

分类号: S24; TP391.41

单位代码: 10433

密 级:

学 号: Y1003104

山东理工大学

硕士学位论文

基于机器视觉的农业车辆导航基准线
提取方法的研究

**Research of Baseline Extraction Methods of Agricultural
Vehicle Navigation based on Machine Vision**

研 究 生: 马红霞

指 导 教 师: 马明建 教授

申请学位门类级别: 工学硕士

学 科 专 业 名 称: 农业机械化工程

研 究 方 向: 农业信息化技术

论 文 完 成 日 期: 2012 年 4 月 15 日

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得山东理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。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了谢意。

研究生签名：

时间： 年 月 日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解山东理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅；学校可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容，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应遵守此协议)

研究生签名：

时间： 年 月 日

导师签名：

时间： 年 月

摘 要

基于机器视觉的导航系统的目标是能自动采集农田环境图像，通过处理分析图像识别出导航路径，最终计算得出系统导航参数以控制农业机械沿导航路径行走。导航基准线的提取是机器视觉导航的基础。

本文主要研究了农业机械的视觉导航技术，实现了农田图像中导航基准线的提取。基于 VFW 技术开发了视频采集软件，使用 USB 接口的数字摄像头采集农田中作物行图像，能够实现实时的捕获图像。对色彩模型进行分析的基础上，选择使用 RGB 模型研究图像。利用 2G-R-B 法对彩色农田图像灰度化，使用中值滤波去除图像的噪声，对图像开运算去除孤立点和作物行中的孔洞，使用自适应阈值方法对图像二值化，并分析了区域生长法分割图像的适合场合，为后续处理提供条件。将导航定位点检测的方法分为边缘检测和中心线检测两类，使用 Sobel 算子对作物行边缘检测；在中心线检测时使用图像水平条分割，和垂直投影法确定作物行的导航定位点。提出了针对确定作物行提取定位点的方法，该方法根据垂直投影图的曲线波峰位置初步确定基准线位置，然后将感兴趣区域图像分成若干个水平条，对每个水平条用垂直投影法找出导航定位点。开发了导航线提取系统，并对三种方法的定位精度进行了对比。

本文主要针对视觉导航中精度、实时性不高的情况，改进了数据处理量大、耗时多和精度低的算法。首先为避免对作物行像素的漏检，改进了 2G-R-B 法判断像素值的条件，有效地分割作物行和背景，同时提高了灰度化的效率。改进了中值滤波的排序算法，使耗时减少一倍。提出了基于确定作物行提取定位点的方法，使用区域生长法分割确定作物行为感兴趣区域，大大的减少了无关信息量，提高了精度和实时性。

本文使用 C++ Builder 6.0 和 OpenCV 视觉库开发了导航基准线提取系统，对提取定位点的方法进行了分析。

本文基于确定作物行提取定位点的方法只针对中间作物行提取基准线，比对全部作物行提取基准线的算法不仅精度高，耗时减少 2 倍多，可以满足农业机械农田作业的需要。

关键词: Hough 变换；感兴趣区域；视觉导航；垂直投影法

Abstract

The goal of the navigation system based on machinery vision is calculating the navigation parameters by analysed the farmland image which is acquired by the vision system to control agricultural machinery to walk along with the navigation path. The baseline extraction is the foundation of machine vision navigation.

This paper mainly studied the vision navigation technology of agricultural machinery which extracted the baseline of farmland image. Developed the software which can acquire image in real-time based on VFW technology and USB interface digital camera. Select the RGB model to study images based on the analysis of color models. Using 2G-R-B method to grayscale image and median filter to remove image noise. Open operation was used to remove outliers and holes in the crop row image. Making use of adaptive threshold method to binary a gray image and analysis the suitable occasion of using the region growing segmentation method to providing conditions for the subsequent processing. Divided the method of detecting navigation logical points to two types, which is edge detection and centerline detection. The Sobel operator was used to detect the edge of the crop row of image. In the centerline detection, using horizontal splits segmentation and vertical projection to find the position of the navigation points. A new baseline detecting method based on the specific crop row was presented. It based on the curve peak of the vertical projection to initially determine the position of the baseline. Then divided the interested region to several horizontal splits, and using vertical projection to find the navigation points. Developed a baseline extraction system to contrast the accuracy of the three methods which was mentioned in the above.

In view of the situation of the low accuracy and speed, the algorithms which was time-consuming .and need large amounts of data processing was improved. The 2G-R-B method was improved to avoid missing the important pixels of crop row image. Then it can split the crop rows and background effectively and improved the efficiency of graying. The sorting algorithm of median filter was improved to reduce the time consumption. A new baseline detecting method based on the specific crop row was presented. It used the region growing method to extract the specific crop row as the interest region to reduce the useless information and improve the accuracy and speed in processing image.

In the article a navigation baseline extraction system was developed making use of C++ Builder 6.0 and OpenCV vision library, and it analysed the method of extraction positioning

points.

In the article the baseline extraction method only for the middle crop row based on the method of navigation points extraction in specific crop row has high accuracy and reduces twice as time-consuming. So the new method can meet the requirements of agricultural operations of agricultural machinery.

Key words: Hough transform; interested region; vision navigation; vertical projection

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
目 录	IV
第一章 绪论	1
1.1 课题研究目的和意义	1
1.2 国内外研究水平	1
1.2.1 国外研究水平	1
1.2.2 国内研究水平	3
1.3 课题研究内容、技术路线及创新点	4
1.3.1 课题研究内容	4
1.3.2 研究技术路线	4
1.3.3 研究的创新点	5
1.4 本章小结	6
第二章 农田图像采集	7
2.1 VFW 视频捕获技术	8
2.1.1 VFW 简介	8
2.1.2 AVICap 窗口类的基本功能	8
2.1.3 AVICap 窗口类函数的基本分类	8
2.1.4 常用 AVICap 函数介绍	9
2.1.5 AVICap 实现视频捕获	10
2.2 本章小结	13
第三章 农田图像预处理和分割	14
3.1 颜色空间的选择	14
3.1.1 RGB 模型	14
3.1.2 HSI 模型	15
3.1.3 CIE 模型	17
3.2 图像灰度化方法的选择	18
3.2.1 常用灰度化方法	18

3.2.2 超绿特征灰度化方法(2G-R-B 法)	21
3.2.3 改进的 2G-R-B 灰度法	21
3.3 图像滤波	22
3.3.1 邻域平均法	22
3.3.2 中值滤波法	23
3.3.3 改进的中值滤波算法	24
3.4 去除图像中孔洞、孤立点	24
3.4.1 图像的膨胀	25
3.4.2 图像的腐蚀	26
3.4.3 图像的开运算	26
3.4.4 图像的闭运算	26
3.5 图像二值化	27
3.5.1 最大类间方差 (OTSU) 法	27
3.5.2 区域生长法	28
3.5.3 最大类间方差法和区域生长法的对比	28
3.6 本章小结	30
第四章 导航基准线检测方法	31
4.1 导航定位点提取	31
4.1.1 基于边缘检测的定位点提取方法	31
4.1.2 基于中心线检测的定位点提取方法	35
4.1.3 改进的基于感兴趣区域的定位点提取方法。	38
4.2 直线特征检测	41
4.2.1 一元线性回归	41
4.2.2 Hough 变换	42
4.3 本章小结	44
第五章 试验分析	45
5.1 试验材料的选取	45
5.2 图像采集系统的硬件结构组成	45
5.3 图像采集系统软件	46
5.3.1 开发环境与开发工具	46
5.3.2 系统模块的构成	46
5.4 试验结果与分析	47
5.4.1 基于边缘检测的基准线提取试验分析	47

5.4.2 基于中心线检测的基准线提取试验分析..... 48

5.4.3 基于确定作物行的基准线提取试验分析..... 48

5.5 本章小结..... 49

第六章 结论与展望..... 50

6.1 结论 50

6.2 需要改进之处及下一步工作建议..... 51

参考文献..... 52

攻读硕士学位期间发表的学术论文..... 55

致 谢 56

第一章 绪论

1.1 课题研究目的和意义

精细化农业的快速发展和人们对农田作业生产效率、安全性的不断增长的需求，对现代农业机械的自动化、智能化水平提出了越来越高的要求。

农业机械的自动导航是农业机械自动化的重要组成部分，受到研究人员的广泛关注已成为现代农业智能化研究的重点，发展前景十分广阔。自动导航在大大提高农业机械的作业性能和效率的同时，还能保护作业人员的安全。目前，农业机械导航有着广泛的应用，如自动喷施化肥农药、收获农作物、除草、插秧播种等许多方面^[1]。

根据导航技术的原理，自动导航方式主要有：信标导航、GPS 导航和机器视觉导航等^[2]。信标导航方式简单易行，定位误差小，但只能按预设路线行走，可操作性不高，而且如有障碍物存在，信号的发射和接受都会受到影响，因此适用性不高。

GPS 采用绝对坐标导航方式，工作可靠，实时性强、定位准确、信息丰富，可以进行大范围的工作路径规划。但作业时需要预先的精确导航路线图，在农田田垄间作业时就会变得不灵活，且由于 GPS 系统复杂，价格较高，不适用于我国的中小型农业机械。

视觉导航是用摄像头拍摄农田图像，运用图像处理等技术识别出导航路径，再通过视觉系统等实现自动导航的方法。视觉导航采用相对坐标，灵活性、实时性和导航精度更好。因此，机器视觉导航在农业领域内有着独特的优势。机器视觉导航技术不仅可以提供导航信息，与此同时还可以获得田间杂草分布等信息，有利于精确作业的实现。目前，计算机图像处理技术正逐步成熟，传感器和其他相关硬件的性能也日趋提高，因此利用视觉技术来检测农田信息实现自动导航必将成为农业机械导航的重要发展方向。随着计算机技术的进步和传感器等硬件的性能的不断完善及其他相关技术的发展，且机器视觉自身的技术也日趋成熟，将会对我国农业机械自动化水平的提高和农业综合实力的增强起到非常关键的作用。

1.2 国内外研究水平

1.2.1 国外研究水平

美国对基于计算机视觉的农业机械自动导航的研究始于上世纪 80 年代中期，密歇根州立大学和德克萨斯 A&M 大学的研究人员一直在探索机器视觉导航，开发了基于计算

机视觉的农业车辆导航技术^[3]。同时在这十年间，佛罗里达州大学研制成功了收获橘子的机器人。

表 1-1 美国农业视觉导航的发展^[4]

Table 1-1 The development of the agricultural visual navigation in America

研究所	机器	传感器	评价
密歇根州立大学 (1984-1996)	草坪拖拉机和 Case 7110 拖拉机	机器视觉传感器	在 4.9km/h 下精度是 6cm; 在 12.8km/h 下精度是 12cm
德克萨斯大学 (1984-1992)	Ford 拖拉机	机器视觉传感器	
卡内基梅龙大学 (1994-1998)	New Holland 机械 Speedrower 机械	机器视觉传感器 全球定位系统	自主收获超过 40 公顷
斯坦福大学 (1996)	John Deere7800 拖拉 机	全球定位系统	车头精度是 1 度，行跟踪精 度偏差为 2.5cm
伊利诺伊大学 (1996-2000)	Case 8920 两轮驱动 拖拉机	全球定位系统， 机器视觉传感器， 地磁方位传感器	在作物行作业时视觉导航 的速度是 16km/h

Marchant 和 Brivot^[5]采取了近红外图像的处理将农作物与杂草区分开来。他们计算出图像中的每个作物中心，并用霍夫变换计算相对于行结构的偏移量和方向。综合三排的信息来提高性能。

日本东京大学^[6]研究人员提出了一种应用于农田精密喷洒农药和作物中耕管理的图像处理算法，利用最小二乘法进行作物种植线和土壤的边缘检测。

加拿大的研究人员在自动导航研究中采用沿着由预轧车道产生的准线导航，或者沿着田地里的固定点产生的准线导航这两种方法^[7]。

2004 年，S. Han ， Q. Zhang 等研究了获得导航准线的方法，此方法包括基于 K 均值聚类算法的行分割，基于 moment 算法的行探测和通过价值函数得出的引导线选择^[8]。

2005 年，M. Kise， Q. Zhang， F. Rovira Ma 对基于立体视觉的农业机械导航系统制定一个可行的行检测算法，这个算法包含立体图像处理的函数，海拔图的创建和导航目标的定位^[9]。

通过 2005 年至 2006 年的试验，Eric Royer 提出了运动算法，证明了在室外环境下使用单个照相机和天然地界标的自主导航是可以实现的^[10]。

2008 年，Raphael Linker 和 Tamir Blass^[11]将 A 算法应用于自主导航中优化路径。

1.2.2 国内研究水平

我国 20 世纪 70 年代后期才开始对基于机器视觉的农业机械的研究, 主要研究将机器视觉技术应用于农产品分选机械中^[12], 对诸如苹果、香蕉等水果和西红柿、黄瓜等蔬菜进行品质检测和分级。但是受当时计算机发展水平的限制, 无法达到实时检测要求的速度, 这些研究仅处于试验研究阶段。同样受技术水平所限, 机器视觉技术在农田机械方面的应用研究甚至到 20 世纪 90 年代中后期才渐渐有相关文章刊登出来。当时主要把机器视觉技术应用在播种、施肥等农田作业机械等方面。

随着近些年计算机技术水平的提高, 以及图像处理技术的发展, 机器视觉技术在理论方面愈加成熟, 在实践中的应用也有了重大突破。在农田作业机械方面, 由于国家对精细农业发展的大力扶持, 也为了保护环境, 机器视觉技术在农田作业技术中的应用取得了比较大的进展, 研究主要集中在作物收获、植物保护和播种施肥等机械中, 有些研究已经取得了不错的成果^[13]。目前, 一些农业科研院所和院校在农业机械中应用机器视觉技术实现田间导航从而进行精密播种、精密喷施等, 有了一定的进展。

沈明霞^[14]对农田图像进行滤波处理并二值化之后, 对二值图像进行膨胀运算, 并运用形态学知识去除细小孔洞及消除区域边界的较小断裂, 然后使用小波变换对农田图像进行边缘检测提取边缘轮廓, 作为农业机器人的导航线, 实现了农业机器人的自主定位。

王荣本^[15]研发出一种玉米施肥智能机器系统, 其机器视觉系统通过处理摄像头拍摄到的地表图像, 识别出玉米垄沟的中心线, 判断其与拖拉机对称线的方向偏差, 利用基于自动控制原理的最优导向控制器, 控制前轮的转向, 从而使拖拉机沿导航线自动行驶。经过田间试验, 证明在该系统的指导下, 拖拉机可以在田间实际行驶。

杨为民、李天石^[16]等在采集到的图像中设置感兴趣区域, 并在其中抽点简化找定位点, 再对定位点进行 Hough 变换的处理算法检测导航特征。根据检测到的信息得到车辆的位置偏差和方向偏角误差后, 建立视觉导航仿真模型来规划路径, 并通过控制车辆转向来跟踪导航线。以东方红 LF80-90 拖拉机为试验平台, 使用机器视觉导航系统进行验证, 证明该系统可以满足农田作业的需求。

