

中国海洋大学

硕士学位论文

基于视频图像的车辆阴影检测方法研究

姓名：房正华

申请学位级别：硕士

专业：计算机应用技术

指导教师：秦勃

20070601

基于视频图像的车辆阴影检测方法研究

摘 要

基于视频图像的运动车辆目标实时精确定位,目标的识别、分类及跟踪在交通管理系统中有着非常广泛的应用前景。阴影检测是运动车辆目标识别与追踪中非常重要的环节。

图像背景差分及适当的去噪处理可以实现车辆目标的分割及初步定位,但是由于阴影的存在,以及它本身固有的属性使得背景差分和去噪处理均不能将阴影完全与车体分离开,因此得到的“车辆目标”是车体本身和车辆阴影之“和”。因此阴影的存在会使目标对象的外观及形状被扭曲,这对后续的车辆精确定位、车辆关键部位的提取以及车辆分类造成很大的误差甚至错误,这也使得阴影检测成为运动车辆目标识别与追踪中非常重要的环节。

本文通过分析比较目前常用的车辆阴影检测方法,提出了一种基于移动区域的快速车辆阴影检测方法。该方法利用背景差分技术,首先根据移动区域内自适应阈值的确定以及进一步的差分比较决定需要更新的背景区域,与原图像进行背景差分获得移动目标图像。针对获取的移动目标图像进行二值化处理,并引入基于标签法的二值化图像快速去噪方法进行去噪处理。

在随后的阴影检测操作中,本文结合基于几何模型和阴影性质的两种检测方法,在以上图像预处理基础上,根据基于几何模型的方法建立阴影的粗模型,即快速确定阴影区域的粗略区域。在随后的操作中只对粗略区域内的图像采用基于HSV颜色空间的阴影检测方法进行阴影检测的分析处理,同时本文对基于HSV颜色空间的阴影检测方法本身进行了改进。

本文提出的方法在保证检测结果的准确性的前提下,大幅度地减少阴影检测过程中的计算量,而且对环境的依赖性较小,能在一定程度上消除光线、天气等环境因素的影响。通过对带有移动目标的交通图片进行实验,证明了本文算法的正确性,达到了我们的期望值,具有很好的实用性。

关键词: 背景差分, 移动区域, 阴影检测, HSV 颜色空间, 粗模型;

Research on Shadow Detection Techniques for Moving Vehicles in Video Sequences

Abstract

Video-based moving vehicle detection, location, classification, recognition and tracking have a broad application future in the Information Transportation System (ITS), while shadow detection is a very important part in the recognition and tracking of the moving vehicles.

In the vehicle location systems, background subtraction and proper de-noising treatment is the usual way adopted to implement the segmentation of the vehicle. However, due to the existence of the shadows, neither of the above operations can separate the shadows from the vehicle object, so the vehicle obtained is the sum of the real vehicle and the shadows. In a word, the shadows can modify the shape of the object, thus introducing a distortion in the object detection process. While this will cause great inaccuracy even error in the following process such as the precise positioning, the extraction of the key part and the classification of the vehicles. From this point, shadow detection is a very important part in the recognition and tracking of the moving vehicles.

By analyzing the usual algorithms for shadow detection, a new fast shadow detection approach for vehicles based on the moving region is presented in this paper. The moving region is obtained as follows: first using the background subtraction technique to extract the initial background model and determine the region that need to be updated according to the determination of the self-adaptive threshold, finally the moving region can be obtained by the subtraction between the image of the image sequence and the background. To wipe off the noises of the binary image of the moving region, a new fast de-noising method based on label is also presented in this paper.

In the following shadow detection operation, a new method combining the color-based and model-based shadow detection methods is put forward in this paper. First establish the coarse model of the shadows, then extract the coarse region of the shadows combining the coarse model and moving region obtained through the above image pre-treatment, then impose the optimized shadow detection algorithm based on the HSV color space on the coarse region of the image only.

The algorithm for shadow detection proposed in this paper can reduce the calculation amount substantially with the detection accuracy assured. Proved right and quite applicable by the experiments carried out in traffic pictures with moving objects in them, the algorithm is not sensitive to the changes in lighting and weather conditions, achieving our expectation.

**Keywords: Background subtraction; Shadow detection; HSV color space ;
Coarse model; Label-based de-noising method**

独 创 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含未获得_____（注：如没有其他需要特别声明的，本栏可空）或其他教育机构的学位或证书使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：房正华 签字日期：2007年5月27日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权学校可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：房正华

导师签字：秦勃

签字日期：2007年5月27日

签字日期：2007年5月27日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：

电话：

通讯地址：

邮编：

0 前言

与火车、轮船、飞机等相比,汽车是最为便利的、局限性最小的交通工具。社会经济的发展促使道路交通迅速发展以及汽车数量不断增加。九十年代末,随着计算机处理能力和视频技术的提高,人们利用网络带宽、计算机的高速数据处理能力和存储容量的快速提高,以及各种实用视频处理技术的实现,智能交通进入全数字化的网络时代。以网络为依托,数字视频的压缩、传输、存储和播放为核心,智能实用的图像为特色的时代,引发了智能交通领域的技术革命。智能交通系统(Intelligence Traffic System,简称 ITS)的研究被提到了重要位置。它是信息技术为代表的高新技术在道路交通运输中的集成应用,受到世界各国高度重视,发展极为迅速。其中采用计算机视觉和图像处理技术的交通流量检测,车辆识别与跟踪等应用领域的研究尤为广泛。

在ITS中交通监控系统越来越广泛地采用计算机视觉和图像处理技术的主要理由如下:1. 计算机视觉应用计算机技术从数字图像中提取高质量的信息,能高效、准确、安全可靠地完成道路交通的监控工作,提高道路、车辆的自动化程度;2. 道路交通监控系统中安装的视频摄像机比安装其它传感器更经济,且破坏性低;3. 计算机视觉得到的交通量便于联网工作,有利于实现道路交通网的监控。交通监控系统的处理过程为:由视觉传感器(CCD TV 摄像机)采集相关的数据,经计算机处理完成车辆识别、车辆和目标的跟踪和交通参数检测。

汽车数量的急剧增加和维护道路秩序的需要,以及我国的国情使得驾照考试人数急剧增加。面对新情况,现有的驾照考试的硬件设备及考核人员都受到极大的挑战。

2007年4月1日后,小型车考试将在现有的交规、桩考、路考的基础上,增加实际路面驾驶的考试项目,考核内容达13项,学员既要能在马路车流中变更车道、靠边停车,还要能够安全通过路口、人行横道线、学校区域、公共汽车站等行人集中地区。此外,20%的申领者还要加考夜间行驶技术。新增加的夜间行驶这一项目,对于学员的要求是,夜间光线不好,驾车要格外谨慎;视力要好,否则对面来车车灯一照而反光或强光的情况下,视野模糊很容易出事故。对于通过路口、学校区域、公共汽车站等新增的项目,是考查学员对于紧急情况的处理能力^[57]。

在驾照考试的实践科目桩考和路考中，桩考通过使用电子桩考仪已实现了电子化、自动化监考。这使得考官的监考工作比以前轻松了，不用像以往那样顶着烈日站在现场五六个小时观察车辆出入库情况。现在考官只要坐在监控室轻点鼠标，观察电脑监控画面就行了。只要考试车辆有碰擦桩杆、车身出线等情况，计算机都会进行提示，并自动判断成绩。大家对考试结果也不会有什么争议，不仅提高了考官的工作效率，还大大降低了其劳动强度。

据介绍，电子桩考仪的工作原理是由红外线感应器、振动传感器等传感装置来监控考试车辆的操作。使用计算机对考试过程进行判断，改变了以往由考试员肉眼观测人工桩评判考试成绩的做法，能迅速、准确、实时、公正地监控考试过程，并立即打印出考试成绩，不及格者则需要补考。使用电子桩考仪系统最大的优点是排除了人为因素，使考试结果更加准确和公正。

本文的研究主要应用在驾照考试中。在我国的大部分城市里，驾照考试中的桩考已实现了电子化，但路考仍然采用目测方法，需要大量的人力，而且可能产生误差。在这种背景下，路考的电子化的实现将大大提高驾照考试的效率，而且可用于平时的训练过程中，让学员在培训过程中有的放矢，也会大大提供学员的学习效率。

1 绪论

1.1 课题背景及关键技术发展状况

目前车辆检测的方法^[1]有很多,如感应线圈检测、红外线视频检测、视频检测、磁力计检测、微波检测、超声波检测和声学检测等。其中应用最为广泛的就是视频检测,它属于面式检测,检测范围大,提供的有效信息多,受天气、环境等各种不定因素的影响相对比较小,故障率较小,而且易于维护。

在计算机视觉,智能交通领域等,实时、准确地进行基于视频图像的运动目标检测及分割对于后续的运动目标识别及跟踪都极为重要。通常情况的运动目标的分割主要分为两大部分:图像背景的去除和运动目标阴影的检测和去除。

图像背景的去除即提取视频序列中车辆背景,其主要方法有图像差分法和光流场法,其中图像差分法又分为帧差分法和背景差分法:

1) 帧差分法

连续的图像序列中两个或三个相邻帧间采用基于像素的时间差分,并且通过阈值化来提取出图像中的运动区域。时间差分运动检测方法对于动态环境具有较强的自适应性,但一般不能完全提取出所有相关的特征像素点,在运动实体内部容易产生空洞现象。

2) 背景差分法

背景差分法已成为目标检测最常用的一种方法,它的主要思想是用当前图像与背景图像差分来检测出运动区域。其优点是位置精确、速度快,因为它只需获取当前的一幅图像。不足之处是受环境光线变化的影响,在非受控环境下需要加入背景图像更新机制,它一般能够提供最完整的特征数据,但对于动态场景的变化,如光照和外来无关事件的干扰等特别敏感。

3) 光流场法

光流(Optical Flow)是指图像中灰度模式运动的速度,是景物中可见点的三维速度矢量在成像平面上的投影,它表示了景物表面点在图像中位置的瞬时变化;同时光流场携带了有关运动和结构的丰富信息。然而由于运算量比较大,计算实时性和实用性较差。

针对阴影检测人们已经提出了许多算法,主要有两大类:基于阴影特征和基于几何模型。其中前者又分为基于阴影纹理、阴影颜色和阴影几何特征等。基于

颜色特征的方法大多是通过对比阴影下物体亮度和色彩做分析,得出背景在有阴影覆盖和无阴影覆盖下,只在亮度方面有差异,在色彩方面并无差异。在该原理的基础上,文[2]提出一种基于 HSV 颜色空间的阴影检测方法。利用相同的原理,刘勃^[3]等提出了一种基于目标颜色信息的阴影检测方法,该方法是在 RGB 颜色空间中,引入了灰度距离和色彩距离的概念,对于车辆内部的阴影的检测有一定的效果,但对于区分阴影与车体分界线的效果不是很好,不利于车辆特定部位如车轮的提取。文献[4]提出了一种利用颜色不变性进行阴影检测的方法,主要用于区分自阴影和投射阴影。基于几何模型的阴影检测方法,主要用于一些特定的领域,如航空图像的理解与分析,特定的视频检测,它需要一定的先验知识,如光照方向,场景的几何知识等,主要是基于几何特性,如点、线、三维物体模型等的匹配序列。文[5]根据阴影的方向建立模型,再将模型分割为直线,最后确立关键直线的位置,从而实现对阴影的检测。

1.2 本文的研究内容

本文主要是根据驾照考试场地的一些特殊性,获取不同时间段场地的序列视频图像,在进行图像预处理后进行阴影的检测及抑制工作,为获取车辆关键部位的精确位置奠定基础。

本文的阴影检测方法是在基于移动区域的快速自适应背景更新方法的基础上实现的。快速自适应背景更新方法将背景差分技术和背景更新机制结合起来。首先根据移动区域内自适应阈值的确定以及进一步的差分比较决定需要更新的背景区域,然后与原图像进行背景差分获得移动目标图像。随后进行初步去噪处理,得到图像的移动区域,最后对得到的移动区域进行阴影检测操作,具体操作过程如下:首先建立阴影的粗模型,确定阴影的粗略区域,在粗略区域内对阴影进行基于 HSV 颜色空间的阴影检测,并对检测到的阴影进行标记,用图像背景像素点代替阴影像素点,实现阴影抑制。另一方面,对基于 HSV 的颜色空间的阴影检测方法本身进行了改进。根据不同时间段光线的位置特点,建立经验模型,简化了原算法中的某些参数,在确保检测结果准确性的前提下,减少了计算量,提高了算法的效率。

本论文的组织如下:前言和绪论主要是概述了课题的来源、背景,对视频图

像中目标检测的各项技术进行概述和比较,对序列图像中背景提取、更新方法及阴影检测常用算法进行介绍。第二章主要概括介绍了阴影检测之前对序列视频图像进行的一系列图像预处理,主要是图像背景提取,图像背景的实时更新以及图像的去噪处理的常用方法和本文所采用的方法。第三章主要详细论述了序列视频图像中的阴影检测及抑制的主要方法,主要分为两大类:基于几何模型的和基于阴影性质的阴影检测方法。第四章在前文的基础上,详细描述了本文提出的基于移动区域的快速粗模型阴影检测方法,包括 HSV 颜色空间的阴影检测方法的基本原理及对它进行的改进、本文所采用算法的流程,及具体实现过程和实验结果。第五章总结全文,并分析有待改进之处,对未来的工作进行展望。

2 图像预处理

2.1 引言

本文的阴影检测算法是建立在移动区域的基础上,因此在进行阴影检测操作之前,需要对视频图像进行一定的图像预处理。本文的图像预处理主要有两大部分:移动区域的提取和移动区域图像去噪。其中在移动区域的提取中用到的主要技术是运动目标检测,本文采用的运动目标检测方法主要是背景差分方法,这就涉及到背景更新的问题,因此下面主要介绍四方面的内容:运动目标检测的主要方法、背景更新的主要方法、本文采用的移动区域提取的新方法以及基于标签法的快速图像去噪方法。

