

提 要

论文分类号 U462.2

单 位 代 码 10183

密 级 内 部

研究生学号 2201207

吉 林 大 学
硕 士 学 位 论 文

汽车前方可行区域计算机视觉感知系统的研究
Study on Computer Visual Perception System
Travelable Area ahead of Car

作者姓名： 曹国

专 业： 车 辆 工 程

导师姓名： 管欣

及 职 称： 教 授

论文起止年月：2001年10月至2003年2月

提 要

如何给智能辅助驾驶车辆提供准确的外界环境信息,使其决策控制建立在实时准确的道路环境信息之上是智能辅助驾驶车辆研究的关键问题。

本文对车辆可行区域的感知环节进行了研究,通过分析摄像头采集的道路图像,提出了道路边缘曲线点生长搜索算法,并对其进行了聚类直线拟合,同时对摄像机建立了镜头畸变模型并确定其内部参数,运用道路平坦假设将图像平面内的车辆可行区域转换到车体坐标系下,从而为智能辅助驾驶车辆提供最基本的外界环境信息。最后将可行区域感知系统在实验车上进行集成实现,并进行了相应的道路实验,取得了良好的道路感知效果。该论文的研究对于智能辅助驾驶车辆的视觉系统研究提供了一条可行的研究途径。

目 录

第一章 绪论 1

§ 1.1 课题的提出	1
1.1.1. 智能车辆对视觉系统的要求	1
1.1.2. 视觉系统研究的意义	2
§ 1.2 课题研究的历史与现状	3
1.2.1. 非基于视觉的智能车辆研究	3
1.2.2. 基于视觉的智能车辆的发展历程	3
1.2.3. 视觉研究的历史与现状	6
§ 1.3 本文的研究目标及主要研究工作	7

第二章 可行区域感知系统的整体设计 10

§ 2.1 智能车辆的整体结构分析	10
§ 2.2 本课题感知系统的体系结构	10
§ 2.3 感知系统各功能模块的设计分析	14

第三章 可行区域感知系统的算法研究 16

§ 3.1 图像平面内可行区域建立的算法研究	16
3.1.1. 图像噪声的去除	17
3.1.2. 道路边缘的增强	19
3.1.3. 道路边缘与图像背景的分割	21
3.1.4. 道路边缘矢量点的提取	22
3.1.5. 道路边缘矢量点聚类拟合	26
3.1.6. 从序列图像中提取可行区域的算法	26
§ 3.2 车体坐标系下可行区域建立的算法研究	27
3.2.1. 摄像机成像参数的简化研究	28
3.2.2. 摄像机内部参数确定的建模	29
3.2.3. 可行区域建立的算法	33
§ 3.3 本章小结	35

第四章 可行区域感知系统的实现 37

§ 4.1 可行区域感知系统的硬件实现	37
4.1.1. 图像的捕捉设备：	37

4.2.2. 感知系统处理设备	40
4.1.3. 其他辅助设备	40
§ 4.2 可行区域感知系统的软件实现	41
4.2.1. 图像的捕捉	42
4.2.2. 可行区域建立的算法实现	43
4.2.3. 处理结果的存储实现	48
4.2.4. 其他相关问题的解决实现	48
§ 4.3 本章小结	48

第五章 感知系统的试验 50

5.1 摄像机标定试验	50
5.2 可行区域试验	53

全文总结 57

参考文献 58

致 谢 III

摘 要 IV

ABSTRACT VI

第一章 绪论

§1.1 课题的提出

随着城市化的发展和汽车的普及，交通运输问题日益严重。近年来，车辆增长的速度也已远远高于道路和其他交通设施的增长速度，交通事故频繁、人员伤亡于日增多及财产损失巨大这都要求车辆必须具有良好的主动安全性，随之智能车辆（Intelligent Vehicle）的概念应运而生。作为汽车主动安全方面最新的发展方向，因其在公路交通运输中广阔的应用前景而受到世界各发达国家的普遍关注。车辆的智能自动驾驶不仅可以大大减少交通事故，提高汽车的主动安全性，还可降低车辆的燃料消耗，减少排气污染，提高公路的运输效率，同时，也减轻了驾驶员的负担，提高了乘坐的舒适性。

视觉感知系统作为智能车辆最基本的外界信息感知环节有着举足轻重的作用，智能车辆的决策控制也主要建立在视觉系统之上，因此，智能车辆也对其有着近乎苛刻的要求。

一. 智能车辆对视觉系统的要求

智能车辆是一个集环境感知、规划决策、自动驾驶等多种功能于一体的综合系统。它的自动驾驶就是指完全脱离驾驶员的操作，依靠汽车控制系统驾驶汽车，自动分析和处理汽车运行过程中遇到的各种情况，并根据GPS信息和系统自动获取的道路等信息，实现从一个地点向另一个地点的移动。简单的说，就是车辆本身具有“头脑”，能够运用它的“眼睛”对外界环境进行辨识，然后自我决策运行轨迹并控制车辆的行驶。

视觉系统就充当着“眼睛”的角色，智能车辆要求其必须具备实时性、鲁棒性、实用性这三方面技术特点：实时性是指视觉系统的数据处理必须与车辆的高速行驶同步进行；鲁棒性是指智能车辆对不同的道路环境，如高速公路、市区标准公路、普通公路等，复杂的路面环境，如路面及车道线的宽度、颜色、纹理、动态随机障碍与车流等，以及变化的气候条件，

如日照及景物阴影、黄昏与夜晚、阴天与雨雪等均具有良好的适应；实用性是指要求智能车辆在体积与成本等方面能够为普通汽车用户所接受^[14]。

二. 视觉系统研究的意义

完善的视觉系统在车辆的自动驾驶以及辅助驾驶中所扮演的角色正如人的眼睛与人一样，它从图像中检测出道路信息和障碍物信息即道路的形状与车辆的相对关系。根据这些信息，车辆会发出车线偏离警告，以及前方障碍物警告，进一步运用控制系统的决策来改变车辆的行驶行为。

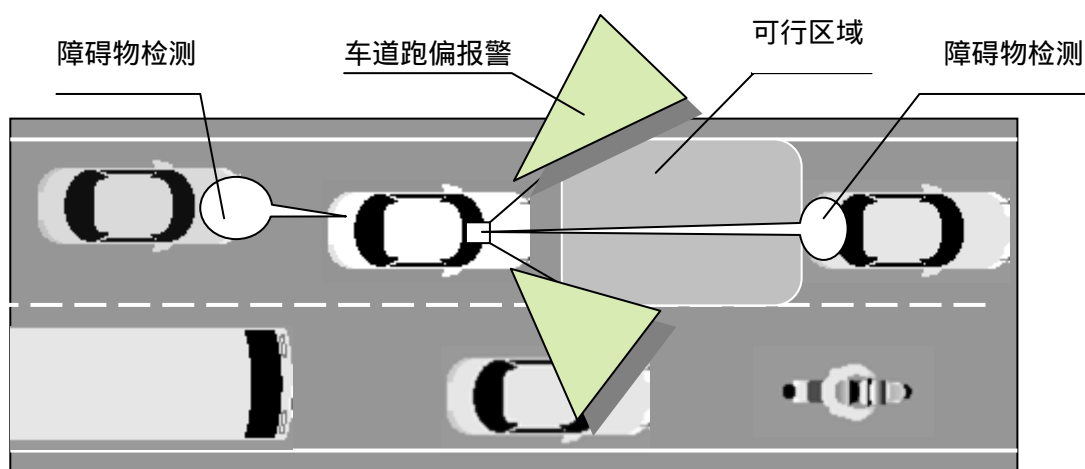


图 1 - 1 车辆辅助驾驶报警系统

智能车辆本身作为一个大的系统包含着许多子系统：认知模块、决策模块和控制模块。认知模块，实际上是指驾驶员的“感觉器官”，是用来获取外界环境信息，并通过一定的处理从这一系列信息中提炼出驾驶员驾驶所需的内容。而决策模块好比驾驶员的“大脑”，是以认知模块提供的道路状况、车辆姿态、位置等信息为基础，对汽车安全、高效行驶所应采取的运行状态进行分析，决策出汽车运动状态应发生的改变。控制模块是驾驶员的“肌肉”，控制系统对汽车的实际操作，包括踏油门，转方向盘等，都是通过驾驶员“肌肉”运动，以实现决策模块所决策的汽车运动状态的改变。视觉系统作为认知模块的主要部分，它的丰富与完善会使“大脑”做出准确而又明智的选择，使“肌肉”达到和谐与轻松的境界。

§1.2 课题研究的历史与现状

智能车辆不仅具有广阔的应用前景，而且被认为交通工具发展历史的必然趋势，吸引着越来越多的研究机构和汽车厂商的兴趣。智能车辆的研究涉及到计算机测量与控制、计算机视觉、传感器数据融合、车辆工程等诸多领域，可以说，智能车辆的研究是计算机视觉与计算机控制研究在车辆工程上的综合，下面以整车系统以及视觉系统的性能为线索，介绍智能车辆研究现状。

一．非基于视觉的智能车辆研究

在智能车辆研究早期，最初计划采用地下埋电缆的方式，通过电磁感应进行导航，此种方法不能提供车辆需要的方位信息及障碍物信息，在 80 年代美国的 PATH 计划、欧洲的 PROMETHEUS 计划、日本的 ASV 计划中提出在道路中间铺设磁块的方式来进行导航，但此种方案的造价过于高昂，据美国资料报道，为采用此种导航方案所铺设的公路大约是 10K\$/m。

二．基于视觉的智能车辆的发展历程

基于视觉的智能车辆是在汽车上安装摄像镜头，利用计算机视觉技术，模仿人眼视觉机理，通过处理摄像镜头捕捉的图像，获得引导信息，与以上引导技术相比，视觉引导有许多优势，它不必在道路上增加设施，能适合来往车辆、行人、临时设施等不可预先建模确定的随机障碍物，与 GPS 电子引导技术相结合，可以满足智能车辆全天候的绝大部分需求。90 年代以来，视觉引导技术与 DGPS 技术的发展，大大加速了智能车辆的研究。

在欧洲，早在 1987 年奔驰公司和德国国防军大学联合研制 VAMORS 系列自动驾驶汽车就已创下了道路标志线跟踪的最高时速—97 公里。在随后几年不断创造新的时速记录并且具备了超车换道功能和对多种气象条件的适应能力，其核心是运行于 BVV 上的视觉导航系统。研制的 VaMoRs- P 系

统也已在高速公路和普通标准公路上进行了大量实验，实验内容包括跟踪车道线，躲避障碍，以及自动超车等。利用自适应控制进行纵向及横向自主方式行为实验，该系统 1995 年公布的最高时速可达 130 km/h。据说 1996 年已提高到 160 km/h。法国帕斯卡大学自动化与电子材料科学实验室与法国 D. R. A. S 雪铁龙 (Citroen) 技术中心合作研制 Peugeot 系统，其视觉系统使用单摄像机实时检测并跟踪道路白线，采用高斯滤波和平均值计算确定灰度标准方差，利用梯度计算确定车道线的右（或左）边缘，同时选择多项式函数建立轨迹模型，利用时空光滑方法降低噪声和提高鲁棒性。当车体前方或驾驶参数出现非正常状况时，系统以语音信号的方式向驾驶员发出警告性提示，以避免或降低因驾驶员疏忽所引发的行车事故，提高车辆在道路行驶中的安全性，可见该系统完成的是相对简单的安全警告与辅助导航功能。意大利帕尔马大学研制的 ARGO 样车，其核心是 GOLD 视觉导航系统，它基于道路平坦假设，采用单摄像机重投影完成平行的道路标志线检测，双摄像机重投影完成车辆检测功能，根据 GOLD 视觉系统，ARGO 实验车能够自动控制方向，实现道路跟踪，此外还能够实现人触发的换道操作。

在美国，卡内基米伦大学 (CMU) 与多家汽车公司研制 Navlab 系列车，1995 年建立了智能实验车 Navlab—5，运动跑车。CMU 与 Assist Ware 技术公司合作在 Navlab—5 上开发了 PANS 便携式高级导航支撑平台，以及快速自适应车体定位处理器——RALPH 视觉系统。

Navlab—5 实验车的功能：1* 车道保持——运用道路平坦假设，检测和追踪道路标记，控制车辆横向位置；2* 障碍物检测——利用激光雷达测量距离信息；3* 油门和刹车——由驾驶员控制。

装备：1* 一台便携式计算机，一台分辨率为 1024×768 的液晶显示器 2* 一台 Sony CCD 彩色摄像机 3* 差分 GPS 系统一套 4* 具有数字输出的光纤阻尼陀螺仪。

图像处理和道路识别策略：采用视觉窗口技术，仅处理感兴趣区域的局部信息，RALPH 系统选取一个随车速变化的梯形窗口，该梯形窗口中每一行所对应的实际水平宽度约 7m 左右，大约为典型车道宽度的两倍，然后对梯形窗口的内容进行几何变换，建立一个 30×32 像素的低分辨率图像，满足实时性要求。道路检测使用道路平坦假设和平行于道路的特征如车道线、道路边界等识别道路。

Navlab 5 自动驾驶的平均速度为 88.5km / h，还首次进行了横穿美国大陆的长途自动驾驶实验，距离长达 4586km。统计结果表明，自动驾驶的行程 4496km 竟占总行程的 98.1%。在 1997 年研制了 Navlab—8，小型商务车，能够进行方向速度控制，依然是 RALPH 视觉系统。

在日本，也成立类似专门机构，每年展示智能车辆取得的新成就，并在高级安全车辆上安装了这些成果，提供车道跑偏警告，车距保持及障碍检测功能。

在中国，国防科技大学由常文森、贺汉根教授领导研制了 CITAVT— 自动驾驶汽车，是小型厢式客车，进行方向、速度控制，完成校园环境

的低速无人驾驶试验，其特色是视觉系统采用 A110DSP 自行开发的图像处理系统。2001 年研制的 CITAVT— 完成了高速公路上与其他普通车辆一起行驶的试验，效果较好，实现最高时速 75.6 公里。清华大学研制 THMR-V 试验车，是小型商务车，能够进行方向、速度控制，完成高速公路场景录象仿真。吉林大学王荣本教授研制 JUT 系列实验车是根据铺在道路上的白条进行跟踪，速度较慢，主要用于柔性加工中的货物运输。

右图为一智能车辆的外围获取信息设备简图。



图 1-2 德国大众公司的智能车辆系统

(上: 车辆原型 下: 系统布置)

(1. 雷达 2~4. 激光扫描器 5. 视觉系统摄像机
6. DGPS/INS 7. 驾驶机器人 8. 计算机及电源系统)

三．视觉研究的历史与现状

人类通过视觉识别文字图片和周围的环境，从信息处理的角度来搞清楚视觉形成的机理，研究其计算理论与算法，以使计算机实现人的视觉识别能力，是人类在基础研究与应用中面临的最重大的挑战之一。如果机器不能自动感知与识别周围环境，机器智能也就无从谈起，因此，用计算机实现模式的自动识别是开发智能机器的一个最关键的突破口。人们通过眼睛与大脑来获取、处理与理解视觉信息的，外界环境的物体在可见光的照射下在人眼的视网膜上形成二维图像，这是图像的形成过程即成像过程。视觉过程作为成像过程的逆过程，其目的是要从带噪声、畸变的二维图像中恢复三维场景的有关信息，如形状、位置、运动等物理特性（对本课题而言是恢复有关道路形状、位置的信息）。

计算机视觉的历史不长，至今也就是三十几年，它是伴随着计算机科学与技术产生和发展起来的，大致可以分为两个阶段，早期（1965-1976）与近期（1976--）。

早期的计算机视觉研究集中在积木世界（block world）或线条图（line drawings）范围，这通常是指那些以平面为表面的多面体的世界。那时的计算机视觉系统都是自底向上结构的，直接取决于低层次视觉的处理，因而研究工作集中在线条和边界的抽取和区域划分上。当时出现了大量的算法，如 Roberts operator, Sobel operator, Huckel's edge parameter model, Yaki movsky and Feldman's region growing, Robertson's region splitting. 等。积木世界的研究反映了视觉早期研究中的一些特点，即从简化的世界出发进行研究，这些工作对视觉研究的发展起到了促进作用，但对于稍微复杂的景物便难以奏效。

近期的计算机视觉研究开始于 20 世纪 70 年代中期，Marr 的视觉计算理论立足于计算机科学，是迄今为止最系统化的视觉理论，Marr 理论的出现使得 80 年代的计算机视觉的研究与以前相比有显著不同。主要表现在研究内容和方向集中在与人类视觉系统中的感知独立模块相对应的课题上，也就是根据影调、运动、立体、轮廓、纹理等线索恢复物体表面的形状。这些研究极大地深化了计算机视觉的研究。Marr 认为视觉系统的研究应分为三个层次：即计算理论层次，表达与算法层次和硬件实现层次：

- 1、计算理论层次指的是视觉系统基本的输入、输出关系，输入为二维图像，输出是则由二维图像重建出来的三维物体的位置和形状。
- 2、对于表达和算法层次则是指系统内各个模块的输入、输出和内部的信息表达，以及实现计算理论所规定的算法。
- 3、硬件实现层次是如何用硬件实现以上算法的问题。

计算机视觉作为一门新兴的学科，众多学者都在努力完善视觉理论，提出并改进各种算法如光流方法、能量 Snake 模型方法、状态估计器等等以使得该学科更加经济实用。

§1.3 本文的研究目标及主要研究工作

课题将使用环境限定为具有良好标志的结构化高速公路上或者是规范化道路结构的普通公路上，主要完成道路标志线跟踪，给车道跑偏报警提供依据，本体车辆定位等功能。相应的研究把精力集中在简单结构化环境中的辅助驾驶上，目标是提高汽车驾驶的安全性，尽管该课题定位有很大的局限性，但是，若它成功实现将会部分解决汽车驾驶中最为常见也最易出危险的操作问题。

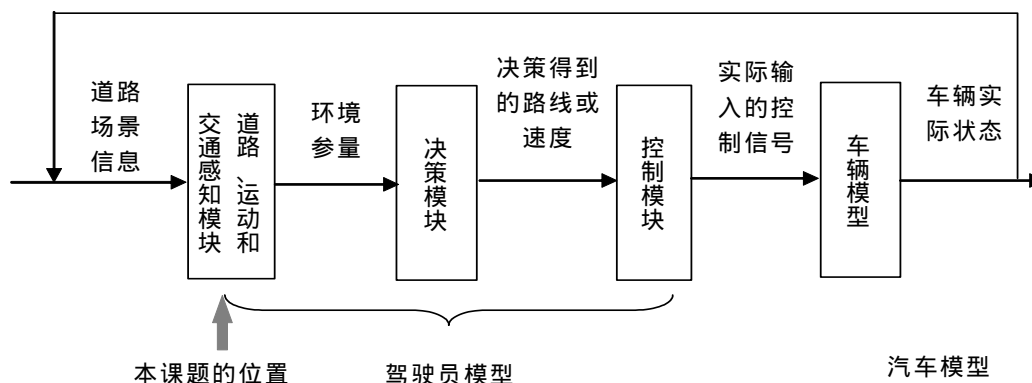


图 1 - 3

课题研究的目的是：建立可行区域感知系统，实现车辆在行驶过程中对道路边缘、标志线的自动检测与识别，确定车辆与道路的相对位置关系，实时的给出车辆行驶的可行区域，为整个智能辅助驾驶系统提供