任永新、谭豫之^[17]等开发了基于模糊控制的黄瓜采摘机器人。对黄瓜垄间图像进行处理后, 采用基于一点的 Hough 变换拟合导航线。并设计了模糊控制器, 该控制器的输入为采摘机器人当前的横向位置偏差和角度偏差等导航参数, 输出为机器人做差速运动的差速值。导航试验结果表明, 该方法可以满足实时控制的要求。

袁佐云、毛志怀^[18]等提出了对采集到的农田作物行图像进行过绿特征灰度化后, 将得到的灰度图像划分为等间距水平条, 并采用垂直投影法对每个水平条求取峰值点确定作物行定位点, 并对定位点进行线性回归拟合, 得到了作物行定位线。通过对大豆种植图像进行试验, 表明该方法定位效果较好。

1.3 课题研究内容、技术路线及创新点

1.3.1 课题研究内容

本课题采用 USB 接口的数字摄像头采集农田图像；对图像进行灰度化、滤波和二值化分割等处理；对图像进行分析之后，找到定位点，对定位点进行直线拟合，得到导航的定位基准线。其主要研究内容为：

(1) 使用 VFW 库函数中的 AVICap 窗口类开发基于 USB 摄像头的农田图像采集软件，使用该软件进行农田图像的精准采集和实时捕获，为进行其他处理做好前期准备。

(2) 采用超绿特征灰度化方法（2G-R-B 法）对作物行图像进行灰度化，使作物行和土壤背景进行有效的分离，并对比常用的灰度化方法检测灰度化效果。并将 2G-R-B 灰度化方法进行改进，使其更加有效的将作物行从土壤背景中分离出来。

(3) 利用改进的中值滤波方法对灰度图像进行预处理。对中值滤波的排序法进行改进，提高滤波算法的效率，并对比改进前的中值滤波算法，查看效率的提高。

(4) 在图像分割环节，通过膨胀和腐蚀算法对分割后的图像进行去除孤立点和填充空洞处理，得到清晰的作物行图像，采用最大类间方差法（Ostu 算法）和区域生长法分别对灰度图像进行二值化。

(5) 基准线检测阶段，分别使用边缘检测和中心线检测两种方法检测作物行定位点，用 Hough 变换直线检测算法拟合直线，使之能够快速精准的检测出作物行中心线，并与检测直线中常用的最小二乘法和线性回归法进行对比，分析 Hough 变换算法的优点和不足。

1.3.2 研究技术路线

本课题的研究技术路线如图 1-1 所示。

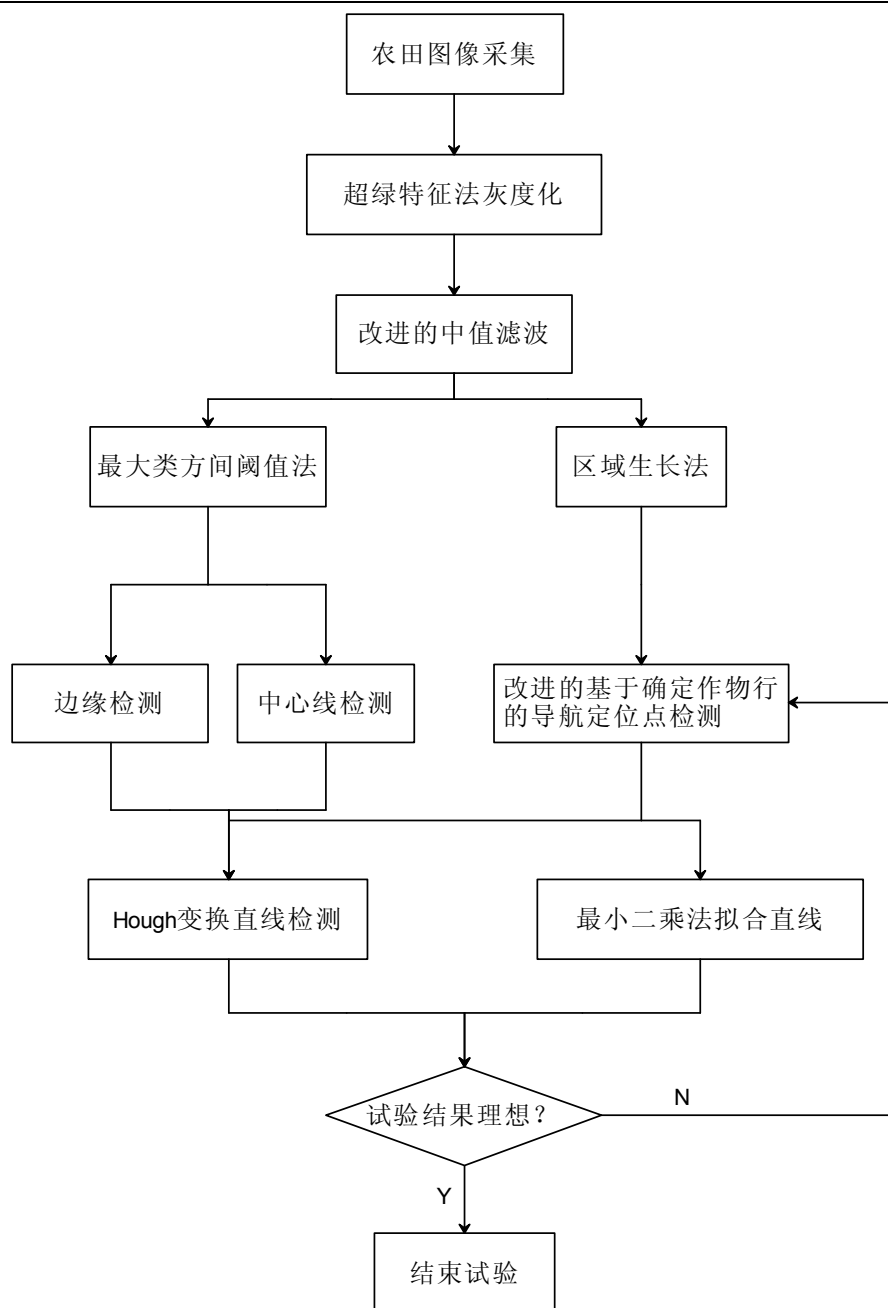


图 1-1 研究技术路线

Fig. 1-1 Technical route for the research

1.3.3 研究的创新点

(1) 采用改进的超绿特征灰度化（2G-R-B 灰度化）方法对农田图像进行灰度化。主要是将 2G-R-B 灰度化的条件进行了改进，使作物行更好的从土壤背景中分离出来。

(2) 本文在图像滤波方面采用了改进的中值滤波算法。用改进的排序算法对滤波窗口的像素进行排序，其算法步骤为首先对滤波窗口矩阵的行向量降序排列，再用矩阵对第一列、第二列、第三列分别取最小值、中间值、最大值，比较三者大小，取三者的中间

值代替滤波窗口中心点的原有值。该算法大大的节省了程序运行时间。

(3) 提出使用区域生长法对图像进行二值化,通过设置合适的种子点,提取出感兴趣区域。

(4) 对图像进行水平条分割减少计算量,利用垂直投影法检测作物行中的定位点。

(5) 提出了针对确定作物行提取导航基准线的方法。使用区域生长法提取特定作物行为感兴趣区域,根据垂直投影图的曲线波峰位置初步确定基准线位置,然后将感兴趣区域图像分成若干个水平条,对每个水平条用垂直投影法找出导航定位点。

1.4 本章小结

本章首先分析了利用机器视觉技术导航的前景,以及提取导航基准线在视觉导航中的重要地位,这也是本课题的意义所在。介绍了国内外的研究现状,为发现问题、解决问题奠定了基础。并说明了本文所要研究的内容、解决方案路线和创新点,明确了全文所要研究的核心内容,为后文的研究指明了方向。

第二章 农田图像采集

农业机械导航中，农田图像的采集是图像处理的必需步骤。视觉导航系统的正常工作，需要视频采集系统能够实时、正确的采集到农田图像。所以选择合适的视频采集设备和图像采集方法十分的重要。

当前的图像采集系统，用于采集图像的摄像头有两种，一是模拟摄像头，二是数字摄像头。模拟摄像头采集到的模拟信号得先由匹配的视频采集卡转换成数字信号，再经过压缩才可以在计算机上存储或应用。而数字摄像头则无需视频采集卡，可以直接捕捉采集到视频图像，之后也不用再经过压缩，通过 USB 接口或者其他传输方式传到计算机就可以直接应用。USB 接口数字摄像头比其他端口的摄像头传输速度要快出十倍甚至百倍，而且插到计算机上，计算机便可以立即识别，并读取数据。USB 接口摄像头以其方便快捷特点和传输速度上的优势已成为现在图像采集的主流。

经过以上分析确定使用 USB 接口摄像头可以灵活方便且效率较高的实现图像捕获，且根据当前的图像采集设备的主流趋势和试验条件，选择无硬件支持、纯软件采集的 USB 接口摄像头进行程序开发。

捕获图像的程序可以使用视频采集卡的 SDK 开发包进行开发，也可以使用 Windows 自带的 VFW 中的函数进行开发或者使用 Directshow 进行开发。视频采集卡的二次软件开发包带有比较丰富的函数，使用这些函数可以比较便捷的开发出所需的图像捕获程序，实现图像捕获，但是使用该方法首先需要了解采集卡和 SDK 的相关知识，其次开发工具箱的 SDK 函数都是封装了的，不太方便普通用户进行较浅层次的开发和操作。而且因为不同的视频采集卡的功能并非全部相同，所以该捕获方法开发出的图像采集应用程序不能适用于所有的视频采集卡，通用性比较差。

Directshow 的通用性更好一些，且因为是在 VFW 的基础上进行开发的，效率比较高，但是 Directshow^[19]是用 COM 开发的处理视频的软件开发包，使用 Filter Graph 模型中的 Filter 模块来处理数据。所以使用 Directshow 需要开发人员了解 COM 的理论，且一些特殊作用的 Filter 模块需要开发人员自行开发设计，这些都会增加开发难度，降低开发效率。

而 VFW 有一整套的采集、处理视频的库函数，不需要其他太多的知识就可以很快掌握，而且实时性很高，针对本课题，完全可以满足要求。下面详细介绍使用 VFW 开发视频捕获软件的方法。

2.1 VFW 视频捕获技术

2.1.1 VFW 简介

VFW 是由微软公司开发的视频软件工具包，通过它提供的 API 函数可以比较方便的实现视频捕获。同时，使用 VFW 的 AVICap 窗口类中的回调函数可以更灵活的实现其他较复杂的功能。而且在电脑上运行软件就可以直接播放采集到的视频，无需其他设备，应用起来十分方便灵活。

VFW 主要由 6 个模块组成^[20]：

- (1) AVICAP.DLL 主要实现视频捕获。
- (2) MSVIDEO.DLL 能够连接视频捕获窗口与捕获驱动设备并处理屏幕上的视频操作。
- (3) MCIAVI.DRV 实现回放功能的驱动程序。
- (4) AVIFILE.DLL 用来实现对 AVI 文件的读写操作等功能。
- (5) ICM 即压缩管理器，用于对存储在 AVI 文件中视频图像进行数据的压缩、解压缩服务。
- (6) ACM 即音频压缩管理器，提供实时音频压缩及解压缩功能。

2.1.2 AVICap 窗口类的基本功能

AVICap 窗口类的基本功能包括动态的将采集窗口同音频、视频输入设备连接或断开；采集音频视频并保存至 AVI 文件；设置视频采集的速率；通过自带对话框设置视频格式、压缩方式等。有预览、叠加两种模式显示视频；捕获视频帧，并保存成 DIB 格式。

2.1.3 AVICap 窗口类函数的基本分类

AVICap 窗口类函数分为回调函数、宏和普通函数。

回调函数是非常重要的编程机制，作用和中断函数相似^[22]。开发人员将需要的代码编写成函数，并通过系统注册为回调函数，当事件发生时，系统就会自动接收消息，调用这个回调函数。

在 AVICap 窗口类中，宏的使用和普通函数完全类似，使用宏与发送相应的窗口消息功能是一样的。例如，CapDriverConnect 与显式发送消息 WM_CAP_DRIVER_CONNECT 的功能都是“连接窗口与驱动器”。

在 AVICap 窗口类中，普通函数只有两个，即 capGetDriverDescription 和 capCreateCaptureWindow。前者用于获取有关视频驱动器版本信息的描述，后者用于创

建一个捕获窗。

2.1.4 常用 AVICap 函数介绍

```
(1) HWND VFWAPI capCreateCaptureWindow // 创建捕获窗口函数
(
LPCSTR lpszWindowName, // 用于设置视频采集窗口的名称
DWORD dwStyle, // 用于设置窗口风格, 如: WS_CHILD 或 WS_VISIBLE
int x, int y, // 视频采集窗口的左上角的 X、Y 坐标 (单位: 像素)
int nWidth, int nHeight, // 视频采集窗口的宽度和高度 (单位: 像素)
HWND hWnd, // 视频图像采集窗口的父窗口句柄
int nID // 视频图像捕捉窗口的资源 ID 标号。
);
```

AVICap 的组件函数 capCreateCaptureWindow()的功能是建立视频捕获窗口, 调用成功, 返回窗口句柄, 否则, 返回 NULL。

(2) capDriverConnect(HWND hWnd, int index), 其中 index 为捕获设备驱动号。默认为 0。该宏函数的作用是负责连接视频捕获窗口与捕捉设备。如果调用成功, 返回“TRUE”, 否则返回“FALSE”。

(3) capPreviewRate(hWnd, 33), 该函数用来设置预览模式的帧频率。

(4) capPreview(hWnd, True)、capOverlay(hWnd, True), 这两个宏函数用来设置显示模式, 前者为预览模式, 后者为叠加模式。

(5) capSetCallOnFrame(hWnd, FrameCallbackProc), 该函数用来设置回调处理程序, 通过回调处理程序完成单帧视频采集^[21]。

(6) capFileSaveDIB(hWnd, szName), 该函数负责捕获视频窗口中当前图像, 并将图像数据以 BMP 格式保存到名为 szName 的位图文件中。