2.2 运动目标检测

对于获得的图像序列,我们的主要目的是抽出感兴趣的运动目标的特征,进行分析研究,通常的思路就是在保证目标突出的前提下尽可能的消除背景,目前运动目标检测主要有差分法和光流场法^[6]。其中差分法又分为连续帧间差分法^[7-9]和背景差分法^[10-18]。

运动目标检测效果的好坏直接关系到后续的运动目标识别和运动目标跟踪操作,而且也是关系到整个系统的优劣和实用性的关键。一个好的运动目标检测算法,应该能适用于所监视的各种环境。通常一个优秀的运动目标检测算法应具有以下的特征:

- 不依赖于摄像头的安装位置;
- 在各种天气条件下应是鲁棒的;
- 对环境光线的变化应是鲁棒的;
- 应能够处理杂乱无章的大面积区域的各种运动,以及视场内目标的叠加;
- 能适应场景中个别物体运动的干扰,如树木的摇晃,水面的波动;

人们总是希望能有一个能适用于监视各种各样环境,能够满足各种要求以及普遍适用的一个运动目标检测算法,但是实际应用中要达到这样的要求是十分困难的,因为实际应用中不但要考虑到算法要尽量适用于多种环境,而且一般还要在算法的复杂度、可靠性,以及实时性等诸多方面折中考虑。

通常情况下，运动目标检测的算法可以按照被监视场景是室内还是室外分为室内监测算法和室外监测算法，具体来讲，一个室内监视算法相比于室外监视算法，它所处的环境条件变化较小，因而相对易于设计，其监视内容，主要是人以及场景中的物品；而室外监视算法要面临天气变化、个别物体的干扰(如树叶、水面等)，其监视内容可以是任何目标，包括车辆、人等，因而在设计室外监视算法时要考虑到这些因素的影响。

2.2.1 连续帧间差分法

对于许多应用来说，检测图像序列中连续帧图像的差异是非常重要的步骤。场景中任何可观察的运动都会体现在场景图像序列的变化上，如果能检测这种变化，就可以分析其运动特性。进一步，如果目标的运动限制在平行于图像平面的一个平面上，则可以得到目标运动特性定量参数得很好估计。

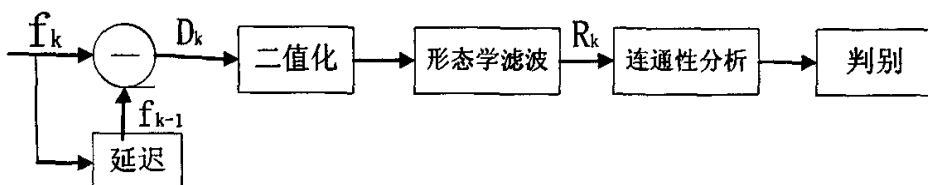


图 2-1 相邻两帧图像差分法基本原理流程

连续帧间差分法可分为相邻两帧图像差分和连续三帧图像差分，本节主要介绍相邻两帧图像差分法。相邻两帧图像差分法的基本运算过程如图 2-1。首先，利用公式 2-1 计算第 k 帧图像与第 $k-1$ 帧图像之间的差别，得到差分后的图像 D_k ，然后对差分后图像 D_k 使用图像分割算法(公式(2-2))进行二值化处理，即认为当差分图像中某一像素的差大于设定的阈值时，则认为该像素是前景像素(检测到的目标)，反之则认为是背景像素。在对差分图像 D_k 二值化后还可以使用数学形态学对其进行滤波处理，然后得到图像 R_k ，最后对图像 R_k 进行区域连通性分析，当某一连通的区域的面积大于某一给定阈值，则成为检测目标，并认为该区域就是目标的区域范围，就可以确定目标的最小外接矩形。

$$D_k(x, y) = |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| \quad (2-1)$$

其中 $f_k(x, y), f_{k-1}(x, y)$ 为连续两帧图像； $D_k(x, y)$ 为帧差图像。

$$R_k(x, y) = \begin{cases} 0(\text{Background}) & D_k(x, y) > T \\ 1(\text{Foreground}) & D_k(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2-2)$$

其中 T 是二值化设定阈值。

基于连续帧间差分法的运动目标检测其主要优点是^[19]

- 算法实现简单
- 程序设计复杂度低
- 易于实现实时监视
- 由于相邻帧的时间间隔较短，因此该方法对场景光线的变化不太敏感，

受目标阴影的影响也不太大，可以讲连续帧间差分法对动态环境有较好的适应性。

然而，这种方法在使用过程中还存在两个问题^[19]：一是两帧间目标的重叠部分不容易检测出来，即只检测出目标的一部分；二是它不能检测静止车辆，且处理效果与图像采样频率以及被检测车辆的车速有关。

2.2.2 背景差分法

为了消除连续帧间差分法所存在的两个问题，改善检测效果，发展了背景差分法。

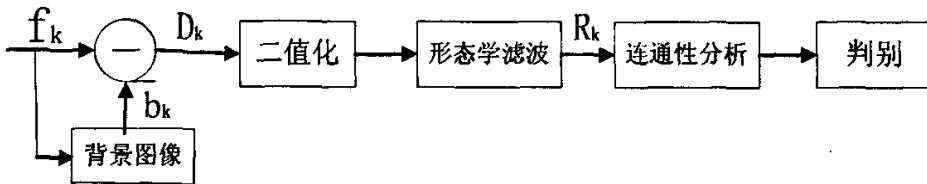


图 2-2 基本背景差分法原理流程

背景差分就是选取一帧作为参考图像，用当前帧和参考图像做差，参考图像选择适当，能够较准确的分割出运动物体。理想情况下，背景静止，具有运动目标的图像除了运动目标区域的像素值发生变化，其余属于背景，这种情况智能交通的监控场景中是不存在的，大部分情况下，背景是一个渐变的过程，所以该方法的关键是选择合适的图像作为背景，并且根据不同的情况不断的迅速更新，即增加自适应性。

其基本运算过程如图 2-2 所示：首先利用公式(2-3)计算背景图像 b_k 与当前帧图像 f_k 的差，然后依据公式(2-4)对差分图像 D_k 进行二值化和形态学滤波处理，

并对所得结果 R_k 进行区域连通性分析, 当某一连通的区域的面积大于某一给定闭值, 则成为检测目标, 并认为该区域就是目标的区域范围, 就可以确定目标的最小外接矩形。

$$D_k(x, y) = |f_k(x, y) - f_{bk}(x, y)| \quad (2-3)$$

其中 $f_k(x, y), f_{bk}(x, y)$ 为连续两帧图像; $D_k(x, y)$ 为帧差图像。

$$R_k(x, y) = \begin{cases} 0(\text{Background}) & D_k(x, y) > T \\ 1(\text{Foreground}) & D_k(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2-4)$$

其中 T 是二值化设定阈值。

基于背景差分的运动目标检测虽然较连续帧间差分法可以提取出更为完整的目标图像, 但所采集到的背景图像随着时间的推移, 会对光照和外部条件造成的场景变化比较敏感, 会出现许多伪运动目标点, 影响到目标检测的效果。

2.2.3 光流法

基于光流方法的运动检测采用了运动目标随时间变化的光流特性。所谓光流是指图像中灰度模式运动的速度; 它是景物中可见点的三维速度矢量在成像平面上的投影, 它表示了景物表面点在图像中位置的瞬时变化; 同时光流场携带了有关运动和结构的丰富信息。根据灰度守恒假设, 用泰勒公式展开, 并忽略二次项和高阶项, 便可得到光流场的基本方程如式(2-5) :

$$uI_x + vI_y + I_t = 0 \quad (2-5)$$

式(2-5)中 I_x 、 I_y 和 I_t 分别为对 x 方向, y 方向和时间 t 的导数, (u, v) 为该点的光流。

该方法的优点是在摄像机运动存在的前提下也能检测出独立的运动目标, 光流法能够很好的工作于静态背景和动态背景两种不同环境, 有较好的适应性, 但是这种方法计算复杂度高, 处理数据过于庞大, 运算时间开销很大且对噪声比较敏感, 因此这种方法的实时性以及实用性比较差, 很难满足运动车辆实时检测的要求。

2.3 背景更新方法

在基于视频图像的运动目标检测算法中,如果采用图像背景差分法来进行目标检测,则背景的及时更新就会成为算法成功的关键。因为在监视过程中,由于室外光照强度和方向的经常变化,以及一些不可预测的天气状况的突然变化,背景图像都会发生变化,对此应采取相应的背景图像更新策略。背景模型的更新策略是背景模型设计中最关键的技术之一,在背景更新时遵循以下两条原则:

(1) 背景模型对背景变化的响应速度要足够快,背景的变化可能是由光照变化等因素引起的背景本身颜色的变化;也可能是背景区域的变化,如前景和背景的相互转化。如果背景模型不能迅速跟上实际背景的变化,检测结果中就会出现大范围的噪声或者不合理的长时间静止前景物体。

(2) 背景模型对运动目标要有较强的抗干扰能力。为了及时跟踪天气条件的变化,本文在每次运动目标分割完后对当前图像和背景图像都进行一次背景更新。

目前大多数算法所采用的方法是通过将当前帧和固定的背景相减来获得差分图像,这种方法的前提是图像序列的背景是固定不变的,因而它能十分有效地检测出快速和缓慢运动、甚至是静止的非背景的目标。但是这种方法对背景的变化敏感,当背景光照发生变化时,如果不能及时的更新背景图像将产生错误的检测结果,因此对于长时间的目标检测来说,背景的光照必然时随时间变化的,必须采用自适应地估计和更新当前背景的方法^[20-23]。

2.3.1 统计学背景模型

理论上讲,所谓静止的“背景”就是在图像序列中灰度(颜色)不发生变化或变化很小的像素;而从统计学的角度来看,背景中像素的灰度值可以看作是一个统计的结果,即图像序列中各个像素在统计上最可能出现的值。这样我们就可以建立背景更新的统计学模型^[20],定义 t 时刻的背景图像 $B_t(x, y)$ 为:

$$B_t(x, y) = \cup(I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-(n-1)}(x, y)) \quad (2-6)$$

其中 $\cup(\bullet)$ 为更新函数, $I_k(x, y)$ 为 k 时刻所采集到的图像, n 为用来估计背景的背景图像序列的长度。考虑采样时间间隔为 Δt , 则统计的时间为 $n\Delta t$ 。

为了提高更新的效果可以在公式(2-1)中加入上一次得到的估计结果 B_{t-1} ，并给以一定的权重 w_b ，这样得到，

$$B_t(x, y) = \cup(I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-(n-1)}(x, y), w_b B_{t-1}(x, y)) \quad (2-7)$$

在这个统计模型中，选取不同的更新函数 $\cup(\bullet)$ ，就可以得到不同的背景更新的算法^{[20][23-26]}。这其中最简便和直观的方法就是选择均值函数作为更新函数，称为“序列均值法”^{[20][25][26]}，公式(2-2)变为，

$$\begin{aligned} B_t(x, y) &= Mean(I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-(n-1)}(x, y), w_b B_{t-1}(x, y)) \\ &= \frac{1}{n+1} \left(\sum_{i=0}^{n-1} I_{t-i}(x, y) + w_b B_{t-1}(x, y) \right) \end{aligned} \quad (2-8)$$

这种方法估计出的背景图像在静止的区域与真实的背景相似度比较高，而在包含运动的区域就与真实背景产生偏差。这种方法适用于目标数量少且连续运动而且背景在大部分时间是可见的情况，而对于监测场景中有大量的运动物体，特别是它们运动缓慢的情况，这种方法估计的背景就会有比较大的偏差了。通常，采用这种方法时，为了保证能有比较小的估计偏差，需要对很长的图像序列进行平均。

另一种“序列众数法”^{[23][24]}，则是选择众数函数作为更新函数 $\cup(\bullet)$ ，即

$$B_t(x, y) = Mode(I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-(n-1)}(x, y), w_b B_{t-1}(x, y)) \quad (2-9)$$

也就是认为像素点在图像序列中最可能出现的值为最大的概率分布，并将其作为背景。这种方法是统计学模型算法中最精确的一种，但是它的计算量和所消耗的存储空间都很大，而且需要很大的 n 值才能得到统计意义上的概率分布，因此需要很长的时间序列来更新图像。这些缺点大大限制了这种方法的应用。

在实际应用中，经验表明，当 n 比较小时，一种很好的折衷方法就是选择中值函数作为更新函数，

$$B_t(x, y) = Median(I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-(n-1)}(x, y), w_b B_{t-1}(x, y)) \quad (2-10)$$

为了进一步提高背景更新的统计模型的性能，不少文献提出了一些改进的方法。Lai 等在文献[23]中提出了一种“记分板”的方法，仅对于图像中灰度变化小于某一阈值的像素采用均值法进行更新，大大提高了算法的效率。

Cucchiara 等在文献[20]中将运动目标检测的结果反馈到背景更新算法中, 有选择性地仅更新不含有运动目标的背景,

$$B_t(x, y) = B_{t-1}(x, y), \text{ if } I_t(x, y) \in MVO^k, \text{ and } OF^k > TH \quad \text{for any } k$$

$$= \text{Median}(I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-(n-1)}(x, y), w_b B_{t-1}(x, y)) \quad \text{otherwise} \quad (2-11)$$

其中, MVO^k 是检测到的第 k 个运动物体, OF^k 是其对应的光流值(即运动速度)。方法对于那些属于真正的运动物体的像素点不进行更新, 而对于其他的像素点采用中值法进行更新。这种方法提高了算法的速度, 大大降低了参数存储的空间。这种方法需要计算光流值, 而光流的计算往往容易受噪声的干扰, 这样算法的稳定性就会受到影响。

