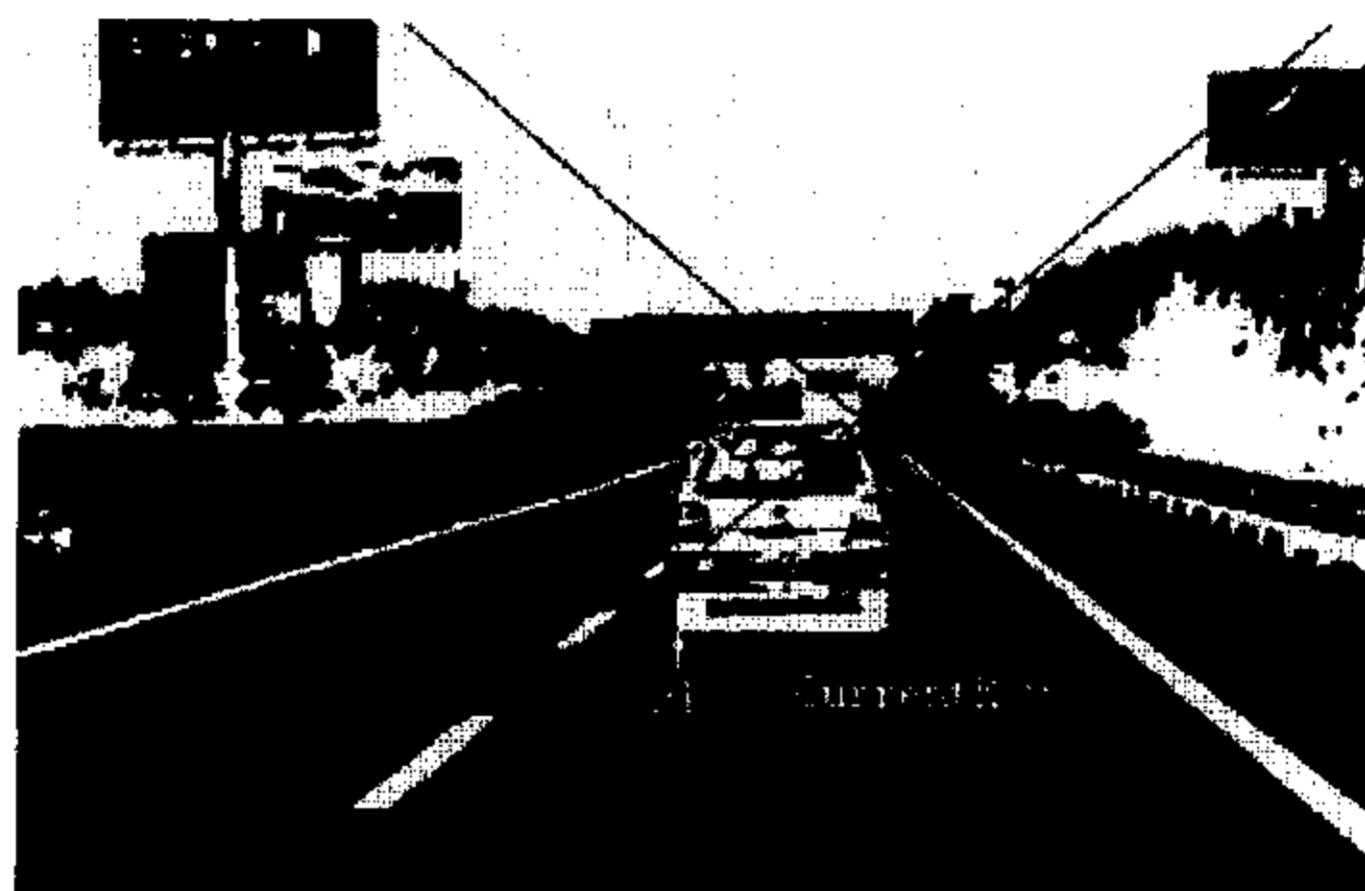


图 3.7 障碍物体检测判断窗口（图中车尾底部矩形）

具体实现流程图见图 3.8。

### 3.6 障碍物体测距

相对位置测量是利用激光、超声波、红外线等进行近距离的车间距测量、障碍物测量等。由于本课题属于图像处理方面，本课题研究的是应用图像方法测量距离。

关于用图像方法测距，多是应用双目或多目测量。而本课题是用一台摄像机对图像进行捕捉，因此，课题要实现的是单目测量。然而，到目前为止，并没有一种比较通用的应用单目测量的算法用来计算距离。本课题采用了重庆大学自动化学院导航制导研究所周欣、黄席樾、黎昱等几位博士生及博士生导师提出的单目测距方法<sup>[1]</sup>，该方法应用车道线二维重建，结果证明应用该方法进行单目测距在理论上是成立的。文献[1]中应用该方法进行的测试得到的距离测量值与实际值及误差对照表见附录 A 的表 A.1。