(7) capCaptureStop(hWnd), 该函数作用为终止视频捕获。

(8) capDriverDisconnect(hWnd), 该函数负责与视频捕获设备断开。

视频捕获流程的基本结构框图如图 2-1 所示。

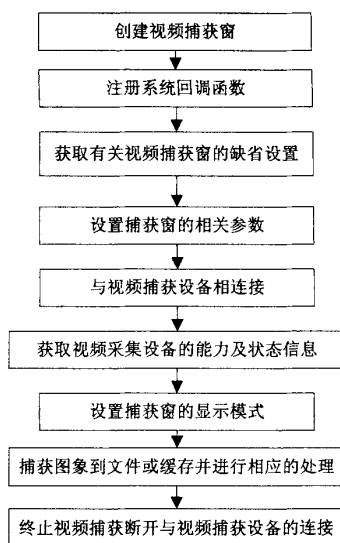


图 2-1 视频捕获流程图

Fig. 2-1 Flowchart of video capture

2.1.5 AVICap 实现视频捕获

在 C++ Builder 6.0 中，VFW 通常封装成 AVICap 窗口类。使用 AVICap 窗口类，可以很方便的实现视频采集、捕获功能。

首先新建一个工程，在 Form 窗体上放置一个 MainMenu 组件，界面如图 2-2 所示

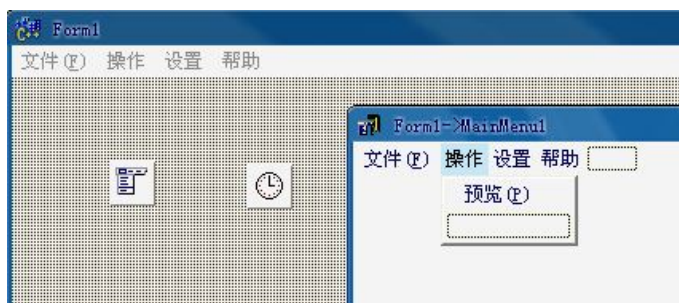


图 2-2 程序的菜单界面

Fig. 2-2 The menu interface of the program

为了调用 AVICap 窗口类，首先头文件中必须包含文件#include “vfw.h”。然后再定义全局变量：

```

HWND vcHWND; // 捕捉窗口的窗口句柄
CAPSTATUS CapStatus; //捕捉窗口的当前状态
CAPDRIVERCAPS CapDriverCaps; //视频捕捉驱动程序的功能
CAPTUREPARAMS m_Parms; //捕捉参数
    
```

(1) 建立捕获窗口

```

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
    vcHWND=capCreateCaptureWindow("the Capture Window",
    WS_CHILD|WS_VISIBLE , 10,15,400,300,Handle,0);
}

```

(2) 检查驱动设备是否连接

在“预览（N5）”的 click 事件中添加以下代码：

```

void __fastcall TForm1::N5Click(TObject *Sender)
{
    if(IS_PREVIEW)
    {
        capCaptureAbort(vcHWND);
        capDriverDisconnect(vcHWND);    //是否连接驱动设备
        //DestroyWindow(vcHWND);
        IS_PREVIEW = false;
    }
    else
    {
        bool ScanDriver = false;

        for(int i=0;i<10;i++)
        {
            ScanDriver=capDriverConnect(vcHWND,i);
            if(ScanDriver) break;
        }
        if(!ScanDriver)
            ShowMessage("驱动设备没有找到!");
        //设置显示模式
        if (CameraMode==0)
        {
            //capOverlay(vcHWND, true);
            capPreviewScale(vcHWND,true);
            capPreviewRate(vcHWND,33);    //设置预览速率
            capPreview(vcHWND,true);
        }
    }
}

```

```

else
{
    capOverlay(vcHWND,true);
}
IS_PREVIEW=true;
Timer1->Enabled = true; //启用 Timer 控件}

```

(3) 图像捕获

Timer 控件启用后开始计时，根据在此之前设置的 Interval（时间间隔）来定时地捕获图像。调用函数 capFileSaveDIB 从视频窗口捕获当前帧图像，并将数据以 BMP 格式保存。

```

void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender)
{
    if(IS_PREVIEW)
    {
        //capGrabFrameNoStop(vcHWND);
        capFileSaveDIB(vcHWND,"photo.bmp");
    }
}

```

(4) 视频的相关设置，如图 2-3 所示。

① 视频格式设置

```
capDlgVideoFormat(vcHWND);
```

② 视频源设置

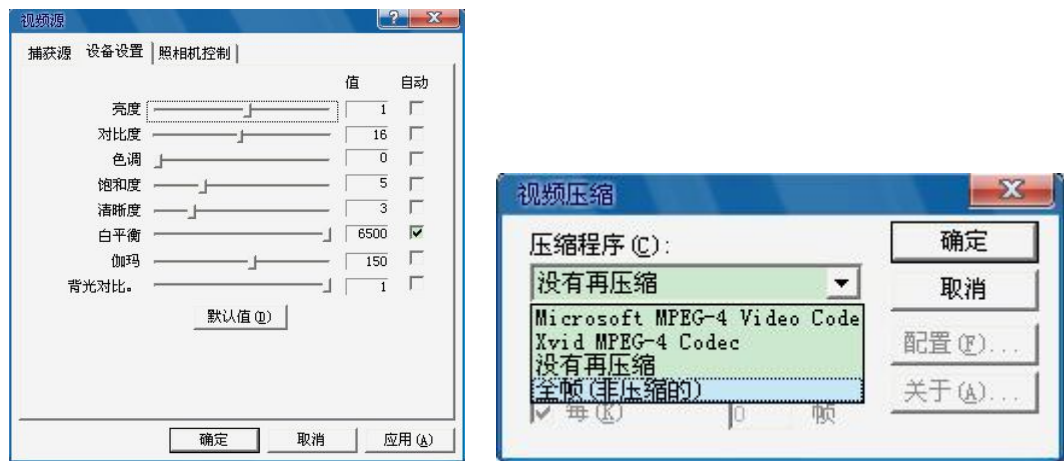
```
capDlgVideoSource(vcHWND);
```

③ 视频压缩设置

```
capDlgVideoCompression(vcHWND);
```



(a) 视频格式设置



(b) 视频源设置 (c) 视频压缩设置

图 2-3 视频相关设置

Fig. 2-3 Video settings

2.2 本章小结

农业机械导航中，视觉导航系统的正常工作，需要视频采集系统能够实时、正确的采集到农田图像。所以选择合适的视频采集设备和图像采集方法十分的重要。本章在分析了几种开发图像采集系统的方法的基础上，确定了使用 VFW 的 AVICap 窗口类函数来进行视频采集系统的开发。介绍了 AVICap 函数的基本分类和 AVICap 的常用函数。针对本文课题所需开发了视频采集系统，该系统可以实现视频采集，显示视频并设置预览速率，设置视频格式，通过设置时间间隔定时捕获图像，保存捕获的图像帧数据等。

第三章 农田图像预处理和分割

在农田图像中提取导航特征，首先要了解农田环境的特点。在农田图像中，机器视觉导航系统的处理对象主要是包含导航特征信息的农作物行或垄沟等。农田图像具有以下特点：

- (1) 农作物常见为绿色。
- (2) 作物行基本上为直线或者近似直线的小曲率曲线。
- (3) 在自然的农田环境中，常常存在着杂草等，会在图像上产生噪声。
- (4) 品种不同或者不同生长状态下的农作物的形状、特征是不同的，而且是非常多样的。
- (5) 作物有时会出现分布不均匀的情况，作物行也会出现断行、断垄等现象。
- (6) 由于机器视觉系统只能采集到局部的农田图像，所以不能包含全面的导航信息。但是农田机械的行驶是连续的，极短间隔内，提取出的导航特征不会急剧变化，所以是可行的。

这些特点决定了农田图像处理的复杂，同时为处理图像提取导航线提供了方向。

3.1 颜色空间的选择

颜色空间是使用一组值来表示颜色的抽象数学模型，常见的颜色空间有 RGB 颜色空间、HSI 颜色空间、CIE 颜色空间等。

3.1.1 RGB 模型

RGB 是利用红、绿、蓝三原色相混合的不同比例来表示的各种颜色的，所以也称为三原色光模式。该颜色空间通常用于电视机和计算机的显示系统中。RGB 是一种设备相关的颜色空间，不同设备检测同一种物品时的 RGB 值都会有所不同^[23]。所以，RGB 模型根据采用设备的不同，实现方法也不同。计算机显示模式分为 24 位模式、16 色模式、16 位模式、32 位模式和 48 位模式，各种模式有各自的用途。当前最常使用的是 24 位模式。RGB 值每像素 24 位编码，红、绿、蓝分别用 8 位无符号整数表示各自的强度，其颜色值分为 0~255 共 256 个色级。某种颜色可以用如下公式表示：

$$C = \alpha R + \beta G + \gamma B \quad (3-1)$$

红绿蓝各种强度的组合可以表示出 $256 \times 256 \times 256 = 1677.7$ 万种颜色。

RGB 模型基于笛卡尔坐标系，该颜色空间可以由图 3-1 所示的立方体来表示。其中，R、G、B 三个参数表示坐标轴，立方体在坐标轴方向的角点处分别表示红色、绿色、蓝色，原点表示黑色，立方体和原点呈中心对称的角点位置表示白色。将表示黑色和白色的点连线，灰度等级在这条线上分布。各种色彩在经过量化处理后都可以在该立方体表面或内部表示出来。

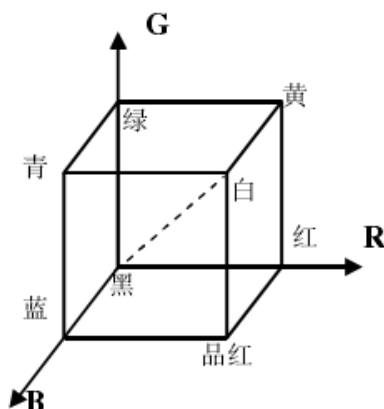


图 3-1 RGB 模型示意图

Fig. 3-1 Schematic of the RGB model

RGB 颜色模型也存在着一些缺点，如表示颜色不直观等。而且，该模型也是最不均匀的颜色空间之一，为了弥补这些缺点和降低采集图像时光照等因素对设备的影响，往往用以下公式对 RGB 做归一化处理。

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

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

$$b = \frac{B}{R + G + B} \quad (3-4)$$

3.1.2 HSI 模型

HSI 模型从色调、饱和度和强度三个特征来描述颜色，其中，色调 H 为颜色的波长，用来描述颜色的类别；饱和度 S 用来描述颜色的深浅程度；亮度 I 指图像的明亮程度，是一种主观的感觉，不可以测量。HSI 模型和人的视觉系统感知颜色的方式非常接近，而且亮度分量和色调、饱和度信息是没有关系的，可以在很大程度上减少数据处理的工作量，所以 HSI 模型特别适合用来检测和分析图像的彩色特性。

但是在显示图像时，最常用的是 RGB 模型，所以经常需要将 RGB 模型转换成 HSI 模型，若用圆形来表示 RGB 模型的投影，则 HSI 模型可以用一个双圆锥体来表示，I 轴

表示强度，色调的范围是 $0 \sim 360^\circ$ ， 0° 表示纯红色， 120° 为纯绿色， 240° 为纯蓝色。饱和度 S 用双圆锥体中的点到 I 轴的垂直距离来表示，如图 3-2 所示。

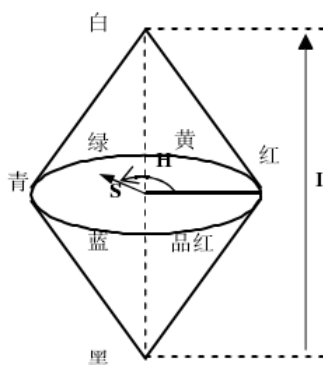


图 3-2 HSI 模型示意图

Fig. 3-2 Schematic of the RGB model

RGB 转换至 HSI 的方法中，最经典的是几何推导法，该方法的思想是先分离出亮度信息，即对 HSI 空间沿 I 轴投影，成为二维空间，再在此投影平面内根据集合知识求出色调分量值。在投影图中将纯红色点 P_r 、纯绿色点 P_g 和纯蓝色点 P_b 两两连线，得到如图 3-3 所示的正三角形。

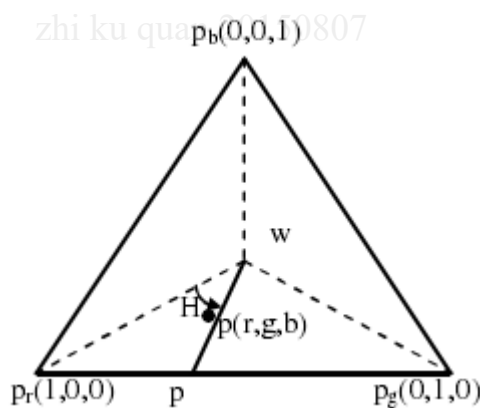


图 3-3 RGB 转换为 HSI 几何推导法示意图

Fig. 3-3 The geometric derivation method schematic of RGB to HSI

其中， $P(r,g,b)$ 为正三角形内任意点，中心点 W 即为图 3-3 中纯白色的点， W 和 P 连线的延长线与边 P_rP_g 交于点 P' ，则向量 P_rW 和 PW 之间的夹角 PWP_r 即为色调 H 。

由公式 $P_rW \cdot gPW = \|P_r - W\| \|P - W\| \cos H$ 得到 $H = \cos^{-1} \left(\frac{(P_r - W) \cdot (P - W)}{\|P_r - W\| \|P - W\|} \right)$ 。将坐标值代入并化简之后得到 RGB-HIS 的转换公式，如公式(3-5)所示。

$$H = \begin{cases} \theta, & G \geq B \\ 2\pi - \theta, & G < B \end{cases} \quad (3-5)$$

$$\text{其中, } \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{(R-B) + (R+B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\}$$

$$\text{饱和度公式为:} \quad S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (3-6)$$

$$\text{亮度公式为:} \quad I = \frac{R + G + B}{3} \quad (3-7)$$

3.1.3 CIE 模型

CIE 颜色模型是国际照明委员会(CIE)在 RGB 颜色模型的基础上, 提出了三基色原理, 并据此创建的一个与设备无关的颜色模型。定义了 CIEXYZ 和 CIELAB 两个标准, 作为国际性的颜色模型检测标准。其中, Lab 颜色空间能够表达人眼所能识别的所有色彩, 比 RGB 的空间还要大。这种与设备无关的颜色空间弥补了 RGB 等颜色空间的不足。该颜色空间中, L 代表亮度, a 从正数到负数表示颜色从红色到绿色。B 从正数到负数代表颜色从黄色到蓝色。

RGB 转换到 Lab 空间首先要转换到 XYZ 空间, 再转换到 Lab 空间。

RGB 到 CIE-XYZ 的转换公式如下:

$$X = 0.607 \times R + 0.174 \times G + 0.2 \times B \quad (3-8)$$

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (3-9)$$

$$Z = 0.066 \times G + 1.116 \times B \quad (3-10)$$

CIE-XYZ 到 CIE- L*a*b*的转换公式为:

$$L^* = 116 \left[\frac{Y}{Y_{D65}} \right]^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (3-11)$$

$$a^* = 500 \left[\left[\frac{X}{X_{D65}} \right]^{\frac{1}{3}} - \left[\frac{Y}{Y_{D65}} \right]^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3-12)$$

$$b^* = 200 \left[\left[\frac{Y}{Y_{D65}} \right]^{\frac{1}{3}} - \left[\frac{Z}{Z_{D65}} \right]^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3-13)$$

其中系数 $X_{D65} = 0.312727$ 、 $Y_{D65} = 0.329024$ 、 $Z_{D65} = 0.35825$ 。

3.2 图像灰度化方法的选择

通过对三种颜色模型的分析比较,可以发现,RGB 模型颜色信息的提取比较直接,而 HSI 模型、L*a*b*模型都要经 RGB 模型转换得到,计算量比较大。针对本课题,使用计算机对农田采集到的图像进行处理,选择 RGB 更加合适。