2.3.2 背景的混合高斯模型

混合高斯模型之所以能用来进行场景背景建模与运动前景分割, 检测运动目标, 就是根据像素点各像素值出现频率的不同, 以及和混合高斯模型中高斯分布匹配频率的不同, 来不断更新各个高斯分布的参数, 训练学习各高斯分布的权重、均值、方差等参数, 使背景像素值收敛于一个或几个高斯分布, 再根据参数把所有分布进行分类, 从而实现像素值的聚类、识别与运动目标分割。

Stauffer 等在文献[27]中建立了一种混合高斯分布的背景模型。在这个模型中, 图像中的每一个像素点都被看作是一个过程,

$$\{X_1, \dots, X_t\} = \{I(x_0, y_0, i) : 1 \leq i \leq t\} \quad (2-12)$$

对每一个像素点建立一个由 k 个高斯分布组成的混合高斯模型,

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^k \omega_{i,t} * \eta(X_t, \mu_{i,t}, \sum_{i,t}) \quad (2-13)$$

其中, $\omega_{i,t}$ 为 t 时刻第 i 个高斯分量的权重, $\eta(X_t, \mu_{i,t}, \sum_{i,t})$ 是 t 时刻第 i 个高斯分量的概率密度函数。

将新的时刻采集到的像素值与当前的 k 个高斯分布进行比较, 从而得到最佳的匹配, 并更新混合高斯模型的参数。算法通过对于各高斯分布的比较可以得到背景的分布, 而那些不属于背景分布的像素则被判断为前景。

混合高斯模型已经广泛应用于鲁棒的复杂场景背景建模, 可以处理由于背景

的来回运动而使灰度分布呈现多峰的像素，特别是在有微小重复运动的场合，如摇动的树叶、灌木丛、旋转的风扇、海面波涛、雨雪天气、光线反射等。基于像素的混合高斯模型对多峰分布背景进行建模很有效，能适应背景的变化(如光线渐变)，并能基本满足实际应用中对算法的实时性要求。这种方法需要对每一个点都用一个模型来描述，因此算法的计算量大，存储的参数多，不利于实际应用。

2.4 基于移动区域的快速自适应背景更新方法^[28]

背景图像的实时更新是基于背景差分提取运动目标的关键。由于天气、光照等条件的影响，视频图像的背景会不断的发生变化，因此背景图像必须不断更新。

本文提出的基于移动区域的快速自适应背景更新方法的基本流程如图 2-3 所示，主要包括以下三步：

- (1) 首先利用叠加求平均值的方法提取背景模型 BM(Background Model);
- (2) 其次利用二值化图像求取移动区域 MR(Moving Region);
- (3) 然后分别对输入的当前帧 CI(Current Image)的和当前背景 CB(Current Background)的 MR 进行计算，通过差分比较决定需要更新背景的区域，并利用瞬时背景 IB(Instantaneous Background)和当前背景 CB 的加权平均来获取下一帧图像的背景。

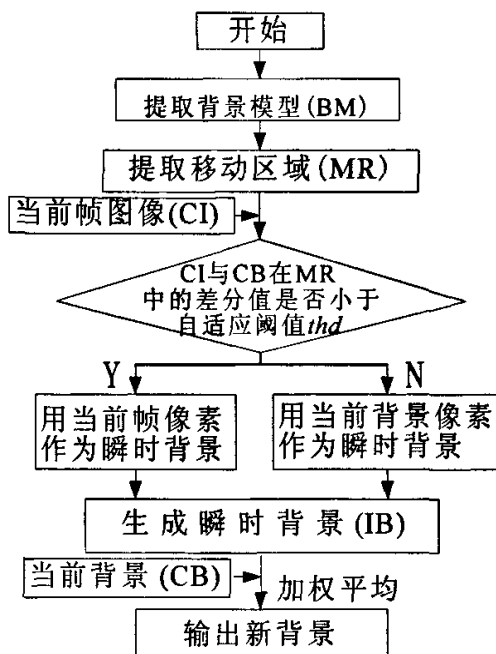


图 2-3 背景图像自适应更新流程图

2.4.1 基于高斯模型的自适应阈值确定

阈值的选取是背景差分法的关键，阈值选取的是否得当将直接影响差分图像中噪声的多少。如果噪声过多就会对后续的处理造成麻烦，甚至导致系统崩溃。对此，有人提出采用基于灰度直方图的自适应确定阈值方法。该方法是根据当前每帧图像所对应的直方图峰值，在灰度值增强的方向搜索到一个比峰值明显低的值（一般为峰值的 5%~10%），该值即作为处理当前图像的阈值。当物体边缘的灰度值与背景的灰度值相接近时，这种方法易造成运动物体的边缘有腐蚀的现象。本文采用一种基于高斯模型的自适应阈值确定方法，实验证明该方法对光线的变化不敏感，能分割出较完整的目标区域。

基于高斯模型拟合的阈值自适应确定法^[29-32]是一种基于直方图的物体分割方法。它基于一种假设：两个灰度图像差分得到的直方图可以用三个 Gauss 模型拟合。本文采用将基于彩色图像差值模型 I_D 得到的图像引入基于高斯模型拟合的阈值自适应确定方法。

彩色图像差值模型 I_D 定义如下：

$$I_D(x,y)=\max \{ |R_b(x,y)-R_k(x,y)|, |G_b(x,y)-G_k(x,y)|, |B_b(x,y)-B_k(x,y)| \} \quad (2-14)$$

式中 $R_b(x,y)$ 、 $G_b(x,y)$ 、 $B_b(x,y)$ 分别为当前背景图像某一像素的 R、G、B 三基色值； $R_k(x,y)$ 、 $G_k(x,y)$ 、 $B_k(x,y)$ 分别为当前帧图像某一像素的 R、G、B 三基色值。该差值图像的形成充分利用了颜色信息，可有效提高目标检测区域的完整性。

根据基于彩色图像差值模型 I_D 得到的图像，定义其混合概率密度函数如下：

$$P(d) = P_1(d) + P_2(d) + P_3(d) \quad (2-15)$$

式中 $p_i(d)$ 为第 i 个 Gauss 模型的概率密度函数，定义如下：

$$P_i(d) = \frac{\omega_i}{\sqrt{2\pi}\delta_i} \exp\left[-\frac{(d-\mu_i)^2}{2\delta_i^2}\right] \quad i = 1, 2, 3 \quad (2-16)$$

式中 ω_i 是灰度值属于第 i 部分的像素数的百分比， μ_i 是第 i 部分的平均灰度值， δ_i 是第 i 部分的平均方差。

根据基于差值模型 I_D 得到的图像，定义其直方图概率函数如下式：

$$ave(d) = \frac{1}{n} sum(d), \quad d \in [0, 255] \quad (2-17)$$

式中 n 为图像的灰度值的范围 ($n=256$), $\text{sum}(d)$ 表示灰度值为 d 的像素个数。准则函数定义如下:

$$e = \frac{1}{n} \sum_{d=0}^{255} [P(d) - \text{ave}(d)]^2 \quad (2-18)$$

使式(2-18)取最小值的灰度值 d 即为所求的阈值, 并把它当作新的阈值。

2.4.2 背景提取

背景提取包括提取背景模型和移动区域, 即本文在背景提取的预处理阶段只做背景模型提取和移动区域求取。虽然求取背景图像和移动区域的计算量较大, 但作为图像预处理只需计算一次, 在以后的计算中可以重复利用, 并且只需计算移动区域, 这样可以大大减少以后的计算量。

其中背景提取是整个试验中的第一步。本文采用叠加求平均值^[29]的方法提取背景模型, 具体原理可用(2-19)式表示。

$$BM(x, y) = \frac{\sum_{m=1}^n \text{PriImg}_m(x, y)}{n} \quad (2-19)$$

式(2-19)中, $BM(x, y)$ 表示背景图中点 (x, y) 位置的像素值。 $\text{PriImg}_m(x, y)$ 表示预处理图片中第 m 帧图中点 (x, y) 位置的像素值。

实验表明, 一般选取 100 张图片进行叠加提取背景, 就能取得很好的效果。

2.4.3 求取移动区域

在实时交通图像序列中, 一组图片的背景可分为固定区域 SR(Stationary Region)和移动区域 MR 两部分。本文提出只在移动区域内进行背景更新和运动物体分割的计算。多数情况下, 只需在图像中的交通道路区域进行计算处理。

在提取了背景区域后, 对各预处理图片进行二值化处理。本文采用的是自适应确定阈值方法, 阈值 threshold 由(2-18)式确定, 二值化处理如(2-20)、(2-21)式。

$$\text{ImgDif}_m(x, y) = | \text{PriImg}_m(x, y) - BM(x, y) | \quad (2-20)$$

$$E_m(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{ImgDif}_m(x, y) \leq \text{threshold} \\ 1 & \text{ImgDif}_m(x, y) > \text{threshold} \end{cases} \quad (2-21)$$

其中 $ImgDif_m(x,y)$ 为预处理第 m 帧与背景帧的差分值, $E_m(x,y)$ 为第 m 帧图像在点 (x, y) 处的二值化值。

根据以上计算得到的 n 帧二值化图像求取去除固定不变区域的移动区域 MR, 定义函数 $MR(x, y)$ 如下式:

$$MR(x, y) = \begin{cases} 0 & \bigcup_{m=1}^n E_m(x, y) = 0 \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (2-22)$$

对应于 $MR(x,y)$ 为 1 的区域即为移动区域。

2.4.4 自适应背景模型的确定与更新

由于当前帧图像中包含运动目标, 因此在背景更新之前必须先对当前帧图像按照公式(2-23)、(2-24)进行分类: 前景和背景, 利用当前帧图像中的背景更新当前背景图像。

具体做法为: 在提取的背景模型基础上, 对输入的第 t 帧图像, 计算其 MR 中每个像素 $CI_t(x,y)$ 与当前背景的 MR 中每个像素 $CB_t(x,y)$ 的差值, 如果差值小于阈值 thd , 则像素 $CI_t(x,y)$ 属于背景, 此时用该像素的值 $CI_t(x,y)$ 作为瞬时背景中对应的像素值; 否则该像素属于前景物体, 用当前背景像素值 $CB_t(x,y)$ 作为瞬时背景中对应的像素值。然后再用瞬时背景和当前背景的加权平均得到的图像作为下一帧的背景。

$$CurImgDif_t(x,y) = | CI_t(x, y) - CB_t(x, y) | \quad (2-23)$$

式中 t 从 0 开始计算, 在 $t = 0$ 时 $CB_t(x,y)$ 为初始提取背景帧 $BM(x, y)$, thd 为当前图像进行二值化时的阈值, 由(2-18)式确定。

$$D_t(x,y) = \begin{cases} 0 & CurImgDif_t(x, y) \leq thd \\ 1 & CurImgDif_t(x, y) > thd \end{cases} \quad (2-24)$$

$D_t(x,y)$ 为一个目标因子, 决定当前帧中哪些像素被用来更新当前背景, 按照公式(2-25)获取的背景称为瞬时背景 $IB_t(x,y)$, 再按照公式(2-26)利用瞬时背景和当前背景的加权平均获取当前新的背景。

$$IB_t(x, y) = \begin{cases} CI_t(x, y) & D_t(x, y) = 0 \\ CB_t(x, y) & D_t(x, y) = 1 \end{cases} \quad (2-25)$$

$$CB_{t+1}(x,y) = \alpha * IB_t(x,y) + (1-\alpha) * CB_t(x,y) \quad (2-26)$$

式中： α 是一个权重因子，其设置将影响其背景的更新速度。通过大量的实验发现， $\alpha=0.1$ 最合适。

2.5 基于标签法的快速去噪处理

目前差分图像的去噪处理一般是运用数学形态学去噪^[31-34]、中值滤波去噪或者小波去噪。这样处理后能达到一定的效果，但是仍然存在斑点，特别是在运动目标内部经常出现斑点。经过大量试验发现，一幅二值化后的图像大部分是背景，设为白色；并且这些白色大部分是相连在一起的，只有一小部分在黑色块中，这些小白色块就是所谓的斑点。为了去除这些斑点，本文提出一种基于标签法的快速去噪处理方法。具体做法是：初始化时把大白色背景块设置为 1，黑色区域设置为 2，黑色区域中的白色块设置为 4，然后把标签为 4 的区域改为 2。此时标签为 1 的区域为背景，标签为 2 的区域为运动物体，这样就达到了去噪效果。这种方法计算量小，能满足实时性和快速性的要求。

实验证明该方法能够快速去除运动目标内部的噪声，使检测效果更好。如图 2-4 和图 2-5 所示，其中两图的(a)图均视频图像中两帧图像经过背景提取后得到的移动区域图像，很容易可以看出图中分布着许多大大小小的噪声，(b)图为采用基于标签法的图像快速去噪方法处理后得到的图像，很明显，(a)图中的噪声都被去除了，包括车体内部的许多空洞。