外界环境信息输入。

这里所指的可行区域是指当车辆行驶在道路上时，由道路的宽度、方向、曲率以及其他车辆位置和交通法规所决定的能够行驶的区域。也就是本课题所重点研究的内容。（如图 1 - 5 中黑色折线所围成的闭区域即为图像平面可行区域）

如图 1 - 4 所示，实际道路或为直线或圆形弯道或纯过渡弯道，当车辆在行驶时，根据驾驶员预瞄距离，我们仅就车辆前方至百米左右的区域感兴趣，在感兴趣的区域区间段内可以认为道路是由直线组成的（ r_1, r_2 和 l_1, l_2 ）而就整条道路

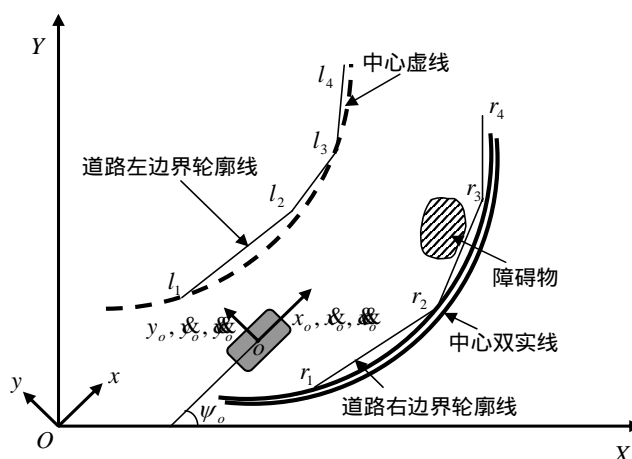


图 1-4 道路信息的简化处理示意图

看则分成了一系列线段组成的，障碍物所在的区域现在不予考虑，也就是在课题建立的大的可行区域之中去除障碍物所在区域。

本课题研究的主要工作：

1* 图像捕捉与前期处理：

首先选择图像采集设备，对设备的原理、性能有大概的了解。采用 CCD 面阵摄像头，获取道路图像，通过采集卡进行 A/D 转换，将图像数据送入计算机后，由于采集的图像含有噪声需要对图像进行去除噪声



图 1 - 5 真实道路图像中可行区域

处理，之后根据要求再进行可行区域轮廓增强等处理，目的是获得比较理想的可行区域轮廓图像。要选择设计检测模板，进一步优化图像前期处理结果，使得后续处理建立在较为准确的基础之上。

2*道路边缘提取过程：

车辆在道路上行驶时，道路边缘位置时刻在变，边缘提取易受光线、车体振动等干扰，使得搜索结果不可靠。我们提出了点搜索算法提取道路边缘，运用聚类直线拟合减少噪声影响。在车辆在行驶过程中，采集的序列图像道路边缘是连续渐进变化的，不会发生突变，根据此特点限定了搜索道路边缘的范围，保证可行区域矢量点的提取的准确及可靠性。

3* 车体坐标系下摄像机标定：

在车体坐标系下，摄像机参数可以分为两类，外部的六自由度参数和内部参数，外部参数是指摄像机坐标系与选定的车体坐标系之间的空间位置关系，而内部参数则是由摄像机系统采用的 CCD 面阵和光学系统的固有特性所决定成像关系。由于摄像机参数众多，且是时变的，我们建立了合适的摄像机模型，对各参数进行合理的假设以及取舍，确定标定方法，得到摄像机的参数。

4* 车体坐标系下可行区域的建立：

摄像机的参数确定后，就成为二维图像向三维世界坐标转换的桥梁。将图像处理得到的二维可行区域边缘矢量转化为车体坐标系中的结构参数，得到车辆在空间道路中的实际位置，同时也建立了车辆的可行区域。通过硬件以及编写算法使此感知系统能够真正的在车辆上得以实现，实时的运转起来。

第二章 可行区域感知系统的整体设计

§2.1 智能车辆的整体结构分析

智能车辆集多种传感器数据融合、视觉信息处理、导航、避障等功能于一体，为完成如此复杂、如此众多的功能，历史上曾有多种体系结构，如水平型结构、垂直型结构和综合型结构。下图为一典型的智能车辆的体系结构。

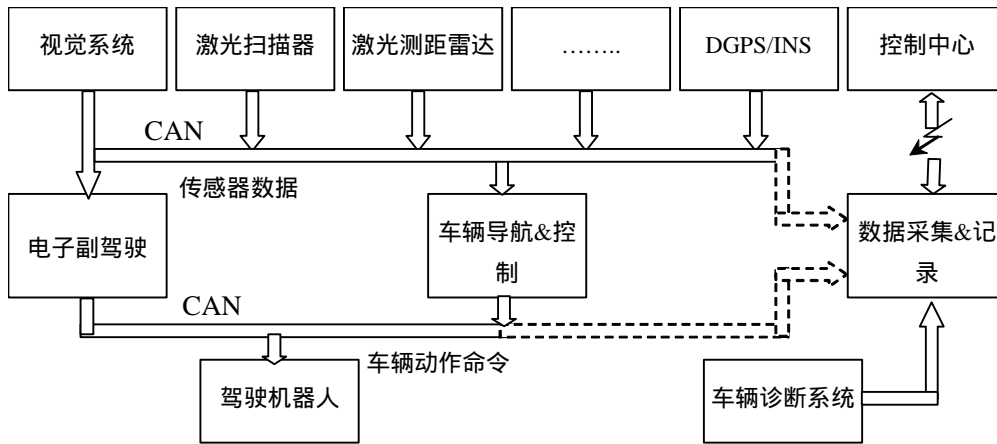


图 2.1 典型的智能车辆体系结构

如下图 2-2，管欣教授提出的驾驶员操纵行为模型结构框图，框图详细描述了驾驶员的行为特性，将其分为三大部分：道路、运动和交通感知环节、预瞄决策环节和控制校正环节。该模型从总体上对汽车动态模拟国家重点实验室研究的智能辅助驾驶车辆各功能模块进行了界定，对于该课题的总体设计产生很大的指导作用。

§2.2 本课题感知系统的体系结构

在可行区域感知系统中，采用 CCD 面阵摄像头来获取汽车行驶前方可行区域的图像(如下图)，摄像机安装在车辆的顶部，或者安装在车辆驾驶室内的上部。为获取汽车在道路上的位置以及道路本身的情况，在此对应用条件

做一些必要的假设以简化系统及处理的难度。

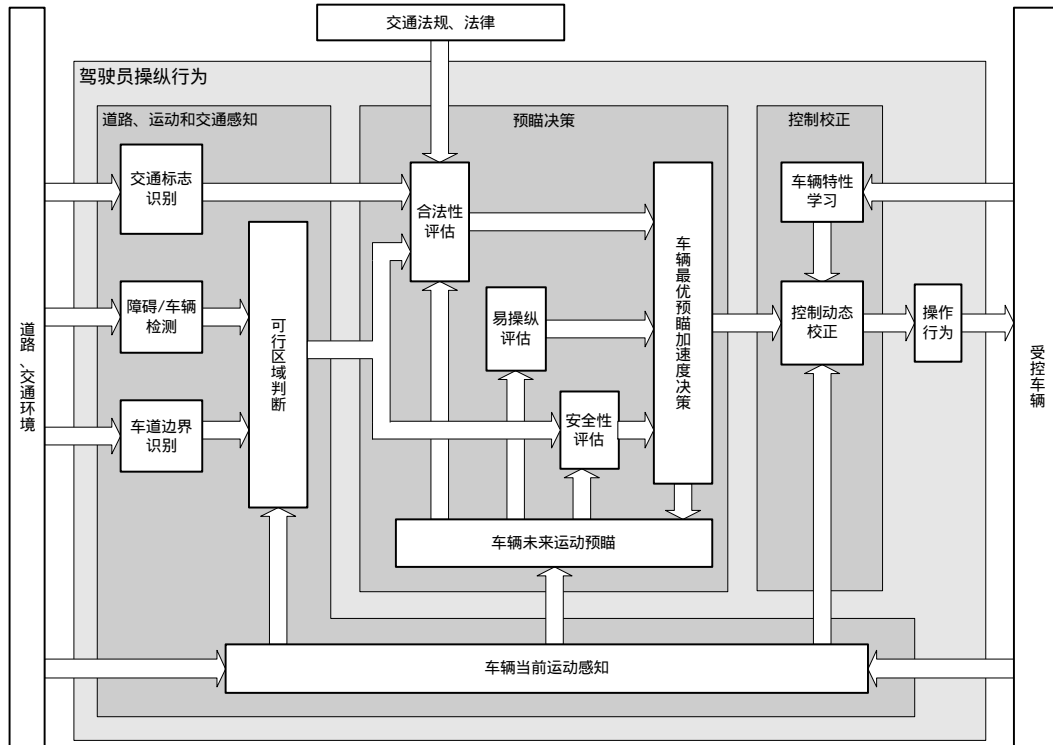


图 2 - 2 驾驶员操纵行为结构框图

1. 光照良好假设

汽车在室外公路上行驶，周围光线强度随着汽车的位置以及时间的变化而变化，一方面要求日照条件良好，另一方面要求我们采用的摄像头能够自动曝光，以适应日照光线强度的变化，从而满足摄取的图像有清晰的道路轮廓。

2. 针对的道路是结构化道路，一般指高速公路和部分结构化较好的公路，它们具有清晰的车道线和道路边界，车道线一般是连续的白(黄)线或短划线，在这种情况下，道路检测问题可以简化为车道线或道路边界的检测问题。另外车道上的积水及阴影先不予考虑。

在早期的智能车辆研究中，由于早期的计算机的处理能力十分有限，视觉导航系统的实时性成为其可用性的瓶颈，因此各国的研究者们通常都采用大规模的并行处理技术，在这一阶段，研究者的精力过多的耗费在硬件平台的设计、实现和测试上，但随着计算机技术的飞跃发展，其处理能力爆炸似

的提高，该种体系结构已经不是研究的重点了。在本课题中，从图像以及计算机视觉算法的实现处理方式分析，采用串行处理方式，即整个视觉系统的数据操作由一台功能较强的计算机实现全部控制处理功能，这是由本课题的定位目标所决定的。

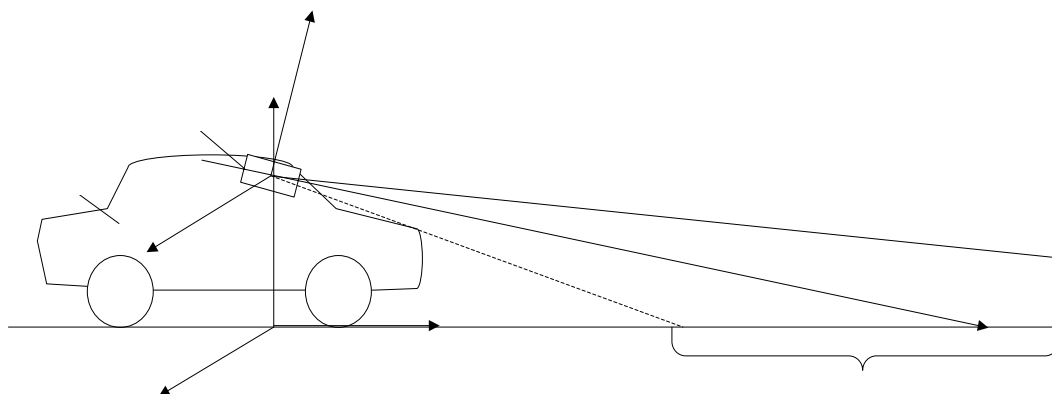


图 2 - 3 车辆及摄像机位置关系图

下面分析视觉系统的图像采集方式，采集方式主要是指采用的摄像机个数，根据图像采集方式的选取，目前世界上视觉系统一般分为三类：单摄像头式，双摄像头式和多摄像头式。而大多数采用单镜头或是双镜头方式

多摄像头式 (a) 各摄像头之间有着不同的焦距，视角从小到大，可以获取车辆前方到百米左右各处清晰的路面图像，现在视觉系统采集图像遇到的问题是：采用大焦距摄像头时，转弯时视角过窄，无法观察到车辆两旁的景物；选用广角镜头捕捉车辆前方场景图像时，拍摄远处则存在图像分辨率较低，非线性畸变大等问题，采用多摄像头方式就可解决这些问题^[15]。例如，德国 UBM 大学研制的 VaMoRs 系统。运用此种方式，需要同时处理多帧图像，计算量巨大，运用此种方式的系统比较少。

双摄像头式 (b) 采集区域如图所示，对不同视角的摄像机获取的两幅图像进行区域匹配，实现立体视觉，可以得到相对较多的信息，例如车辆及障碍物的检测等，但涉及的计算复杂，运算量较大，也不容易实现。

单摄像头式 (c) 采用一个面阵型摄像机，在精度要求不很高的情况下，

其采集区域同上，可以获得足够的信息，进行道路标志线跟踪，利用道路平坦假设，能将道路特征从图像坐标系转换到车体坐标系。由于其仅处理单帧图像，计算量小可以实时处理。

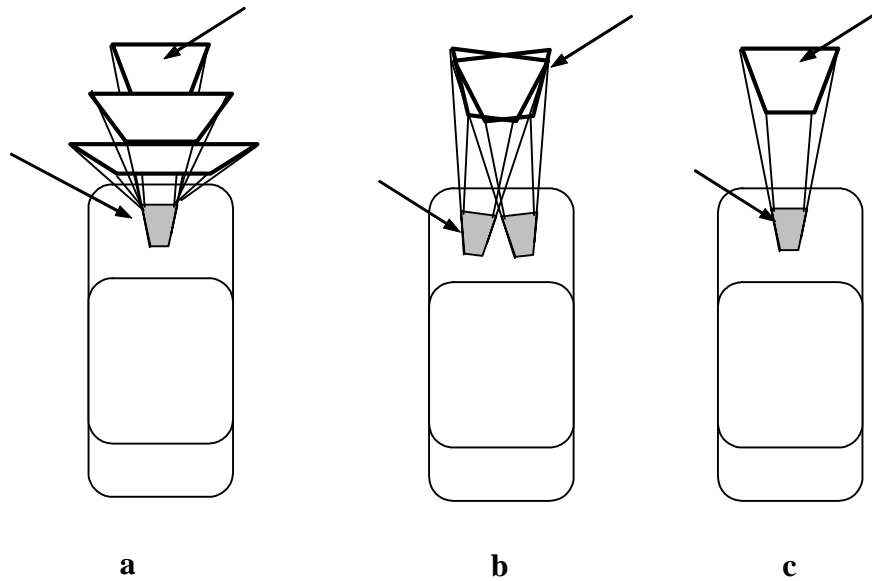


图 2 - 4 各种图象采集方式以及对应的采集区域

其中 表示摄象机， 表示摄象机的图象采集

在本课题的应用中，主要是检测出道路的信息如车道线的跟踪，因此采用单摄像头的采集方式更为合理。另外，在进行道路标志线跟踪时，是基于色彩信息还是基于灰度信息，首先比较了几种不同的处理方法：区域生长法，模板匹配方法，链码跟踪法等等之后，决定选取链码跟踪的简单方法，也因此选用基于灰度信息来处理图像，在进行该系统整体设计时选用黑白的摄像头作为我们的图像捕捉设备。另外，基于当车辆在较黑暗的条件下运行时，摄像机需要加装相应的红外线设备的考虑，不能用彩色摄像机；黑白 CCD 也具有分辨率高，灵敏度高和传输距离远等优点。因此感知系统采用的是黑白 CCD 摄像机。

§2.3 感知系统各功能模块的设计分析

基于单摄像头的可行区域感知系统，它所实现的最终目的是确定道路边界相对于汽车的位置，为整个智能辅助驾驶车辆的控制提供可行区域信息。整个感知系统的输入是汽车行驶时所处道路的场景，系统的输出是道路边界相对于汽车的位置，正如人脑通过对眼睛获取的图像进行分析从而形成视觉一样，智能辅助驾驶车辆可行区域感知系统也通过对图像采集设备采集到的道路图像进行相应的分析，从中提取出道路边界信息，为智能车辆的控制提供必要的、精确的数据。

不同于人脑的视觉形成机理，我们所研究的感知系统仅仅对代表道路边界（道路路肩或者是道路上断续的标志线）的边缘曲线相对于汽车的位置感兴趣，因此整个分析过程，可以通过如下图 2 - 3 所示的几个步骤来实现。这样，

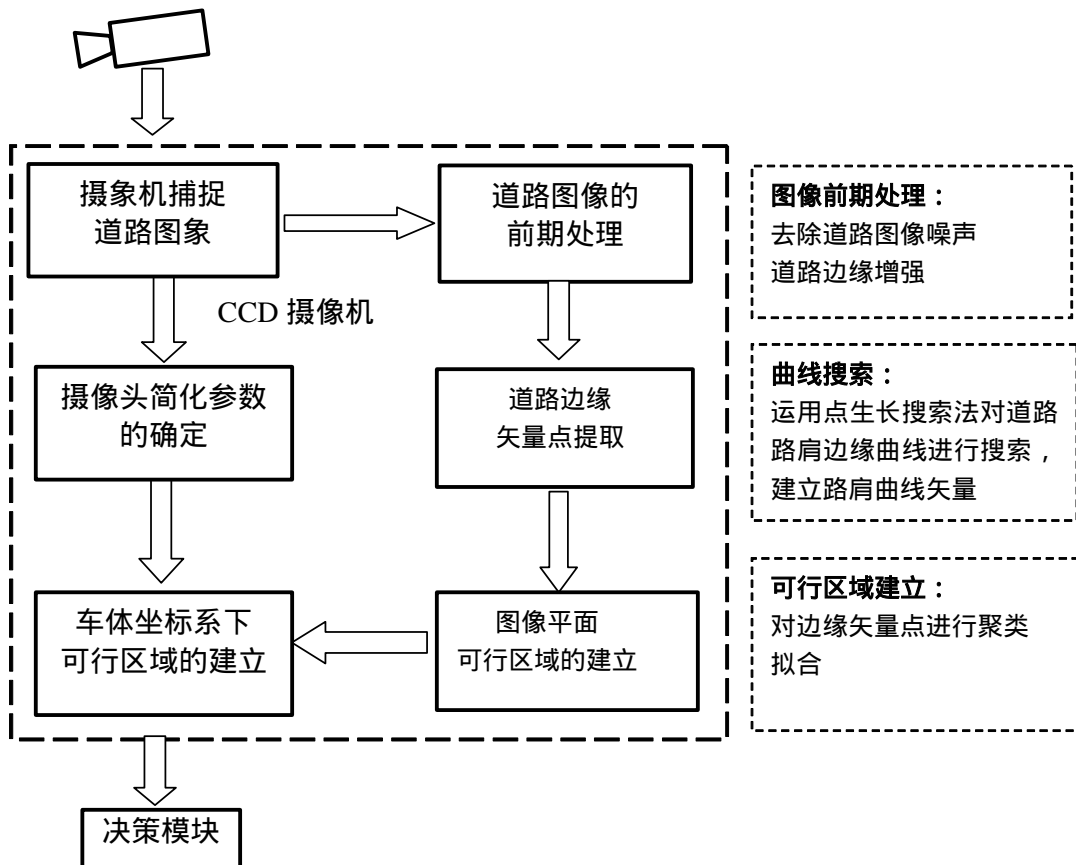


图 2 - 3

可行区域感知系统大体可以分为两个大的部分:图像平面内可行区域的建立、车体坐标系下可行区域的建立。

图像平面内可行区域的建立包括图像噪声的去除、道路边界的增强(这一部分主要是对捕捉图像进行的初步处理,目的是获得比较理想的边缘图像,以利于系统进行下一步分析),可行区域中道路边缘矢量点的提取,是整个图像处理工作的核心,根据实际的道路路面情况,编写可行的搜索算法,它的输出是可行区域边界点的坐标(图像坐标系下)。车体坐标系下可行区域的建立包括摄像头简化参数的确定(这一部分是图像平面内的可行区域与车体坐标系下可行区域转换的桥梁),然后根据这个桥梁,可以获取车体坐标系下的可行区域。