在 RGB 模型中,彩色图像中的每个像素都有 R、G、B 三个特征值,即图像由三个通道组成。而在上一节已经提到过,在 RGB 的正方体模型中,灰度级是沿着正方体的最长的对角线进行分布的,此时 R 值、G 值和 B 值相等,图像以单通道的格式来存储和显示,这就是灰度图像。



图 3-4 彩色图像

Fig. 3-4 Color image

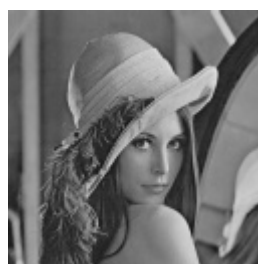


图 3-5 灰度图像

Fig. 3-5 Gray image

由图 3-4、图 3-5 可以看出,灰度图像只测量每个像素的亮度,得到从最暗黑色到最亮白色范围中连续变化的亮度信息,这个亮度信息就是灰度。灰度分为 256 级,其中,黑色最暗为 0,白色最亮为 255。

在图像的处理和分析中,研究图像的形态特征或其他信息时,并不需要图像的色彩信息,所以把彩色图像转换为灰度图像更便于对图像进行处理和分析。

3.2.1 常用灰度化方法

在 RGB 模型中,将彩色图像进行灰度化的常用方法有以下四种:

(1) 分量法

分量法分别使用式(3-14)、式(3-15)、式(3-16)提取彩色图像中 R 分量、G 分量或 B 分量的亮度作为灰度值来表示灰度图像;

$$Gr_R(x, y) = R(x, y) \quad (3-14)$$

$$Gr_G(x, y) = G(x, y) \quad (3-15)$$

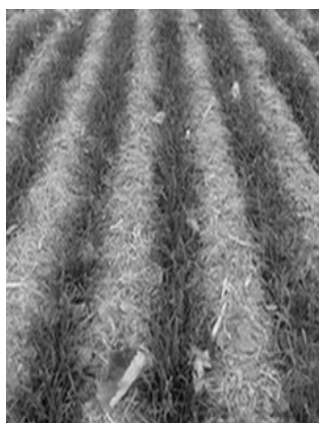
$$Gr_B(x, y) = B(x, y) \quad (3-16)$$

图 3-6 为彩色原图。R、G、B 分量灰度图像如图 3-7 所示。

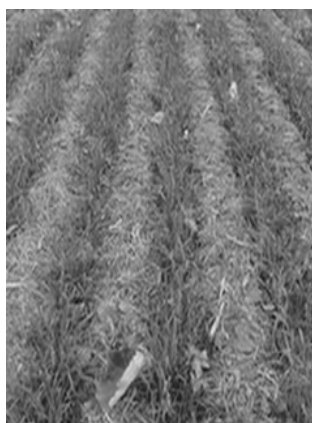


图 3-6 彩色作物行图像

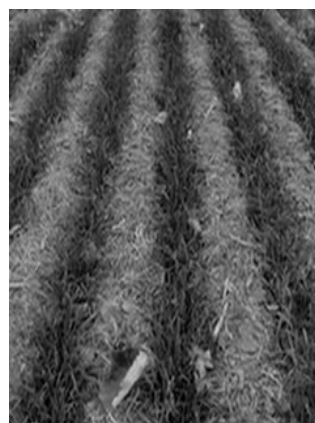
Fig. 3-6 Color crop row image



(a) R 分量灰度图



(b) G 分量灰度图



(c) B 分量灰度图

图 3-7 分量法灰度图像

Fig. 3-7 Gray-scale image of the component method

(2) 最大值法

最大值法提取彩色图像中每个像素的 R、G、B 值，使用式(3-17)取三者中的最大值来代替图像中的原有像素。

$$Gr(x, y) = \max[R(x, y), G(x, y), B(x, y)] \quad (3-17)$$

图像处理结果如图 3-8 所示。

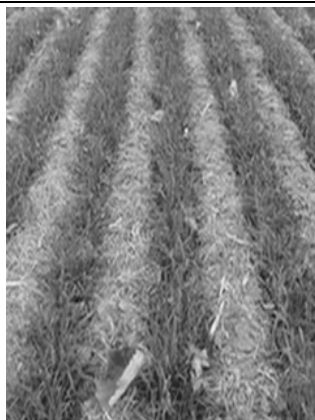


图 3-8 最大值法灰度图像

Fig. 3-8 Gray image of the maximum method

(3) 均值法

均值法提取彩色图像中每个像素的 R、G、B 值，使用式(3-18)计算得到三者的平均值来代替图像中的原有像素。

$$Gr(x, y) = \frac{R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)}{3} \quad (3-18)$$

图像处理结果如图 3-9 所示。

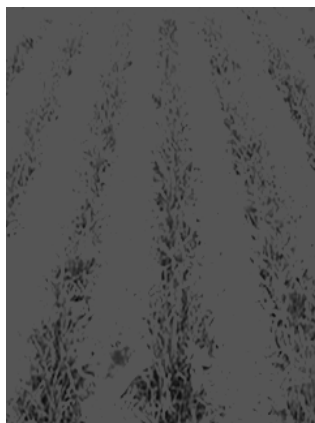


图 3-9 平均值法灰度图像

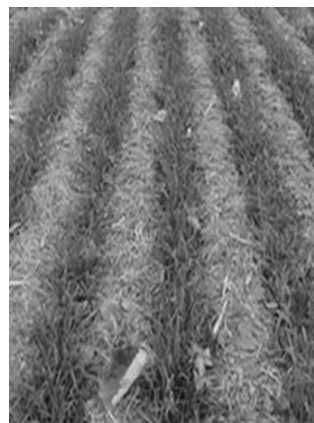
Fig. 3-9 Gray image of the
average method

图 3-10 加权平均法灰度图像

Fig. 3-10 Gray image of the
Weighted average method

(4) 加权平均法

加权平均法提取彩色图像中每个像素的 R、G、B 值，使用式(3-19)对分量值进行加权计算，将得到的偏移值来代替图像中的原有像素。

$$Gr(x, y) = 0.30 * R(x, y) + 0.59 * G(x, y) + 0.11 * B(x, y) \quad (3-19)$$

图像处理结果如图 3-10 所示。

3.2.2 超绿特征灰度化方法(2G-R-B 法)

在灰度化时，因为图像的颜色特征不同或因为图像处理时的不同要求，以上通用算法往往不能满足所有需求，在本课题中，农田中拍摄的图像中的作物行具有明显的绿色特征，即 G 值较高，而土壤背景 R 值和 G 值较高^[24]，为了更好的区分作物行和背景，可以通过加大 G 值、减小 R 值和 B 值得方法。例如 Woebbecke D M^[25] 等在 1995 年提出的超绿灰度化方法(2G-R-B 法)。

具体的计算公式如下：

$$Gr(x, y) = \begin{cases} 0 & 2G - R - B < 0 \\ 255 & 2G - R - B > 255 \\ 2 * G(x, y) - R(x, y) - B(x, y) & else \end{cases} \quad (3-20)$$

图 3-11 为 2G-R-B 法的图像处理结果，相比其它灰度化方法，该方法区分出作物行和背景的效果有了很大程度的提高，但是边缘部分不清晰，不便于后面的图像处理。于是考虑对该算法进行改进。

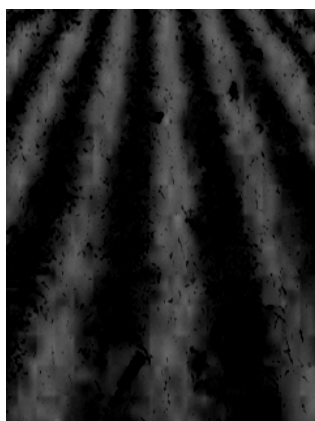


图 3-11 2G-R-B 法灰度图像

Fig. 3-11 Gray image of 2G-R-B

3.2.3 改进的 2G-R-B 灰度法

由式(3-20)可以看出，该算法通过比较 R、B 的和与 2G 的大小来对图中的像素进行分类处理，若 R 或 B 中有一个值较大使两者的和大于 2G，算法就会认为该处绿色特征不明显，造成误判，针对这种情况，本文对 2G-R-B 算法的条件做了改进。改进后的算法判断条件是只要该处像素的 G 值大于 R 值或大于 B 值就认为该处是作物行，完全体现了像素中绿色特征。改进后算法的计算公式如下：

$$Gr(x, y) = \begin{cases} 0 & else \\ 2 * G(x, y) - R(x, y) - B(x, y) & G > R \text{ 或 } G > B \end{cases} \quad (3-21)$$

图 3-12 为使用改进的 2G-R-B 算法对图像灰度化的结果，可以明显的看出 2G-R-B

法得出的灰度化图像边缘清晰程度提高,而且处理同样一幅图片(如图 3-6 所示),改进后的算法处理时间为 0.0094s,相比改进前 0.0281s 的算法处理时间,速度提高了近 3 倍,大大提高了运算效率。

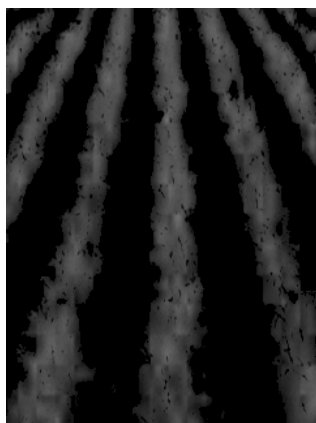


图 3-12 改进的 2G-R-B 法灰度图像

Fig. 3-12 Gray image of improved
2G-R-B method

3.3 图像滤波

在农田采集到的图像,经常存在着一些噪声,干扰对目标点的处理,所以对图像进行滤波操作是图像预处理中必不可少的一个步骤,而且滤波处理的效果将会对图像处理结果的可靠性造成直接的影响。所以选择一个好的滤波算法十分有必要。

滤波的基本思路是使用模板对图像内像素的领域进行卷积操作,将计算结果取代该像素的值,从而达到保留图像细节信息,同时又对噪声进行抑制的目的。

根据特点,滤波可以分为线性和非线性两类;按照功能,又可分为平滑滤波器和锐化滤波器。平滑滤波器的目的是去除噪声、特小的细节或者连接目标区域内的小间断。锐化滤波器的目的是增强边缘和轮廓线等细节。

本课题中,在对灰度图像进行后续处理之前,先要对图像做平滑滤波处理以去除噪声。平滑滤波常用的方法有邻域平均法、中值滤波等。

3.3.1 邻域平均法

邻域平均法是一种线性滤波方法。该方法的基本思想是对每个像素的邻域像素的灰度值求平均值,然后用求得的平均值代替所处理像素的灰度值。对一幅 $M \times N$ 的图像 (x, y) 进行平滑滤波得到图像 $g(x, y)$ 的公式如下:

$$g(x,y)=\frac{1}{P}\sum_{(m,n)\in S}f(x,y) \quad (3-22)$$

其中， $x,y=0,1,2,\cdots,P-1$ ， S 是点 (x,y) 的邻域中除该点之外所有点的坐标的集合。 P 是 S 中点的总数。

如图 3-13 所示，使用邻域平均法滤波处理，可以除去图像的噪声，但同时会模糊细节和边缘等。使用该方法去噪声时，模板越大，去噪能力越强，但造成的模糊程度也越高^[26]。线性滤波方法往往都具有这个缺点，而对于本课题，需要既消除噪声，又保留图像的细节，所以尝试使用非线性滤波的方法^[27]。最常用的非线性滤波方法为中值滤波法。

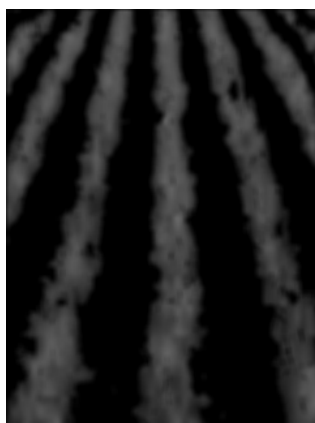


图 3-13 5×5 模板邻域平均法滤波

Fig. 3-13 Image of mean filter by 5×5 template

3.3.2 中值滤波法

中值滤波法的基本思路是将模板所对应图像中的几个像素按大小排序后取中值，然后用该中值替代模板中心所对应的像素灰度值。中值滤波不是简单的求取像素平均值，所以相比线性滤波方法，中值滤波对图像的模糊程度比较轻。

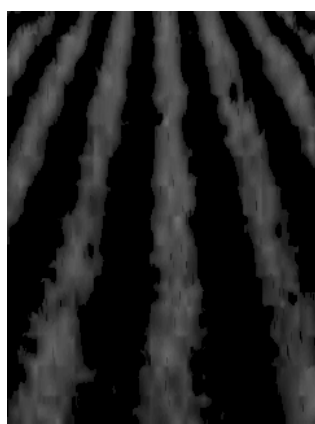


图 3-14 中值滤波后的图像

Fig. 3-14 Image of median filter

从图 3-14 可以看出，中值滤波算法能够较好的去除作物行或背景中的噪声，比邻域

平均法处理的图像更加清晰。但是由于中值滤波要对滤波窗口所对应的图像中的所有像素进行排序，所以计算速度比较慢。针对这种情况，提出了改进的中值滤波算法。

3.3.3 改进的中值滤波算法

3.3.2 节所用的中值滤波算法，采用的是对 3×3 的窗口进行全部排序的选择法排序算法，要想得到 9 个像素点的中间值，需要对数据进行 36 次的比较，这将会消耗大量的时间，不利于图像的实时处理。本文对大小为 3×3 的滤波窗口的排序算法进行了改进，下面进行详细的说明。

首先对矩阵的每个行向量进行降序排列，最大值中的最大值、最小值中的最小值分别是矩阵的最大值和最小值，最大值中的中值大于 5 个像素，包括其所在行的中值和最小值以及最大值中的最小值所在行的 3 个像素。同理，中值中的最大值大于 5 个像素，中值中的最小值和最小值中的中值都小于 5 个元素，所以这些点都不可能是中间值。排除以上六个像素之后，只需比较窗口矩阵中最大值中的最小值、中值中的中间值和最小值中的最大值，然后取三者的中值，该中值便是 9 个像素点的中间值。然后取该中间值代替矩阵中心点的原有值，遍历图像所有像素点，即可完成图像的中值滤波。

改进后的排序算法只需 17 次排序便可找到中值，比改进前的中值滤波算法速率提高了 2 倍多。在 C++ Builder 6.0 使用 Timer 控件测试两种算法的耗时，得到如表 3-1 所示的结果。从表 3-1 中可以看出，改进后的中值滤波算法提高了算法运行的速度。

表 3-1 中值滤波算法改进前后耗时对比

Table 3-1 Time-consuming comparison of median filter algorithm and improved algorithm							
耗费时间 (s)							
像素个数	108547	135381	190214	232906	436271	498983	891865
中值滤波	0.02	0.04	0.10	0.19	0.70	0.83	2.44
改进的中值滤波	0.02	0.03	0.05	0.10	0.31	0.51	1.33

3.4 去除图像中孔洞、孤立点

图像灰度化之后，作物行和背景中存在着一些孔洞，为了更好地从图像中提取导航基准线，需要缩小或消除孔洞和缝隙。膨胀和腐蚀经常被用作消除孔洞或弥合细小缝隙。

3.4.1 图像的膨胀

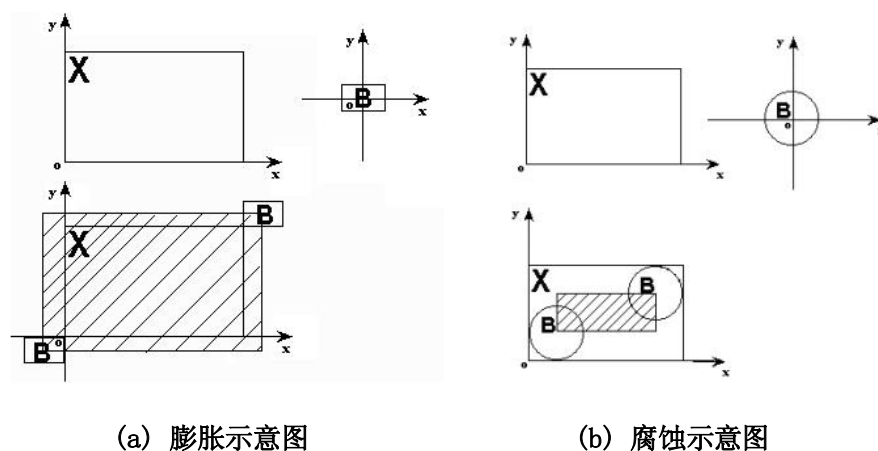


图 3-15 膨胀、腐蚀示意图

Fig. 3-15 Schematic of expansion and corrosion

把结构元素 B 平移 a 后得到 Ba , 若 Ba 击中 X , 则记下这个 a 点。所有满足上述条件的 a 点组成的集合称作 X 被 B 膨胀的结果, 如图 3-15(a)所示。其中, X 是被处理的对象, B 是结构元素。膨胀算法的公式为:

$$D(X) = \{a | Ba \uparrow X\} = X \oplus B \quad (3-23)$$

图像膨胀运算可以弥合图像中细小的裂缝, 消除图像中的孔洞。但如图 3-15(b)所示, 膨胀运算也会造成目标的面积增大。

Hi,I'm phoenix . Hi,I'm phoenix .
Glad to meet u. Glad to meet u.