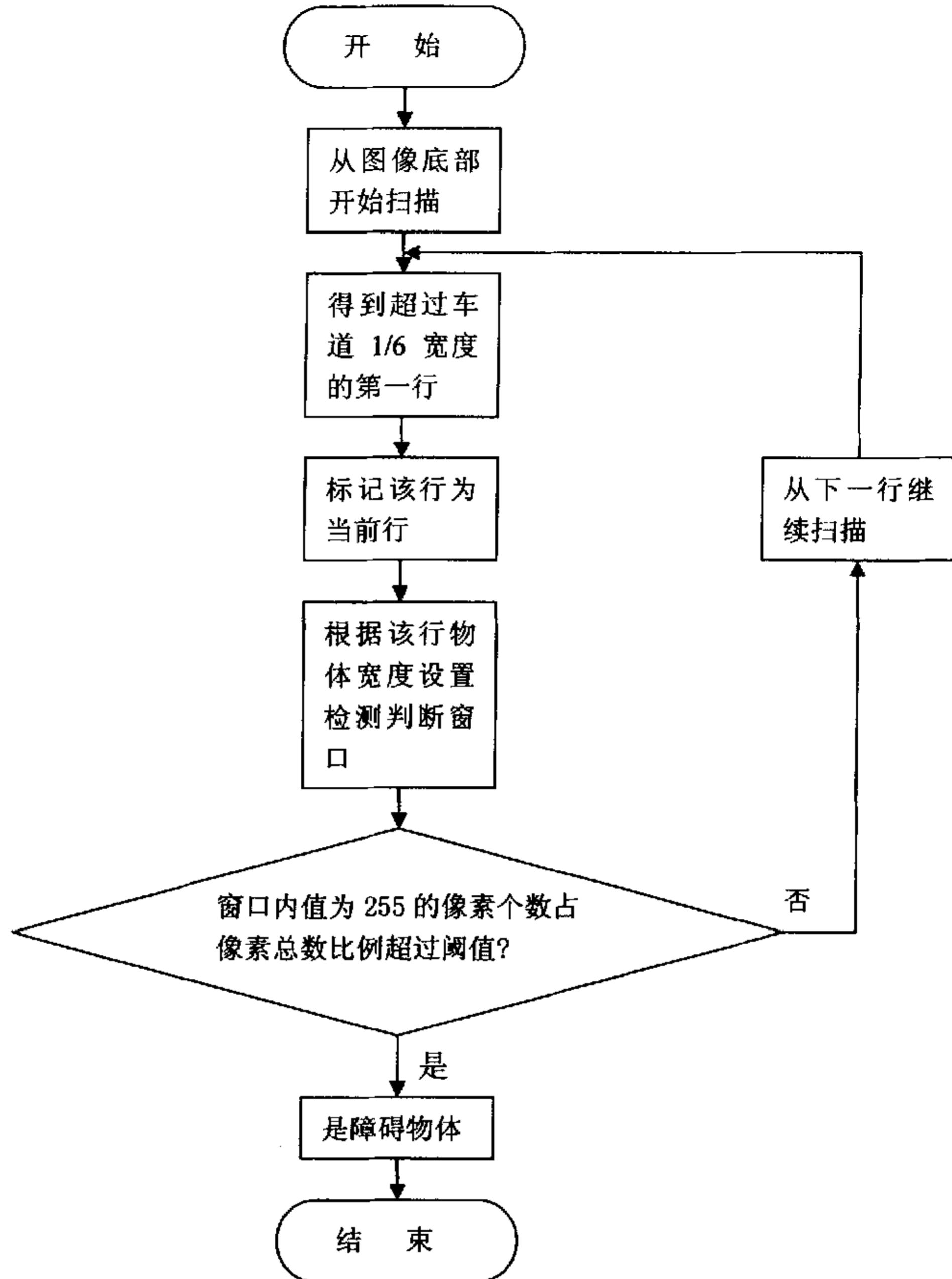


图 3.8 障碍检测实现流程图

图 3.9 中的 1 与 2 是两辆汽车，一般双目或多目视觉测量的是两辆车之间的直线距离。然而准确地讲，曲线  $AB$  的弧线长度（由于车道宽度有限，应以弯道内侧弧长作为车距）才是前后两车的实际距离（直道可以作为曲线的特例）。准确的车道线二维重建结果确实证明单目测距在理论上是成立的。