第三章 可行区域感知系统的算法研究

本章根据感知系统的总体设计，从基本的计算机视觉理论出发，对系统各功能部分进行分析，然后编写设计具体的处理算法。主要分为两大部分：图像平面内可行区域的算法研究及车体坐标系下可行区域建立的算法研究，下面进行较为详细的介绍。

§ 3.1 图像平面内可行区域建立的算法研究

本课题的目的是经过图像处理，检测出车辆行驶前方的可行区域，因此道路标识线（道路边界）便成为我们检测的一个主要问题。道路边缘检测有以下几种常见方法：区域生长法，模板匹配方法，链码跟踪方法，Hough变换方法。

1、区域生长法：其基本思想是首先在各个区域里寻找一些核心点（或核心区、原子区），通过适当的可接受的准则将其周围邻近的像素点（或子区）归并进来以使区域逐渐生长扩大，直到没有可并入的点时，整个生长过程结束。在区域生长的过程中可根据有关区域的先验知识例如区域的颜色均匀性要求，纹理或形状等要求来调整归并准则以期获得较好的区域生长和区域分割结果。一般先在道路上找出种子点，然后区域生长，最后求其补集找出道路边界。这种方法对于本研究课题有些舍近求远，先求道路区域大小，然后定出区域的补集，计算开销大。

2、模板匹配方法：根据经验，事先做好一些道路检测模板，然后检测道路曲线与哪一种模板匹配程度最好。这种方法缺点在于实际道路形状复杂多变，很难用简单的几块模板将道路曲线全部描述出来。若模板变大，虽然抗干扰，但更加难于与复杂的道路曲线相匹配，增多模板个数又会使道路检测时间变长，达不到实时性要求。

3、Hough变换方法：Hough变换是对图像进行坐标变换，使之在另一坐标空间的特定位置上出现峰值，找出峰值位置即检出曲线。例如直线 $y = ax + b$ ，在参数空间只需一个点 (p, q) 即可表示。

在此不讨论 Hough 变换的实现问题，Hough 变换能够运用图像的整体信息检测曲线，抗干扰，鲁棒性好，但是 Hough 变换的计算量很大，难于在实时时间内完成道路检测。另外，道路曲线形状越复杂，参数空间的参数就越多，找出参数出现峰值的特定位置更加困难。

综合上述方法的优缺点，采用了边缘跟踪的方法，直接将道路的边缘——道路边界、道路的标志线，用链码跟踪的方法将其检出。下面将详细介绍此种方法的思路及做法。

整体思路用框图表示如下

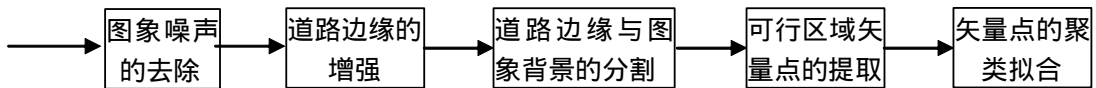


图 3 - 1 图像平面可行区域提取流程

1. 图像噪声的去除

在图像获取过程中由于采样量化、传递和环境干扰的存在致使图像出现一些高频的噪声，这些噪声会影响后续处理的效果，对图像进行平滑处理可降低噪声，获取比较理想的图像质量，提高后续处理的精度。

图像平滑的基本方法分空间域法和频率域法两类，因为本课题所研究的系统要求有极高的实时性，而频率域法所采用的算法比较复杂，要求对整个图像进行处理，实时性较差，因此系统采用比较简单的空间域法。

空间域法的基本算法有三种：

邻域平均法：

基本思想是用邻域内的点的平均值来取代该点的灰度值。但是如果该点的值与邻域平均值相差不大的话，则说明该点的噪声并不大，不需要平滑处理，从而保持边界，减少模糊；对于孤点噪声的灰度则与其邻域平均灰度相差悬殊，可以通过此方法滤掉。

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{M_{(m,n) \in S}} \sum_{(m,n) \in S} f(m, n) & \text{当} \left| f(x, y) - \frac{1}{M_{(m,n) \in S}} \sum_{(m,n) \in S} f(m, n) \right| > T \\ f(x, y) & \text{其他} \end{cases}$$

(3 - 1)

其中： $M_{(m,n) \in S}$ 表示位于该点邻域内的点的个数（不包括该点），

$\sum_{(m,n) \in S} f(m, n)$ 表示该点的去心邻域内的点的灰度值之和。

多帧平均法

这种方法是利用同一景物的多幅图像的迭加而消除噪声的，但是由于本课题所涉及的应用条件，不可能在一次处理流程中，多次对同一个区域进行图像采集，因此这种方法也不合适。

中值滤波法

中值滤波法实际上是一种非线性的空间滤波法，它既能有效的抑制噪声，又能起到保护边界的作用。这种方法的基本思想是用邻域内的点按照灰度值的大小排序，取序列的中间一位作为该点的灰度值。

中值滤波在清除图像上随机脉冲噪声较为有效，但对于某些作用形式较为缓和的噪声，效果就要差些。

高斯滤波方法

高斯算子可用模板表示卷积核为 $A/16$ ，高斯函数能把图像变模糊，有效的消除一切尺度远小于高斯分布空间常数 的图像强度变化，它在空域和频域内都是平滑的，因而引入任何在原始图像中未曾出现的变化的可能性最小

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

小结：经过我们实际的实验测定，高斯滤波方法速度快，并且效果也较理想，因此图像平滑采用这种方法。

2. 道路边缘的增强

许多学者分析了人和动物的视觉，发现视觉对图像中的边缘更为灵敏，因此提出以物体区域的边界为基础的一类图像分割方法。边界线或边缘通常是以图像中某些特性不连续行为表征的，如灰度的突变、彩色的变换、纹理结构的变化等。边界线或边缘表示图像中一个区域过渡到另一个区域。边缘信息不但对人的视觉十分重要，而且对计算机视觉的设计都十分重要。通常图像的边界常采取以下几种形式：阶跃式、灰度渐变式、斜率上升又下降式、脉冲式以及带有不同干扰等形式，如图 3 - 2。

突出图像中的边缘，然后再用某些阈值使之分割出来，从而得到边界的图像。常用的几种预处理有差分运算、梯度算子、模板匹配等。下面介绍几种常见的计算机易处理简单方便的算子

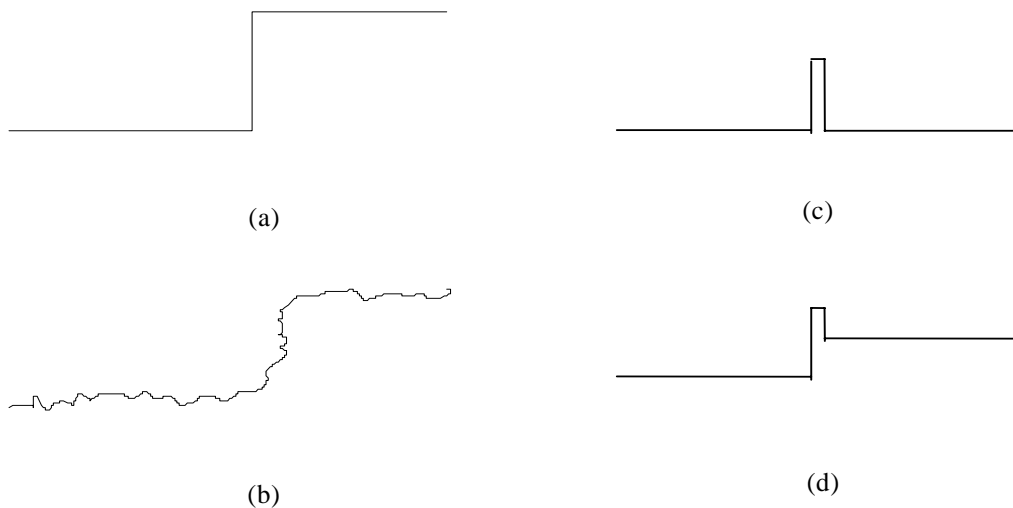


图 3 - 2 理想的边缘截面图，表示在边缘处灰度级的变化形式
 (a)理想的阶跃边缘；(b)有噪声并被模糊了的阶跃边缘；
 (c)理想的“脉冲状”线；(d)与阶跃边缘组合的线。

Robert 算子：
$$Grf(x, y) = \max\{|f(x, y) - f(u, v)|\} \quad (3 - 2)$$
式中 u, v 为 (x, y) 点的四邻域，或用差分近似为：
$$Grf(x, y) = \max\{|f(x, y) - f(x + 1, y + 1)|, |f(x + 1, y) - f(x, y + 1)|\} ,$$

这是较常用的四点邻域的公式。也可归入模板法，空域处理

$$h1(x, y) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad h2(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Laplace 算子公式为: } \nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (3-3)$$

可以用模板表示其 3×3 算子为：

$$h1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad h2 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

这个算子是旋转不变算子，从公式可以看出此算子对孤点或端点更加敏感。

Sobel 算子: 是加权平均再求差分，对 x, y 的模板如下

$$x \text{ 方向模板 } h1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad y \text{ 方向模板 } h2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Sobel 算子有抑制噪声能力，检出的边缘较宽。

Canny 检测算子: 是高斯函数的一阶微分，能在噪声抑制和边缘检测之间取得较好的平衡，它有三个最佳边缘检测准则如下：

- (1) 最优检测：不漏检真实存在的边缘，也不把非边缘点检出，这样使得输出的信噪比最大；
- (2) 最优检测精度：检测到的边缘点的位置与实际边缘点的位置最近；
- (3) 检测点与边缘点一一对应：每一个实际存在的边缘点与检测到的边缘点是一一对应关系。

但在道路图像中经过应用，它检出的边缘过于注重细节，复杂且凌乱，不适合本课题的应用。

小结：在实际应用中，模板匹配方法需要建立大量的模板以适应不同的道路，灵活性小，选择不同的模板检出道路也比较费时，在此不予考虑此方法。以上几种算子经过实际应用进行比较，Sobel 算子运算时间少且精度高，运用 x, y 两个方向模板可以同时图像上检出道路，效果比较好。

3. 道路边缘与图像背景的分割

分割是采用阈值技术，就是简单的用一个或几个阈值将图像的灰度直方图分成几个类，认为图像中灰度值在同一个灰度类的像素属于同一个物体。道路边缘与图像背景分割的效果是我们可行区域建立的基础，分割点——阈值的选取过低，则将会把道路上的阴影，污迹以及道路两旁的建筑设施划分到了道路边缘的范畴，使得道路边缘检测出的准确率大大下降，并且耗费大量时间。阈值取得过高，则图像中道路边缘也会划分到背景部分中，从而搜索不到道路边缘，也就无从为后续的控制模块提供可行区域信息。

最简单的一种全局方法就是根据经验给定固定的值将图像简单的分成道路边缘以及背景。

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq T \\ 0 & f(x, y) < T \end{cases} \quad (3-4)$$

T 为根据经验确定的阈值，但是由于光照强度的不断变化，以及道路有些局部的阴影，使得图像分割有时失效，后续算法难以取得良好效果。

自适应阈值方法，方法介绍如下：

输入图像 $f(i, j), 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J$ ，对于每一个像素点

$$m_{ij} = 1/2p \cdot \sum_{s=-p}^p \sum_{t=-p}^p f_{i+s, j+t}, \quad v_{ij} = 1/2p \cdot \sum_{s=-p}^p \sum_{t=-p}^p |f_{i+s, j+t} - m_{ij}| \quad (3-5)$$

邻域大小为 $p \times p$ ，对于像素点，

$$t_{ij} = \begin{cases} m_{ij} + v_{ij} & v_{ij} > v_{\min} \\ t_{ij-1} & v_{ij} \leq v_{\min} \end{cases} \quad (v_{\min} \text{ 是一最小参数值})$$

$$\text{当 } j=1, \quad t_{ij} = t_{i-1, j}, t_{11} = t_{i_0, j_0}$$

大津法：把图像直方图用某一灰度值分割成两组，当被分割成的两组间方差最大时，此灰度值就作为图像二值化处理的阈值，这种方法由日本的大津展之提出，主要依据是概率统计与最小二乘原理，该方法基于整幅图像的统计特性，可实现阈值的自动选取，对图像二值化处理的效果较好，被诸多学者承认，在实际中的应用范围较大。

设一帧图像分为 $1 - m$ 级，灰度值 i 的象素数为 n_i ，则

$$\text{总象素数 } N = \sum_{i=1}^{ni} n_i, \quad \text{各象素值概率 } Pi = n_i / N$$

然后用一整数 K 将其分为两组 $C_0 = \{1, 2, \dots, K\}, C_1 = \{K + 1, K + 2, \dots, m\}$,

则 C_0 产生的概率 $\omega_0 = \sum_{i=1}^k P_i = \omega(k)$, 均值 $\mu_0 = \sum_{i=1}^k iP_i / \omega_0 = \mu(k) / \omega(k)$

C_1 产生的概率 $\omega_1 = \sum_{i=k+1}^m P_i = 1 - \omega(k)$, 均值

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^m iP_i / \omega_1 = [\mu - \mu(k)] / [1 - \omega(k)]$$

其中, $\mu = \sum_{i=1}^m iP_i$ 是整体图像灰度的统计均值, 则 $\mu = \omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1$, 于是两间

$$\text{方差 } \sigma^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (3-6)$$

从 $1, 2, \dots, m$ 之间改变 K , 求使得方差最大值的 K , 即 $\max \sigma^2(k)$ 时的 K 值为最佳阈值。

其他方法: 最大熵方法对不同目标大小和信噪比的图像均产生很好的分割效果, 且受目标大小的影响小, 但此方法涉及对数运算, 运算速度慢, 不能用于实时处理。

小结:

经过试验得出结论: 在道路阴影不太严重时, 大津方法在处理速度以及图像分割优劣来看, 大津阈值方法能够自动的对图像阈值化且效果较好。

4. 道路边缘矢量点的提取

由前边所述。我们目前针对的主要是高速公路, 其道路情况如下图 3 - 3 所示, 单车道宽度一般为 3.5 米, 在道路两旁的边界处为连续白色标识线, 在道路内部, 则由断续的白色标识线将前行 (或后行) 道路分割为两车道, 或者是三车道, 又由于车辆要高速行驶, 要求要保持一定的车距, 所以在道路边缘搜索时, 前方行驶的车辆不会对我们所感兴趣的区域的道路标识线有所遮挡。

可行区域矢量点的提取分为两种模式: 一是启动模式, 另一种是运行模式。该小节中讲解一下启动模式。

启动模式: 车辆刚刚运行跟踪算法时, 没有历史纪录, 也就没有其他参数可供参考, 其处理相当于对摄像机采集的第一帧静止图像进行处理, 得到

初始的道路参数。

运行模式：在图像处理跟踪算法中，我们得到的是大量的序列图像，道路参数也有历史纪录，由于在车辆运行中，我们经过一个短暂的瞬时抓取图像，因此道路参数可依靠历史纪录限定搜索的范围，从而提高搜索的准确性，缩短搜索时间。下面介绍启动模式的搜索算法：

经过前边对图像噪声的去除以及道路边缘的增强处理后，摄像机摄取的图像如下图所示：

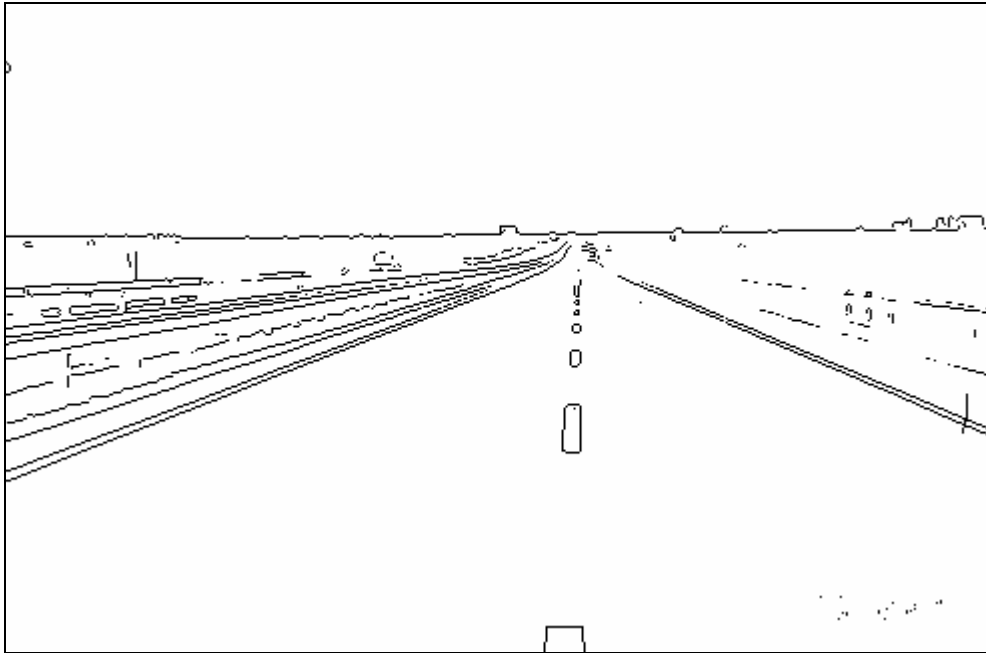


图 3 - 3 道路图像

在进一步的图像处理前，解释一下 4 连通及 8 连通的^[5]概念：在一个连通集中的任意两个象素之间，存在一条完全由这个集合的元素构成的连通路径。有两种可供选择的连通性准则，如果只依据旁侧相邻的像素（上、下、左、右）确定连通，称为 4 连通，如果再加上对角相邻的（45 度邻点）像素也被认为是连通的，就是 8 连通，在这里，我们采用 8 连通准则，通常 8 连通的结果与人的感觉更接近^[5]。

经过对车辆在实际驾驶中，所拍摄到的路面状况分析，发现在摄像机视野内主要是车辆所在当前车道的道路标识线，而其他车道的标志线较远，并且在图像底部只存在当前车道线的白色标识线（如图 3 - 4），这就简化了我们的搜索方法，在图像底部开始搜索，满足我们要求的线段点就是道路标识

线。



图 3 - 4

边缘搜索思路：

- 1) 遍历二值化图像的点(从图像的底部中间开始)
- 2) 按照点搜索算法找到一起始点，满足起始点的要求则记为 (x_s, y_s)
- 3) 以起始点开始，搜索出线段的几个点，此为搜索出的局部线段，在一定步长之内搜索不到点则结束本步骤。
- 4) 以上次搜索起始点为横向搜索边界，继续从图像中间开始按 2) 3) 步骤搜索出一局部线段，该步骤重复进行，直到达到要求的搜索点数，或者到达规定图像位置。