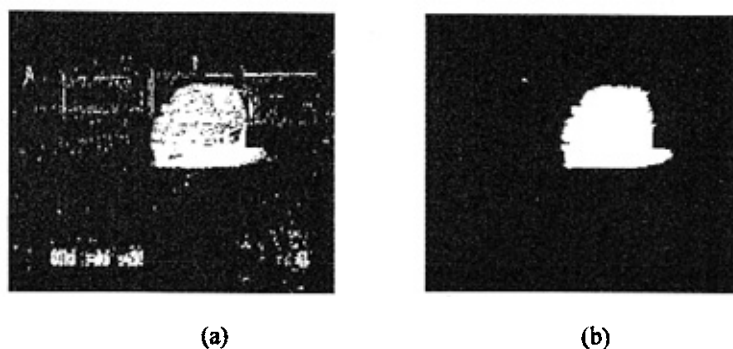


图 2-4 去噪处理实验结果 1

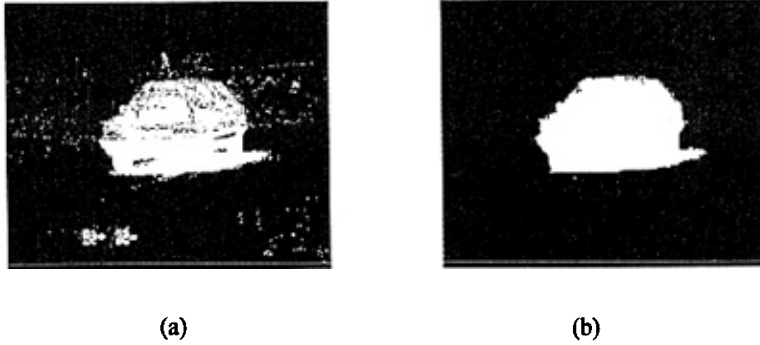


图 2-5 去噪处理实验结果 2

2.6 本章小结

本章主要介绍了进行阴影检测操作前所进行的一些图像预处理操作，为下面所进行的阴影检测及去除操作奠定基础。首先介绍了运动目标检测的各种常用方法；然后介绍了背景更新的常规方法；接着详细介绍了本文采用的基于移动区域的快速自适应背景更新方法，主要分为三部分，背景提取，求取移动区域和自适应背景模型的确定；最后简单介绍了基于标签法的图像快速去噪方法及实验结果。

3 阴影检测算法研究

3.1 引言

前文所描述的图像预处理：移动区域的提取和图像的去噪处理可以将本文中的运动目标—车辆有效地分割出来。其中前者可以将车辆和背景有效地分离开来，实现运动目标的初步分割，同时本文在移动区域提取时采用的背景的实时更新机制可以排除环境变化所引起的误差甚至错误，弥补背景差分法的不足。此外本文采用的基于标签法的图像快速处理去噪方法进行的去噪处理可以排除某些突发情况和反复情况的影响，如光线突变（云层遮挡太阳），摇动的树枝等不可避免的实际情况。

在现实世界里，无论是白天还是黑夜，室内还是室外，大多数情况下，物体总是和它的影子在一起，而且以上的一系列图像预处理操作都无法成功分割序列视频图像中的运动目标和目标所投射的阴影，无法消除阴影的影响。这都是由阴影的固有属性造成的。首先，阴影的颜色属性和图像背景差别很大，二是阴影和目标一样一直处于运动的状态，而且在位置方面阴影总是和投射它的物体相连，因此阴影点会和前景点一样被误认为是运动目标点，而被保留了下来。如果不对阴影进行检测以进行阴影抑制操作，会造成目标的合并、几何变形，甚至丢失，将无法对运动目标进行准确地识别、定位。

在本文中，阴影检测的效果的好坏直接影响到车辆关键部位的一轮胎位置的获取，进而影响到整个系统的成败。如何更好得把经过预处理的图像中的运动目标和阴影分离开来已成为国内外学者研究的热点问题，也是本文的研究重点和讨论内容的关键。

本文首先介绍了阴影的物理属性，而阴影中最重要的属性就是它的颜色特性，在阴影检测中要表达阴影的颜色特性就需要选好颜色模型，因此随后又介绍了当前常用的颜色模型，最后文章重点分类介绍了当前阴影检测的常用算法。

3.2 阴影的物理属性

阴影是由于目标阻塞了光源的直接照射而在场景上形成的暗区域。没有被照亮的部分目标被称为自身阴影(self-shadow)，而由目标投射在场景中的区域则被

称为投射阴影(cast-shadow)。如果目标正在运动,投射阴影则可称为运动投射阴影^[36-37](moving cast shadow),如图 3-1 所示,否则,被称为静止阴影(still shadow)。在阴影检测中,我们需要检测的主要是运动投射阴影,而自身阴影一般为物体的一部分,或可假设为物体的一部分,如下图所示,而且由于背景的实时更新,静态阴影被建模为图像背景的一部分,因而不会影响运动目标的检测,同样也不会影响到后续的目标识别和分类操作。

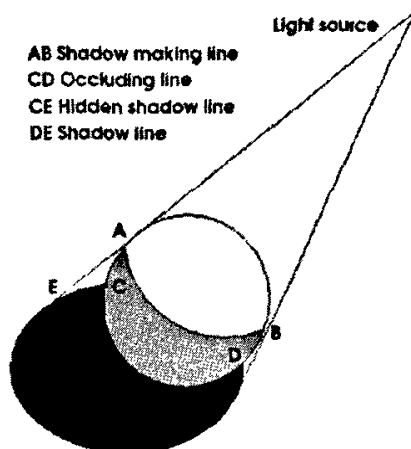


图 3-1 物体阴影(图片摘自文献[4])

对于阴影一般有以下假设^[37]:

- a) 阴影是暗的但不显著改变所覆盖背景的颜色和纹理。
- b) 阴影总是和投射阴影的目标相关联,是那个目标的行为。
- c) 阴影形状是目标形状在背景上的投影。
- d) 光源的位置和强度是已知的。
- e) 阴影边界趋向于根据阴影被投射的表面的几何形状来改变方向。

基于支撑阴影形成的物理基础,能用公式来表示阴影检测算法。该基础始于 Kubelka-Munk 理论^[38],它假设白色光照明(即对每一个波长,具有照明光谱常数)和粗糙的表面(即具有接近 0 的非涅耳反射系数),我们能用下面等式模拟一点的表现:

$$I_k(x, y) = E_k(x, y)\rho_k(x, y) \quad (3-1)$$

这里, I_k 是在时刻 k 坐标 (x, y) 处像素点的图像亮度。 $\rho_k(x, y)$ 是目标表面的反射系数, $E_k(x, y)$ 是辐射度,即表面每单位面积接收的照明能量的数量。这个值能

通过 Phong 模型推导得出, 此模型具有以下假设: 光源远离目标, 光源与表面之间的距离是常数, 光源发出平行光线并且观测点是固定的。在这种状况下, 辐射度 $E_k(x, y)$ 能被近似为:

$$E_k(x, y) = \begin{cases} C_A + C_p \cos \alpha & \text{如果被照亮} \\ C_A & \text{如果被阴影覆盖} \end{cases} \quad (3-2)$$

这里, C_A 和 C_p 分别是周围环境光线和光源的强度, α 是光源方向与目标表面法线方向之间的夹角。

阴影的几何属性根据投射阴影的物体的大小、位置、光照强度、光线照射角度的不同而不同。因此物体所投射的阴影多种多样, 形态各异。

3.3 常用颜色模型介绍

基本上, 人类和某些动物接收的物体的颜色是由物体的反射光的性质决定的, 一个物体反射的光如果在所有可见光范围是平衡的, 那么对于观察者来说它显示白色。然而, 若物体对有限光的可见光谱范围反射, 则物体呈现某种颜色, 因此物体呈现的颜色不仅取决于光源特性以及物体表面的物理、化学性质。彩色模型(也称彩色空间或者彩色系统)是在某些标准下用通常可以接受的方式简化彩色规范, 是指某个三维颜色空间中的一个可见光子集, 它包含某个颜色域的所有颜色。本质上, 彩色模型是坐标空间和子空间的规范, 位于系统中的每种颜色都由单个点来表示, 它的用途是在某个颜色域内方便地指定颜色, 由于每一个颜色域都是可见光的子集, 所以任何一个颜色模型都无法包含所有的可见光。彩色科学是一个包括许多应用场合的很宽的领域, 为了对颜色进行正确合理的应用、测定、描述和评价, 人们建立了许多颜色模型, 每个颜色模型都各有特点。本小节中, 我们除了讨论 RGB 颜色系统, 还要介绍常见的 HIS、YUV (或者 YIQ)、YCbCr、CMY (CMYK)、Luv、HSV 等几种常用的颜色系统^[35-36]。

(1) RGB 颜色系统

RGB 颜色模型通常用于彩色阴极射线管等彩色光栅图形显示设备中, 在该模型中, 每种颜色出现在红、绿、蓝的原色光谱分量中, 这个模型基于笛卡儿坐标系统, 所考虑的彩色子空间是如图 3-2 所示的单位立方体(为了方便起见, 假

定所有的颜色值都归一化处理)。彩色数字图像中的每个像素点分别对应于三字的 R、G、B 值。

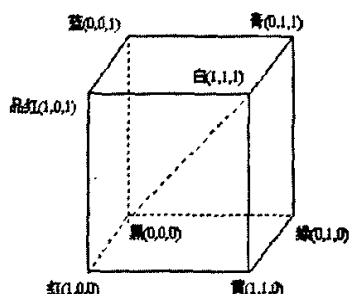


图 3-2 RGB 彩色立方图示意图

(2) YUV 与 YIQ 颜色系统

人眼对彩色细节的分辨能力远比对亮度细节的分辨能力低,通常把 RGB 空间表示的彩色图像变换到 YUV 或者 YIQ 颜色空间。YUV 颜色模型便于在彩色图像和灰度图像之间转换。每一种彩色空间都产生一种亮度分量信号和两种色度分量信号,而且亮度信号(Y)和色度信号(U、V)是相互独立的。彩色电视信号中采用 YIQ 或者 YUV 空间一是为了兼容黑白电视,二是为了实现压缩,方便传输。YUV 或者 YIQ 空间相当于对 RGB 空间做了一个解相关的线性变化,每一种变换使用的参数都是为了适应某种类型的显示设备。从 RGB 格式到 YUV 和 YIQ 格式转换公式为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & -0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

(3) HIS 颜色系统

这种模型用 H、S、I 三参数描述颜色特性,其中 H 定义颜色的波长,称为色调;S 表示颜色的深浅程度,称为饱和度,是指色环的圆心到彩色点的距离,在环的周围上的颜色称为饱和色,其饱和度为 1,在中心点饱和度位 0;I 表示强度或亮度,它反映了像素的整体亮度。其中, I 分量与图像的彩色信息无关;其

二, H 和 S 分量与人感受颜色的方式是紧密相连的。HSI 模型中的各分量定义见图 3-3 中所示的双棱锥中, 其中每个横截面如图 3-4 所示。对其中的任 1 个色点

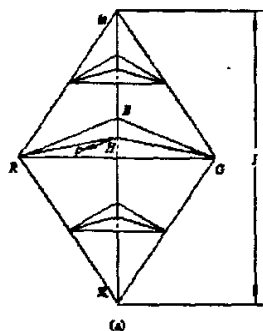


图 3-3 HIS 颜色双棱锥颜色模型

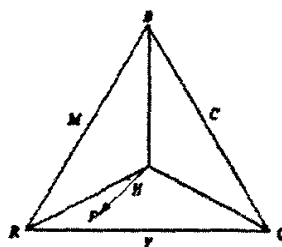


图 3-4 HIS 颜色模型

P , 其 H 的值对应指向该点的矢量与 R 轴的夹角。这个点的 S 与指向该点的矢量长成正比, 越长越饱和。它们是颜色所固有的并且是截然不同的属性, 此方式反映了人们观察彩色的方式, 同时有利于图像的处理。从 RGB 到 HIS 的转换公式为:

$$H = \begin{cases} \theta & \text{若 } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{若 } B > G \end{cases} \quad (3-5)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\left[(R-G)^2 + (R-B)(G-B) \right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (3-6)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (3-7)$$

(4) YCbCr 颜色系统

YCbCr 色彩系统也是一种常见的色彩系统, JPEG 采用的色彩系统正是该系统, 它是由 YUV 颜色空间派生的一种颜色空间, 主要用于数字电视系统中, 其中 Y 还是指明视度, 而 Cb 和 Cr 是将 U 和 V 做少量的调整而得到的, 从 RGB 色彩系统到 YCbCr 色彩系统的对应关系如 (3-8):

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 & 0 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 & 128 \\ 0.5000 & -0.4187 & 0.0813 & 128 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

(5) CMY (CMYK) 颜色系统

CMY 模型 (Cyan Magenta Yellow) 是采用青、品红、黄色 3 种基本颜色按

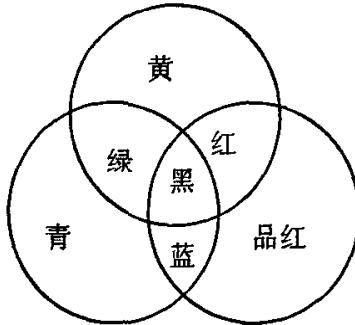


图 3-5 CMY 模型 (减色法混合模型)

一定比例合成颜色的方法。CMY 模型又称为减色法混色模型 (如图 3-5)，因为色彩的显示不是直接来自于光线的色彩，而是光线被物体吸收掉一部分之后反射回来的剩余光线所产生的，光线都被吸收时成为黑色，当光线都被反射时成为白色。CMY 颜色模型是面向硬件的，静电或喷墨绘图仪、打印机、复印机等硬拷贝设备将颜色画在纸张上时，使用的就是 CMY 颜色系统。在彩色立方体中它们是红、绿、蓝的补色，称为减色基，而红、绿、蓝称为加色基。在 CMY 模型中，颜色是从白光中减去一定成分得到的。CMY 坐标可以从下面模型中得到，因此从 RGB 色彩系统到 CMY 色彩系统的对应关系如图 3-5:

$$C = 1 - R \quad (3-9)$$

$$M = 1 - G \quad (3-10)$$

$$Y = 1 - B \quad (3-11)$$

印刷表现色彩的方式和电视、照片不一样，它使用一种半色调点的处理方法来表现图像的连续色调变化，因此在印刷时 CMY 模型不可能产生真正的黑色，因此在印刷业中实际上使用的是 CMYK 彩色模型，K 为第四种颜色，表示黑色，从 CMY 到 CMYK 的转换如式 (3-12)、(3-13)、(3-14)、(3-15):

$$K = \min(C, M, Y) \quad (3-12)$$

$$C = C - K \quad (3-13)$$

$$M = M - K \quad (3-14)$$

$$Y = Y - K \quad (3-15)$$

(6) Luv (Lab) 颜色系统

CIE(Compagnie Internationale del'Eclairage)的颜色空间(CIE Lab、CIE XYZ、CIE Luv)是一种以人眼为基础的颜色标度空间。同一组 Lab 或 XYZ 或 Luv 值,在不同的设备上都应该得到相同的颜色效果,故被称为设备无关的颜色空间,与 RGB 颜色空间的转化关系如下(Y_0, u_0, v_0 是颜色为白色时按下式计算得到的值):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3-16)$$

$$L = 116 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) - 16 \quad (3-17)$$

$$u = 13L(u' - u_0) \quad (3-18)$$

$$v = 13L(v' - v_0) \quad (3-19)$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad (3-20)$$

$$v' = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z} \quad (3-21)$$

(7) HSV 颜色系统

HSV 空间直接对应于人眼色彩视觉特征的三要素(亮度、色彩和饱和度),三个分量互相独立,其中,色调直接影响着人的视觉判断。如图 3-6 所示,坐标系采用的是圆柱坐标并且所有的颜色定义在六棱锥中。下面简要介绍三要素所代表的意义。