(a) 字母原图

(b) 膨胀

Hi,I'm phoenix . Hi,I'm phoenix .
Glad to meet u. Glad to meet u.

(c) 腐蚀

(d) 开运算

Hi,I'm phoenix .
Glad to meet u.

(e) 闭运算

图 3-16 字母图像的膨胀和腐蚀

Fig. 3-16 The letter image by dilation or erosion

3.4.2 图像的腐蚀

把结构元素 B 平移 a 后得到 Ba ，若 Ba 包含于 X ，则记下这个 a 点，所有满足上述条件的 a 点组成的集合称做 X 被 B 腐蚀的结果，如图 3-16(b)所示。

用公式表示为：

$$E(X) = \{a | Ba \subset X\} = X \ominus B \quad (3-24)$$

图像腐蚀可以去除图像边缘的毛刺，并能够起到收缩目标图像的作用^[28]，如图 3-16(c)所示。

因为处理图像时首先要保证的图像品质不能造成图像轮廓的失真，否则会影响图像的处理结果，单一的膨胀或腐蚀都不可以满足去除农田图像作物行中的孔洞的目的，所以考虑两者结合的运算。图像的开运算和闭运算，不会明显的改变目标的面积^[29]。

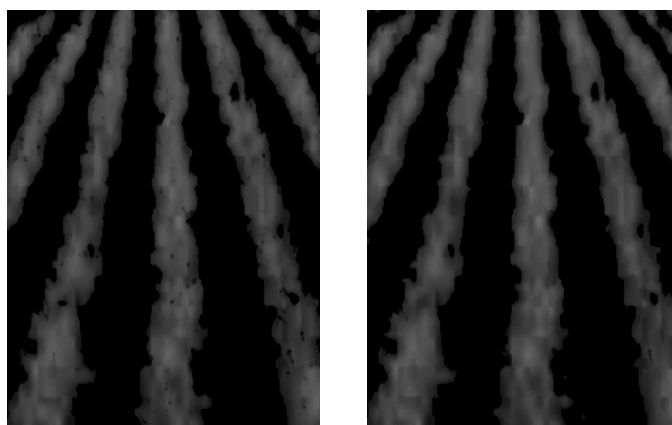
3.4.3 图像的开运算

图像开运算，即对图像先腐蚀后膨胀的运算。可以来去除明亮的细节，且不会明显改变目标的面积。如图 3-16(d)所示。

3.4.4 图像的闭运算

图像闭运算，即对图像先膨胀后腐蚀的操作，可以填充作物行或背景中的孔洞，平滑边界，不会明显改变目标的位置和形状，如图 3-16(e)所示。

农田图像的开运算和闭运算如图 3-17 所示。



(a) 农田图像开运算

(b) 农田图像闭运算

图 3-17 农田图像的开运算和闭运算示例

Fig. 3-17 Examples of farmland image by opening operation and closing operation

因为作物行为线型，所以使用 5 像素×1 像素的竖直线型结构元素对图像分别进行开运算和闭运算。开运算因为主要针对较明亮的细节，所以去除作物行中孔洞的效果不

明显，不过可以去除背景中的明亮孔洞，如图 3-17(a)所示。

而闭运算能去除比结构元素更小的暗细节，所以闭运算能够较好的去除作物行中的孔洞，如图 3-17(b)所示。

3.5 图像二值化

图像二值化是图像分割技术的一种，是最具代表性的一种分割算法。特别适合于目标和背景占据不同灰度级范围的图像。其主要原理是设定一个阈值，图像中灰度值大于该阈值的为目标，设置为白色，即像素值为 255；小于该阈值的为背景，设置为黑色，像素值为 0。二值化处理可以十分明显的增强目标和背景的对比度，从而使图像中的目标和背景很好的分割开。

当机器视觉系统连续采集图像时，不同时间不同地点的农田图像的灰度值分布是不同的，而且二值化分割的效果对后续基准线提取的准确度有着很大的影响，所以选择一个合适的阈值十分重要。图像分割时必须根据图像灰度的实际情况，确定最优阈值。

常用的阈值二值化的方法分为全局阈值法和局部阈值法，全局阈值法是指综合整幅图像的信息找出最佳的阈值将图像进行分割，局部阈值法是将图像分成若干个子图像，对每个子图像使用全局阈值法求出分割阈值，分别对子图像进行分割。

局部阈值法主要针对存在阴影、光照不均匀、各处对比度不同、有突发噪声等情况的图像^[30]，因为要对子图像分别运用阈值分割，计算量大且消耗时间较多。全局阈值法算法复杂度比较低，计算量相对较小。本课题所使用的图像，经过 2G-R-B 灰度化之后，作物行和背景有了较大区别，比较适合使用全局阈值法分割，而且视觉导航系统要求较高的实时性，全局阈值法处理时间较短，比局部阈值法更适合应用于实时处理系统。

针对目标和背景有较大差别的图像，常用的全局阈值方法有基于点的最大类间方差法和基于区域的区域生长法。

3.5.1 最大类间方差（OTSU）法

最大类间方差法由 OTSU^[31] 提出，所以也被称为 OTSU 法。它是一种基于点的自适应确定阈值的方法，按照图像的灰度特性将图像的前景和背景分开。该方法是运用方差来确定阈值的。该方法的基本原理是，以一个值 λ 将一幅灰度图像的直方图分割成两部分并计算两组的方差，当被分成的两组间方差最大时，该阈值 λ 便为图像分割的最佳阈值。

推导过程如下：设阈值 k 将图像的所有像素点分为前景与背景两部分，灰度级大于 k 的像素点为前景，占图像比例为 w_0 ，平均灰度为 u_0 ；小于 k 的为背景，占图像比例为 w_1 ，平均灰度为 u_1 。图像的总平均灰度为

$$\mu = \omega_0 * \mu_0 + \omega_1 * \mu_1 \quad (3-25)$$

前景和背景方差的计算公式为

$$\sigma^2(k) = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2 = \omega_1 \omega_0 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (3-26)$$

使方差取得最大值的阈值 k ，即为所求的最佳阈值。灰度值低于该阈值的设置为白色，高于该阈值的设置为黑色，得到二值图像。

3.5.2 区域生长法

区域生长法是按照像素具有相似的平均灰度值、颜色等性质将同一目标区域内的像素聚集的方法^[32]。

区域生长法的具体描述如下：

- (1) 选取待分割区域内的一点作为种子点 (x_0, y_0) ；
- (2) 以 (x_0, y_0) 为中心，考虑 (x_0, y_0) 的 4 个邻域像素 (x, y) ；如果 (x, y) 满足生长规则，则将 (x, y) 与 (x_0, y_0) 合并，同时将 (x, y) 压入堆栈。
- (3) 从堆栈中取出一个像素，把它当作 (x_0, y_0) ，回到步骤(2)。
- (4) 当堆栈为空时，生长结束。

3.5.3 最大类间方差法和区域生长法的对比

最大类间方差法和区域生长法处理图像的结果分别如图 3-18、图 3-19 所示。

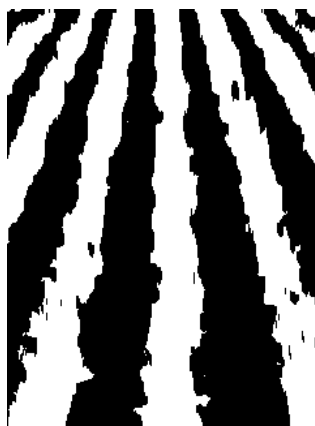


图 3-18 最大类间方差法图像

Fig. 3-18 The image of maximum variance between clusters

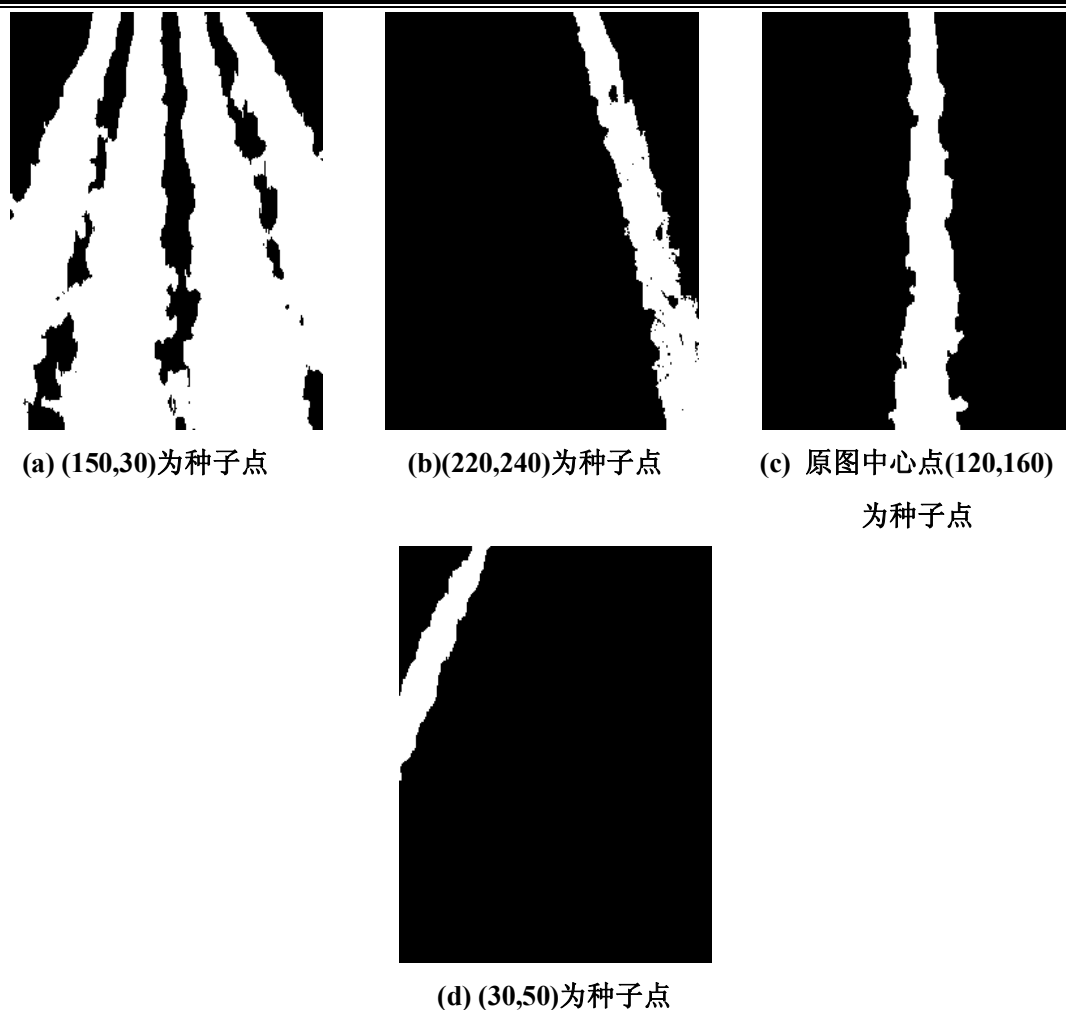


图 3-19 区域生长法选取不同种子点得到的二值图像

Fig. 3-19 Binary image by region growing method of selecting a different seed point

由图 3-18 可以看出使用最大类间方差法选取自适应阈值分割灰度图像，使作物行和背景很好的分割，效果比较理想。如图 3-19，使用区域生长法对灰度图像分割时，选取种子点的不同对得到的图像有很大的影响。

图 3-19(a)、图 3-19(b)、3-19(c)中选取一个种子点只得到了一个分割区域，如果在图像处理时想对图像的某个关键部分进行提取，可以利用区域生长法的这个特殊性，通过选择正确的种子点得到目标分割区域。

但如果对整幅图像进行分割，运用区域生长法需要指定多个种子点，而且在对比中发现，区域生长法选取不同的种子点分割同一幅图像时，消耗时间有较大不同，但平均时间是最大类间方差法的几十倍以上，所以对于对整幅图像进行分割的情况，选取最大类间方差法比较合适。

3.6 本章小结

本章主要根据农田小麦图像的特点，在对色彩模型分析和比较的基础上，选择使用 RGB 模型对图像进行处理。对 2G-R-B 灰度化算法进行了改进，改进后的 2G-R-B 法不仅较好的将作物行和土壤背景分离，还提高了处理效率。使用改进的中值滤波算法对灰度图像滤波，然后采用 5 像素×1 像素线型结构元素对灰度图进行闭运算操作，闭运算较好的填充了作物行中的孔洞，同时又没有明显改变作物行的宽度。使用最大类间方差和区域生长法两种方法对图像进行了二值化，并通过比较得出两种方法各自的使用场合。为后续处理打好了基础。

第四章 导航基准线检测方法

4.1 导航定位点提取

导航定位点的提取主要有两种方式，一是基于作物行边缘的定位，二是基于中心线的定位。

4.1.1 基于边缘检测的定位点提取方法

因为边缘线通常包含了作物行的轮廓、走向等基本信息^[33]，而且边缘检测后图像的无关信息量大大减少，能够很大程度上减小计算量，节省运算时间，且实现起来简单方便，所以边缘线定位是最常用来定位基准线的一种方式。