在道路曲线边界搜索算法中，部分采用了文献^[11]中的思路，其思想简要介绍如下：

搜索道路边缘曲线就是搜索到该曲线上一定数量的点，因为曲线上的点之间是相互连通的，所以如果需要整个曲线上的任意点，我们可以首先搜索到该曲线的一个起始点，再分析该点的八连通情况，根据对该曲线的大致趋势(左侧边缘向右生长，右侧边缘向左生长，这样可以缩小搜索范围)，找出与起始点相连通的曲线上的下一个点，然后再以刚刚寻找到的点为起始点，搜索新起始点的下一个点，重复以上过程，就可以获得整个曲线。但是，根据这种连通原则设计算法，系统所需的计算量还是比较大的，而且搜索过程中不容易保证点始终在曲线搜索，因此又结合其他思路。

第一、扩大搜索区域，由原来的相邻像素点搜索也就是 2×2 邻域，增加到 $n \times n$ 区域，从区域的最后端开始搜索，省略掉起始点与目的点之间多余的生长搜索的运算，认为沿上图所示方向得到的第一个点一定是目的点

点生长搜索法的思路：

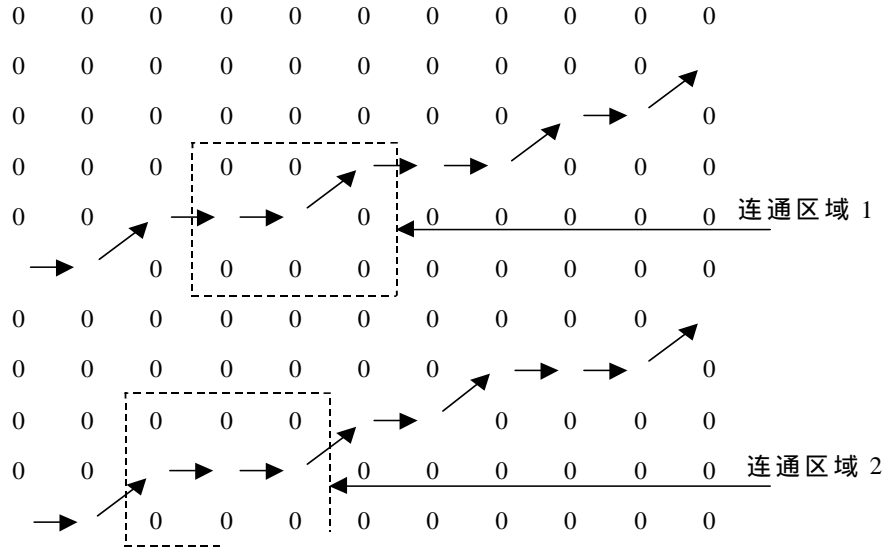


图 3-5 点生长搜索过程

第二、变步长算法，该算法包括两类变步长：

1、搜索变步长（在固定区域内，搜索不到点），为了处理搜索失败的情况，如果曲线间断距离较大，在固定的搜索区域内，搜索不到下一个点，系统就采用减小搜索区域的方法，直至找到点或不满足步长要求。

2、区域变步长（图像上不同位置对应的分辨率不同），图像所包含的信息量随位置的变化而变化，因此越靠近图像顶端，步长应变小以保证整条曲线的精度。

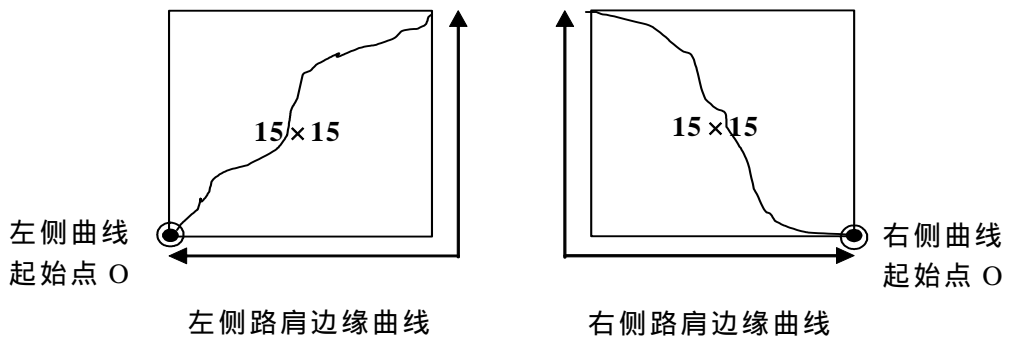


图 3 - 6 图象道路边缘示意图

5. 道路边缘矢量点聚类拟合

假设所研究的二维矢量中的两个变量 x 与 y 间存在线性相关关系，其回归方程的形式 $y = a + bx$ 是一条直线，搜索得到一组数据 x_i, y_i ($i = 1, 2, \dots, n$)，按最小二乘法原理，应使

$$s = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3-7)$$

为最小值。

也就是按公式： $b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\tilde{x}\tilde{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\tilde{x}^2}$ ， $a = \tilde{y} - b\tilde{x}$ 计算拟合直线中的两个参数

a 和 b 。但是如果对数据不加分析的盲目的按上式拟合直线，往往结果是不正确地，也是毫无意义的。究其原因，在我们搜索图像中的边缘时，图像中有许多噪声点，或是假边缘点，在搜索的点序列中，不可避免的会有奇异点，表现为孤点或是两到三点与其他的点距离远，线性相关性很小或是不存在。这样的点会使拟合的结果偏离很大。根据实际情况，采用简单聚类的方法，具体思想为：

按照相邻两点间的距离准则，从搜索的起始点开始，以当前点 s 为聚类中心，考虑下一点 n ，如果超过阈值则将当前点与前面点聚为一类，聚类中心移到 n ，判别与下一点的距离。直至遍历完所有点，分成几类。去除聚类中小于 3 个点的类，分别按上面的公式拟合其余的类，然后比较参数之间的相近性进一步合并参数或是舍弃聚类点数较少的类，经过实际计算应用，效果良好。

6. 从序列图像中提取可行区域的算法

在第四小节中，提到了可行区域矢量点的提取分为两种模式，下面叙述一下运行模式。

运行模式：第一次运行上述几个模块中的步骤，我们获取了道路的相关参数，有了历史纪录，随着时间的推移，我们得到了大量的序列图像，由于

采集图像间隔时间很短，在图像中的道路结构参数只产生很小的变化，因此可以限定下一帧图像搜索的范围，加速边缘搜索的速度，以及效率。在此有几种方法，一种是运用 kal man 滤波估计，利用了行驶车辆上 CCD 摄像机所采集的长序列图像，能较为准确的估计出道路的参数，具有灵活、方便和信息利用率高等优点。不过要对车辆运动学建立状态方程及观测方程，并且由于摄像机处于运动状态，而且车辆、道路曲率及摄像机的运动都是三维的，所以大大增加了算法研究的难度。

退而求其次，另一种是在上一次道路边缘起始点附近左右一个邻域内寻找，这种方法较之在整个图像范围内搜索边缘起始点大大提高了效率，采用这种方法开销不大。考虑道路标识线断续的时候，由于摄像头拍摄前方到一百米范围的场景，标识线间隔在图像上将变得很小，我们在搜索下一帧图像时在利用上一帧已搜索到的道路边缘起始点，在其邻域内开一个矩形的窗口，并认为起始点就在其中是可行的。

如何在实时的捕捉图像并进行可行区域矢量点提取过程中抗干扰，使得处理结果较为可靠。采用下面方法解决：

现在假如总共捕捉到 4 幅图像，按时间顺序为其编上序号 1, 2, 3, 4。对第一帧图像处理后，我们得到了道路边缘点集合，这样，在对下一帧图像搜索时，限定起始点的范围，但是由于光线变化，或者是车体的振动造成在处理第二帧图像时，限定的范围内没有搜索到要求的点，则先认为该图像为奇异帧（被各种因素污染严重，处理结果错误的图像称之为奇异帧，但奇异帧在序列图像里出现的机会较少），因此舍弃该帧图像，以第一帧中限定的范围进行第三帧图像的处理，若可以搜索到边缘起始点，则将搜索范围更改为当前帧起始点为中心的搜索窗；若仍然没有找到，有理由认为第一帧搜索的道路边缘序列点是错误的，从而对第四帧图像处理时，扩大搜索范围或是不设搜索范围去进行边缘矢量点的提取，这样可以减小奇异帧的干扰。

§3.2 车体坐标系下可行区域建立的算法研究

我们前边的工作只是获取了在图像坐标内道路边缘的二维信息，我们需要的是在车体坐标系下车辆相对于道路的位置信息，如何将前边的二维道路信息进行转换，进行摄像机标定就是转换的桥梁。在三维计算机视觉领域内

的摄像机标定就是确定摄像机内部几何和光学特性（内部参数）和相对一个车体坐标系统的摄像机坐标的三维位置和方向（外部参数）的方法，目前的摄像机标定算法一般可分为两种：一种是用线性方程求解，简单快速，但没有考虑镜头畸变，准确性欠佳；另一种是考虑了畸变参数，引入了非线性优化，在本课题的应用中，调用 Intel 提供的 OpenCV 函数库，考虑镜头畸变实现摄像机内部参数的标定，此方法能够迅速标定摄像机，满足要求，并且克服了用此类方法计算速度慢，对噪声敏感的缺点。

1. 摄像机成像参数的简化研究

摄像机成像参数：整个摄像机模型的参数可以分为两类，外部参数和内部参数，外部参数是指摄像机坐标系与选定的车体坐标系之间的空间位置关系，由平移 T 和旋转变换矩阵 R 组成。如图所示，外部参数由 6 个，侧倾角、俯仰角、旋转角和相对平移矢量的三个分量 D_x 、 D_y 、 D_z ；

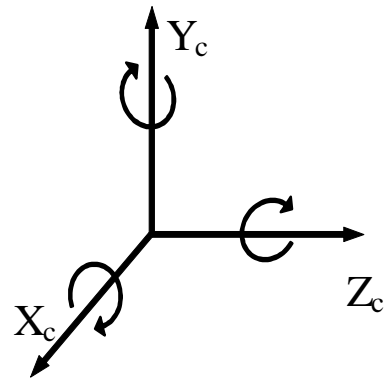


图 3 - 7

$$T = [D_x \quad D_y \quad D_z]^t$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\gamma/\cos\theta & \cos\gamma/\sin\theta\sin\rho - \sin\gamma/\cos\rho & \cos\gamma/\sin\theta\cos\rho - \sin\gamma/\sin\rho \\ \sin\gamma/\cos\theta & \sin\gamma/\sin\theta\sin\rho + \cos\gamma/\cos\rho & \sin\gamma/\sin\theta\cos\rho + \cos\gamma/\sin\rho \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\rho & \cos\theta\cos\rho \end{bmatrix} \quad (3 - 8)$$

而内部参数则是由摄像机系统采用的 CCD 面阵和光学系统的固有特性所决定成像关系，主要有：
 有效焦距 f ，即图像平面到投影中心的距离；
 切向透镜畸变系数 k_1 ，径向透镜畸变系数 k_2 ；
 CCD 在 x, y 方向上的比例系数 n_x, n_y ；
 摄像机图像平面上的主点位置 x_x, y_y 。

(a) 有效焦距 f 与 n_x, n_y ，在进行图像坐标与实际坐标相互转换，需要

知道在帧存中行和列两个方向上相邻像素点间（相对于实际图像坐标）的距离，因为焦距 f 同时在 x, y 方向上放缩图像，可设 $n_y = 1$ ， n_x 代表纵横比，在此条件下计算出 f ，以及 n_x 。

(b) 图像主点位置 (x_x, y_y) ，对三维视觉来说，景物的实际中心与图像帧存中心并不重合，有下述原因：1* CCD 面阵安装并未以透镜的光轴为中心，尤其是透镜可以转动的摄像机。2* 图像采集数字化的窗口中心不一定与光学中心重合。

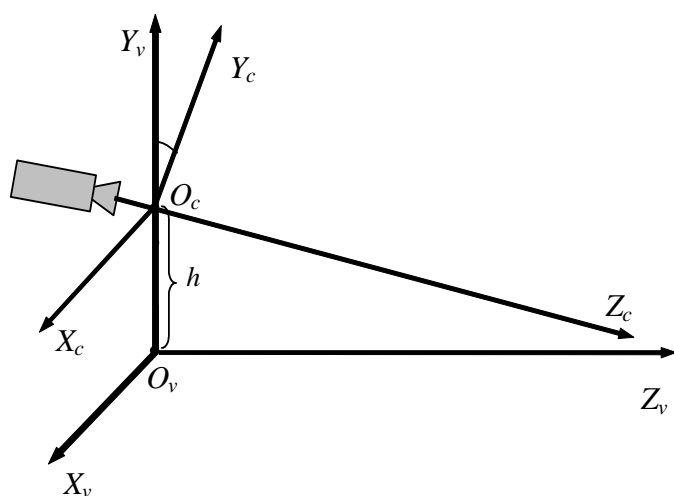


图 3 - 8

在这里由于采用的 Intel 的函数库，因此确定摄像机内部参数时不再进行简化。确定外部参数时，我们感兴趣的是车辆前方一定距离的道路场景，所以摄像机必定是向下倾斜一定的角度，即俯仰角 是不可避免的。我们可以调整摄像机使之侧倾角、旋转角为零，

从而简化了一部分计算。同时令车身坐标系的 Y 轴通过摄像机的光学中心，则摄像机相对于车身的平移矢量的两个分量 D_x 、 D_z 为零。如图 3-8 表示了调整后的摄像机坐标系与选定的车身—世界坐标系之间的位置关系。要求对简化参数有准确的标定，对于我们后面的坐标转换奠定良好的计算精度基础。

2. 摄像机内部参数确定的建模

下边介绍摄像机标定的简单原理。摄像机模型就是对景物成像到图像平面的物理过程的数学描述，我们采用了能精确反映成像过程的摄像机模型——带有透镜径向及切向畸变的小孔 (Pinhole) 模型，根据光学原理，最为理想的投影成像模型应该是光学中的小孔成像模型，因为物体的光线是通过小孔投射到成像平面上，并形成实像，不存在透镜造成的畸变的影响，但实际

的成像系统通常为透镜成像系统，图 3-9 为透镜成像的基本原理：其中 v 代表视距， f 代表焦距， u 代表物距，有公式

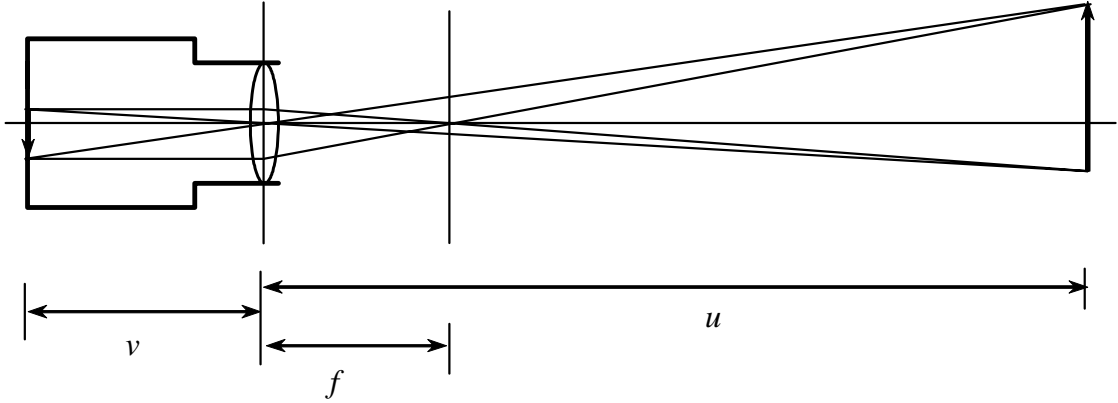


图 3 - 9

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (3 - 9)$$

忽略镜头畸变的小孔模型：

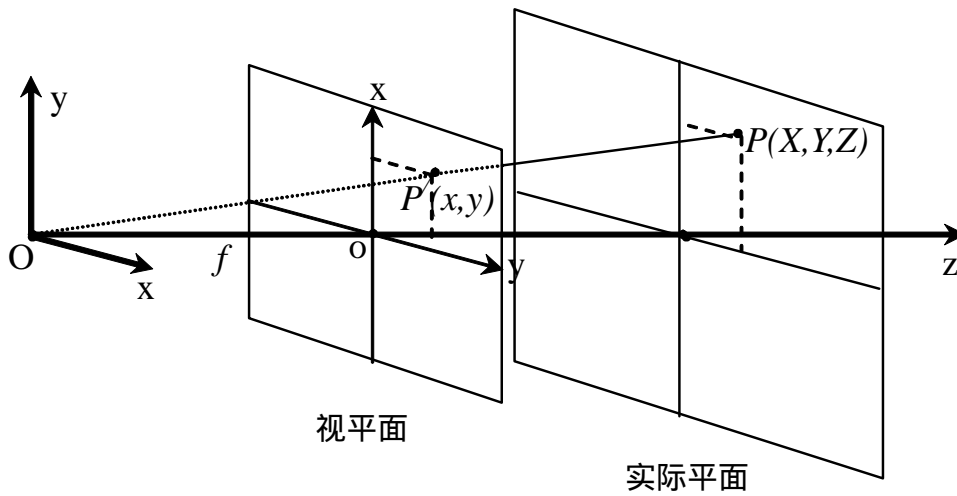


图 3 - 10

分析上图，利用几何相似三角形关系，有三角形 $OA'C'$ 与三角形 OAC 相似，三角形 $OB'C'$ 与三角形 OBC 相似，根据三角几何定理，得到：

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{OB'}{OB} = \frac{f}{Z}$$

有三角形 $OA'P'$ 与三角形 OAP 相似, 三角形 $OB'P'$ 与三角形 OBP 相似, 根据三角几何定理, 得到:

$$\frac{y}{Y} = \frac{OA'}{OA} \quad (3-10)$$

$$\frac{x}{X} = \frac{OB'}{OB} \quad (3-11)$$

将式 3-9 分别与式 3-10, 式 3-11 联立, 我们可以很容易验证, 上图所示的视觉坐标系中, 实际点在摄像机坐标系下的坐标 $P(x, y, z)$ 与图像平面上的该点的实像 $p'(x, y)$ 之间有如下的几何关系:

$$\begin{cases} x = f \frac{X}{Z} \\ y = f \frac{Y}{Z} \end{cases} \quad (3-12)$$

带有镜头畸变的小孔模型:

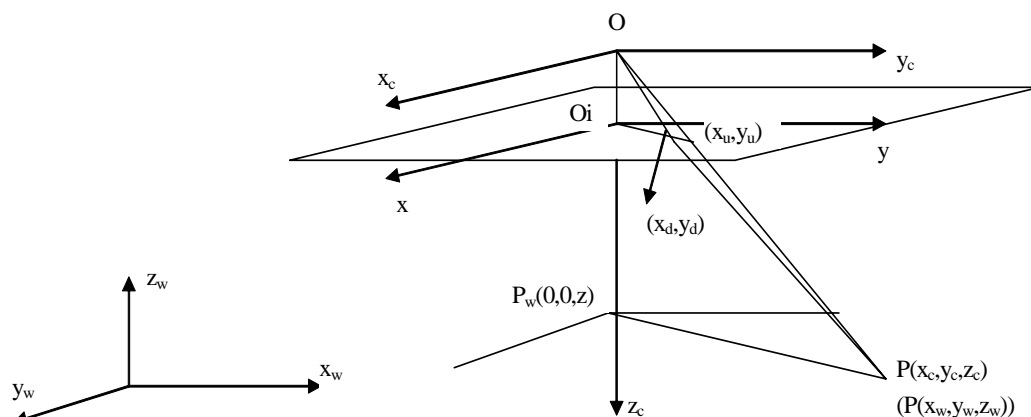


图 3 - 11

设 (x_w, y_w, z_w) 是三维世界坐标系中某目标点 P 的三维坐标, (x_c, y_c, z_c) 是同一点 P 在摄像机坐标系 (定义如图所示) 中的三维坐标, 摄像机坐标系定义为: 中心在 o 点 (光学中心), z 轴与光轴重合, xo_iy 是中心在 o_i 点 (光轴 z 与图像平面的交点) 平行于 x, y 轴的图像坐标系, 有效焦距 f 是图像平面和光心的距离。 (x_v, y_v) 是在理想 Pinhole 模型下 P 点的图像坐标, (x_d, y_d) 是由透镜变形引起的偏离 (x_v, y_v) 的实际图像坐标, 注意到图像在计算机中的坐标 (x_i, y_i) 的单位是像素数 (pixel) 所以需要附加参数。