- 色相(Hue)——色彩相貌的区别名称,用以区分红、橙、黄、绿、蓝等色彩特质,不受色彩的鲜淡、明暗所影响,其取值范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。
- 明度(Lightness, Brightness, Value)——色彩明暗的灰阶程度,赋予

各色相相同的特性，如同音色的强弱。它的取值范围也是从 0 到 1。

- 饱和度(Saturation)——色彩鲜明浅淡的程度，即同一色相的色彩中参杂白色的比例，若色彩中无白色混杂，我们一般称为纯色，而白色比例越低则色彩越鲜明，反之，就会变得浅淡。它的取值范围是从 0 到 1。

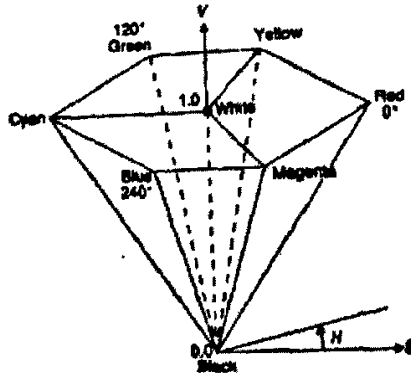


图 3-6 HSV 颜色空间模型

在 HSV 彩色模型空间中，由实际视觉经验的结论，我们可以得出这样的结论：在一定的亮度条件下，同一物体在阴影区和不在阴影区的色相(Hue)是近似一致的，阴影主要使该区域内色彩的明暗发生变化。

从 RGB 转化到 HSV 的算法很多，尽管它们在运算速度、复杂性上有所不同，但最后得到的 H 分量和 S 分量基本类似。本文采用的转化算法如下所示：

$$\begin{aligned}
 & \max = \max(R, G, B) \\
 & \min = \min(R, G, B) \\
 & \text{if } R = \max, \quad H = (G - B) / (\max - \min) \\
 & \text{if } G = \max, \quad H = 2 + (B - R) / (\max - \min) \\
 & \text{if } B = \max, \quad H = 4 + (R - G) / (\max - \min) \\
 & H = H * 60 \\
 & \text{if } H < 0, \quad H = H + 360 \quad V = \max(R, G, B) \quad S = (\max - \min) / \max
 \end{aligned}$$

3.4 阴影检测算法

阴影检测与抑制方法可分为二类：基于几何模型的方法与基于阴影特征的方法。基于几何模型的方法^[39]是利用场景、运动目标、光照条件的先验信息，建立阴影模型，对三维运动物体模型的棱、线、角进行匹配，此方法通常在特定场景条件下使用，如航空图像理解与视频监控。基于阴影特征的方法^[3]是利用阴影

的几何特点、亮度、色彩、纹理等信息来标识阴影区域，在现有算法中对阴影光谱特性的使用比几何特性更常见，基于阴影特征的方法对不同场景及光照条件有较强的鲁棒性。

目前，不少文献对于阴影检测问题^[40]进行了研究，并提出了一些方法，下面对几种典型的阴影检测方法进行分类详细介绍。其中前三种为基于几何模型的方法，后三种为基于阴影特征的方法。

3.4.1 基于三维建模的阴影检测方法

Koller 等在文献[41]中，从空间物体三维建模的角度出发，进行阴影的检测。这种方法不仅需要建立运动车辆和背景环境的三维几何模型，而且还需要对于产生阴影的光源进行建模。为了建立这种模型，需要事先知道光源的位置、方向和阴影发生的时间等，而这些往往都是很难确定的，而且随不同的应用环境变化的。所以，即便是建立了空间物体和光源的三维模型，也具有很大的局限性，在实际的交通监测系统中，这种方法是很难实现的。

3.4.2 基于二维物体—阴影模型的阴影检测算法

Akio Yoneyama 等在文献[42]中提出了一种新算法，该算法将简化的二维车辆和阴影模型分为平面中的 6 种不同的类型，如图所示。该简化模型所需的参数与光源参数及摄像机参数等都无关，可通过输入的视频图像获得。

该算法的关键点首先是建立三维空间中的车辆模型，如图 3-7 所示，投射到二维平面中，图 3-8 便是二维图像中简化的车辆模型。关键是消失点 P_v 的确定，文献中采用的方法是利用车辆在图片中的轨迹平行于车道的特性，通过确定过往车辆的延伸轨迹的交点来确定 P_v 点。

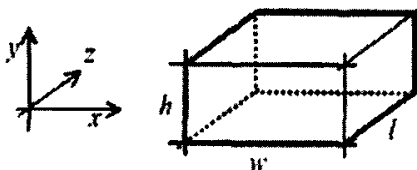


图 3-7 车辆的三维模型(图片摘自文献[42])

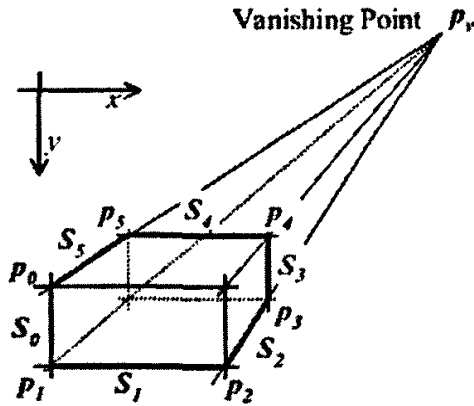


图 3-8 二维平面图像中的简化车辆模型(图片摘自文献[42])

其次是投射阴影的模型。与许多算法不同，该算法阴影的模型是建立在二维平面中。如下图所示，阴影的模型用以下三个向量表示： sh ， sl ， sw ，分别为物体的高度，阴影的长度量和宽度量。

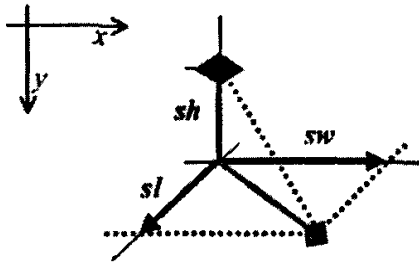


图 3-9 阴影模型(摘自文献[42])

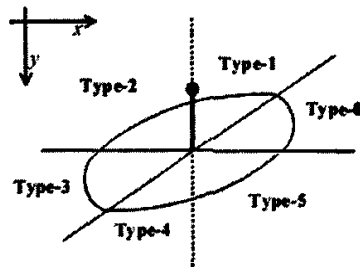


图 3-10 阴影类型(图片摘自文献[42])

6种模型的划分是根据图 3-10 中 6 种阴影的方向得出的。根据投射阴影的特点，模型中的六条边至少有一条边的位置以及长度都不会发生改变，根据这个特性以及 6 种阴影的方向，确定二维平面中车辆和阴影的 6 种模型，并把每种模型中位置不变的边设置为 sf ，为图中深色的边。例如图 3-11 中的 type-0 模型，为车辆的 sh 的高度、位置和长度都不发生变化，而 sw 和 sl 沿着阴影的 type-0 类型的方向延伸得到的。依次类推可以得到其它的 5 种车体和阴影的联合模型。如图 3-11 和图 3-12 所示。

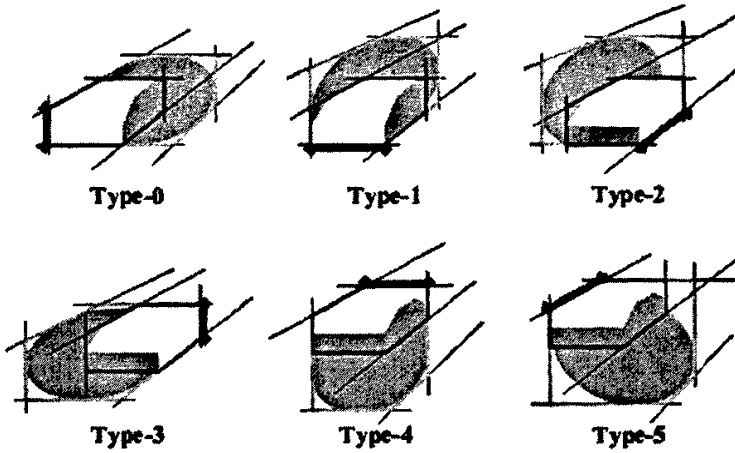


图 3-11 车辆阴影模型的构成(图片摘自文献[42])

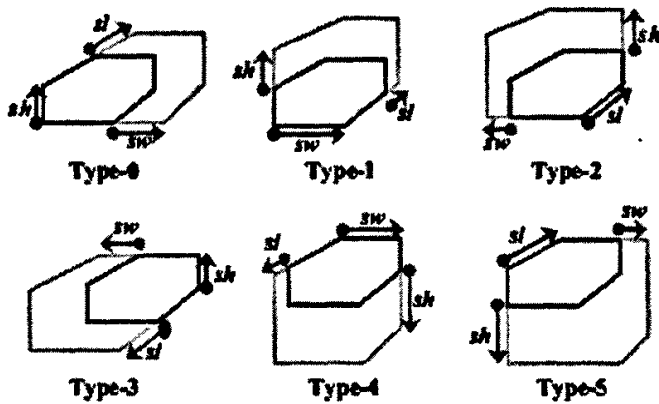


图 3-12 车辆模型和车辆与和阴影的联合模型(图片摘自文献[42])

设 M' 为车辆的二维模型, M'_j 为车辆和阴影的联合二维图像模型。只要能确定边 sf 的位置以及与 sf 相邻的两条边的长度就可以去除阴影。

模型的确定取决于光源, 车辆和摄像机之间的相对位置。模型图中的 sf 的位置也就为光源中光线的方向, 在车辆模型中 sf 的这条边上既无自阴影也无投射阴影, 所以 sf 边上所含的光源的强度最大, 我们可以根据这个特性来确定 sf 边的位置, 模型的 6 条边中亮度最大的边就是 sf 边。具体过程如下所示:

$$L_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} lum_k^{Cur} \text{ where } \{k | (x, y) \in S_{j,n}\} \quad (3-22)$$

$$L_{max} = \max(L_n : S_{j,n} \in M_j') \quad (3-23)$$

N 代表像素点的个数， lum_k^{Cur} 代表像素点的亮度。

阴影模型中 sl, sh, sw 的值可以通过像素点的分布来获得，如图所示

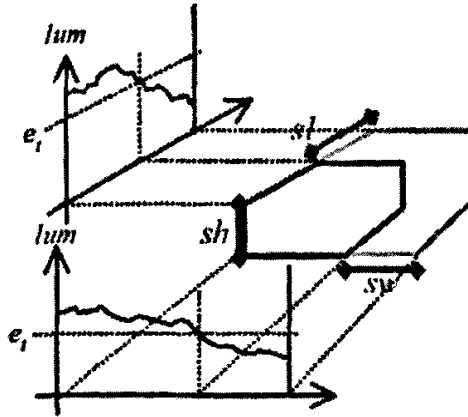


图 3-13 阴影模型中参数的确定 (图片摘自文献[42])

文献[5]也阴影的轮廓特征来检测阴影，利用阴影轮廓的特征,同时根据成像原理^[43-44]，提出一种基于平行投影知识^[45-47]的快速分离和定位车体的算法。该算法建立了 6 种不同的阴影模型，如图 3-14 所示。根据不同的阴影方向模型进行水平和垂直方向的轮廓差分投影,利用轮廓差分投影曲线定位阴影与车体边界的特征点。从所建立的阴影方向模型来看,分离和定位车体的关键就是要确定直线 L1 和 L2 以及 L3 的位置,因此为了能准确定位车体的位置,首先确定图中的直线 L1 和 L3 的位置,然后利用直线 L1 来确定直线 L2 即可分离和定位车体与阴影。

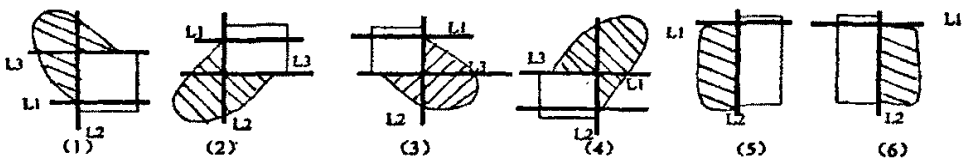


图 3-14 阴影模型 (图片摘自文献[5])