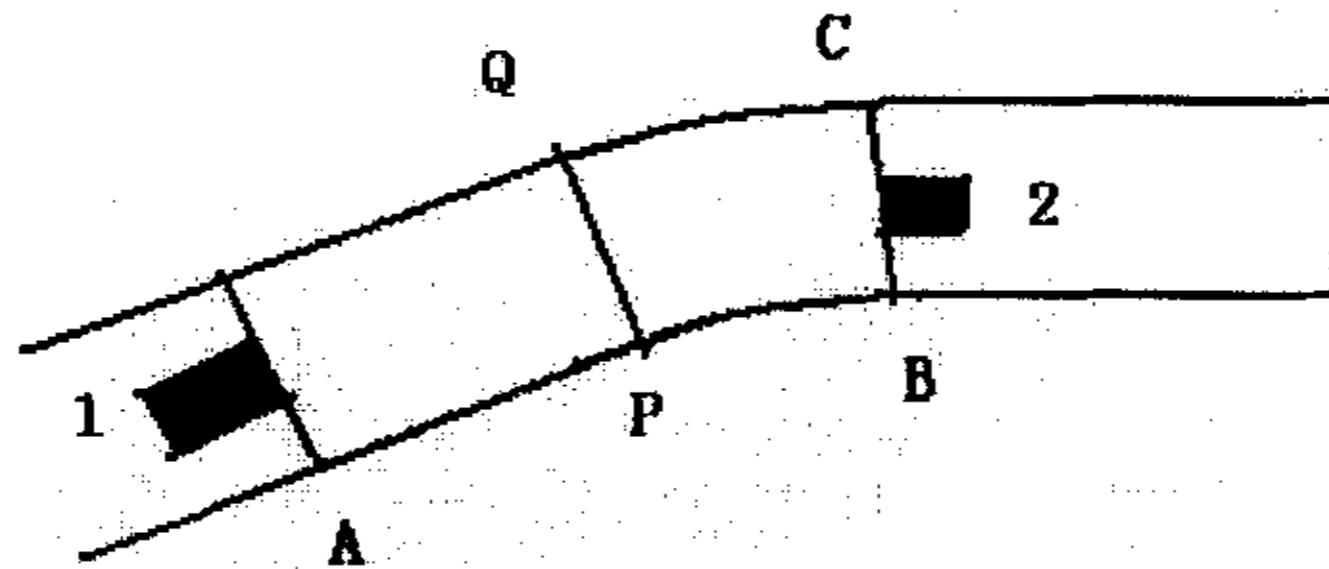


图 3.9 AB 距离示意图

该方法应用了基本投影方程，见式 (3.4)。

$$\begin{cases} x = fX/Z \\ y = fY/Z \end{cases} \quad (3.4)$$

根据式 (3.4)，可以得到如下微分方程组：

$$\begin{cases} \dot{X}_e = (Z_e \dot{x}_e + x_e \dot{Z}_e)/f \\ \dot{Y}_e = (Z_e \dot{y}_e + y_e \dot{Z}_e)/f \end{cases} \quad (e = l, r) \quad (3.5)$$

$(X_l, Y_l, Z_l)$  是左车道线坐标， $(X_r, Y_r, Z_r)$  是右车道线坐标。 $f$  是焦距，课题中摄像机焦距  $f$  标定为 4.60mm。这样就得到了  $(x_e, y_e)$  的方程。道路左右车道线是由一系列对应点组成，且车道线对应点有其自身的几何约束，如果能够由此确定从  $A$  到  $B$  的对应点，并且能推导出车道线的几何约束方程，则可以用数值积分法得到  $AB$  的长度。假设点  $P$ 、 $Q$  是车道线的一对对应点，那么在现实世界的三维坐标系里，直线  $PQ$  垂直于  $P$  点和  $Q$  点处的切线；并且  $PQ$  的长度为道路宽度（宽度为  $w$ ），这就是其几何约束。在现实世界的三维坐标系中，道路的左右边缘上任意的两个对应点  $P$ 、 $Q$  的连线  $PQ$  与他们的切线方向  $\dot{P}$ 、 $\dot{Q}$  互相垂直（无论道路边缘是直线还是弧线均