将图像从世界坐标系到图像坐标系需要以下几步:

$$1、 \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{camera} = R \bullet \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}_{world} + T \quad (R \text{ 为旋转矩阵, } T \text{ 为平移矩阵})$$

2、Pinhole 模型下理想投影变换：

$$x_u = f \bullet X_c / Z_c, \quad y_u = f \bullet Y_c / Z_c$$

$$3、 \text{畸变模型：} \begin{aligned} x_d &= x + x[k_1 r^2 + k_2 r^4] + [2p_1 xy + p_2(r^2 + 2x^2)] \\ y_d &= y + y[k_1 r^2 + k_2 r^4] + [2p_2 xy + p_2(r^2 + 2y^2)] \end{aligned}$$

其中 k_1, k_2, p_1, p_2 为畸变系数

4、实际图像平面坐标到计算机图像（帧存）坐标变换：

$$x_f = c_x + s \cdot x_d \quad y_f = c_y + s \cdot y_d$$

(c_x, c_y) 为主点坐标, s 为比例因子单位距离上的像素数)

综上所述：在世界坐标系下，点 M 与图像上的对应点 m 就有如下关系

$$m = A \cdot [RT] \cdot M$$

$$\text{其中 } A \text{ 是内部参数矩阵 } A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(c_x, c_y) 是主点坐标, (f_x, f_y) 是 x 轴及 y 轴的焦距长度。

在标定内部参数时，不失一般性，假定标定模板位于世界坐标系中 $z=0$ ，测得十五帧或更多帧的图像坐标以及对应的世界坐标系下的坐标利用式 3-13 我们可以迅速求得摄像机内部参数：焦距、主点坐标、畸变系数，以及外部旋转矩阵和平移矢量。

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-13)$$

3. 可行区域建立的算法

根据应用要求，定义以下坐标系：

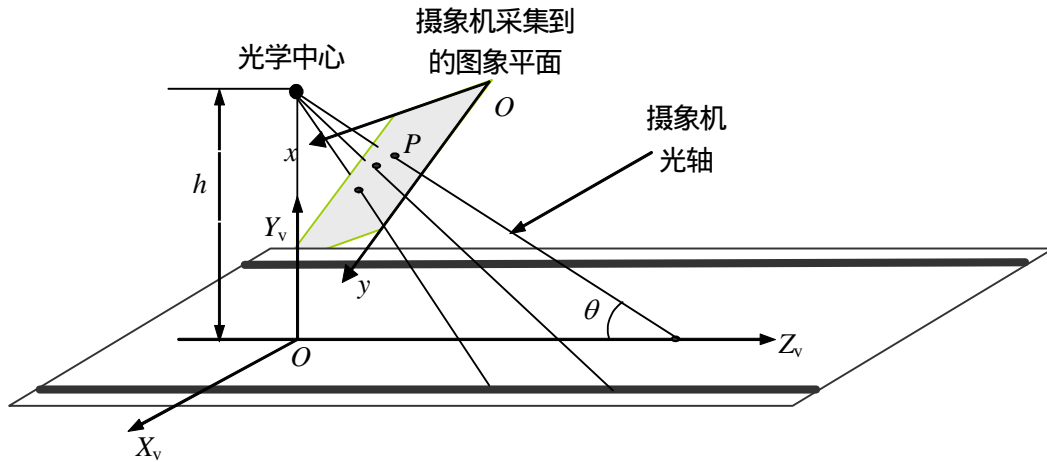


图 3 - 12

1、车体坐标系：坐标原点为过摄像机光学中心的竖直线与地平面的交点， z_v 轴为汽车俯视图中汽车中心线，指向车辆前进方向； x_v 轴为垂直于纵向汽车中心线指向右方； y_v 轴竖直向上。

2、摄像机坐标系：坐标原点为摄像机的光学中心； z_c 轴为垂直于图像平面的光轴，指向前方； x_c 轴平行与摄像机扫描行方向，指向扫描像素增大的方向； y_c 轴垂直与摄像机扫描行方向，指向上方。

3、图像坐标系：坐标原点为光轴与图像平面的交点； x 轴平行于扫描行方向，指向扫描像素增大的方向； y 轴垂直扫描行方向指向图像上方。

4、帧存坐标系：坐标原点位于内存中图像的左下角； x 轴平行扫描行方向，指向右方； y 轴垂直扫描行方向，指向上方。

从图像平面可行区域到车体坐标系下可行区域的建立：

a) 图像帧存坐标系到图像坐标系

$$x_d = (x_f - c_x) / s \quad y_d = (y_f - c_y) / s \quad (3-14)$$

b) 图像坐标系到摄像机坐标系：利用前边已述的理想小孔模型

$$x_u = f \cdot X_c / Z_c, \quad y_u = f \cdot Y_c / Z_c \quad (3-15)$$

c) 从摄像机坐标系到世界坐标系（坐标转换）

如图 3-13 的左图表示,在应用道路平面假设的前提下,将摄像机安装在车上,并向下倾斜一定角度拍摄道路路面的成像情况,为了方便的进行坐标转换,我们把固定于车身的视觉坐标系原点选在了过焦点铅垂线与地平面的交点处。图中 (x_c, y_c, z_c) 为视觉系统摄像机坐标系, (x_v, y_v, z_v) 为固定于车身的车体坐标系,图像平面坐标系 (x, y) 位于 $A'B'C'$ 所代表的平面上。为了分析方便我们将成像关系图逆时针旋转一定角度,形成右图,用以确定图像平面坐标系和固定于车身的世界坐标系之间的对应关系。

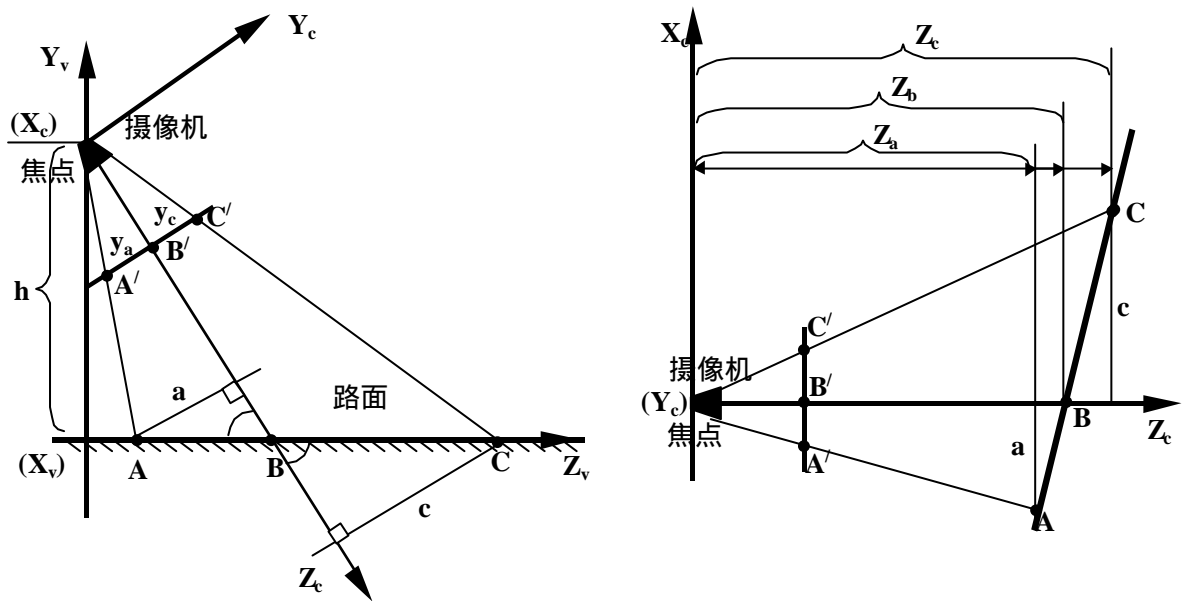


图 3-13 车载摄像机成像关系图

(利用摄像机后成像模型建立)

ABC 表示实际路面上的三个点,而 $A'B'C'$ 则是三个点在视平面(即摄像机拍摄得到的图像)上成的像。我们的目的是得到图像平面上 $A'B'C'$ 三点对应的路面实际点 ABC 在固定于车身坐标系 (x_v, y_v, z_v) 下的坐标

可以利用图 3-13 中所示的相似三角之间的关系实现。

分析图 3-13,焦点到 B' 之间的距离表示焦距 f ,线段 $B'B$ 表示摄像机的光轴,ABC 三点在摄像机坐标系下的 Z 轴坐标分别为 z_{ca} 、 z_{cb} 、 z_{cc} ,其中 z_{cb} 为图像坐标系原点对应的实际点在摄像机坐标系下的 Z 轴距离,是可以通过系统标定确定的。

根据道路平面假设和成像几何关系有

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{a}{Z_{cb} - Z_{ca}} = \frac{c}{Z_{cc} - Z_{cb}} \quad (3-16)$$

根据公式(3-9)得：

$$a = \frac{Z_{ca}}{f} \times y_a$$

$$c = \frac{Z_{cc}}{f} \times y_c$$

$$\text{所以 } Z_{ca} = \frac{Z_{cb} \operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \theta + y_a / f} \quad (3-17)$$

$$Z_{cc} = \frac{Z_{cb} \operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \theta - y_c / f} \quad (3-18)$$

利用前面所得的 z_c , A 点所对应的象素坐标在摄像机坐标系下的坐标可以根据公式(3-9)计算。根据道路平面假设,由摄像机坐标系向固定于车身的坐标系之间的坐标转换表示为：

$$\begin{bmatrix} X_v \\ Y_v - h \\ Z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (3-16)$$

其中向量 (x_c, y_c, z_c) 表示摄像机坐标系下的坐标值,向量 (x_v, y_v, z_v) 表示固定于车身的坐标系下的坐标值,也就是视觉感知系统测量的目的。坐标变换部分的实现将在下一章节实现。

§3.3 本章小结

这一章对可行区域建立的理论部分进行了研究,对计算机视觉理论及图像处理知识有所了解的前提下,为能够最佳的提取出道路边缘比较了各种方法,确定了链码跟踪的方法,采用了高斯滤波去除图像噪声,运用索贝尔算子增强道路边缘,采用大津方法将道路轮廓与道路图像背景分割,在此基础上,提出了基于道路边缘的点生长搜索算法。根据序列图像的特点,采用了限定搜索范围并舍弃奇异帧的方法,保证了在序列图像中提取出的道路边缘准确可靠。车体坐标系下可行区域建立时,首先对摄像机的参数进行了合理

的简化，运用道路平坦假设，将图像坐标转换为车体坐标，为智能辅助驾驶车辆提供最基本的外界环境信息。当然，对于智能辅助驾驶车辆的视觉系统来说，一种方法并不能保证感知的准确性、可靠性，需要在以后的工作中谋求更多的优秀的方法处理结果的融合，不断完善可行区域的感知系统。

第四章 可行区域感知系统的实现

可行区域感知系统的实现，包括两方面的工作：系统的软件设计和系统的硬件选择，以及这两个方面集成工作，下面就分别从两个方面对整个系统的实现进行讨论。

§4.1 可行区域感知系统的硬件实现

可行区域感知系统的硬件有主控计算机和图像采集设备两大部分，其中我们最为关注的是图像采集设备的选取。图像采集设备包括摄像器件，光学器件（镜头）和图像采集卡三个部分，下面从计算机视觉系统对各个设备的要求出发，对其基本原理和选择原因进行一定的阐述：

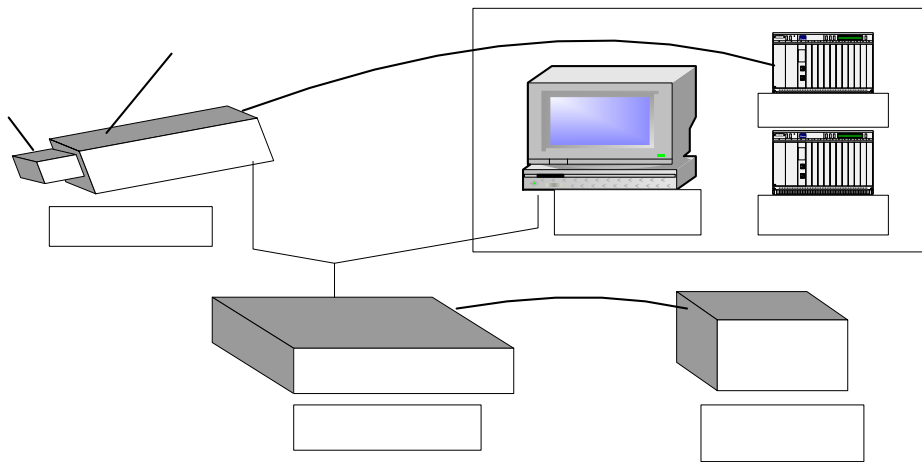


图 4 - 1 总体设备简图

1. 图像的捕捉设备：

(1) **摄像器件的选择**：对于摄像器件的选择，需要从三个方面入手：摄

像器件的类型、摄像器件的基本参数以及采用黑白型还是彩色型。

类型选择：摄像器件的作用是把景物图像的模拟量信息转变为数字图像信息，从而便于输入计算机进行处理。由于本课题所设计的计算机感知系统是应用于智能辅助驾驶车辆控制的，它既要从图像中提取相当精确的道路状态信息，又要适用于车载应用，因此要求该摄像器件具有体积小、可靠性高、分辨率足够高、畸变小、动态范围大、噪声低等特点。

常用的固体摄像器件目前已经商品化，主要类型有以下几种：电荷耦合型（CCD）、电荷注入型（CID）、金属-氧化物-半导体型（MOS）、电荷引动型（CPD）和叠层型（PLOSS）。其中以 CCD 具有多种独特功能，其应用最为广泛。

本系统选用的是 CCD 摄像头，CCD（Charge Coupled Device）即电荷耦合器件，是一种应用广泛的固体成像器件，它是在大规模集成电路工艺基础上研制而成的模拟集成电路芯片。这种 CCD 芯片借助于必要的光学系统（即镜头）和合适的外围驱动与处理电路，可以将景物图像，通过输入面空域，进行逐点的光电信号转换，存储和传输，并在其输出端形成一时序视频信号。CCD 摄像机工作方式是：被摄物体反射光线，传递到镜头，经镜头聚焦到 CCD 芯片上，CCD 根据光的强弱积聚相应的电荷，经周期性放电，产生表示一副画面的电信号，经滤波、放大等图像处理，通过摄像机的视频输出端子输出。

CCD 有以下特点：

- 1 CCD 是一种固体化器件，具有体积小、重量轻、电压低、可靠性高、寿命长等一系列优点。
- 2 具有很理想的“扫描”线性，可进行行象素寻址，可变换“扫描”速度，畸变小、尺寸重现性好，特别适用于尺寸测量、定位和成像传感等方面。
- 3 有很高的空间分辨率：线阵器件现今已有 7000 象元、分辨能力可达 $7\mu\text{m}$ ，面阵器件已有 4096×4096 的器件。
- 4 有数字扫描能力：象元的位置可由数字代码确定，便于和计算机结合。
- 5 光敏元间距的几何尺寸精确，可以获得很高的定位精度和测量精度。
- 6 具有很高的光电灵敏度和动态范围：目前好的器件，灵敏度可达 0.001Lx ，动态范围 106:1，信噪比达 60-70dB，因此，该类器件在特定的条件下与微光象增强器输出端耦合，甚至可以检测到一个光电子。

- 7 CCD 数据率可调：因此可适用于动态、静态等各种条件下的测量，而且还可利用电子快门面阵 CCD 系统实现高速瞬态的记录。
- 8 可任选模拟、数字等不同输出行驶，可与同步信号、I/O 接口及微机兼容、组成高性能系统，适应于不同条件下使用。

综合 CCD 成像设备的上述优点，我们选择 CCD 摄像头作为视觉系统的图像采集设备。

参数选择：现有的 CCD 芯片已开发出的有 2/3"、1/2"、1/3" 和 1/4" 等系列，目前为 CCD 摄像头所普遍使用的是 1/3" 芯片，其成像尺寸为 4.8×3.6 毫米²，对角线为 6 毫米。另外，CCD 面阵象素的多少决定了图像所能达到的基础分辨率，象素越多，分辨率但是如果象素过多的话，必然引起处理时间的增加，从而降低系统的实时性，所以本系统采用 528×400 象素 CCD。

在前边，根据系统的整体设计，选用黑白型 CCD。

基于以上几点分析，选择了美国 Honeywell 公司出品的 LG-135GC 型 CCD 摄像机作为系统的图像采集设备，它采用 1/3" 芯片 CCD 芯片，象素面阵为 528×400。

(2) 光学器件（镜头）的选择：视觉系统所需的光学器件是由系统应用的条件所决定的，由于本系统最终目的是应用于高速公路上汽车智能辅助驾驶，因此为了保证汽车的运行速度，必须使驾驶员的预瞄距离能够达到 100m。

镜头参数：驾驶员至少需要注意前方 100m 处的场景，也就是说，驾驶员视觉系统镜头的中心与汽车前方感兴趣区域中心之间的水平距离为 100m，假定高速公路总的车道宽度不大于 20m，因此根据公式(4-1)

$$f = 4.8 \times L / W \quad (4-1)$$

其中：f 表示镜头的焦距(mm)

W 为目标宽度(mm)

L 为摄像机与目标之间的距离(mm)

我们可以得到所需镜头的焦距为 24mm。

其他要求：在驾驶员视觉系统理论分析中，我们已经考虑到处于室外运行的车辆，所处环境中光的照度是始终变化的，因此选择镜头时需要考虑选用具有自动光圈功能的镜头。

综上所述，驾驶员视觉系统采用了日本精工生产的 SA2513 型自动光圈镜头作为摄像装置的光学系统。

(3) 图像采集卡的选择：本系统要求图像必须实时的传输，在研究课题

的初期，曾采用过 USB1.0 接口的数码摄像头，没有采用图像采集卡，使得获取的图像有些迟滞，影响后续的图像处理，不满足课题的实时性要求。图像采集卡是摄像器件与计算机之间的接口，完成图像数模 A/D 转换的主要设备。鉴于以上问题，本系统采用北京大恒公司生产的 VIDEO-PCI-XR 黑白图像采集卡。该卡基于高性能的 PCI 总线，能实时传送数字视频信号到显示存储器或系统存储器。黑白图像则直接输入模/数转换器，经比例缩放、裁剪等处理，处理后的数字图像通过 PCI 总线传到 VGA 卡实时显示或传到计算机内存实时存储，由于是基于高性能的 PCI 总线，图像传输速度可达 40MB/S，满足课题要求。