3.4.3 基于边缘检测的阴影消除方法

文献[48]和[49]的在阴影区域的内部比较均匀,不含有边缘,而车辆区域是富含边缘的假设的基础上,首先使用边缘算子(如 sobel 算子等)对利用背景差分后得到的图像进行边缘的检测,然后对检测到的边缘图像进行 Hough 变换。采用极坐标系在边缘图像中进行水平(或垂直)方向的直方图统计,选择一定的阈值,将小于阈值的区域看作是阴影区域,从而将阴影和车辆分离。这种方法速度快,也比较实用,它建立的假设也能符合大多数的应用的情况。但是在有些情况下,如运动车辆的阴影形状比较复杂(比如摩托车等),摄像头的输入噪声很大等,在边缘图像上阴影区域也会存在有较多的边缘,在阈值选择不好的情况下就会发生误判。另外,车辆的某些部位,如车辆顶部(特别是大型车辆)、卡车的后车箱等都是灰度比较均匀的区域,没有特别多的边缘,这种基于边缘检测的方法很可能会将这些区域误认为是阴影而去除,产生检测到的车辆比实际的要小或将一辆车分割成几个区域从而判断为几辆车的情况。总之,这种方法对于阈值的选择非常重要,而要做到阈值的自适应变化是很难的。

文献[50]中通过确定一条或多条直线的位置来找到阴影和车体的边界。首先通过背景更新获得前景目标物体,称该区域为 M ,而后对得到的前景物体图像内所有的像素点进行 Canny 边缘检测,而后进行 Hough 变换。把其中直线 L 的方程采用极坐标方式,如下所示:

$$L : r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3-24)$$

其中 r 为 M 的质心 c 到 L 的距离, θ 为 L 与 x 轴正向之间的夹角, θ 的范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。 r 的获取是通过设立一个滑动的窗口沿着不同的角度 θ 进行寻找。如图 3-15 中 a 为原始图像, b 为背景提取等操作后得到的车辆目标和阴影的模板, c, d, e 分别为沿着不同的 θ 寻找得到阴影和目标的边界图。

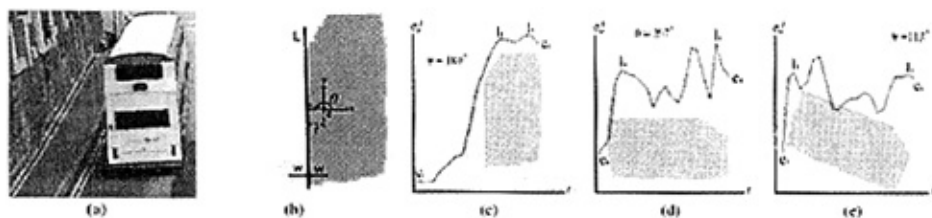


图 3-15 物体和阴影的边界图(图片摘自文献[50])

3.4.4 基于光源和背景假设的阴影检测法

在无法建立确定的三维空间的几何模型的情况下，Stauder 等人在文献[37]对于光源和背景提出了四个假设，并以此得到四条阴影判断准则，利用这四条准则进行阴影的检测。这四个假设分别为：

第一，光源的亮度很强，这样被阴影覆盖的背景和原来的差异是很明显的。以次得到的第一个准则是阴影存在于灰度变化大的区域。

第二，摄像头和背景都是静止的，而且背景是具有纹理的。这样就可以利用检测背景中静止和运动的纹理来区分运动的物体和阴影。

第三，背景是平面的，并且光源的位置离背景的距离很远。这样阴影产生的照明的变化是光滑的。

第四，与光源和物体之间的距离相比，光源的尺寸和物体与背景之间的距离是不可忽略的。这样物体所投射在背景上的阴影就有一个半影区域，也就是在阴影的边缘处存在一个柔和的过渡，因此可以通过检测这种半影区域来检测阴影。实际中，强烈的日光照射下，阴影区域和背景间有着鲜明的边界，而且背景中的主要的景物——道路路面大多是没有明显的边缘纹理的。因此这种基于光源和背景的假设的阴影检测的方法是不能应用于实际的道路交通监测中的。

3.4.5 颜色空间分布概率密度统计的方法

I.Mikic 等在文献[51]中从图像中各像素在 RGB 空间上的分布在阴影覆盖前后的变化入手，统计背景、阴影和前景的概率密度函数统计，并利用贝叶斯准则，判断最大后验概率，对图像中的像素点进行分类。文章的作者通过一些实验得到像素在被阴影覆盖前后的颜色的变化关系，假设 $v = [R, G, B]^T$ 为背景中未被阴

影覆盖的点, 则该点被阴影覆盖后的变化为线性变化 $\bar{v} = Dv$, 且变换矩阵 $D = \text{diag}(d_r, d_g, d_b) = \text{diag}(0.48, 0.47, 0.51)$ 。

由此将图像中的点分为三类, 背景、阴影和前景(车辆), 并在一定的图像序列中分别统计各类的条件概率密度($p(v|C_i)$, $i = 1, 2, 3$, C_1, C_2, C_3 分别为背景、阴影和前景)——对于背景中的所有像素分别统计它们在 RGB 颜色空间上的分布, 用高斯分布的概率密度函数近似, 并由这个分布经变换矩阵 D 直接得到阴影的概率密度函数(亦为高斯分布)。算法还假设图像中的前景(运动车辆)在 RGB 空间上是均匀分布的。得到背景、阴影和前景车辆的像素颜色分布后, 利用贝叶斯准则, 计算待测图像中像素点属于各类的后验概率, 并将图像中的像素分到各自所属的后验概率最大的一类。

$$p(C_i|v) = \frac{p(v|C_i)p(C_i)}{\sum_{j=1,2,3} p(v|C_j)p(C_j)} \quad (3-25)$$

这种方法中转换矩阵的选择和概率密度函数的计算都很依赖与训练的图像序列, 对于不同的光照条件和应用环境, 需要重新训练, 参数的适应性较差。

3.4.6 基于色彩特征不变量的阴影抑制

色彩特征不变量是描述每个像素点颜色配置(Configuration)的函数, 像素的色彩特征不变量值不受阴影、视角、目标表面方向(Orientation)及光照条件的影响。若色彩特征不变量为 F , F_1 为背景像素点的色彩特征不变量函数值, F_s 为该像素点被阴影覆盖时的函数值, 则有 $F_1 = F_s$ 为, 归一化的 rgb 颜色空间即是一种色彩特征不变量。文献[52]和文献[53]分别定义了另外两种色彩特征不变量为 $l_1 l_2 l_3$, 及 $c_1 c_2 c_3$, 具体定义如下:

$$r(R, G, B) = \frac{R}{R + G + B}$$

$$g(R, G, B) = \frac{G}{R + G + B} \quad (3-26)$$

$$b(R, G, B) = \frac{B}{R + G + B}$$

$$l_1 = \frac{(R - G)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2}$$

$$l_2 = \frac{(R - B)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2} \quad (3-27)$$

$$l_3 = \frac{(G - B)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2}$$

$$c_1 = \arctan\left(\frac{R}{\max(G, B)}\right)$$

$$c_2 = \arctan\left(\frac{G}{\max(R, B)}\right) \quad (3-28)$$

$$c_3 = \arctan\left(\frac{B}{\max(R, G)}\right)$$

其中 R, G, B 表示 $R(\text{Red}), G(\text{Green}), B(\text{Blue})$ 三颜色通道的值。文献[52]利用光谱特性与几何属性来对图像序列与静止图像中的阴影进行检测,检测过程分二步进行,首先根据阴影会使背景像素点颜色变暗的特点,对阴影进行初测,然后用色彩特征不变量进一步验证初测的结果。设当前像素点值为 $I(x, y) = (R(x, y), G(x, y), B(x, y))$, 对应背景像素值为 $I(x_b, y_b) = (R(x_b, y_b), G(x_b, y_b), B(x_b, y_b))$, 若有

$$R(x_b, y_b) > R(x, y), G(x_b, y_b) > G(x, y), B(x_b, y_b) > B(x, y) \quad (3-29)$$

则该像素点被初测为阴影,但初测的准确性往往比较低,会把颜色比背景黑的运动目标像素检测为阴影。初测是否准确,要用色彩特征不变量 c_1, c_2, c_3 加以验

证, 若当前像素值 $I(x, y)$ 与背景像素值 $I(x_b, y_b)$ 值相等, 则当前像素为阴影的初测进一步得到证实。该方法对于区分自阴影和投射阴影效果比较好。

3.5 本章小结

本章首先介绍了阴影的特征, 主要是它的物体属性, 而后介绍了几种常用的颜色空间, 最后分类详细介绍并分析比较了当前常用的几种阴影检测的算法, 按照基于阴影模型和基于阴影特性来分类, 这些算法都有自己的特点, 有自己适合的特殊的应用, 为下一章叙述本文所提出的新算法奠定理论基础。

4 基于移动区域的快速粗模型阴影检测算法

通过第三章对各种阴影检测算法的比较分析,结合本文的实验环境和实验目的的特殊性,本文提出了一种新的阴影检测算法:基于移动区域的快速粗模型阴影检测算法。

使用颜色信息能提高阴影检测的精度,但常用的 RGB 彩色空间有不足之处,其中的 R, G, B 颜色分量具有相关性,因此,独立地在这三个颜色分量上进行阴影检测效果并不好。与 RGB 颜色空间相比,HSV 颜色空间更接近人眼视觉模型,能直接体现颜色的亮度信息,可以更好地量化阴影和车体之间的差别,因此本文采用 HSV 颜色空间来进行阴影的检测和去除。

本文所采用的阴影检测算法,是建立在基于 HSV 颜色空间的阴影检测方法的基础上,将基于几何模型的方法和基于阴影性质的方法结合起来,提出的一种新的基于移动区域的改进的阴影检测方法,具体过程如下:首先建立阴影的粗模型,结合通过进行了图像预处理操作后得到的移动目标区域,确定阴影可能存在的区域,即阴影的粗略区域,在阴影的粗略区域上进行阴影检测操作,即将改进的基于 HSV 颜色空间的阴影检测算法的计算区域由移动区域缩小为粗略区域,降低了计算量,阴影检测的效果也很好,特别是对应车辆边缘部分的阴影,对于后续的车辆关键部位的获取,车辆的识别有很重要的作用。

4.1 基于 HSV 颜色空间的阴影检测方法

该算法从阴影的物理属性^[20]出发,用图像信号模型来描述 k 时间段内二维平面图像中点 $p(x, y)$ 的亮度 $S_k(x, y)$, 如下所示:

$$S_k(x, y) = E(x, y) \rho(x, y) \quad (4-1)$$

其中 $E(x, y)$ 为物体表面单位面积接受到的光强度, $\rho(x, y)$ 为物体表面的反射系数。其中 $E(x, y)$ 的计算公式如下所示:

$$E(x, y) = \begin{cases} C_A + C_p \cos \angle(N(x, y), L) & \text{illuminate} \\ C_A & \text{shadowed} \end{cases} \quad (4-2)$$

C_A 和 C_p 分别为环境和光源的亮度, N 为物体表面的法线向量, L 为物体表

面到光源的方向矢量，如图 4-1 所示。

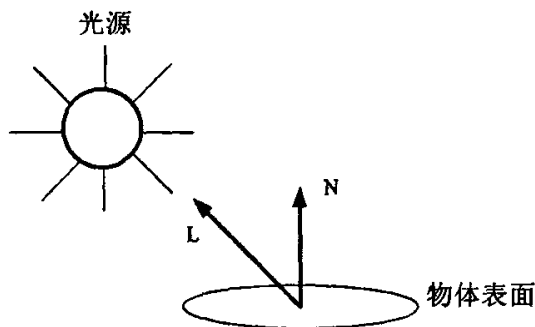


图 4-1 物体光照示意图

该模型有三个假设条件：强照射光源，静止背景、摄像头以及平面背景。

针对该模型，Cucchiara R^[2]在他提出的方法中给出了三个假设条件：强光照射条件、静止的背景、平面背景。由此可以得出 $\rho(x, y)$ 在 k 时刻和 $k+1$ 时刻是相等的，即 $\rho(x, y)$ 为常数。

假设某点 $p(x, y)$ ，在 k 时刻的亮度为 $S_k(x, y)$ ， $k+1$ 时刻的亮度为 $S_{k+1}(x, y)$ ，设该点在 $k+1$ 时刻和 k 时刻的亮度比为 $R_k(x, y)$ ，则根据公式(4-1)及假设条件，可以得出

$$R_k(x, y) = \frac{S_{k+1}(x, y)}{S_k(x, y)} = \frac{E_{k+1}(x, y)}{E_k(x, y)} \quad (4-3)$$

若 $k+1$ 时刻 $p(x, y)$ 为被阴影覆盖住，根据公式(4-2)：

$$R_k(x, y) = \frac{C_A}{C_A + C_p \cos \angle(N(x, y), L)} \quad (4-4)$$

而 $N(x, y)$ 和 L 之间的夹角为 $-\frac{\pi}{2}$ 到 $\frac{\pi}{2}$ 之间的常数，则 $\cos \angle(N(x, y), L)$ 必为正数，因此 $R_k(x, y)$ 是一个小于 1 的常数。

HSV 颜色空间更符合人眼对于颜色的理解方式^[36]，比 RGB 颜色空间更明确地区分像素点的色度和亮度，也更容易用数学公式来表现这种不同，因此 HSV 颜色空间比 RGB 颜色空间更容易区分阴影和前景物体目标，因此我们采用 HSV

颜色空间来描述以上关系,将各像素的 RGB 的值转换为 HSV 值,具体操作如下。

设 k 时刻,点 $p(x, y)$ 在 HSV 颜色空间中相对应的 V 分量为 $I_k^V(x, y)$, 当前瞬时背景帧图像中相对应像素点 V 分量 $B_k^V(x, y)$ 。而在 HSV 颜色空间中 V 分量代表亮度值,因此可以将 $S_k(x, y)$ 等同与 $I_k^V(x, y)$ 。计算当前帧图像中各像素点的 V 分量 $I_k^V(x, y)$ 和当前瞬时背景帧图像中相对应像素点 V 分量 $B_k^V(x, y)$, 如果当前帧图像的某像素点 $p(x, y)$ 为阴影,则根据公式(4),二者之比应为小于 1 的常数。