满足), 即存在着如下的几何约束关系, 公式见式 (3.6) ~ (3.8):

$$\dot{(P, PQ)} = 0 \quad (3.6)$$

$$\dot{(Q, PQ)} = 0 \quad (3.7)$$

$$\|PQ\| = w \quad (3.8)$$

对任意的对应点对, 根据方程组式 (3.4) 与式 (3.5), 就可以把式 (3.6) 与式 (3.7) 改写为:

$$(x_l Z_l - x_r Z_r)(Z_e \dot{x}_e + x_e \dot{Z}_e) + (y_l Z_l - y_r Z_r)(Z_e \dot{y}_e + y_e \dot{Z}_e) + f^2(Z_l - Z_r) \dot{Z}_e = 0 \quad (e = l, r) \quad (3.9)$$

将式 (3.9) 化简, 得到如下的车道线几何约束微分方程:

$$\dot{Z}_e = \frac{(x_l Z_l - x_r Z_r) Z_e \dot{x}_e + (y_l Z_l - y_r Z_r) Z_e \dot{y}_e}{(x_l Z_l - x_r Z_r)x_e + (y_l Z_l - y_r Z_r)y_e - f^2(Z_l - Z_r)} \quad (e = l, r) \quad (3.10)$$

最后分别对左右车道线进行数值积分, 就可以得到如下对应点对的递推计算公式:

$$\begin{cases} Z_l(k+l) = Z_l(k) + \dot{Z}_l(k)h_l(k) \\ Z_r(k+l) = Z_r(k) + \dot{Z}_r(k)h_r(k) \end{cases} \quad (3.11)$$

其中,  $k$  表示第  $k$  个边缘点,  $h_l(k)$  与  $h_r(k)$  是第  $k$  个左右边缘线积分的步长, 此步长可根据几何约束式 (3.8) 来确定。有了上面的几何约束方程和数值计算, 就可以根据曲线长度的计算公式来得到  $AB$  长度  $l_{AB}$  的计算公式:

$$l_{AB} = \int_A^B \sqrt{(\dot{X}_r(s))^2 + (\dot{Y}_r(s))^2 + (\dot{Z}_r(s))^2} ds \quad (3.12)$$

把公式 (3.5) 代入式 (3.12) 并进行数值积分, 可以得到能在计算机上实现的  $AB$  长度计算公式:

$$l_{AB} = \sum_{i=1}^n \left\| \left[ \frac{1}{f} (Z_t(i) \dot{x}_t(i) + x_t(i) \dot{Z}_t(i)), \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{f} (Z_t(i) \dot{y}_t(i) + y_t(i) \dot{Z}_t(i), \dot{Z}_t(i)) \right] \right\| h_t(i) \quad (3.13)$$

这里第 1 个和第  $n$  个边缘点分别为  $A$  点和  $B$  点, 其它量均为已知, 可以编程实现全部计算。

应用该方法可得出图像中障碍物体的距离。

具体实现中, 设观察窗口底部所在行与右端车道线初交点为  $B$ , 图像底部与右端车道线初交点为  $A$  (该点未显示在图像上, 坐标由车道方程得到)。距离如图 3.10 所示。



图 3.10 距离标识方法示意图

### 3.7 障碍物体跟踪

障碍物体跟踪就是在障碍物体识别的基础上对目标物体的连续定位。

要完成对图像的相对速度测定，必须要对图像序列的被处理的相邻两帧或两帧以上图像中同一物体的位置进行标识。因此必须设立跟踪窗口对同一物体可能出现的下一位置的检测范围进行限定，提高图像识别的精确度和缩小图像识别的判断范围。

到目前为止，现有的方法中，在设定跟踪窗口的方法上多是利用目标的高度和宽度等参数来设定针对目标的跟踪窗口，这些方法必须通过图像处理的方法得到物体的高度和宽度<sup>[11]</sup>及形心<sup>[41]</sup>等参数。

而本课题所设置的跟踪窗口通过结合待跟踪物体位置和道路的车道线来进行设定，不需要花费时间计算障碍物体在图像中具体的高度、宽度和形心等参数。

本课题对图像跟踪采用了两个假定。第一，同一障碍物体位置在图像序列相邻两帧中位置相近；第二，同一障碍物体在相邻两帧障碍物体检测判断窗口中面积相近。

对物体的跟踪实现如下所示：

(1) 设置一梯形跟踪窗口，在本窗口范围内搜寻，物体位置根据此物体在上一被处理帧图像中的位置估计。

跟踪窗口形状为梯形，宽度以所在车道的两条车道线为界限，窗口以图 3.7 中的 CurrentRow 为基准，底边以上跟踪窗口高度取 CurrentRow 宽度的 1/6（如超过灭点即两条车道线交点，则以灭点以下 3 行为梯形顶），底边以下跟踪窗口高度取 CurrentRow 宽度的 1/3 宽度（如果超出图像底边范围，以底边起第 3 行为梯形底）。形成一个梯形的区域，此区域即为公路障碍识别系统跟踪窗口。