2. 感知系统处理设备

由于我们要在实验车上运行，需要对软硬件进行集成，将这些硬件设备安放在车上，考虑在实验车上的运行环境以及本课题今后应用的需求，我们采用工控机作为我们的主控处理机。工控机有其独特的优点：

- 1) 配置的灵活性，可以更换底板，方便的让用户配置不同数量的 ISA、PCI 总线槽，以满足其各自的需求而不会造成插槽的浪费。
- 2) 可靠性与可维护性，
- 3) 环境因素，可确保图像处理应用平台符合温度、湿度、抗冲击、抗震动、抗干扰等

在本课题及今后的应用中，需要用到许多传感器，AD 及 DA 卡，定时器卡等等，另外，由于运行环境在行驶的车中，振动是不可避免的，我们需要比较高的可靠性，综上所述，选用台湾的研华工控机，CPU 为奔 2 - 500。

3. 其他辅助设备

在试验车上做试验时，工控机、显示器以及摄像头采用的均是 220 伏的交流电源，而车载电源是 12 伏的直流电源，因此我们还需要逆变器，要求体积小，功率大备有专用电缆，我们选用美国 Cobra 公司的 HG PI1000 型逆变器。

§4.2 可行区域感知系统的软件实现

可行区域感知系统的软件部分是利用 Visual C++6.0 以及 intel 提供的 opencv 视觉库和 iplman 图像处理库函数完成的。采用 Visual C++6.0 的目的在于使用 MFC 库，编写出友好的程序界面和硬件接口程序。运用 intel 提供的视觉库函数，可以运用它其中丰富的图像处理功能，大量简化我们编程的工作量，并且这些函数经过很好的优化，执行效率高。所以本课题程序设计方面主要工作是：道路图像分析处理模块，包括捕捉图像道路边缘增强、道路边缘起始点判定、可行区域矢量点生长提取和车体坐标系下可行区域建立四个主要功能。另一方面，将 intel 公开的视觉库函数嵌入到我们的程序中去，从中选择适合我们课题需要的图像处理及视觉模块

模块 1 软件与硬件接口部分实现道路场景图像的捕捉；

模块 2 完成图像噪声的去除与道路边缘的增强；

模块 3 确定图像上道路边界曲线的起始点位置；

模块 4 用来确定整条曲线的位置，提取出可行区域的轮廓；

模块 5 完成对车载摄像头参数的确定；

模块 6 实现图像平面的可行区域由图像坐标系转换到固定于车身的车体坐标系。

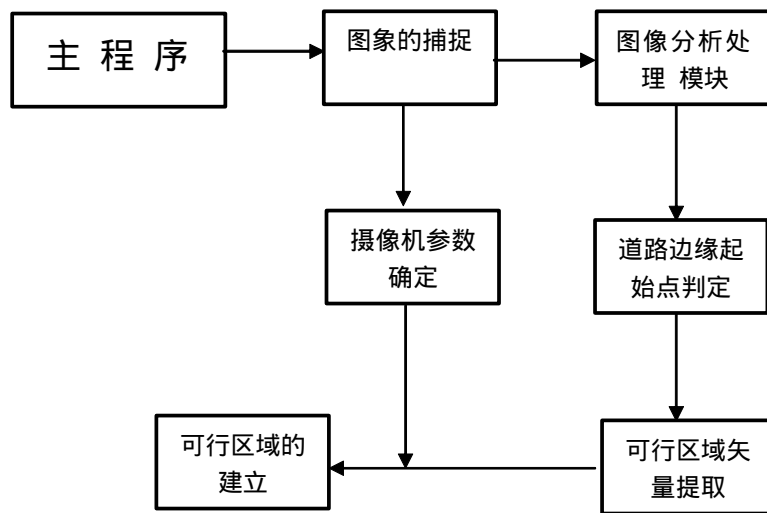
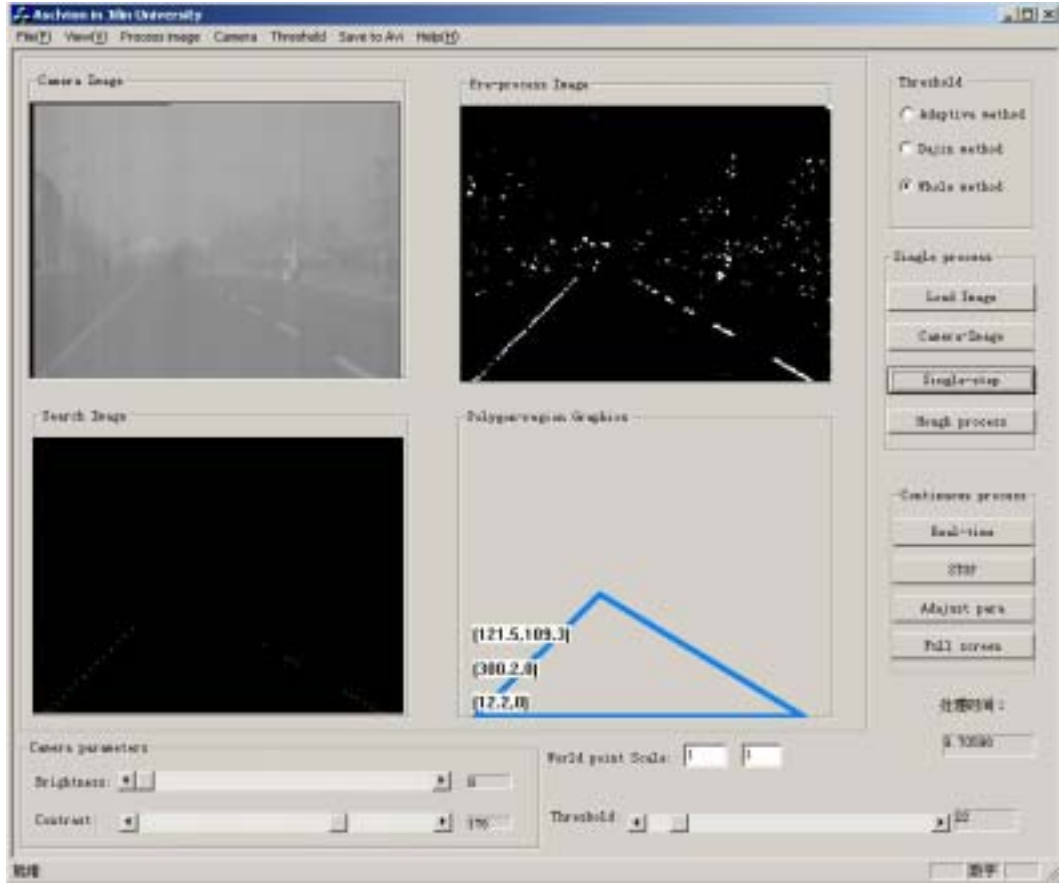


图 4 - 2 模块关系与数据流向图

下面，针对各个模块的具体设计工作进行讨论：

4.2.1. 图像的捕捉

利用采集卡接口函数将摄像机捕捉的图像数据传入计算机进行处理，运用 Visual C++提供的 MFC 库，方便的实现用户窗口界面。程序主视图界面如下图所示：



由于我们在后面进行图像处理等各步骤时运用得是 intel 提供的函数，为保持图像格式，以及图像各方面参数与 intel 给出的相一致，以及编程方面的便利性、高效性，将大恒的采集卡采集的图像(BMP 格式)转换为 ipl Image 格式。可在程序中方便的嵌入视频捕捉功能，实现信号的输入，并把输入的信号转换为二维矩阵形式进一步处理。

图像捕捉主要分三个部分：内存空间的申请，硬件设备初始化和具体信号的采集。硬件设备初始化及相关参数设置包括视频源，视频格式的控制，图像大小、色调、对比度、饱和度的控制。

设计图像硬件接口程序的目的是获得由硬件设备采集到的道路图像

信息，将图像上的点按灰度八位（256 色）方式，以及按照我们要求的图像格式（iplimage 格式），大小（320x240）等存储到一段连续的内存空间中，并以指针方式或矩阵方式输入到图像处理程序。

4.2.2. 可行区域建立的算法实现

可行区域建立的实现主要由四个部分组成（4-1 图中的 1-4 部分）：道路图像边缘增强得到原始图像的边缘轮廓；道路边缘起始点判定从各个边缘曲线中找到我们感兴趣的道路边缘的起始点；点生长边缘搜索确定一定长度的道路边缘；利用已知的摄像机参数进行坐标变换实现图像坐标系向车身坐标系的转换，整个图像处理模块处理的结果是车身坐标系下的道路边缘线。

这一部分工作完全是用 C 及 C++ 语言编写完成的，文献^[11]中部分的利用了 Matlab 的 Tool box 提供的图像处理工具，虽然这样可以大大简化程序设计工作，但是运用 Matlab 5.2，其执行效率较慢，对于我们课题要求很高的实时性而言，不满足我们的要求。

1 道路边缘检测模块

道路边缘增强模块的目的是对原始图像处理，获得高质量的边缘图像，整个模块包括图像噪声的去除和边缘增强两个内容，图像噪声去除采用高

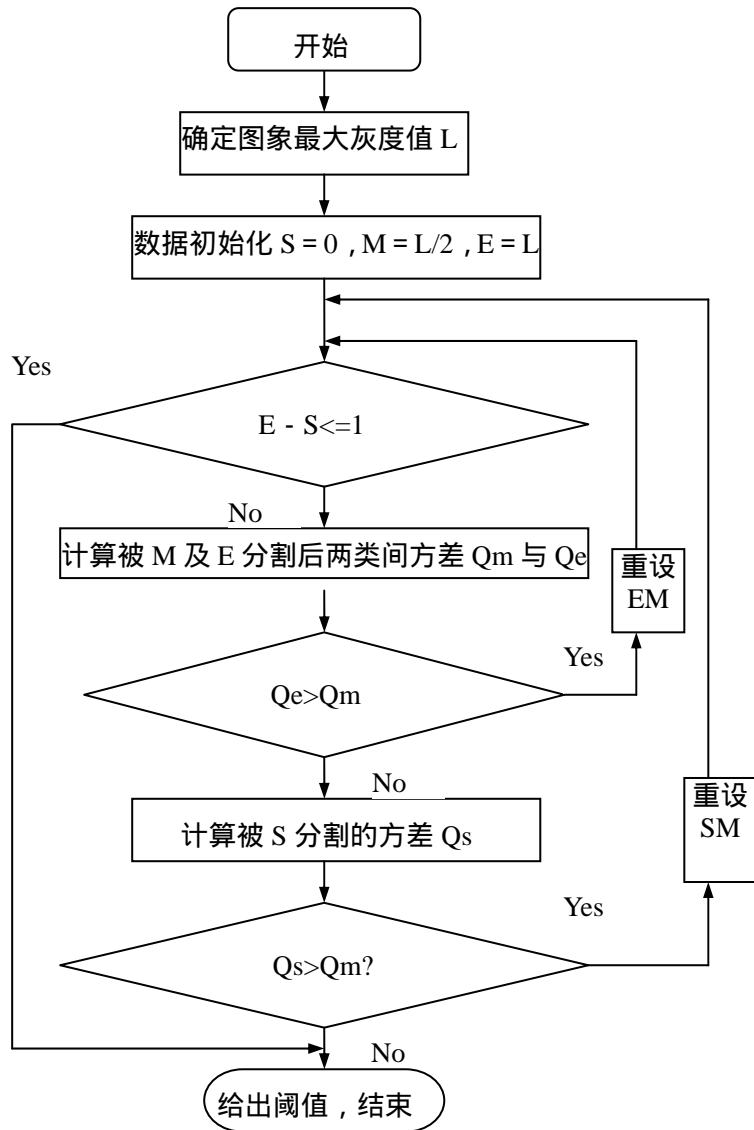


图 4-3 大津算法流程图

斯滤波法，经过这一步可以去除掉电子噪声以及无细节，滤波窗采用前面所讨论的梯度算子边缘检测算法，具体为 Sobel 梯度算子，算子表示为： $[-1 -2 -1; 0 0 0; 1 2 1]/8$ 。得到了图像边缘增强的图像，接下来对图像内的像素进行分割，使用阈值的方法将图像分为含有道路边缘的一类，其余归为背景。经阈值处理后的图像保存为另一幅图像送到下一模块进行处理。

2 道路边缘起始点判定模块

边缘检测模块处理得到的边缘图像包含有许多边缘点，尽快从中找到对

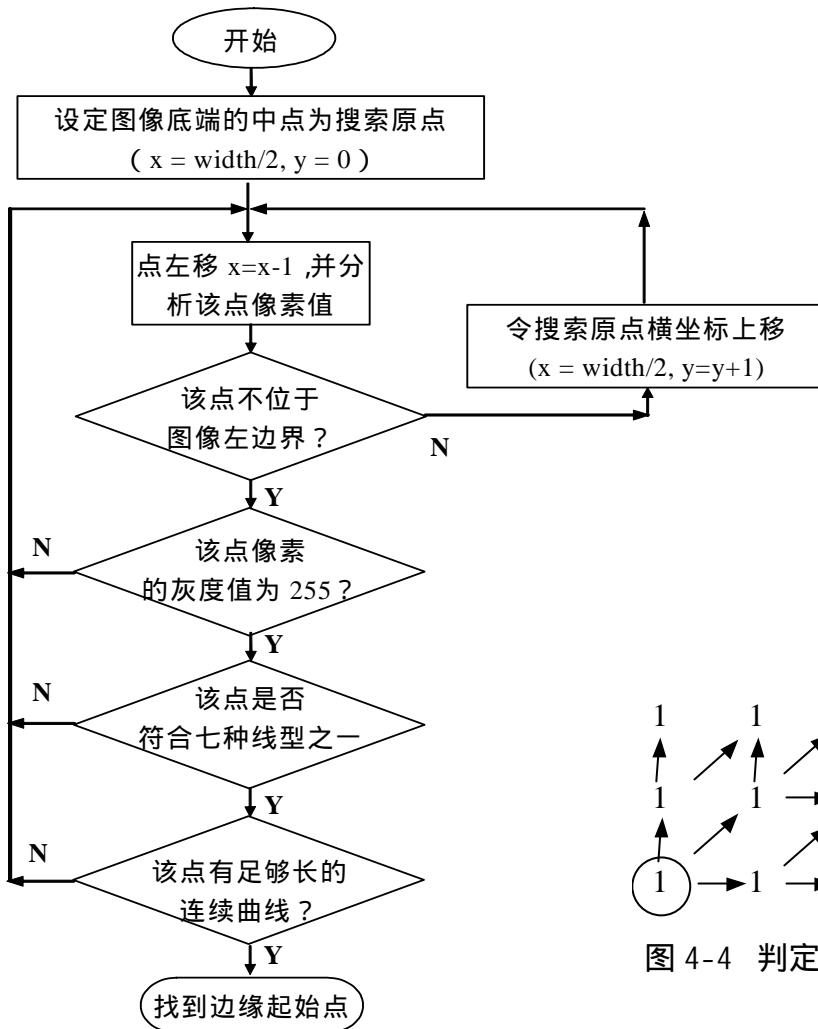


图 4-5 道路起始点判定框图

应道路边界的边缘曲线是十分重要的，为此设计了道路边缘起始点判定模块发现我们感兴趣的边缘曲线的起始点。

以左侧道路边缘起始点的搜索过程为例，理想的左侧道路边缘点必定在其右侧上方存在连续的线，如图 4 - 4 线的基本形状有七种，道路边缘起始点判定就是判断该点是否具有图示的形状的线，而且线足够长。