根据以上理论,文献[2]为每一个像素点定义一个阴影模板,有三个约束条件,如公式 4-5 所示:

$$SP_k(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \alpha \leq \frac{I_k^V(x, y)}{B_k^V(x, y)} \leq \beta \\ & \wedge (I_k^S(x, y) - B_k^S(x, y)) \leq T_S \\ & \wedge (I_k^H(x, y) - B_k^H(x, y)) \leq T_H \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (4-5)$$

其中条件 1 是用于表示亮度,也就是像素点的 HSV 值中的 V 分量, α 变量和 β 变量均为小于 1 的常量, β 的引入可以避免被噪声改变的背景像素被错认为阴影像素。 α 变量的取值取决于光源的强度,也就是 C_A , C_p 以及公式(4-2)中定义比例中的角度,光源强度越高,比例就越小, α 变量的取值就应越小,实际上,这时 C_p 值会增加, \cos 值就越趋近于 1。HSV 值中的 S 分量代表是像素点的饱和度,阴影像素点的 S 值通常比较小,而且阴影同背景模型的差异往往为负值;之所以考虑 H,只是想得到一个更好的处理效果。 T_s , T_H 的选取可通过试验来确定。经过多次试验测试 HSV 的 H 分量会使阴影检测的效果产生负效应。

4.2 算法流程图

本文的算法流程图如图 4-2 所示,主要分为两大部分:图像预处理及阴影检测。其中图像预处理是为了提取移动区域,去除背景图像和图像中的一些噪声,因此分为背景更新和去噪两部分,去噪采用的是基于标签法的快速去噪方法。阴影检测分为两部分:阴影粗略区域的获取和利用改进的基于 HSV 颜色空间阴影检测的阴影抑制操作。

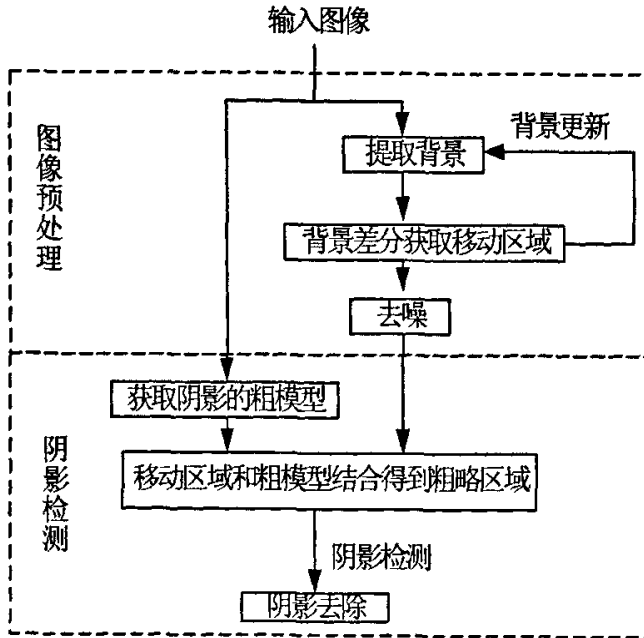


图 4-2 算法流程图

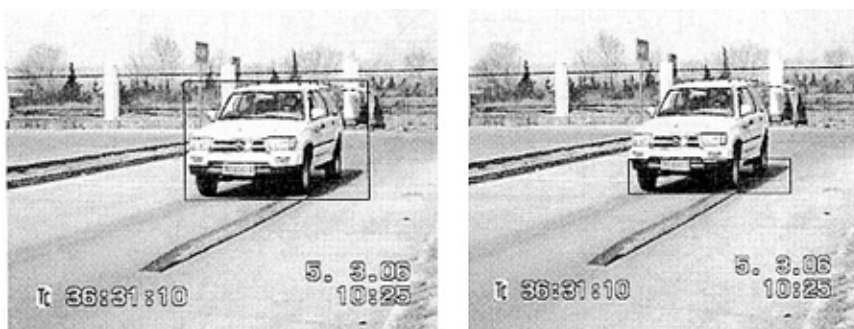
4.3 阴影粗模型的建立及粗略区域的获取

本文的阴影检测的目的是为后续的车辆定位和车辆特定部位的识别工作服务的,因此主要是检测处在边缘位置的阴影,对于车底下的阴影,由于它对车辆的定位及识别没有很大的影响,因此不予检测。

通过实验发现大多数情况下,阴影的可能区域,在整个移动区域中,只占很小的比例,如图 4-3 的(a)图中的阴影只可能存在于图(b)中的矩形所表示的范围内,因此没有必要对整个移动区域(图 4-3 中的(a)图矩形所表示的范围)进行阴影的检测计算,只需要对图(b)所示的矩形区域进行计算即可,该区域的获取

方法如下：

首先，由于我们实验的特殊性，我们只根据不同时间段阴影的方向及大体位置来建立阴影的粗模型，模型如图 4-4 所示，其中白色区域代表车体，黑色区域为阴影(主要是车体边缘处的阴影，不考虑车体下方被覆盖的阴影)。将粗模型与经过图像预处理得到的移动区域相结合，得到阴影位置的大体区域，称该区域为阴影粗略区域，如图 4-5 中的红色框所代表的区域。其中粗略区域左右上下边界的计算方法如下：遍历移动区域，粗略区域的下边界和左右边界即为移动区域的相应边界，上边界为移动区域的最左侧点或最右侧点(这由阴影的粗模型所定)所对应的横向直线。在阴影检测时，可以根据不同时间段光源的方向，引入先验知识，与粗略区域结合起来，可以避免在进行阴影检测时将车体像素点误认为阴影点。



(a)移动区域

(b)粗略区域

图 4-3 实例

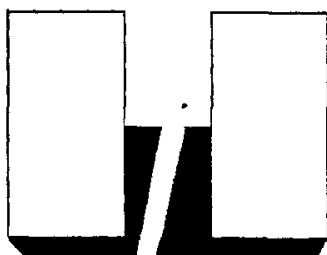


图 4-4 阴影粗模型

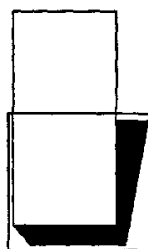


图 4-5 阴影的粗略区域

4.4 阴影检测及去除

本文所设计的阴影检测系统是一个实时系统而且在进行背景差分的过程中，引入了实时背景更新机制，所以可以满足基于 HSV 颜色空间的阴影检测方法的三个前提条件中的静止背景。进行阴影检测的像素点均是移动区域和阴影建模相结合后得到的阴影粗略区域内的像素点，阴影粗略区域外的像素点不进行阴影检测，降低了计算量，提高阴影检测算法的效率。

对于进行阴影检测，本文采用了基于 HSV 颜色空间的阴影检测算法，并对其进行了改进。Cucchiara R^[2]等所采用的阴影检测算法设置了三个约束条件。通过多次实验发现算法的第二、第三个约束条件对阴影的检测效果并无多大帮助，而且计算量大，因此本文对原算法进行了简化，去掉了第二个和第三个约束条件，只采用了原算法中的第一个约束条件，在保证检测效果的前提下，降低了计算量，提供了算法的效率。

设某像素点的位置为 $p(i, j)$ ，该位置点在当前帧图像中的和在由前一帧图像更新得到的背景图像中的 RGB 值分别为 $I_k(i, j)$ 和 $B_k(i, j)$ ，则根据 RGB 到 HSV 颜色空间转换公式即可得到该像素点的 V 分量值，分别为 $I_k^v(i, j)$ 和 $B_k^v(i, j)$ 。阴影的约束条件如公式 4-6 所示，计算各个像素点 $p(i, j)$ 相对应的 $Shadow(i, j)$ 值， $Shadow(i, j)$ 值为 1 所对应的像素点就属于阴影，否则属于车辆。其中阈值 $Th1$ 和 $Th2$ ，可以进行参数训练，可根据一天中不同时间断，在本文的实验中所在的时间段，根据经验分别设置为 0.2 和 0.7。公式如下：

$$Shadow(i, j) = \begin{cases} 1 & Th1 \leq \frac{I_k^v(i, j)}{B_k^v(i, j)} \leq Th2 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (4-6)$$

对阴影进行标注以后，阴影粗略区域内的所有像素点被分为阴影和车体目标两类，实现了阴影的检测。阴影的去除方法即用当前背景中相对应的点来代替阴影点。

4.5 实验结果及分析

本文所采用的图像是以某驾照培训基地的考试现场为背景。在对拍摄的真实监控场景视频进行实验时,计算机的配置为处理器 Intel Pentium 4 CPU 1.7G, 256M 内存、操作系统为 Microsoft Windows XP Professional, 视频图像大小为 352×288 像素, 程序编写环境为 Visual C++ 6.0。实验中 R, G, B 三颜色通道值都在 $[0, 255]$ 之间, 利用 3-3 节中 RGB 和 HSV 的转换公式计算 HSV 颜色空间的 H, S, V 分量。

通过实验证明了本文所提出的算法的有效性。其中图 4-6 到图 4-8 为针对图像序列中三帧不同图像实行本文的算法所得到的实验结果。这三个系列的图中的 (a) 为原始视频图像, (b) 为经过背景差分后得到的移动目标图像, (c) 为对 (b) 进行去噪后得到的图像, (d) 为根据阴影的粗模型, 在移动区域的基础上提取出的阴影粗略区域, 红色框即为阴影的粗略区域; (e) 为检测出的阴影区域, 其中绿色区域为移动区域中除阴影的粗略区域之外的区域, 是不需要进行阴影检测的区域, 可以看出这一部分占了移动区域的大部分, 因此不对它进行阴影检测, 可大大降低算法的计算量。其中粗略区域的获取红色区域为阴影, 蓝色区域为移动目标区域。(f) 为对应的去除阴影后的图像, 蓝色线为的为检测出的车体边缘外的阴影区域, 检测出的阴影是用当前的背景替代。本文所采用的算法对于识别与阴影相连的某些特定部位, 如所示图中的右前车轮, 效果较好, 有利于后续的车轮识别及跟踪工作。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

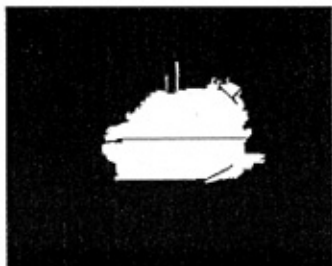
图 4-6 第 k 帧图像和实验结果



(a)



(b)



(c)



(d)

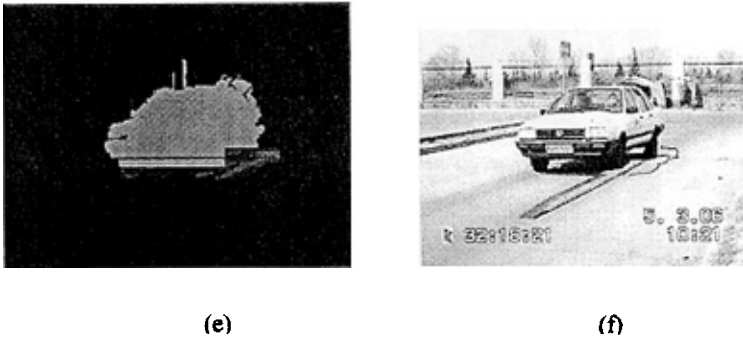


图 4-7 第 i 帧图像和实验结果

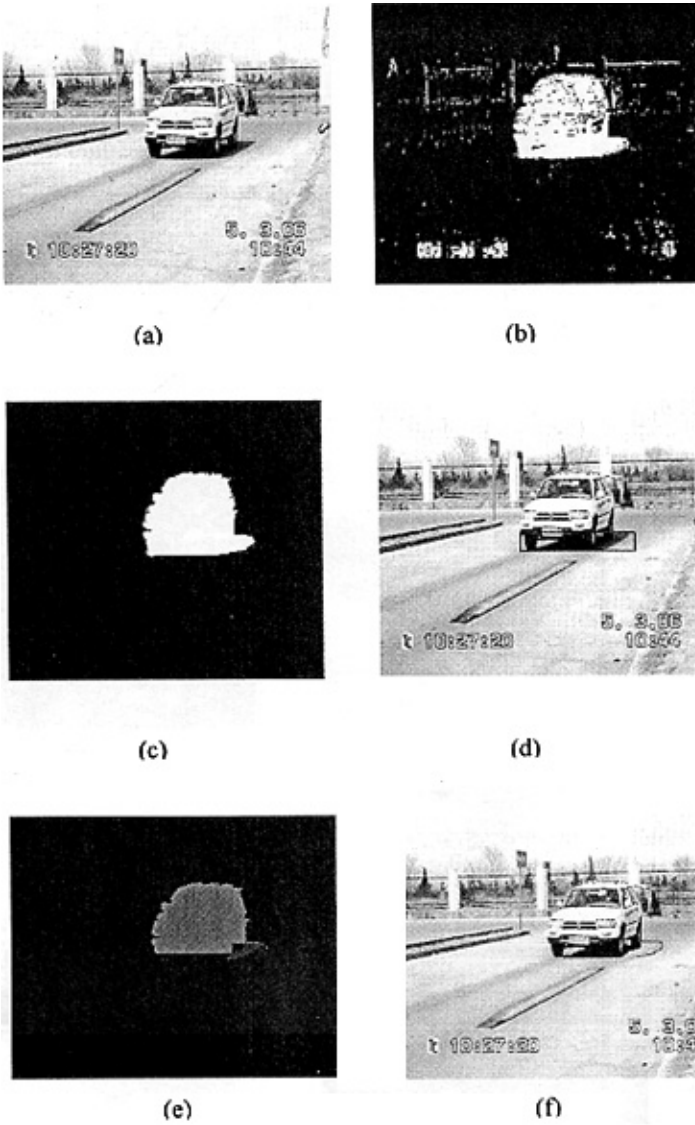


图 4-8 第 j 帧图像和实验结果

4.6 本章小结

本章主要详细介绍了本文所提出的基于移动区域的快速粗模型阴影检测新算法，包括该算法的基础：基于 HSV 颜色空间的阴影检测算法的基本原理；阴影粗模型的建立以及阴影粗略区域的获取；改进的基于 HSV 颜色空间的阴影检测算法。实验证明本文提出的阴影抑制方法可以有效的检测去除运动车辆的影子。本文提出的方法能够大幅度地减少阴影检测过程中的计算量，同时能够保证检测结果的准确性，而且对环境变化不敏感，消除了光线、天气等环境因素的影响。