在图 3.11a 中标识的是被跟踪车辆在上一被处理帧（图像序列第 116 帧）图像中的位置，而图 3.11b 中标识的是被跟踪车辆在当前被处理帧（第 119 帧）图像中预计位置的判断范围。

在设置完跟踪窗口之后，在跟踪窗口中检测障碍物体，并且按照 3.5 节的方法检测出障碍物体。

(2) 对于假设 2，对该物体设置 3.5 节中应用到的物体检测判断窗口，并计算该窗口中值为 255 的像素个数  $SUM_i$ ，并以此值与上一被处理帧中待跟踪物体在检测判

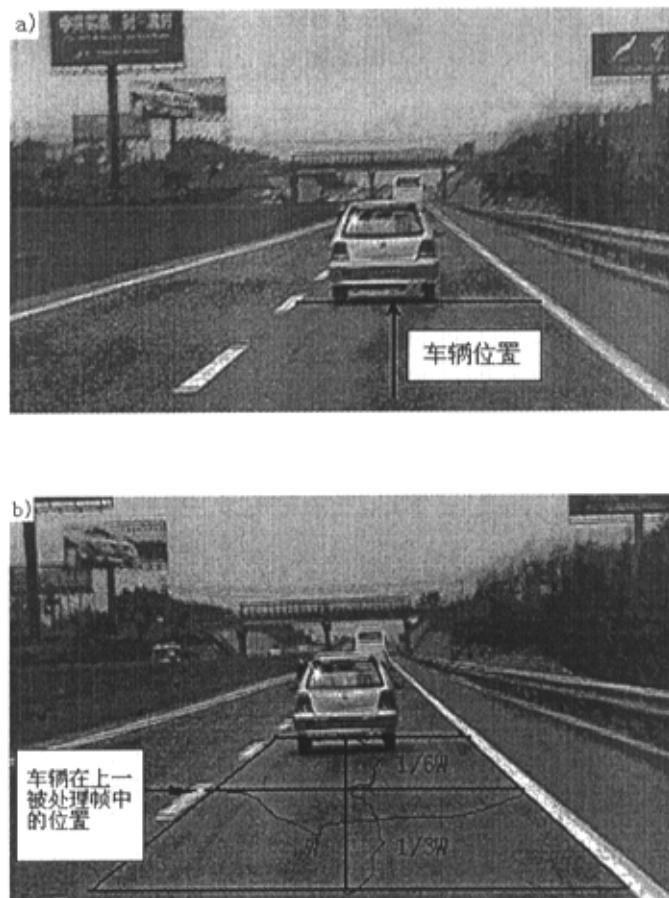


图 3.11 障碍物体跟踪窗口设置示意图

a) 图像序列第 116 帧      b) 图像序列第 119 帧

断窗口中的像素个数  $SUM_{i-1}$  相减并取绝对值得到  $S$ ;  $S$  除以  $SUM_i$  得到  $R$ 。将  $R$  值与预先设定好的某一阈值进行比较, 如果小于该阈值, 则认为与被跟踪物体是同一物体; 如果大于或等于该阈值则认为该物体不是被跟踪物体。

如果当前被处理帧物体与上一被处理帧被跟踪物体是同一物体, 则可进行下一节相对速度的计算; 如果该物体不是上一被处理帧中的物体, 则将该帧中物体视为新的物体、并对该物体进行新的跟踪。

### 3.8 障碍物体相对速度的计算

在公路障碍识别系统中，躲避障碍物体报警系统参考的是两个变量，即距离和障碍物体的相对速度。实际上，是否对障碍物体进行避让只需要知道物体的距离和相对速度。当障碍物体距离装载系统车辆一定距离并且相对速度超过一定值时，预警启动。驾驶员可据此做出避让行动。

图像序列中障碍物体的相对速度就是被处理的相邻两帧图像中同一障碍物体的距离差除以这两帧采集的间隔时间。

在 3.6 节已经完成了障碍物体定位的功能，因此相对速度可以由当前被处理帧图像中障碍物体的距离  $d_i$  减去前一被处理帧图像中同一物体的距离  $d_{i-1}$  得到的值除以两帧图像采集相隔时间  $S$ ，得到物体相对公路障碍识别系统所在车辆的速度  $V$ 。公式如式（3.14）所示：

$$V = (d_i - d_{i-1}) / S \quad (3.14)$$

系统根据障碍物体的距离和障碍物体的相对速度决定是否报警。距离除以相对速度得到的值即为预测的相撞时间，当该值为小于 +2 的正值时（当该值为负的时刻，车辆与障碍物体距离拉大，不用报警），系统报警。