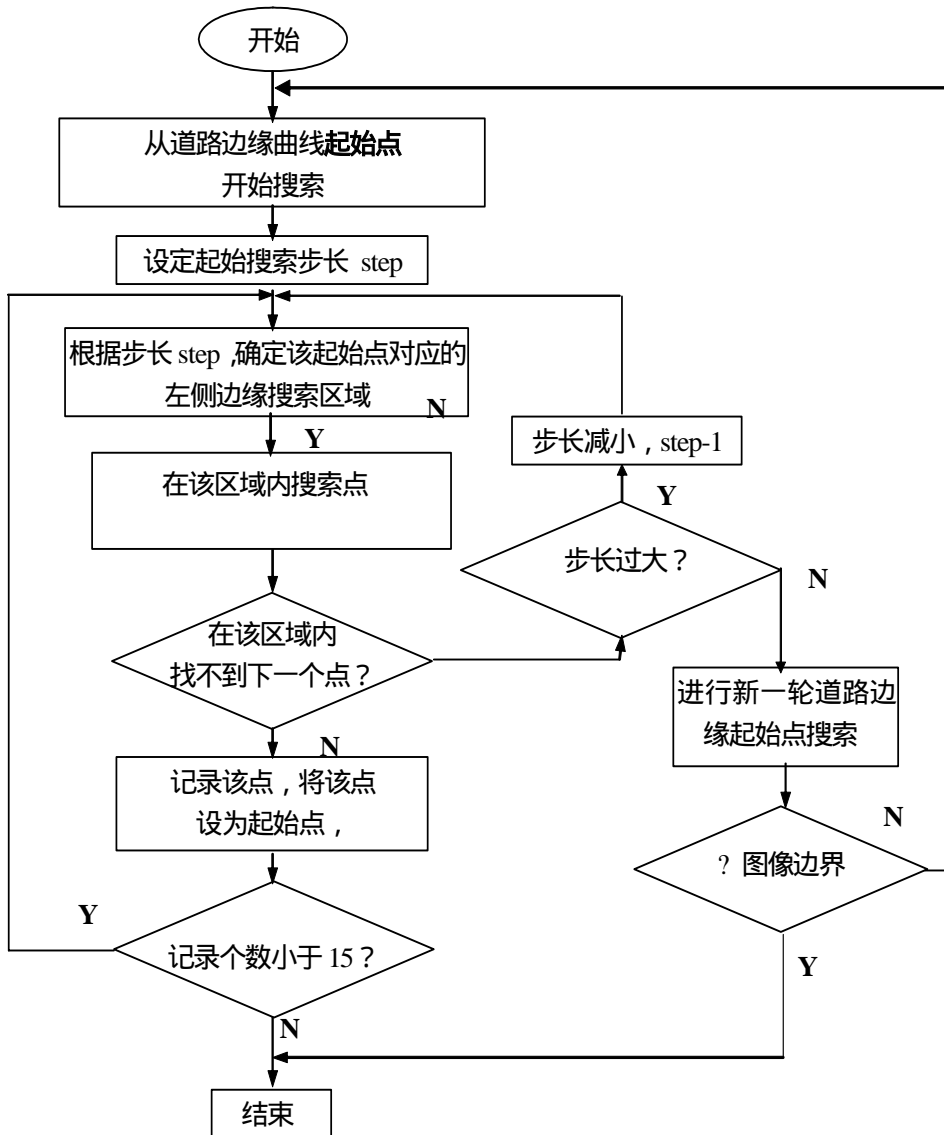


图 4-6 道路边缘搜索框图

3 道路边缘曲线搜索模块

系统处理的图像，道路边界曲线不是理想的平滑曲线，为此需要应用前面所设计的点生长搜索算法进行曲线搜索，实现方法流程如图 4 - 6。

4 聚类拟合搜索点流程图如下

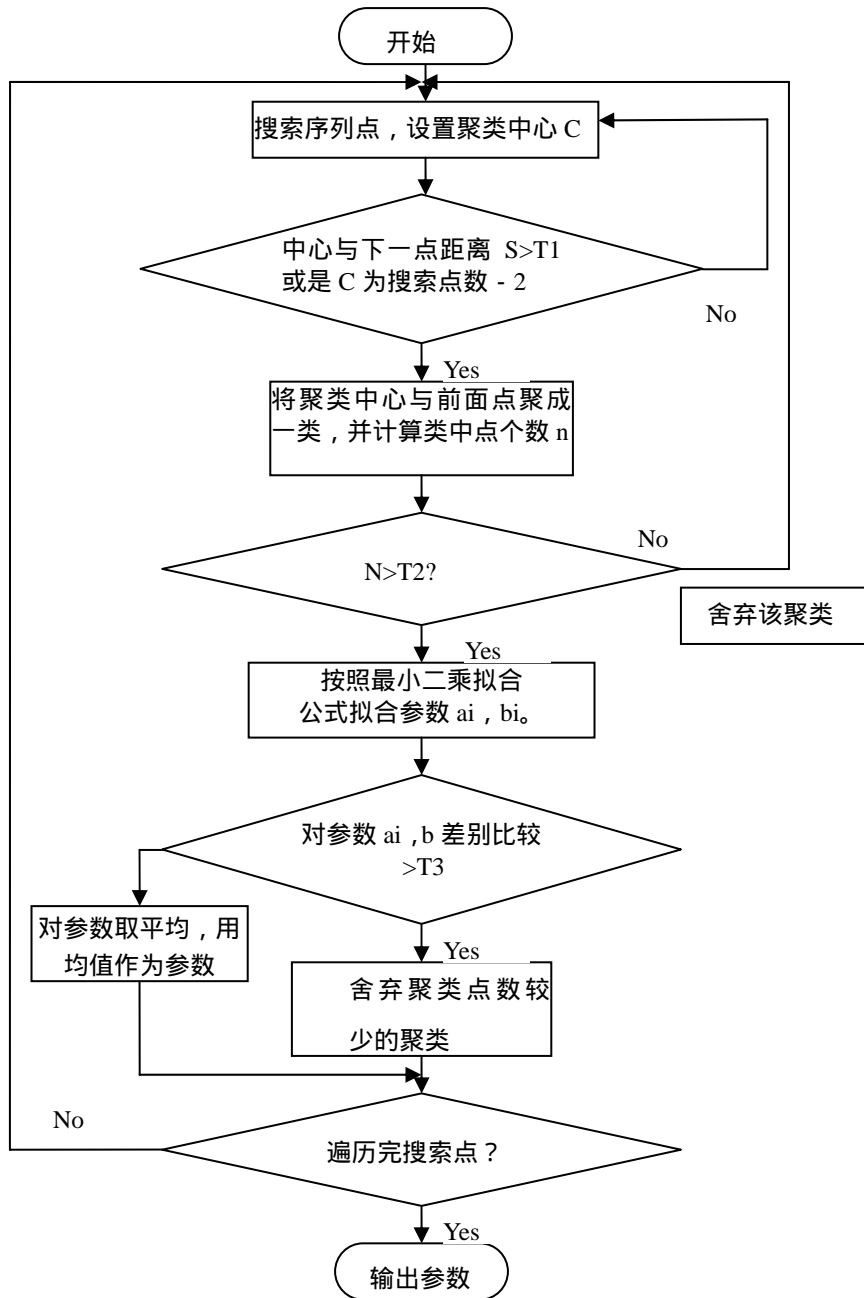


图 4 - 7

5 可行区域建立模块

坐标转换模块应用前面所讨论的坐标转换方法，根据系统标定所得的摄像机焦点与拍摄道路区域中心点的相对位置，摄像机拍摄时的镜头的倾角等参数，实现坐标的转换，在此不作详细论述了。

搜索左侧线整个程序的流程图示意图如下：

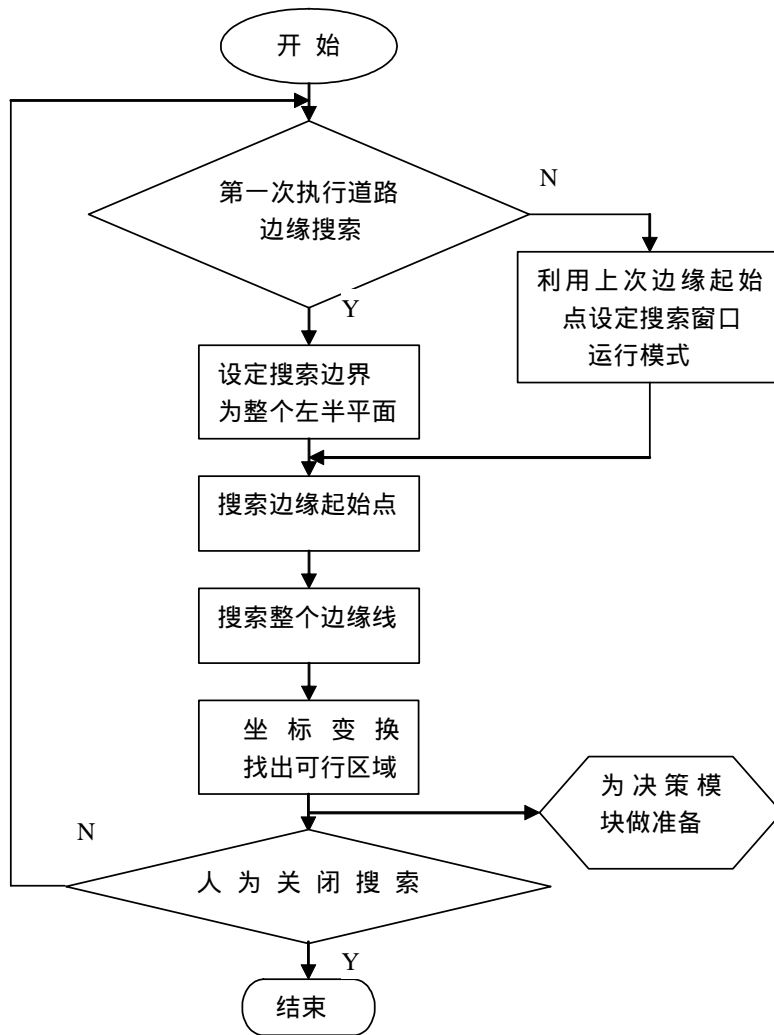


图 4 - 8

4.2.3. 处理结果的存储实现

当感知系统实时运行时，我们要将处理的结果，以及图像存储起来，这不仅可以保存在感知系统实时运行时出现的问题，帮助我们了解算法存在的那些错误，便于我们改进，也可以利用已存储的图像在实验室里进行试验，而不用每次都耗费人力，物力去试验场地进行试验。

在感知系统实时的运行时，同步存储处理的结果以及图像是不可行的，系统捕捉图像后，分析处理都是在计算机的内存部分，而我们存储时要读写硬盘，两者实现的速度差别是相当大的。另外，读写硬盘要耗费大量的计算机 cpu 资源，直接影响系统运行的实时性，下面简要讲述一下存储问题的实现。

在系统实时运行时，根据自己的需要，开辟一个很大的内存，将处理的图像结果按照一定的格式往里放，直到放满为止，实时运行也停止，这时可以将内存块中的数据按照相应的存储格式读出来，或存为单个的 bmp 文件或存为 Avi 影音文件，在这里，存为 Avi 格式文件。首先初始化相应的 Avi 库后，指定 Avi 的数据格式，其中记载着视频文件的格式参数，采用 Bmp 文件格式规范，然后指定 Avi 流数据，其中包含各帧视频图像的数据，也可以根据自己的要求选择适当的压缩，将内存块中的图像数据依次写入 Avi 文件。

4.2.4. 其他相关问题的解决实现

在车体坐标系中，进行摄像机外部参数标定，确定我们简化的摄像机参数时，需要求解非线性方程组。假若直接编写 C 代码，将会十分繁琐，而 Fortran 语言提供了现成的库函数，求解非线性方程也十分方便，因此只需要解决 C++ 与 Fortran 语言的混合编程问题。将 Fortran 语言编写的代码，编译成动态连接库，在 C++ 中载入调用，要注意以下问题：存储模式的一致性，语言约定的一致性等，由于编译为动态连接库，运行快速，实现简便。

§4.3 本章小结

这一章讨论前面章节所述的视觉计算方法在工控计算机上的实现问题。完成了系统硬件及软件的集成工作，在系统硬件部分：根据课题的定位及目

标，对镜头、采集卡、CCD 从类型、基本参数，性价比等各方面因素比较选用图像捕捉以及相关处理设备。然后，对于在理论部分采用的图像处理方法用 C++ 语言进行编程实现，最后在实际道路上进行了实车试验，具有良好的效果。

第五章 感知系统的试验

1 摄像机标定试验

建立本课题的可行区域，就是将图像上的可行区域坐标转换为车体坐标。中间需要一个桥梁，进行摄像机标定工作就是要确定这个桥梁的各个参数，这分为两部分工作，

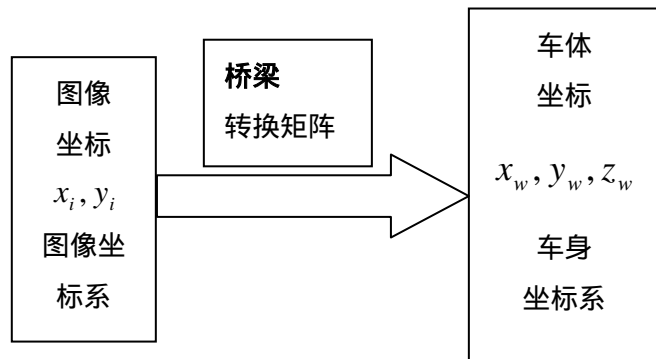


图 5 - 1

(一) 内部标定试验

前面已经讲述，在进行内部参数标定时，我们要运用类似棋盘的面板作为标定物，运行程序后会自动进行计算。

试验目的：获取感知系统摄像机的成像内部参数

试验地点：汽车动态模拟国家重点实验室。

试验内容：计算摄像机的焦距，镜头畸变系数。

试验详细原理为：

- 1* 首先 假设面板的平面为世界坐标系的 x, y 平面， z 轴垂直该面并以标定板的一角为世界坐标原点，这样一来，面板上的点的世界坐标就确定了
- 2* 摄像机的图像平面就为图像坐标系，左上角为原点，这样摄像机捕捉图像时，图像上的点的坐标也确定。
- 3* 建立模型及各坐标系相互关系，
- 4* 通过以上 3 步，我们将其合成为一个总的转换阵列 H ， H 中 包含了摄像机的各个参数如（焦距，径向及切向畸变参数，图像主点位置）
- 5* 标定过程：在程序运行时，输入面板参数，棋盘方格实际大小，程序对获取图像进行角点检测。一方面通过面板方格大小参数及确定的世界坐标原点，可以求出面板角点的世界坐标，另一方面，对应的面板角点的图像

坐标也会确定，它们存在一一对应关系，接着我们不断改变面板的位置或者姿势获取更多的这样对应点的数据，使得计算精度更高。等达到我们要求时，就会根据已知的世界坐标 X, Y, Z 和 x, y 确定出 H 中的各个参数，这就是整个标定过程。

6* 因为我们所采用的摄像头的焦距很大，采集位于远处的面板的图像很容易使得定位精度减少，造成试验误差，这是系统误差，应考虑。

标定模板—棋盘

在标定摄像机内部参数时我们利用打印机打印正方形棋盘格 (4X5 个) 贴在一块光洁水平的玻璃板上 (500X540mm)，作为标定模板，取相邻正方形之间的内部角点作为特征点，模板方格的大小为 90mm，如右图：

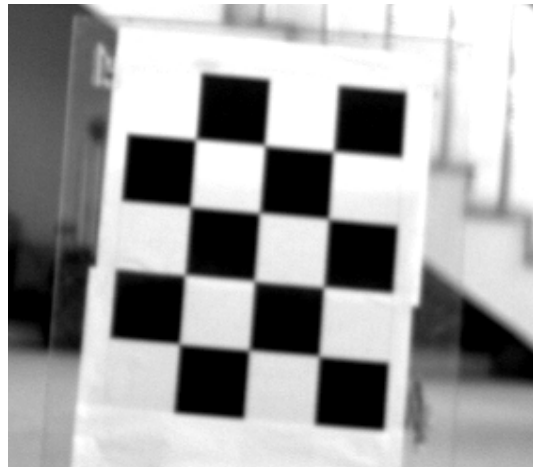


图 5 - 2 标定板

标定步骤：

- 1、以一定的倾角固定好摄像机
- 2、在镜头前不停的转动标定棋盘，在序列图像中寻找棋盘上角点的图像位置，同时记录棋盘上角点的世界坐标位置

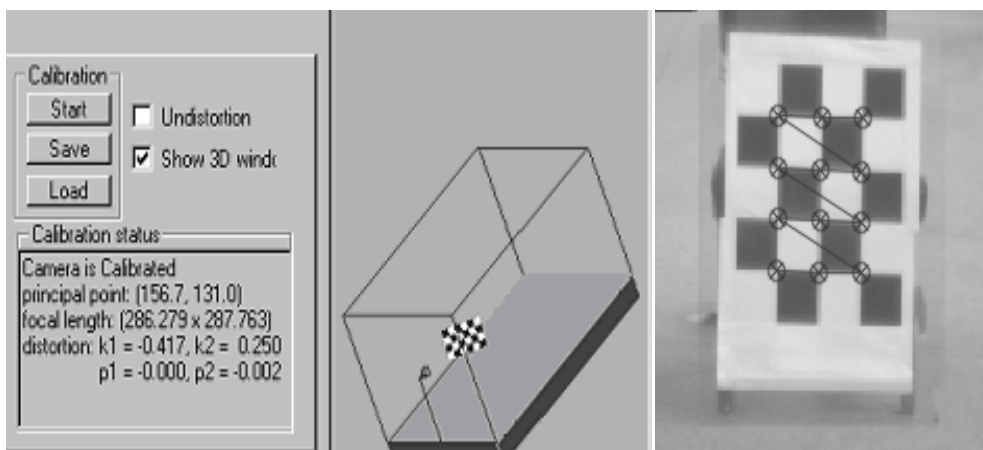


图 5 - 3

- 3、由上步已知 $[u \ v]$, $[X_w \ Y_w \ 0]$ 根据前述原理标定出内外部参数
- 4、记录保存各项参数到文件
- 5、重复前面 2、3、4 步骤多次求得内外部参数，求取均值以优化参数减小误差

在这里，由于系统误差以及标定板误差（标定板误差主要是标定板做的不十分标准，有微小的起伏；系统误差：由于我们采用的自动光圈的镜头，光圈的变化影响成像的景深，会造成成像边缘的清晰度改变，使得采集的标定板内的角点像素位置不再精确）的存在，在摄像机内部参数标定时，图像的主点位置变化差异较大，但由于我们采用的是专业摄像镜头，可以假定图像的主点位置为图像的中心位置，即主点位置为 $P_x = 160, P_y = 120$ 。下面列出实验焦距数据（表 5 - 1）：

序号	1	2	3	4
焦距 F (像素)	1652.503	1623.417	1705.266	1816.072
序号	5	6	7	8
焦距 F (像素)	1422.849	1874.326	2114.039	1756.623

求平均得 $F = 1745.6$

（二）外部标定试验

试验目的：确定感知系统摄像机的成像外部参数，摄像机的俯仰角度 θ ，以及光轴与地面交点间的距离 L ，其余参数不予考虑。

试验地点：汽车动态模拟国家重点实验室。

试验步骤：

- 1* 在摄像机前方铺一个矩形的白色方框，大小已知
- 2* 根据实际的摄像机位置（车体坐标系下）测定矩形 4 个角点在车体坐标系下的坐标并记录
- 3* 在已编写好的图像处理程序中，获取对应图像上矩形 4 个角点的图像坐

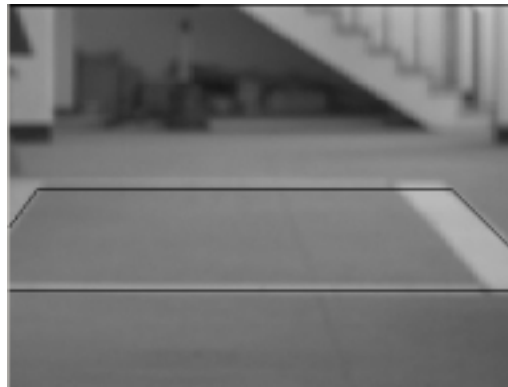


图 5 - 3

标

4*利用已知的图像坐标及车体坐标，求解出俯仰角度 θ 及距离 L

试验数据分析：

采集的数据表 5-2：

序号	1	2	3	4
图像坐标 x_i	83	236	280	37
图像坐标 y_i	118	118	42	42
车体坐标 x_w (cm)	-72	71	-72	71
车体坐标 z_w (cm)	1640	1640	1040	1040
俯仰角度 θ (度)	6.36	6.36	6.36	6.36
光轴长度 L (cm)	1669.8	1670.5	1663.9	1640.3

求平均得 $L = 1661.1\text{cm}$ ， $\theta = 6.36$ 。

2 可行区域试验

试验目的：验证感知算法的有效性和实时性，确定在实验车上实时处理图像，获取可行区域的准确度，及可靠性。

试验要求：要求道路平坦，道路边界或标志线清晰可见，天气状况良好，阳光充足，道路路面上无阴影，车流比较稀少，该试验在高速公路或者郊区规范化道路上进行。

试验时间：据试验要求，时间最好限定在中午时间。

试验步骤：

- 1* 在车辆停止于车道上时，先进行摄像机标定工作。
- 2* 车辆行驶时，实时运行图像处理程序，观察搜索道路边缘情况，看是否合理，可更改参数进行校正。
- 3* 若合理，进行图像坐标转换工作，看坐标转换后的图形如何，是否接近实

际的道路位置，不接近说明标定结果误差较大，或是转换方法不合理。存在问题待后解决。

4* 在以上试验处理时，不断将将图像序列存成 AVI 格式。

5* 重复进行，更改车速，看图像处理的效果如何，及时发现问题并解决。

(1)下表为摄像头的外部参数确定后，在实验室内，用白纸带模拟道路边缘（模拟道路宽度为 143 厘米）进行坐标变换得到得数据，转换后坐标基本与车体坐标系下实际测量坐标一致。

表 5-2

表 5-3

右侧道路边缘：(单位 mm)

右侧道路边缘：(单位 mm)

序号	Z _v	X _v	d	序号	Z _v	X _v	d
1	9175	-742	740	1	5660	680	690
2	9471	-737	740	2	7425	682	690
3	10125	-738	740	3	7553	683	690
4	10487	-746	740	4	7720	676	690
5	10875	-747	740	5	7930	678	690
6	11292	-743	740	6	8508	682	690
7	11743	-762	750	7	9033	682	690
8	12230	-764	750	8	9321	692	690
9	12760	-737	750	9	9627	692	690
10	12830	-739	750	10	9954	698	690
11	12947	-740	740	11	10303	694	690
12	13040	-746	740	12	13201	693	690