5 总结与展望

计算机视觉技术在智能交通系统（ITS）中有着巨大的应用潜力，日益受到专家学者的重视，出现了越来越多的相关研究、论文、产品，涉及到交通标志检测、道路识别，车辆检测与识别、车牌识别、行人检测、传感器融合等许多领域的技术。

阴影的检测与抑制仍然是阻碍运动目标有效分割的一大难题，研究人员已经提出了多种阴影抑制算法，使阴影抑制效果有所改善，但远未解决这一难题，特定的算法还只能适用于特定的应用场合，解决特定的问题，且远未达到理想的阴影抑制效果，阴影抑制仍是国内外学者研究的热点问题。如果深入地分析产生阴影的光学原理、各种材料的反射特性、以及材料呈现不同颜色的物理机理，为各光源发射光线、场景表面材料反射光线、人眼接收光线、大脑产生场景颜色的反应等建立合适的模型，有可能弄清阴影的本质特性，从而提高阴影的抑制效果。

本文提出的阴影检测算法是建立在移动区域的基础上，首先采用了自适应背景更新技术，结合背景差分方法，准确实时地进行了移动目标分割，在阴影检测时将基于颜色和基于模型的阴影检测算法结合起来，建立阴影的粗模型，然后与移动区域结合，获得阴影的粗略区域，对粗略区域内像素点实行基于 HSV 颜色空间的阴影检测，而且对基于 HSV 颜色空间的阴影检测算法本身进行了优化，经过实验证明本文提出的算法在确保阴影检测正确率的前提下，减少了阴影检测的区域，降低了计算量，提高了算法效率。

本文所采用的算法有其适用的特殊场合，在本文的实验环境下，本文提出的方法能更好、更快地检测出阴影，但它也有需要改进的地方，为了提高阴影检测的准确率，可以与边缘检测结合起来，这样就可以更好得检测出车辆边缘的阴影。

参考文献

- [1] 魏武,张起森,王明俊,黄中祥,基于计算机视觉和图像处理的交通参数检测,信息与控制,2001年,第6期
- [2] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M et al. Improving Shadow Suppression in Moving Object Detection with HSV Color Information[C]. Oakland, CA, USA: Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2001:334-339.
- [3] 刘勃, 魏铭旭, 周荷琴. 混合交通环境中的阴影检测算法[J]. 信号处理,2005,21(2): 172-177.
- [4] Elena Salvador, Andrea Cavallaro, and Touradj Ebrahimi. Cast shadow segmentation using invariant color features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95:238-259
- [5] 刘直芳, 游志胜, 徐欣, 曹刚.基于阴影轮廓差分投影方法的快速定位车体算法[J]. 四川大学学报(自然科学版),2003,40(4): 662-666.
- [6] Baryon J, Fleet D,Beachem in S. Performs nce of optical flow techniques(J). International Journal of computer VSION 1994 ,12 (1):42-47.
- [7] T.Meier K. N.Ngun.Video Segmentation for Content-Based Coding(J). IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(8): 1190-1203.
- [8] A. Lipton, and H. Fujiyoshi, etc., "Moving Target Classification and Tracking from Real-time Video," Proc. IEEE Workshop Applications of Computer Vision, pp. 8-14, Oct. 1998.
- [9] Foresti, CxL., "Object recognition and tracking for remote video surveillance," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.9, No. 7, pp.1045-1062, 1999.
- [10] Gupt S.Masound O.Martin RFK,etal. Detection and classification for vehicules[J], IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.2002,3(1):37-47.
- [11] Haritaoglu, I. and Harwood, D.; Davis, etc., "W/sup 4/: Who? When? Where? What? A real time system for detecting and tracking people," Proceedings of Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 222 -227, 1998.
- [12] Strings, E. and Regazzoni, C.S., "Real-time video-shot detection for scene surveillance applications," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 1, pp. 69-79, Jan. 2000.
- [13] Toyama, K., Krumm, J. and Brumitt, etc., "Wallflower: principles and practice of background maintenance," The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, vol. 1, pp.255-261, 1999.
- [14] T. Horprasert, D. Harwood, and L.S. Davis, "A statistical approach for real-time robust background subtraction and shadow detection," in Proceedings of IEEE ICCV'99 FRAME-RATE Workshop, 1999.
- [15] Stauffer C , Grimson W . Adaptive background mixture models for real time tracking [J]. Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999, 2 (6) : 248~ 252.
- [16] 张继平, 刘直芳, 背景估计与运动目标检测跟踪[J], 计算技术与自动化, 2004, 12, 51-54.

- [17] Surendra Gupte, Osama Masoud, Robert F. K. Martin, and Nikolaos P, Detection and Classification of Vehicles[J], IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, March 2002(1-3): 37-47.
- [18] M. Seki, T. Wada, H. Fujiwara, K. Sumi, Background subtraction based on cooccurrence of image variations, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2 (2003) 65-72.
- [19] 杨威, 张田文. “复杂景物环境下运动目标检测的新方法[[J]]. 计算机研究与发展.1998,8(35).
- [20] R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi, et al. Statistic and knowledge-based moving object detection in traffic scenes. Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems, 2000.27-32
- [21] K. Karmann, A. Brandt, R. Gerl. Moving object segmentation based on adaptive reference images. Signal Processing: Theories and Applications, 1990, 5(9): 951-954
- [22] M. Boninsegna, A. Bozzoli. A Tunable algorithm to update a reference image. Signal Processing: Image Communication, 2000, 16(4): 353-365
- [23] A. Lai, N. Yung. A fast and accurate scoreboard algorithm for estimating stationary backgrounds in an image sequence. Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1998, 241-244
- [24] J.Bulas-Cruz, A.T. Ali and E.L. Dagless. A temporal smoothing technique for real-time motion detection. Proceedings of ECCV '94. New York: Springer-Verlag, 1994. 379-386
- [25] Y.K. Jung, Y. S. Ho. Traffic parameter extraction using video-based vehicle tracking. Proceedings of IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, 1999. 764-769
- [26] S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi, M.Sakauchi. Traffic monitoring and accident detection at intersections. Proceedings of IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, 1999. 703-708
- [27] C. Stauffer, W. Eric L. Grimson. Learning patterns of activity using real-time tracking. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747-757
- [28] QIN Bo, ZHANG Chuangde, FANG Zhenghua, LI Wei: A Quick Self-Adaptive Background Updating Algorithm Based on Moving Region.JCIS-2006, Kaohsiung,2006.10.8-11,pp:978-982
- [29] Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding[J]. Pattern Recognition, 1986, 19(1): 41-47.
- [30] Nariman H, Alireza M, Neil B. Automatic thresholding for change detection in digital video[A]. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering[C]. Washington: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2000. 4067 (I): 133-142.
- [31] Gonzales R C, Woods R E. Digital Image Processing[M]. New Jersey: Prentice Hall, upper Saddle River, 2002.
- [32] Xiaopeng Ji *, Zhiqiang Wei, Yewei Feng .Effective vehicle detection technique for traffic surveillance systems, Journal of Visual Communication and Image Representation, In Press, Corrected Proof, Available online 29 September 2005
- [33] 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

- [34] 谢杰成, 张大力, 徐文立. 小波图象去噪综述[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(3): 209—217.
- [35] 沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别. 北京理工大学出版社 1998, 34~37
- [36] C. Jiang and M.O. Ward, Shadow identification, Proceedings of IEEE Intel Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 606–612, 1992.
- [37] J. Stauder, R. Mech, and J. Ostermann, "Detection of moving cast shadows for object segmentation," IEEE Transactions of Multimedia, vol. 1, no. 1, pp. 65–76, Mar. 1999.
- [38] Z. Zhu, G. Xu. VISATRAM, a real-time vision system for automatic traffic monitoring. Image and Vision Computing, 2000, 18(10): 781–794
- [39] 王运琼, 游志胜, 刘直芳. 基于空间特征的汽车阴影分割方法[J]. 光电工程, 2003, 30(2): 64-71.
- [40] A Prati, I Mikic, R Cucchiara, M Trivedi. Comparative Evaluation of Moving Shadow Detection Algorithms. 3rd Workshop on Empirical Evaluation in Computer Vision, December 2001.
- [41] D. Koller, K. Danilidis, and H.H. Nagel. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes. International Journal of Computer Vision, 1993, 10(3): 257-281
- [42] Akio Yoneyama, Chia H. Yeh and C. -C. Jay Kuo, Moving Cast Shadow Elimination for Robust Vehicle Extraction based on 2D Joint Vehicle/Shadow Models[A], Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance(AVSS'03)[C]. Miami, FL, USA. IEEE Computer Society, 2003, 229-236.
- [43] 章毓晋. 图象理解与计算机视觉[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [44] 郭木河, 杨磊. 视觉导航中基于模糊神经网络的消阴影算法研究[J]. 软件学报, 1999, 10(2): 154-159.
- [45] 张凤荔, 秦志光, 敬万均. 3D 图形平行投影的算法研究与实现[J]. 电子科技大学学报, 1994, 23(5): 510-516.
- [46] Ivana M, Pamela C C. Moving Shadow and Object Detection in Traffic Scenes[R]. ICPR, Barcelona Spain, 2000.
- [47] 高满屯, 曲仕茹, 李西琴. 计算机视觉研究中的投影理论和方法[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998.
- [48] M. Kilger. A shadow handler in a video-based real-time traffic monitoring system. Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 1992. 11-18
- [49] Z. Zhu, G. Xu. VISATRAM: a real-time vision system for automatic traffic monitoring. Image and Vision Computing, 2000, 18(10): 781-794
- [50] Angie W. K. So, Kwan-Yee K. Wong, Ronald H.Y. Chung, and Francis Y.L. Chin Shadow Detection for Vehicles By Locating the Object-Shadow Boundary
- [51] I. Mikic, P. Cosman, G. Kogut, and M.M. Trivedi, Moving shadow and object detection in traffic scenes," in Proceedings of IntConference on Pattern Recognition, Sept. 2000. 321-324 vol.1
- [52] E. Salvador, A. Cavallaro, T. Ebrahimi, Shadow identification and classification using invariant color models, in: Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2001, pp.1545 — 1548.

- [53] T. Gevers and A. W. M. Smeulders, Color-Based Object Recognition, *Pattern Recognition*, (32): 453–464, 1999.
- [54] C. Jiang and M.O. Ward, Shadow identification, *Proceedings of IEEE Intel Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 606–612, 1992.
- [55] Andrea Prati, Ivana Mikic, Costantino Grana, and Mohan M. Trivedi, “Shadow detection algorithm for traffic flow analysis: a comparative study”, *IEEE Proc. International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.340-345, Aug. 2001.
- [56] Cucchiara R, Piccardi M, Prati A. Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(10):1337-1342.
- [57] <http://www.tyfo.com/10026/11513/11519/2007/1/19/10280045.shtml>

个人论文发表情况

- (1) 秦勃, 房正华, 张闯德。基于移动区域的快速粗模型阴影检测,《计算机工程与设计》, 2007 年 11 月刊出

致 谢

时光荏苒，转眼在中国海洋大学攻读硕士学位的生活就要结束了，在这三年的时间里，我收获良多。这些收获和身边关心我，帮助我的人是分不开的，是他们的关心和帮助才使我顺利完成学业，使我度过了这段美好的、令人难忘的时光。

首先我要感谢在学习和生活上给予我无私指导和殷切关怀的恩师秦勃教授。秦老师关心学生，为人师表、师德高尚、高屋建瓴、勇于创新、严谨认真，正是有了秦老师的言传身教，悉心指导，我才得以完成今天的论文。在秦老师的指导下，我逐渐学会如何开展研究工作，并努力学习了相关专业和各领域的知识，极大地拓宽了自身的知识面，这将使我一生受益。在此向秦老师表示深深的谢意。

感谢计算机系的各位老师，正是他们的无私教诲，使我掌握了较为全面的知识结构，为我将来的工作打下了坚实的基础。

感谢同实验室的同学，感谢师兄师姐和师弟师妹们在平时的工作学习中给予我的无私帮助。他们的关心和帮助给了我前进的动力，让我在工作学习中，知难而进并最终取得了学业上的进步和成功。

感谢我身边的每一位同学，感谢海洋大学辛勤工作的每一位老师，正是他们给我创造了优良的学习和科研的环境，使我不断进步，不断取得成功。

感谢我的每一位朋友，感谢在我成长过程中帮助过我的所有的人，这些都是我一生中的难忘的回忆。最后，真心感谢我的父母、我的亲人，他们的鞭策、鼓励和理解是我克服困难、不断进步的精神支柱。

基于视频图像的车辆阴影检测方法研究

作者: 房正华
学位授予单位: 中国海洋大学

本文读者也读过(3条)

1. 王波 车辆阴影检测及滤除方法的研究[学位论文]2007
2. 贾晓敏 基于总变分方法的阴影检测算法研究[学位论文]2008
3. 鲁玮 移动阴影检测抑制算法研究及在智能视频监控系统中的实现[学位论文]2009

引证文献(1条)

1. 任朝栋, 张全法, 李焕, 荆宜青 快速消除车辆阴影的多阈值图像分割法[期刊论文]-应用光学 2010(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1071491.aspx