常用的检测边缘线的算法有 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子和 Log 算子(高斯偏导滤波器)等，这几种常用方法都属于梯度算子。

(1) Robert 算子

Robert 算子是一种利用局部差分算子寻找边缘的算子。设图像为 $f(x, y)$ ，Robert 算子的梯度幅值为

$$G(x, y) = |G_x| + |G_y| \quad (4-1)$$

$$\text{模板为} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

则模板运算结果为

$$\begin{aligned} G_x &= 1 \times f(x, y) + 0 \times f(x+1, y) + 0 \times f(x, y+1) + (-1) \times f(x+1, y+1) \\ &= f(x, y) - f(x+1, y+1) \end{aligned} \quad (4-2)$$

$$\begin{aligned} G_y &= 0 \times f(x, y) + 1 \times f(x+1, y) + (-1) \times f(x, y+1) + 0 \times f(x+1, y+1) \\ &= f(x+1, y) - f(x, y+1) \end{aligned} \quad (4-3)$$

$$G(x, y) = |G_x| + |G_y| = |f(x, y) - f(x+1, y+1)| + |f(x+1, y) - f(x, y+1)| \quad (4-4)$$

(2) Sobel 算子

Sobel 是一种一阶微分算子，它利用像素邻域的梯度值来计算中心像素的梯度，最后根据设定的阈值取舍。设图像为 $f(x, y)$ ，则其计算公式为

$$G(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4-5)$$

G_x 、 G_y 同样可用卷积模板求出。其卷积模板为 3×3 算子模板，如图 4-1 所示。卷积核 G_x 对垂直边缘响应最大， G_y 对水平边缘的响应最大。分别使用两个卷积核模板对准像素中心点 $[i, j]$ ，并和如图 4-2 所示的像素邻域相乘，取两个卷积结果的最大值输出，遍历所有像素点便可得到边缘图像。

-1	0	1	←
-2	0	2	←
-1	0	1	←

(a) G_x

1	2	1	→
0	0	0	→
-1	-2	-1	→

(b) G_y

图 4-1 Sobel 卷积模板

Fig. 4-1 Sobel operator convolution template

a0	a1	a2	↑
a7	<u>[i, j]</u>	a3	↑
a6	a5	a4	↑

图 4-2 Sobel 的邻域像素点

Fig. 4-2 The Sobel neighborhood pixels

(3) Prewitt 算子

Prewitt 算子是利用局部差分平均法寻找边缘的算子。模板如图 4-3 所示。计算方法与 Sobel 算子相似，也是用 2 个卷积核进行卷积，取两者最大值输出。结果为边缘图像。

$$G_x = [f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] - [f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)]$$

$$G_y = [f(x-1, y+1) + f(x, y+1) + f(x+1, y+1)] - [f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] \quad (4-6)$$

则
$$P(x, y) = \max[G_x, G_y] \quad (4-7)$$

(4) LOG 算子

LOG 算子，即 Laplacian-Gauss 算子。该算子把 Gauss 平滑滤波器和 Laplacian 锐化滤波器结合，先平滑掉噪声，再进行边缘检测，有效地降低了噪声对边缘检测的影响。如图 4-4 所示，常用的 LOG 算子是 5×5 的模板，如图 4-4 所示。

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

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

图 4-3 Prewitt 算子卷积模板

Fig. 4-3 Prewitt operator convolution template

-2	-4	-4	-4	-2
-4	0	8	0	-4
-4	8	24	9	-4
-4	0	8	0	-4
-2	-4	-4	-4	-2

图 4-4 5×5Log 算子模板

Fig. 4-4 Log operator template of 5×5

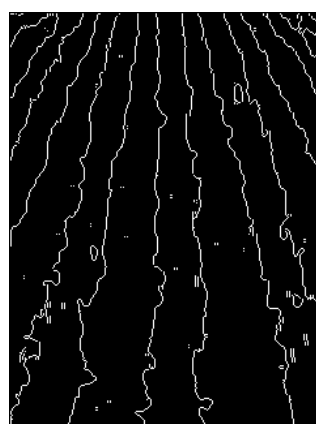
(5) 图 4-5 为多种边缘检测算子处理加入椒盐噪声的作物行图像的示例。



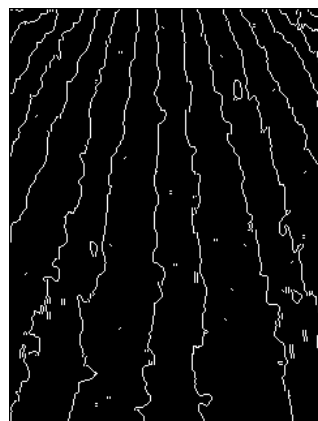
(a) 二值作物行图像



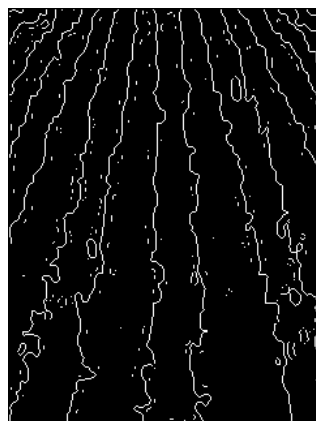
(b) Robert 算子



(c) Prewitt 算子



(d) Sobel 算子



(e) LOG 算子

图 4-5 对加入椒盐噪声的二值作物行图像边缘检测示例

Fig. 4-5 The example of edge detection to the binary crop rows image added salt and pepper noise

由于 Roberts 算子是利用图像的两个对角线的相邻像素之差进行梯度幅值的检测，所以求得的值是在差分点处梯度幅值的近似值，并且检测水平和垂直方向边缘的性能好于斜线方向的边缘，检测精度比较高，但容易丢失一部分边缘，同时由于没经过图像平

滑计算，因此不能抑制噪声，但该算子对具有陡峭的低噪声图像响应最好。

Prewitt 算子和 Sobel 算子都是对图像进行差分和滤波运算，仅在平滑部分的权值选择上有些差异，因此两者均对噪声具有一定的抑制能力，但这种抗噪能力是通过像素平均来实现的，所以图像产生了一定的模糊，而且还会检测出一些伪边缘，所以检测精度比较低，该算子比较适合用于图像边缘灰度值比较尖锐且图像噪声比较小的情况。

LOG 算子首先通过高斯函数对图像进行平滑处理，因此对噪声的抑制作用比较明显，但同时也可能将原有的边缘也平滑了，造成某些边缘无法检测到，高斯分布因子 σ 的选择对图像边缘检测效果有较大的影响， σ 越大，检测到的图像细节越丰富，但抗噪能力下降，从而出现伪边缘，反之则抗噪能力提高，但边缘精度下降，易丢失许多真边缘，因此，对于不同图像应选择不同参数。

多种边缘检测算子的比较归纳如表 4-1 所示。

表 4-1 多种边缘检测算子比较

Table 4-1 Comparison of several edge detection operators

算子	优缺点比较
Roberts	对陡峭的低噪声的图像处理效果较好，但利用 Roberts 算子提取边缘的结果是边缘比较粗，且对噪声十分敏感，因此边缘定位不是很准确。
Prewitt	对灰度渐变和噪声较多的图像处理效果较好。
Sobel	对灰度渐变和噪声较多的图像处理效果比较好，Sobel 算子对边缘定位比较准确。
LOG	LOG 算子经常出现双边缘像素边界，而且该检测方法对噪声比较敏感，所以很少用 LOG 算子检测边缘，而是用来判断边缘像素是位于图像的明区还是暗区。

针对本课题，作物行边缘表现为竖直方向，且农田环境中的图像总是存在着较多的噪声干扰，因此应选用对竖直方向边缘性能较好，抗噪声干扰能力强的算子，又考虑到系统的实时性，还要求该算子计算复杂度小。通过上面的分析，选择使用 Prewitt 算子或 Sobel 算子进行边缘检测。Prewitt 算子不是各向同性的，边缘有一定的断开。据试验得知 Sobel 要比 Prewitt 更能准确检测图像边缘^[34]，所以选择 Sobel 算子进行边缘定位，图 4-6 即为利用 Sobel 算子对作物行图像进行边缘检测的实例，可以看出该算法可以准确清晰的检测出作物行边缘。

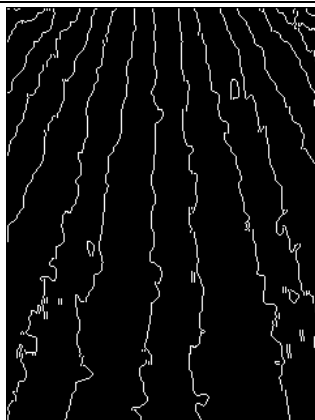


图 4-6 Sobel 算子检测作物行边缘

Fig. 4-6 Detect crop row edge by sobel operator

4.1.2 基于中心线检测的定位点提取方法

中心线相比边缘线更直，更能准确的代表作物行走向^[35]，所以目前关于中心线检测的研究引起越来越多的关注。

中心线检测的方法主要基于垂直投影法^[36]。垂直投影法是指一幅图像中，按列将所有像素的像素值相加。计算公式为：

$$s(j) = \sum_{i=1}^H \text{gray}(i, j), \quad j = 1, 2, \dots, W \quad (4-8)$$

式中， $\text{gray}(i, j)$ 为灰度图中点 (i, j) 处的像素灰度值， $s(j)$ 为灰度图中第 j 列的像素灰度值之和，即第 j 列的垂直投影值。

灰度图像垂直投影图如图 4-7 所示。

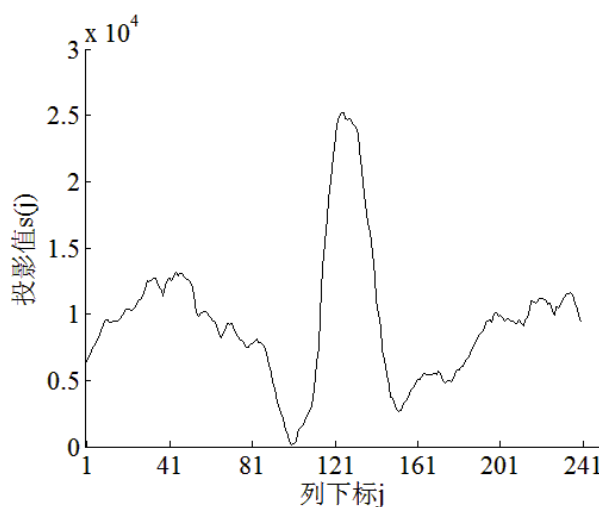


图 4-7 灰度图像垂直投影图

Fig. 4-7 The vertical projection of gray images

中心线定位的主要步骤如图 4-8 所示。

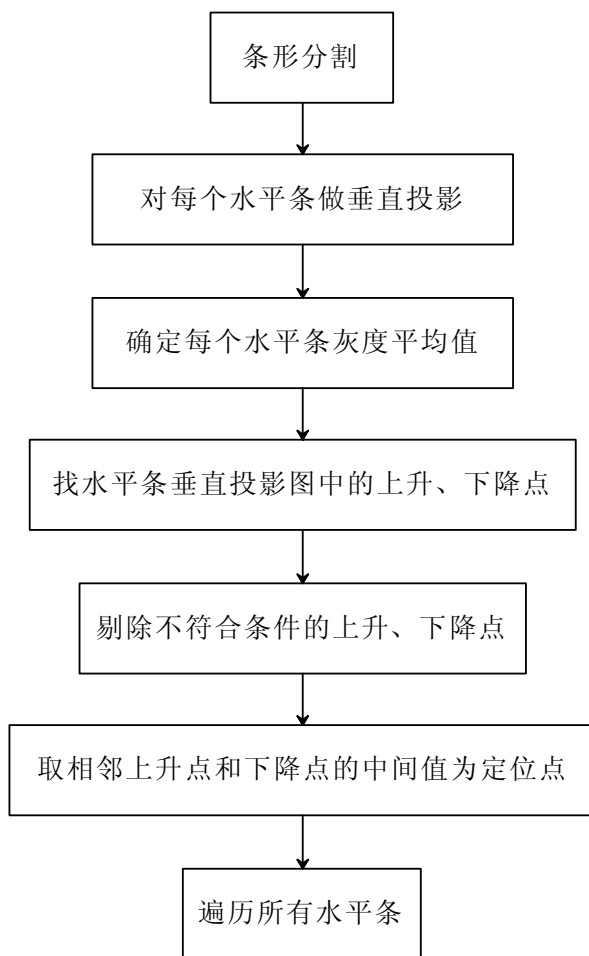


图 4-8 中心线检测定位点主要步骤

Fig. 4-8 The main steps of detecting location points by centerline detection method

(1) 条形分割

为了获取作物行的中间定位点，可以将图像分成若干个水平条图像。原则上，水平条的个数可以等于图像的像素行数，但是为了减少计算量，可以使每个水平条包含若干个像素行。但是应该选择一个合理的水平条数目。实际试验表明，农业机械作业时，当摄像头与竖直方向的倾角在 55° 左右时，图像被分成 15 条最合适^[37]。一般情况下是将图像分成等宽的水平条，最后一个水平条的宽度可以小于设定宽度。本课题将图像划分成 16 个水平条，每个水平条含有 13 个像素行，如图 4-9 所示。

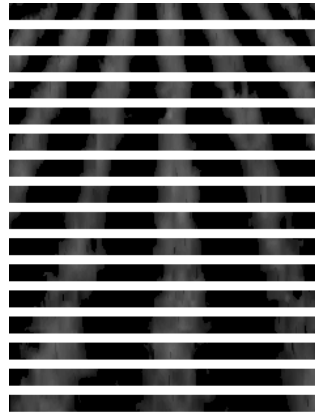


图 4-9 水平条分割

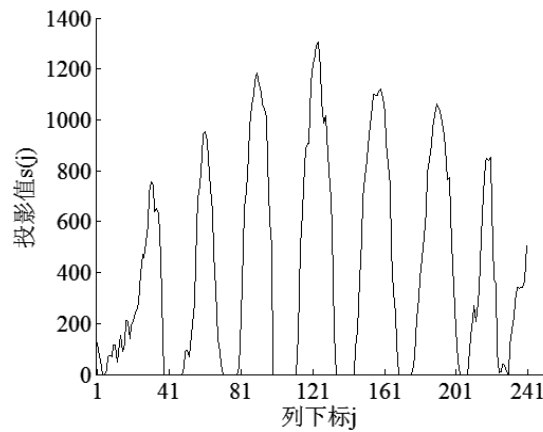
Fig. 4-9 Horizontal strips segmentation

(2) 对水平条做垂直投影

每个水平条做垂直投影图，图 4-10 所示为第一个水平条和该水平条的垂直投影图。



(a) 水平条



(b) 水平条垂直投影图

图 4-10 水平条垂直投影图

Fig. 4-10 The vertical projection of horizontal strips

(3) 水平条像素平均值

求出每个水平条中所有像素灰度值的平均值 m 。相应的计算公式为：

$$s(j) = \sum_{i=1}^h f(i, j), \quad j = 1, 2, \dots, W \quad (4-9)$$

$$m = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W s(j) \quad (4-10)$$

式中， $f(i, j)$ 为水平条中点 (i, j) 处的像素灰度值。 $s(j)$ 为水平条中第 j 列的垂直投影值。

若 $s(j-1) < m \leq s(j)$ ，则记 j 点为上升点，若 $s(j-1) > m \geq s(j)$ ，则记 j 点为下降点。对每个水平条计算定位点的步骤如下：