## 4 公路障碍识别系统的实现

### 4.1 模拟实验环境

视频采集于沈丹高速公路。摄像机固定在驾驶室内，用三脚架固定。

### 4.2 硬件设备

CCD 摄像机，图像采集卡。

CPU 赛扬 1.7G，内存 256M，硬盘 80G，显存 64M。

### 4.3 设计语言

本课题使用 VC++6.0 模拟实现公路障碍识别系统。由于系统要求的实时性，本系统采用 C 语言实现。

### 4.4 系统模拟实现步骤

本课题的实现包括以下步骤：

- (1) 在高速公路采集视频；
- (2) 通过图像采集卡将视频采集为顺序的图像序列；
- (3) 针对图像序列实现课题中的各种算法。

### 4.5 实验结果

本课题算法实现在 0.1 秒之内，考虑到在投入实际应用的系统中被处理的图片可以较本课题中用于实验的图片小，所以处理的实时性完全可以保证。

在本课题中障碍分为车辆和其它运动目标。本课题对不同路段共 1000 帧包括障碍物体的图像进行了障碍检测实验。障碍物体分为两类：车辆分为一类，其它物体分为另外一类。其中，对车辆的识别率达到 92 %，对其它物体的识别率达到 85 %。

图 4.1 为课题实现的公路障碍识别系统实现界面。

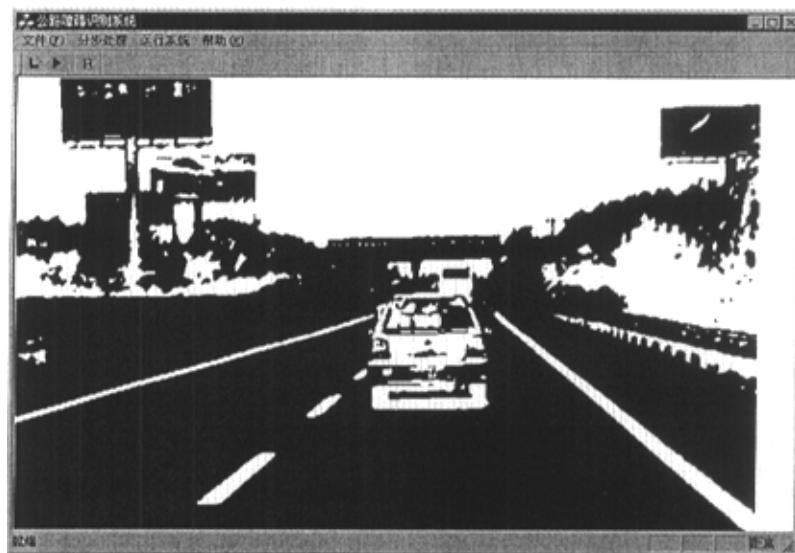


图 4.1 公路障碍识别系统界面图

## 5 结论

本人在做课题期间查阅了国内外相关文献，并分析、采用和设计了各种算法。课题完成的工作主要包括：图像预处理、背景提取、车道检测、障碍物体检测、测距、跟踪、测速。本课题实现了上述各项工作的算法，完成了对公路障碍识别系统的模拟实验。实验结果表明本课题所实现的系统具有很好的实时性和鲁棒性。

本人在公路障碍识别系统的设计上和在软件算法的实现上都做了许多积极的探索，与目前现有的公路障碍识别方面的系统相比，本课题所取得的主要成果如下：

(1) 对于图像中背景提取这一部分的实现，充分利用了车辆正前方的最近一块区域为路面的经验，并利用阈值法来提取背景值。该方法不但将处理区域缩小以提高背景提取的速度，而且可以使得提取的背景与实际的背景值最大限度的接近。

(2) 对于障碍物体识别，由于障碍物体形状的不确定性，本课题并没有应用模板匹配等传统方法进行识别，而是设计了一种检测判断窗口，用来判断障碍物体。该窗口不同于传统的依据障碍物体高、宽等参数得到的窗口，无需计算高、宽等参数值，因此简化了算法。

(3) 障碍物体在被处理的相邻两帧图像中底边位置接近，而且它在被处理的相邻两帧中的面积应该相近。很多目标跟踪实现是根据目标的高度、宽度、形心等参数确定跟踪窗口，而本课题以物体底部的宽度大于或等于某一阈值、被标记为“当前行”的行作为参考，进行跟踪窗口设定。实验证明该方法是完全可行的。