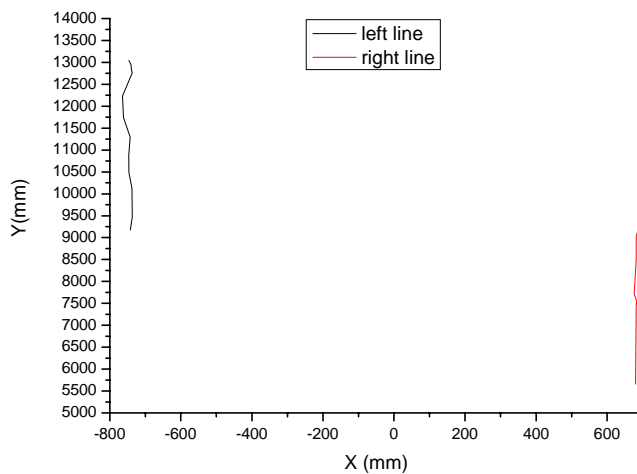


图 5 - 4

(2) 图 5 - 5 为车辆在实际运行时，识别出的道路图像的可行区域，该区域在图像上为一多边形。图 5 - 6 中左图为摄像机采集的原始图像，右图经过点搜索算法提取的道路边缘在实际道路上运行时捕捉图像以及搜索出的道路图像边缘，表 5 - 4 为道路图像搜索坐标与转换坐标数据以及图示。

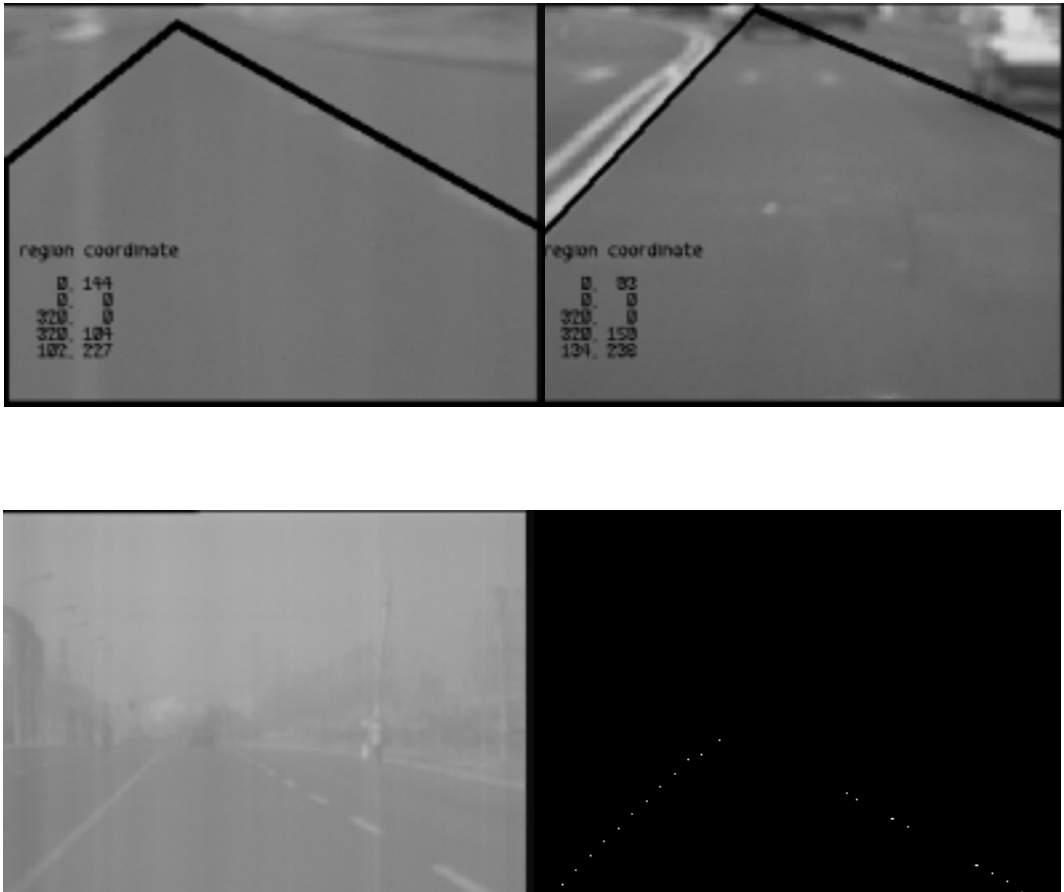


图 5 - 6

表 5-4 左侧道路边缘:(单位 cm)

序号	Z_v	X_v	x_i	y_i
1	1595.1	-152.6	9	1
2	1605.2	-152.0	14	2
3	1668.9	-153.8	19	8
4	1737.8	-154.3	25	14

右侧道路边缘:(单位 cm)

Z_v	X_v	x_i	y_i
1595.1	209.7	296	1
1636.4	202.8	290	5
1668.9	202.3	284	8
1725.9	202.7	278	13

5	1812.6	-154.8	31	20	1762.0	197.2	272	16
6	1894.2	-155.2	36	26	1787.0	196.8	268	18
7	1983.4	-154.7	42	32	2152.3	195.3	227	42
8	2081.4	-156.4	48	38	2315.6	195.6	221	46
9	2288.8	-157.5	54	43	2409.2	194.4	216	48
10	2420.3	-158.1	60	49	2541.9	193.7	198	60

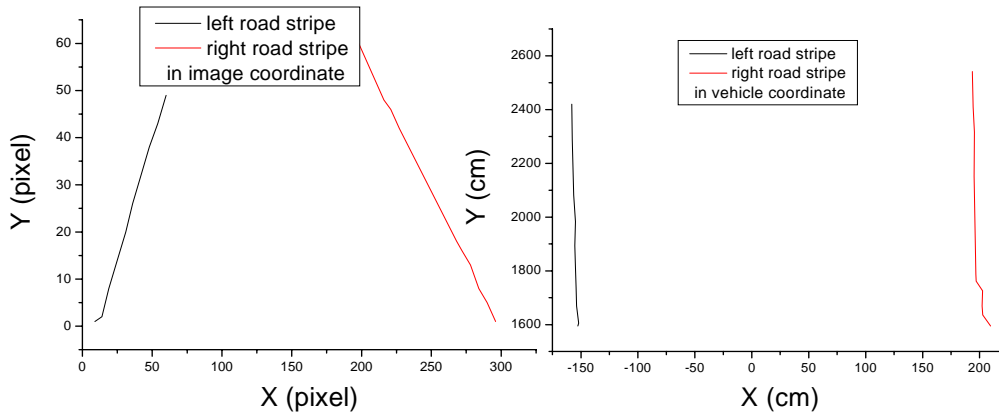


图 5 - 7

通过试验得到大量的数据，这里仅给出一帧图像数据，实验结果表明，根据序列图像的特点，利用点生长搜索算法能够快速简便的识别出道路标志线，结合道路平坦假设使得图像平面内的边缘点转换到车体坐标系下，取得了良好的效果。

全文总结

本文对可行区域感知系统的建立进行了总体的设计，期望达到实时性以及实用性的要求，通过对各种算法的理论研究及实际比较、编程实现、试验验证，初步得到了较为良好的效果，对课题期间的工作及结论阐述如下：

(1) 本文比较各种图像处理算法后，采用高斯滤波去除图像噪声，索贝尔算子增强道路边缘，天津方法分割道路图像，提出了序列图像中的点生长搜索算法，并利用序列图像的特点以及历史参数使得道路检测具有较好的可靠性，并且保持了其处理上实时性的特点。

(2) 对摄像机进行简化建模，确定其内外参数，并利用道路平坦假设使平面内的可行区域转换到车体坐标系下，从而确定车辆与道路边缘的相对位置，给车辆的智能辅助驾驶提供基本环境信息。

(3) 本课题采用的是单目视觉，在进行图像坐标与车体坐标转换时，道路平坦假设显得尤为重要，离开了平坦假设，单目视觉将得不到场景景深信息。

由于时间和实验条件的限制，可行区域感知系统还存在着许多不足，还有急待解决的问题，需要在今后逐步完善，这主要表现在一下问题：

(1) 本课题对系统运行的外界环境限定要求比较高，一方面没有考虑光线变化以及路面阴影、污迹对于图像处理的影响，另一方面要求规范化道路的标志线清晰或路面平坦，这些条件的变化将会影响运行的准确性，在今后改进中则要考虑以上问题。

(2) 课题没有对车道上障碍物进行检测，这使得可行区域的建立还不完善的地方，另外没有进行交通标志的识别。

(3) 智能车辆的视觉系统采集的环境信息量是巨大的，单纯采用本课题所应用的道路边缘搜索方法，从很大程度上其可靠性是不能保证的，存在许多复杂的方法进行处理，就智能辅助驾驶车辆可行区域感知系统而言需要多传感器、多处理方法结果的融合才能真正保证环境感知的准确性和可靠性。

参考文献

- [1]郭孔辉. 汽车操纵动力学. 吉林科学技术出版社, 1991
- [2]管欣. 驾驶员方向控制模型的研究及其在闭环操纵安全性能预测上的应用. 吉林工业大学博士学位论文, 1992
- [3]郑南宁. 计算机视觉与模式识别. 1998
- [4]马颂德, 张正友. 计算机视觉—计算理论及研究. 1998
- [5] Kenneth. R. Castleman. 朱志刚等译. 数字图像处理. 1998 电子工业出版社出版
- [6] Mikey Williams. Windows 2000 编程技术内幕 1999 机械工业出版社
- [7] Michael J. Young. 邱仲潘等译. Visual C ++6 从入门到精通 1999 电子工业出版社
- [8] 李介谷. 计算机模式识别技术. 上海交通大学出版社. 1986
- [9] 周新伦, 柳健, 刘志华. 数字图像处理. 1986
- [10] 戚飞虎 . 模式识别与图像处理. 1990
- [11] 栾文博 . 驾驶员视觉系统的研究. 吉林工业大学硕士学位论文. 1998
- [12] 安向京 . 自动驾驶汽车视觉导航系统研究——理论、方法、和系统实现. 国防科技大学工学博士论文. 2001年4月
- [13] 黄席樾, 柴毅等. 汽车智能辅助操作系统中的道路检测. 重庆大学学报. 2000年3月
- [14] 王荣本. 世界智能车辆研究概述. 公路交通科技. 2001年18卷. 第5期
- [15] 杨明, 陆建业. 基于视觉的道路跟踪. 模式识别与人工智能. 2001年 第14卷, 第2期
- [16] 王宏. 智能车辆的自动驾驶与辅助导航. 1997年3月
- [17] 唐新蓬, 吉本坚一 . 关于车辆路迹 追踪自动驾驶的研究. 基于运动模型的道路识别与跟踪算法的研究汽车技术. 1998年7期
- [18] 邓航, 余松煜. 综合利用通用霍夫变换与 Snake 算法对序列图像的分割. 红外与激光工程. 2000年4月, 第29卷第2期
- [19] 吴冰, 秦志远 . 自动确定图像二值化最佳阈值地新方法. 测绘学院学报. 2000年12月, 第18卷第4期
- [20] “ Intel Image Processing Library Reference Manual ” , Intel

参考文献

- Corporation . Document Number 663971-005
- [21] “ Open Source Computer Vision Library Reference Manual ” , Intel Corporation
- [22] Alberto Broggi , “ Intelligent vehicle applications worldwide ” , IEEE intelligent systems
- [23] Alberto Broggi , “ Robust real - time lane and road detection in critical shadow conditions ” , in Proceedings IEEE International Symposium on Computer Vision , November 19-21, 1995, IEEE Computer Society, pp353-358
- [24] Anthony Stentz and Martial Hebert, “ A Complete Navigation System for Goal Acquisition in Unknown Environments ” , The Robotics Institute Carnegie Mellon University In Autonomous Robots, VOL 2 No 2, 1995
- [25] Benjamin Coifman, “ A Real -Time Computer Vision System for Vehicle Tracking and Traffic Surveillance ” , University of California 1998
- [26] Christopher E. Smith, Charles A. Richards, “ Visual Tracking for Intelligent Vehicle-Highway Systems ” , IEEE Transactions on Vehicular Technology
- [27] Charles Thorpe etc, “ Toward Autonomous Driving: The CMU Navlab ” , 1991 IEEE
- [28] Dinesh Nair, Jagdish Kumar K. Aggarwal , “ Moving Obstacle Detection From a Navigating Robot ” , IEEE Transactions on Robotics and Automation VOL 14 , No 3
- [29] Jill D. Crisman, Charles E. Thorpe, “ SCARF : A Color Vision System that Tracks Roads and Intersections ” , IEEE 1993
- [30] John M. Laconis, Jeffrey N. Calen , “ Integration and Demonstration of a Distributed Computer for Vehicle Control ” , IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Boston, November 9-12 1997
- [31] Jitendra Malik, Camillo J. Taylor, Joseph Weber, Dieter Koller. “ A Combined Approach to Stereopsis and Land-Finding ” , University of California California PATH Research Report 1997
- [32] Michelle Bayouth, Illah R. Nourbakhsh, Chuck E. Thorpe, “ A Hybrid Human

- Computer Autonomous Vehicle Architecture”, The Robotics Institute Carnegie Mellon University
- [33] Parag H. Batavia, “ Driver_Adaptive Lane Departure Warning Systems ”, CMU_RI_TR_99_25, The Robotics Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 15213 1999
- [34] Parag H. Batavia “ Driver Adaptive Warning Systems ”, CMU_RI_TR_98_07, The Robotics Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 15213 1998
- [35] R. Gregor, M. Lutzeler etc, “ EMS-Vision: A Perceptual System for Autonomous Vehicles ”, UBM
- [36] “ Unmanned Ground Vehicle Masterplan ”, Department of Defense in USA
- [37] 吕铁英, 彭嘉雄. 图像轮廓特征提取新方法研究. 中国图像图形学报. 1999年8月, 第4卷第8期
- [38] 王磊, 戚飞虎. 基于 Canny 理论的边缘提取改善方法. 中国图像图形学报. 1996年7月, 第1卷第3期
- [39] 于枫, 陈宏, 王珂. 自动引导车的双 CCD 摄像视觉系统. 光电子 激光. 1996年8月 第7卷 第4期
- [40] 高立志, 方勇等. 立体视觉测量中摄像机标定的新技术. 电子学报. 1999年2月 第27卷 第2期
- [41] 黄席樾, 柴毅. 汽车智能辅助操作系统中的障碍物检测. 重庆大学学报. 2000年7月
- [42] 罗希平, 田捷. 图像分割方法综述. 模式识别与人工智能. 1999年9月

致 谢

本文是在导师管欣教授的悉心指导下完成的。导师广博的知识，敏锐的洞察力、灵活的思维方式都使我油然而生敬意。在论文工作的每个阶段，无论在学习还是在生活中始终得到了导师无微不至的关怀与教导，正是导师的辛勤劳动才给本文指明了正确的研究方向。导师严谨的治学态度、求实的工作作风使我在求学的道路上获益匪浅。在此向我的导师致以最诚挚的谢意！

在本文的研究过程中，还得到了高振海、宗长富老师，董因平博士，程颖、左建令硕士和实验室的员工们的大力支持，在此一并表示感谢！

在校期间，我的父母一直从物质上和精神上激励我刻苦学习，在此表达我深深的敬意！

摘要

视觉感知系统作为智能车辆中最基本的外界交通环境信息感知环节有着举足轻重的作用。视觉感知系统作为智能车辆的“眼睛”，为车辆控制提供最直接的外界信息输入，并完成道路跟踪、障碍物检测及道路交通标志检测等功能。

本文的研究目的是实时地建立一套在车辆高速行驶时前方道路可行区域的单目视觉感知系统。通过对国内外智能车辆视觉导航系统的研究分析，并具体针对吉林大学汽车动态模拟国家重点实验室在汽车智能辅助驾驶系统上的研究进展，设计了前方道路可行区域单目视觉感知系统的软硬件方案，并提出了道路边缘检测的点生长搜索算法，最终采用黑白型摄像机实现了基本的道路跟踪检测功能。本文的主要工作包括三个部分：

1、道路图像处理算法的研究。首先深入了解计算机视觉理论以及图像处理知识，针对车辆在实际行驶时捕捉到的道路图像特点，并研究了众多边缘检测算法。通过综合比较各种算法的优缺点，从实时性及提取道路边缘效果的角度出发，最终采用了链码跟踪的方法，来直接对道路的边缘（道路边界和道路的标志线）进行检测。在图像的预处理过程中，选取高斯滤波方法来去除图像噪声，利用索贝尔算子增强道路边缘，并采用大津方法实现了道路图像的分割，最终提出了针对实际道路图像的变步长的点生长搜索算法。同时，文中采用了基于相邻两像素点间距准则实现了道路边缘点矢量的聚类拟合。另外，根据汽车实际运行工况并充分考虑道路序列图像的特点，缩小了道路边缘起始点的搜索范围，并舍弃了道路图像中噪声污染过大的某些奇异帧图像，从而减少了道路图像的噪声干扰，使得道路边缘提取过程更为准确快捷。

2、摄像机参数的标定。文中对摄像机的内部参数（焦距、主点位置及畸变系数等）进行了建模，并采用 Intel 的摄像机标定函数确

定了内部参数。同时对摄像机在车体坐标系下的侧倾角和旋转角两个外部参数进行了合理的简化，并通过实验标定的方法确定了摄像机的俯仰角度以及光轴与地面交点间的距离两个参数。在摄像机参数确定后，利用道路平坦假设，建立了车体坐标系、摄像机坐标系、图像坐标系及帧存坐标系之间的坐标变换方程，将在图像平面内的道路可行区域转换为车体坐标系下的可行区域，从而确定了车辆在行驶时相对于道路标志线或边界的位置。

3、算法实现及系统软硬件集成。根据课题研究的需要，选用了相应的黑白型 CCD 摄像机和图像采集处理卡，在试验车上集成实现了可行区域感知系统，并进行了典型路况下的汽车高速行驶试验，取得了良好的实验效果。

论文的创新之处在于提出了序列图像中提取道路边缘的点生长搜索实时算法，并经过坐标变换直接获取车体坐标系下车辆相对于道路标志线或边界的位置。该系统所提供的基本道路环境信息，不仅可服务于吉林大学汽车动态模拟国家重点实验室开展的高速汽车智能辅助驾驶系统；还可在其基础上结合汽车行驶状态测量和驾驶员行为决策等技术，实现诸如车道偏离警示等汽车辅助驾驶功能。

关键词：汽车辅助驾驶 可行区域感知 单目视觉 点生长搜索算法
计算机视觉

Abstract

Visual perception system holds the balance in intelligent vehicle (IV) as the most basic information perception part. Visual perception system carries out as the eye of IV, it can follow road and distinguish front vehicles, barriers and other traffic signs. It offers the most direct outside information for its decision-making control part.

The research purpose of this thesis is to establish a monocular perception system which can obtain a travelable area ahead of car in real time while it runs in high speed. Through analyzing the domestic and international research of IV visual navigation system and according to the researches of the National Automobile Dynamic Simulation Lab (ADSL) in Jilin University, I designed the scheme of the perception system and the point growing algorithm. The work in this paper can be divided into 3 parts mainly:

1. The research of algorithm about road image processing. At first, we make thorough understanding of vision theory as well as image processing knowledge and realize algorithm aim at the image while the vehicle runs on the road. We compared various methods and select a better one, and at last determine algorithm such as noise smoothing and edge detection and image threshold. According to the practical road image, point search algorithm which can change its step was designed. In the same time we use points clustering fit algorithm and limit the area to search the start point of the road stripe. It makes road stripe detection relatively accurate and fast.

2. Camera calibration. We build a model for internal parameters of the camera and make use of the Intel library function to calibrate. We simplify the external parameters properly for the camera in the vehicle coordinate and determine the parameters through experiment. Camera calibration and road planar assumption make sure that there is only one solution when the travelable area data change from two dimensional coordinate to three one, and locate the vehicle relatively to the road stripe or boundary.

3. Algorithm realizing and system is integrated. According to the need of this thesis, we select black and white type of CCD and image collecting