- ① 找出水平条垂直投影图所有的上升点和下降点。
- ② 计算每个水平条上升点和下降点之间的平均距离，若有上升点和下降点之间的距离小于该水平条的平均距离，则剔除这两个点。
- ③ 将所有符合条件的上升下降点存储在数组中，计算上升点和下降点的中间点位置，这些中间点便是作物行定位点。并存储这些定位点的坐标。

提取的作物行定位点如图 4-11 所示：

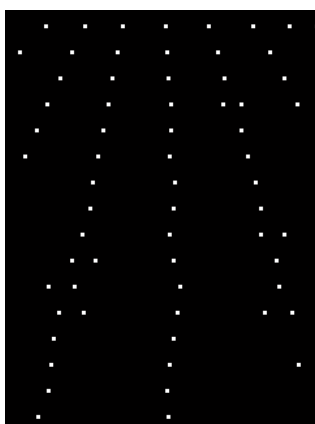


图 4-11 基于中心线检测的定位点图

Fig. 4-11 The image of positional point based on the centerline detection

4.1.3 改进的基于感兴趣区域的定位点提取方法。

在农业机械导航基准线提取时，以前的方法是将图像中所有作物行的特征线都提取出来，没有针对单一作物行提取基准线的方法。而农业机械作业时，视觉系统通过提取到的基准线的参数控制机械的自动行走，这只需要一条基准线的信息参数即可。将图像中所有作物行的基准线都提取出来是没有必要的，而且会大大增加计算量，导致系统的实时性降低。

杨为民^[1]等首先使用 Hough 变换对图像中的直线特征进行检测，根据检测到的直线特征设置感兴趣区域，感兴趣区域的中心为该直线，再根据递归算法动态改变感兴趣区域的大小。然后再对感兴趣区域内的像素抽点简化，使用 Hough 变换拟合这些像素点得到导航特征线。

但是该方法在设置感兴趣区域之前要用 Hough 变换检测图像中的直线特征，而在没有定位点之前，Hough 变换的检测并不是十分准确的，并且 Hough 变换会消耗时间，检测的准确度、实时性都会受到很大影响。

针对上述问题，本文提出了将确定作物行设置为感兴趣区域提取定位点的方法。该方法的定位过程如图 4-12 所示。

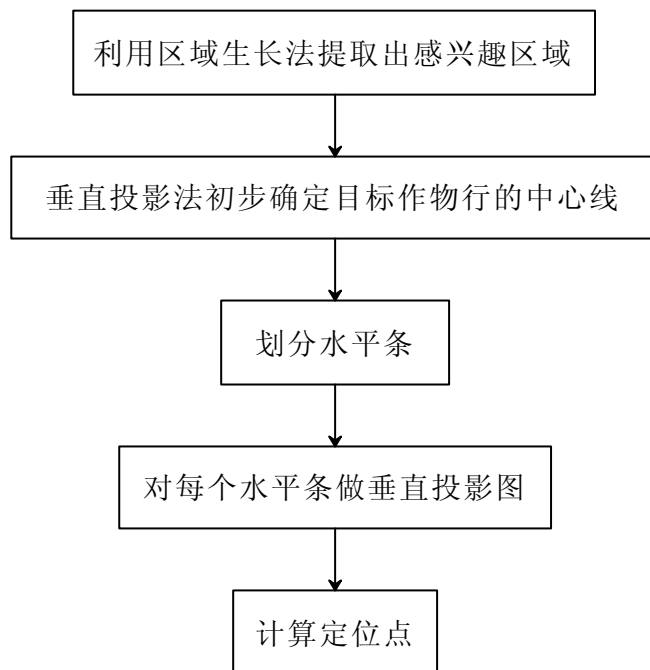


图 4-12 基于确定作物行提取定位点过程

Fig. 4-12 The process of extracting location points based on the specific crop row

详细的定位步骤为：

- (1) 将图像中心设为种子点，利用区域生长法进行图像分割，如图 4-13(a)所示。
- (2) 对第(1)步得到的图像使用垂直投影法，在垂直投影图中找曲线和坐标轴的最左端和最右端两个交点，如图 4-13(b)中 M、N，并以 M、N 为边界设置感兴趣区域，如图 4-13(c)。
- (3) 通过垂直投影图中曲线波峰位置，若有多个峰值点，则取这些点的中值。初步确定导航中心线为过该波峰的一条垂直直线^[38]，如图 4-13(b)中 P 处的直线。
- (4) 对感兴趣区域图像进行水平条分割（见图 4-13(d)），并对每个水平条做垂直投影图，如图 4-13(e)、图 4-13(f)所示。
- (5) 在垂直投影图中，从 P 列向左搜索第一个上升点，向右搜索第一个下降点，取该上升点和下降点的中点作为该作物行的定位点。
- (6) 将该作物行的定位点位置存储到数组中。并在原图中进行标记，如图 4-13(g)所示。

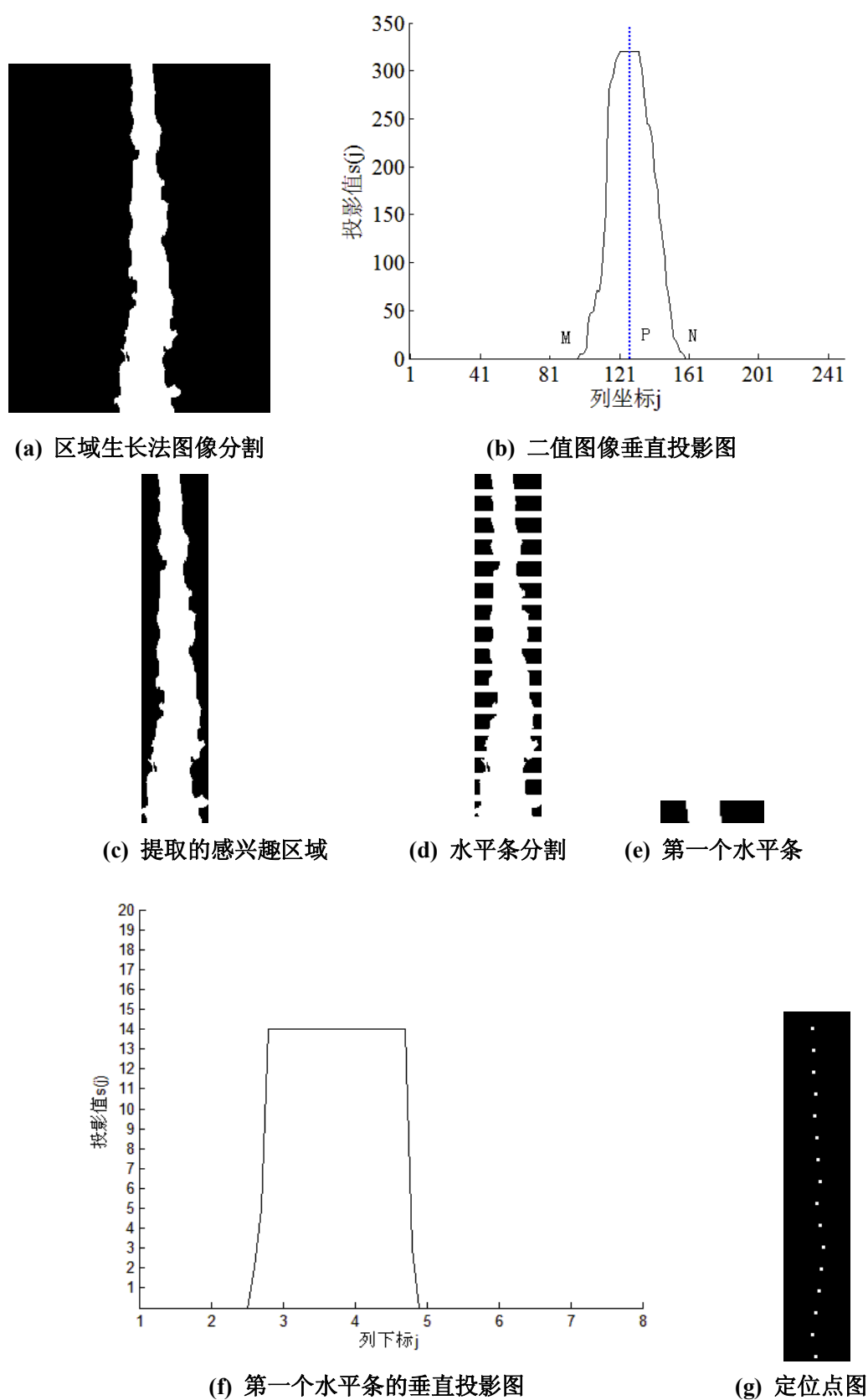


图 4-13 确定作物行中心线检测定位点方法

Fig. 4-13 The centerline detection method for the specific crop row

4.2 直线特征检测

直线特征检测是确定导航参数的关键步骤，直线检测的准确度与农业车辆能否正确的自主行驶，有着最直接、最密切的联系。

常用的直线检测的方法主要有线性拟合、Hough 变换和 Radon 变换。

4.2.1 一元线性回归

一元线性回归模型为：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

其中， β_0, β_1 为待定系数， ε 为不确定因素对 y 的影响。

假设有 n 个相互独立且服从正态分布的值 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 。

根据线性回归模型有

$$\begin{cases} y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, & i = 1, 2, \dots, n \\ E\varepsilon_i = 0 \\ D\varepsilon_i = \sigma^2 \quad \text{且 } \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n \text{ 相互独立} \end{cases} \quad (4-11)$$

$$\text{则} \quad Q = Q(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (4-12)$$

$Q(\beta_0, \beta_1)$ 为线性回归模型拟合直线和实际直线的偏差的平方和，取合适的 β_0, β_1 使得 Q 取得最小值，这种方法称为最小二乘法，设此时的 β_0, β_1 值分别为 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 。求取 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 的公式为：

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \\ \frac{\partial Q}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \end{cases} \quad (4-13)$$

因为 $Q(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1)$ 为 $Q(\beta_0, \beta_1)$ 的最小值，所以当 $\beta_0 = \hat{\beta}_0, \beta_1 = \hat{\beta}_1$ 时，式(4-13)中两式均为零。于是有

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) = 0 \end{cases} \quad (4-14)$$

$$\begin{cases} \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \\ \hat{\beta}_1 = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \end{cases} \quad (4-15)$$

解得

$$\text{式(4-12)中} \quad \begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ \overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases} \quad (4-16)$$

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 称为 β_0, β_1 的最小二乘估计, 则拟合直线 \hat{y} 的方程为

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x = \bar{y} + \hat{\beta}_1 (x - \bar{x}) \quad (4-17)$$

其中 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 分别为拟合直线的斜率和与 y 轴的截距, (\bar{x}, \bar{y}) 为所有拟合点 (x_i, y_i) 的几何重心。拟合直线经过该几何重心。

最小二乘法拟合直线演示如图 4-14 所示。

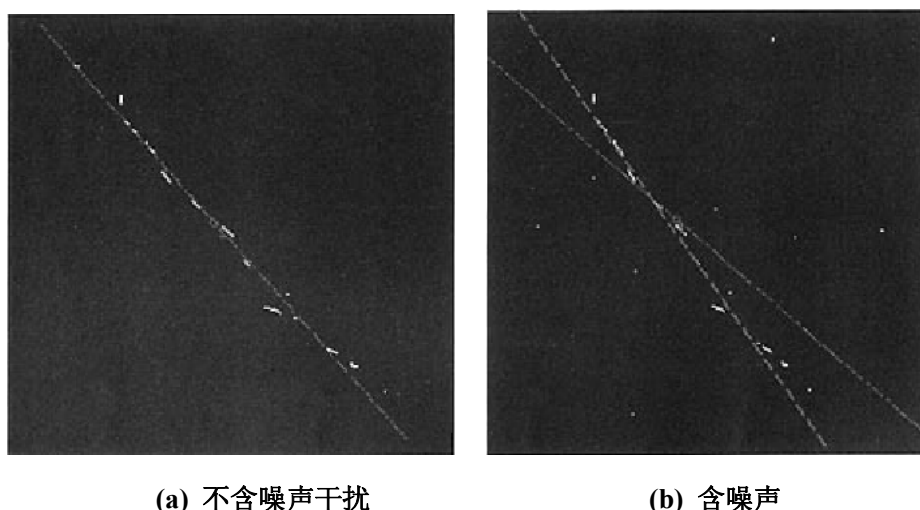


图 4-14 最小二乘法拟合直线演示

Fig. 4-14 The example of fitting a straight line by the least-squares method

如图 4-14(a)所示, 不含噪声的情况下, 最小二乘法能较好的拟合出目标点所形成的直线特征。而在存在噪声干扰的情况下, 如图 4-14(b)所示, 可以看出实际检测出的直线 (图中实线) 和理想直线 (图中虚线) 有较大的偏差。这说明最小二乘法只能用来检测单条直线, 不适用于检测多条直线, 而且抗干扰能力差, 在图像处理中, 必须首先有效地去除噪声点, 否则不适合使用最小二乘法进行直线拟合。

4.2.2 Hough 变换

Hough 变换是提取直线特征的常用方法, 其基本思想就是利用点-线的对偶性, 如图

4-15 所示。

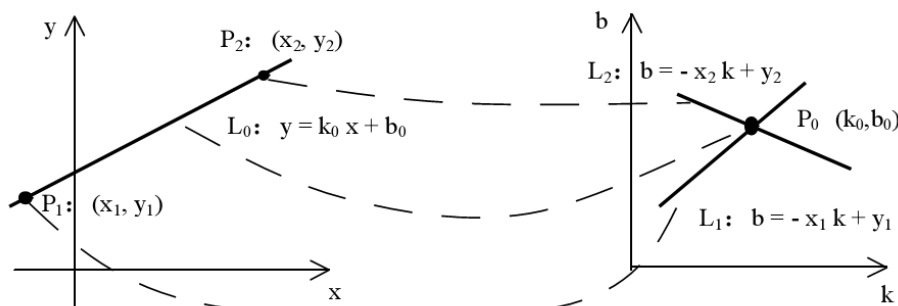


图 4-15 点—线的对偶性示意图

Fig. 4-15 Schematic of Point line duality

一般直线用 $y=kx+b$ 来表示，其中 k 为斜率， b 为截距，过点 (x_0, y_0) 的所有直线都满足方程 $y_0 = kx_0 + b$ ，即点 (x_0, y_0) ，确定了一族直线 $b = -kx_0 + y_0$ ，该直线族在 $k-b$ 平面内是一条直线，所以说图像 $x-y$ 平面上的一个像素点对应参数 $k-b$ 平面上的一条直线。由于 $x-y$ 平面中垂直直线的斜率 k 为无穷大，给计算带来不便，所以使用式(4-18)来表示直线。点—线对偶变成了点—正弦曲线对偶。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (4-18)$$