本课题在系统架构和算法实现上仍然有许多可以继续研究和改进的地方：

(1) 本课题使用的方法所实现的精度和速度可以进一步提高，这一点可以通过算法的改进来实现。

(2) 由于本课题采用的单目测距模型在具体应用中存在较大的误差，误差随着距离的增大而增加。所以应该有一种比较完善的算法或其它的方法来实现障碍物体距离的定位。

(3) 由于实验条件有限，该系统是在PC机上模拟而不是在真正的实时嵌入式系统中实现障碍物体识别、测距等功能。因此该方法实现的速度不存在标准性，在此方面需要有视觉平台给予支持。

## 参 考 文 献

- [1] 周欣, 黄席樾, 黎昱. 基于单目视觉的高速公路车道保持与距离测量. 中国图象图形学报, 2003, 8 (5): 590~595
- [2] Wendell C Lawther, Harold E Worrall, Jorge Figueiredo. Systemwide Challenges to Intelligent Transportation Systems Deployment: An Analysis of the Central Florida Experience. Review of Policy Research, 2002, 19 (2): 90~98
- [3] 王洪升, 曾连荪, 田蔚风. 人工智能在车辆自动驾驶中的应用. 自动化技术与应用, 2004, 23 (6): 5~7
- [4] 王宏, 何克忠, 张钹. 智能车辆的自动驾驶与辅助导航. 机器人, 1997 (2): 155~160
- [5] 王荣本, 游峰, 崔高健等. 基于计算机视觉高速智能车辆的道路识别. 计算机工程与应用, 2004 (26): 18~21
- [6] 邓剑文, 安向京, 贺汉根. 基于道路结构特征的自主车视觉导航. 吉林大学学报(信息科学版), 2004, 22 (4): 415~419
- [7] 张丽, 李志能. 基于阴影检测的 HSV 空间自适应背景模型的车辆追踪检测. 中国图象图形学报, 2003, 8 (7): 778~782
- [8] 徐友春, 王荣本, 李克强等. 一种基于直线模型的道路识别算法研究. 中国图象图形学报, 2004, 9 (7): 858~864
- [9] 苏开娜, 任文君, 易小琳等. 基于运动模型的道路识别与跟踪算法的研究. 中国图象图形学报, 2000, 5 (3): 226~231
- [10] 纪寿文, 王荣本, 徐友春等. 智能车辆导航路径识别的模糊神经网络方法研究. 中国图象图形学报, 2003, 8 (2): 225~230
- [11] 施树明, 储江伟, 李斌等. 基于单目视觉的前方车辆探测方法. 农业机械学报, 2004, 35 (4): 5~8
- [12] 刘卫平, 袁富国, 杨霞. 汽车夜间安全行车的视觉增强装置——车辆辅助驾驶系统. 汽车运用, 2004 (8): 24~25

- [13] 王斌. 我国率先研制成功视觉自动导航系统.  
[http://www.ntem.com.cn/kjjx4/1202\\_kj\\_1.htm](http://www.ntem.com.cn/kjjx4/1202_kj_1.htm). 2004-11-22
- [14] 杨枝灵,王开等. 数字图像获取、处理及实践应用. 北京:人民邮电出版社,2003
- [15] 徐友春,王荣本,李兵等. 世界智能车辆近况综述. 汽车工程, 2001, 23 (5): 289~295
- [16] 刘东民. 智能车辆的开发目标及方向. 陕西汽车, 1999 (2): 28
- [17] 黄涛. 数字图像的平滑. 韶关学院学报, 2004, 25 (6): 25~29
- [18] 容观澳. 计算机图像处理. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [19] 陈涛, 卜佳俊. 一种新颖的基于边缘检测的图像分割方法. 计算机工程, 2003, 29 (7): 152~154
- [20] 王保平, 范九伦, 谢维信等. 一种基于代价函数和模糊熵的图像分割方法. 光子学报, 2003, 32 (12): 1502~1505
- [21] 陈冬岚, 刘京南. 几种图像分割阈值选取方法的比较与研究. 电气技术与自动化, 2003 (1): 77~80
- [22] 舒红平, 蒋建民. 基于灰度最优阈值的图像分割方法及应用. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2003, 20 (4): 80~83
- [23] Wei Li, Goze B Benie, Dong-Chen He etc. Watershed-based Hierarchical SAR Image Segmentation. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20 (17): 3377~3390
- [24] 陈小梅, 倪国强. 基于分水岭算法的红外图像分割方法. 光电子·激光, 2001, 12 (10): 1072~1075
- [25] 汪哲慎, 李翠华. 基于目标特征的图像预处理技术. 厦门大学学报(自然科学版), 2004, 43 (4): 473~478
- [26] Chantelau, Klaus. Segmentation of Moving Images by the Human Visual System. Biological Cybernetics, 1997, 77 (2): 89~101
- [27] 赵建伟, 刘重庆. 适用于遮挡问题的目标跟踪算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15 (9): 1091~1095
- [28] 梁晓云, 曾卫明, 章品正等. 基于小波滤波器组的光流估计. 数据采集与处理,

- 2004, 19 (1): 78~81
- [29] Massimo Piccard, Tony Jan. Recent Advances in Computer Vision. Industrial Physicist, 2003, 9 (1): 18~20
- [30] Mutsumi Watanabe, Nobuyuki Takeda, Kazunori Onoguchi. Moving Obstacle Detection and Recognition by Optical Flow Pattern Analysis for Mobile Robots. Advanced Robotics, 1999, 12 (7/8): 791~816
- [31] Bart M. ter Haar Romeny. Computer Vision and Mathematica. Computing and Visualization in Science, 2002, 5 (1) : 53~65
- [32] Shan Fu, Chris Thompson. Intelligent Vision Systems for Automotive Applications. Computing & Control Engineering, 2004, 15 (4): 20~24
- [33] Azim Eskandarian, Stephane Thiriez. Collision Avoidance Using a Cerebellar Model Arithmetic Computer Neural Network. Computer-Aided Civil & Infrastructure Engineering, 1998, 13 (5): 303~314
- [34] 高浩军, 杜宇人. 中值滤波在图像处理中的应用. 电子工程师, 2004, 30 (8): 35~36
- [35] Yutaka J. Knanayama, Fariba Fahroo. A New Continuous-curvature Line/path-tracking Method for Car-like Vehicles. Advanced Robotics, 2000, 13 (7): 663~689
- [36] O. Sánchez, A. Oliero, G. Heredia. Hierarchical Fuzzy Path Tracking and Velocity Control of Autonomous Vehicles. Integrated Computer-Aided Engineering, 1999, 6 (4): 289~302
- [37] ZENG Zhi-Hong. Lane Detection and Car Tracking on the Highway. 自动化学报, 2003, 29 (3): 450~456
- [38] 马赓宇, 林学闻. 基于表面方向的障碍物检测方法. 软件学报, 2002, 13 (4): 805~811
- [39] 李丽勤, 高焕文. 一种非刚性运动目标图像跟踪的改进算法. 农业工程学报, 2004, 20 (4): 17~20
- [40] 朱志刚, 林学, 石定机. 基于重投影变换的实时障碍物检测视觉系. 计算机研究

与发展, 1999, 36 (1): 77~84

- [41] 周锐, 杨涤, 王恒霖. 复杂背景中目标图像的提取与跟踪. 系统工程与电子技术, 1997 (9): 10~13

## 附录 A 单目测距方法的相关测试数据

**表 A.1 距离测量值与实际值及误差对照表**

测量值 (m)	实际值 (m)	绝对误差 (m)	相对误差 (%)
33	33	0	0
49.2	50	0.8	1.6
68.4	70	1.6	2.3
87.7	90	2.3	2.6
97.3	100	2.7	2.7
116.5	120	3.5	2.9
135.2	140	4.8	3.4
153.4	160	6.6	4.1
171.2	180	8.8	4.9
188.2	200	11.8	5.9

## 在学研究成果

在学期间发表的论文：

- [1] 徐全生，于淼，周海华. 高级车辆控制系统中道路检测的实现方法. 沈阳工业大学学报, (录用待发)

## 致 谢

光阴似剑，硕士阶段的学习生活即将结束。在此时刻，向在我学习和生活中给予我关心和帮助的老师、同学们表示衷心的感谢。

本课题是在导师徐全生教授的悉心指导下完成的。在三年的学习实践中，徐老师言传身教，丰富的理论和专业知识以及科研工作经验，使我受益匪浅。同时，我还在生活中得到了徐老师以及师母的关心和照顾。在此向尊敬的徐老师和师母表示我衷心的感谢。

向信息学院和研究生部的各位老师对本人的培养、关心和帮助表示最诚挚的谢意。

在此，也要向在课题中给我提供帮助的各位同学表示感谢。

最后，向一直默默支持我学业的父母、家人致以崇高的敬意。