则 $x-y$ 平面中的一个点对应 $\theta-\rho$ 空间中的一条正弦曲线， $x-y$ 平面的一条直线在经过 Hough 变换后，直线上多有点在 $\theta-\rho$ 对应的正弦曲线有一个交点。所以说 $\theta-\rho$ 空间上的一个点对应着 $x-y$ 平面空间上的一条直线。

为了检测出 $x-y$ 平面内的直线，可以将极坐标 $\theta-\rho$ 量化成许多小格。对 $x-y$ 平面内检测到的点的坐标 (x, y) ，将其代入式(4-18)，其中 θ 从 0° 到 180° 按小格步长取值，对每个 θ ，计算 ρ 值，所得的值落在某小格内，该小格的累加计数器加 1。当 $x-y$ 坐标系中满足条件的点全部计算完毕后，检验小格累加计数器的值，如果大于设定的值，则根据该小格的 θ 、 ρ 值求出对应的直角坐标中的直线。

Hough 变换是一种全局性的检测方法，其抗干扰能力强，在检测导航线时曲线上即使有小的扰动、间隙、甚至虚线，经 Hough 变换后，均能在参数空间形成明显的峰值^[39]。但是 Hough 变换也存在着一些不尽完美的地方^[40]：

(1) Hough 变换时要检测图像中所有的像素，数据量多，计算量大，导致实时性不是特别高。

(2) 在实际应用中，图像细节比较密集时，Hough 变换往往会检测出许多“短直线”，或是“直线簇”，无法反应目标直线的位置，需要对“直线簇”进行处理，找出目标直线。

(3) 精度不易控制，不能用在直线拟合精度要求特别高的场合。

判断 Hough 变换的标准有两个：计算复杂度和抗干扰性能的强弱^[41]。其中计算复杂性和参数空间的累加器量有很大的关系，若累加器量化精度较高，就会增加系统的计算量，占用更多的内存，而计算量的增加无疑会影响处理的实时性，所以要在保证精度的同时，尽量提高算法的效率。

4.3 本章小结

本章主要介绍了定位点检测和拟合定位点的直线检测方法。首先将导航定位点检测的方法分为边缘检测和中心线检测两类，在中心线检测时使用图像水平条分割，减少处理的数据量。并详细分析了常用直线检测方法的优缺点和适用场合。针对以往对全局进行定位点检测耗时多的情况提出了针对确定作物行提取导航基准线的方法。利用区域生长法提取特定作物行为感兴趣区域，根据垂直投影图的曲线波峰位置初步确定基准线位置，然后将感兴趣区域图像分成若干个水平条，对每个水平条用垂直投影法找出导航定位点。该方法大大减少了无关信息量，加强了针对性，使得算法的效率得到了很大提升。

第五章 试验分析

5.1 试验材料的选取

试验样本为 3 月份拍摄于山东省淄博市张店区某农田环境中的小麦种植图像。



图 5-1 农田环境下小麦图像

Fig 5-1 The image of wheat in the farmland

本文中的算法是专门针对播种、生长呈垄状的绿色作物，而且田垄间最好没有杂草。对品种没有要求。生长初期的小麦、玉米、花生、大豆等农作物图像均满足条件。本文选取了小麦种植图像为试验材料，如图 5-1 所示。该图宽为 240 像素，高为 320 像素。

5.2 图像采集系统的硬件结构组成

图像采集系统的硬件结构如图 5-2 所示。

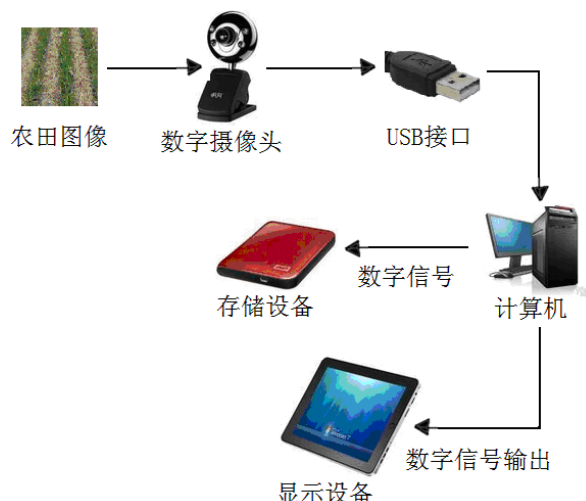


图 5-2 图像采集系统的硬件结构拓扑图

Fig. 5-2 The analysis situs chart for system hardware

5.3 图像采集系统软件

5.3.1 开发环境与开发工具

根据本文软件系统的特点，选择 Windows XP 系统环境下的 C++ Builder 6.0 作为开发工具。C++ Builder 6.0 为 Borland 公司的一款面向对象的可视化集成开发工具。它使用 VCL（Visual Component Library）类库，内置了 100 多个封装了的可重用组件，所以不仅具有 C++ 所能提供的全部功能，而且快速、高效、灵活、操作方便。

为了更高效的实现图像处理，在 C++ Builder 6.0 中安装了一个非常优秀的专业机器视觉库 OpenCV 进行图像处理系统的开发。OpenCV 采用 C/C++ 语言编写，可以跨系统使用。它包含 500 多个函数，覆盖了计算机视觉的许多应用领域，具有强大的图像和矩阵运算能力^[42]，将其应用于本系统中，可以方便的实现软件开发，提高系统实时性。

5.3.2 系统模块的构成

本文软件系统采用面向对象的方法，各个处理模块结构完整，相互联系又相对独立，可以方便的实现系统升级，可拓展性较强。如图 5-3 为运行中的系统主界面。系统主要包括以下子系统模块：

- (1) 图像采集模块。该模块可以显示农业车辆作业时农田实况，并实时采集图像。
- (2) 图像预处理模块。该模块可以对采集到的图像或硬件中存储的图像进行灰度化、滤波、去除孔洞等操作。
- (3) 导航线检测模块。该模块可以设置定位点的提取方式和直线检测的方式，模块根

据设定的方式对图像进行相应的分割处理、定位点检测和直线检测。

(4) 结果输出模块。该模块可以显示直线检测的图像，并显示检测出的直线角度，供导航系统参考。还可以对结果图像进行保存。

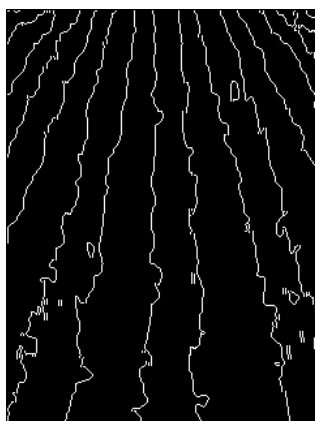


图 5-3 运行中的系统软件界面

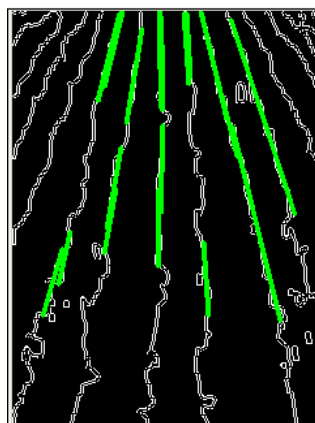
Fig. 5-3 System software interface on running

5.4 试验结果与分析

5.4.1 基于边缘检测的基准线提取试验分析



(a) Sobel 算子检测的作物行边缘



(b) 基准线拟合

图 5-4 基于边缘检测的基准线提取

Fig. 5-4 The baseline extraction based on the edge detection

图 5-4(b)是对图 5-4(a)所示的边缘进行直线检测的结果,可以看到拟合结果中存在着直线不连续的情况,说明作物行的边缘比较弯曲,不十分适合作为导航线。

5.4.2 基于中心线检测的基准线提取试验分析

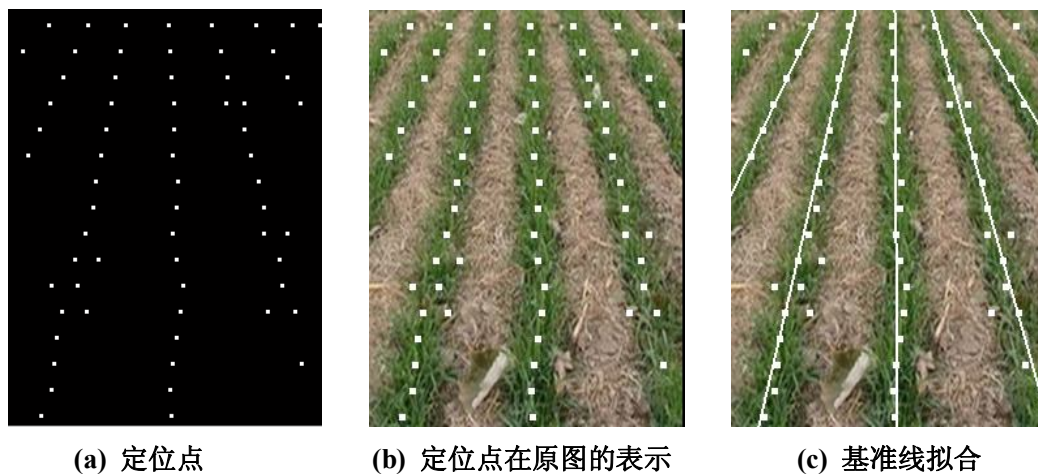


图 5-5 基于中心线检测的基准线提取

Fig. 5-5 The baseline extraction based on the centerline detection

如图 5-5(c)所示, Hough 变换对中心线检测的定位点拟合效果比较好, 中心线相比作物行的边缘更能代表作物行走向。该算法拟合基准线耗时 40ms。

5.4.3 基于确定作物行的基准线提取试验分析

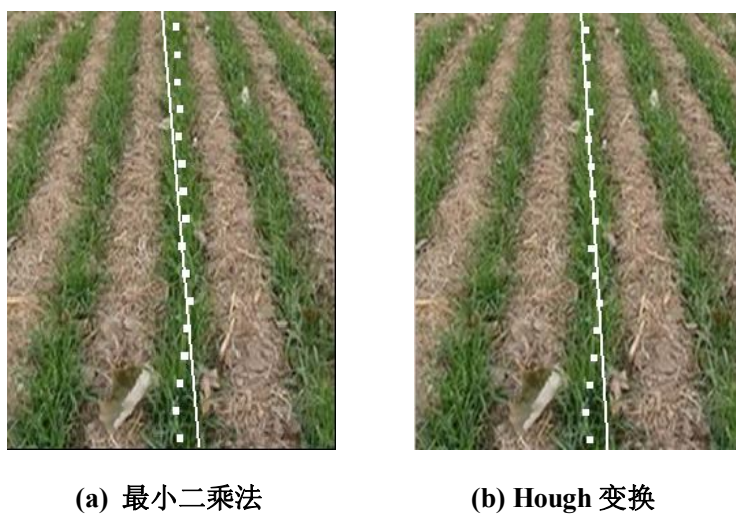


图 5-6 拟合基准线

Fig. 5-6 Fitting the baseline

使用最小二乘法拟合定位点生成的基准线如图 5-6(a)所示。根据定位点的列坐标范围确定感兴趣区域,在感兴趣区域内使用 Hough 变换对定位点进行检测,得到导航基准线,如图 5-6(b)所示。

最小二乘法拟合的直线方程为

$$y = 10.8x - 1220.8 \quad (5-1)$$

Hough 变换拟合的直线方程为

$$y = 28.6363x - 3550.9 \quad (5-2)$$

计算定位点到拟合直线的垂直距离平方和,对最小二乘法拟合直线的计算结果为 1041.00,对 Hough 变换拟合直线的计算结果为 238.98。由此可以看出 Hough 变换对定位点的拟合偏离程度更小,拟合精度更高。由图 5-6(a)、图 5-6(b)可以直观的看出 Hough 变换的拟合精度要远好于最小二乘法。

使用 Hough 变换和最小二乘法的对比可知,Hough 变换拟合精度比较好,所以对 5.4.1 节基于边缘检测的方法和 5.4.2 节基于中心线检测的方法提取的定位点进行 Hough 变化拟合基准线是可行的。

通过对基于确定作物行提取定位点方法的分析,发现得到的导航基准线精度较高,比较好的反映了作物行的走向。而且使用 Hough 变换对导航线拟合耗时仅为 11ms,为中心线检测提取多作物行基准线方法耗时的 1/3 左右,所以提出的基于确定作物行的新方法可以满足农业机械导航的需求。

5.5 本章小结

本章主要介绍了本课题试验选择的材料和使用的软硬件系统,并分析了试验结果。使用 C++ Builder 6.0 可视化编程语言,组合 OpenCV 机器视觉函数库开发了导航基准线提取系统。运用该系统分别对基于边缘检测、基于中心线检测和基于确定作物行提取定位点的方法进行了分析,发现,基于边缘检测的定位方法精确度不高,基于中心线检测的方法精确度较高但是耗时较多,基于确定作物行的方法精确度较高且耗时少,实时性高。

第六章 结论与展望

6.1 结论

本文主要根据机器视觉的相关理论，建立了农业机械视觉导航的基准线提取系统，主要工作总结如下：

(1) 视频图像采集方面，本文在分析了视频采集卡自带软件开发包、Directshow、VFW 等几种视频采集的方法后，选择不是很复杂、可以在 Windows 平台通用、灵活性高的 VFW 进行视频采集，摄像头为灵活方便、传输速度快的 USB 接口数字摄像头。开发了使用 VFW 库函数中的 AVICap 窗口类基于 USB 摄像头的农田图像采集软件，使用该软件进行农田图像的精准采集和实时捕获。

(2) 试验方面，主要选取了生长时期的不同拍摄角度的绿色小麦种植图像为试验材料，以验证所提出的算法是否适合于农业机械进行田间作业时摄像头角度发生偏转时采集到的图像。本文的算法主要围绕减少计算量和提高精度及提高算法通用性等目标进行研究和探索。

(3) 研究了多种常用图像灰度化的方法，发现小麦作物行图像不适合用常规的方法来进行处理，而应根据小麦种植图像的特点，采用专门针对绿色目标的灰度化方法。本文采用超绿特征灰度化方法（2G-R-B 法）对作物行图像进行灰度化，使作物行与土壤背景有效的分离。并将 2G-R-B 灰度化方法进行改进，使之更加有效的将作物行从土壤背景中分离出来。

滤波环节，使用改进的中值滤波方法对作物行图像进行预处理。对中值滤波的排序法进行改进，提高滤波算法的效率，并对比改进前的中值滤波算法，查看效率的提高。

在图像分割环节，通过膨胀和腐蚀算法对分割后的图像进行去除孤立点和填充洞孔处理，得到清晰的作物行图像，采用最大类间方差法（Ostu 算法）和区域生长法分别对灰度图像进行二值化，并分析得出两种二值化方法适合的场合。

(4) 将计算提取定位点的方法分成边缘检测和中心线检测两类。在边缘检测算法中，分析多种算子的效率和效果，找到适合对作物行图像进行边缘检测的算法。在中心线检测时，使用条形分割和垂直投影法来找定位点；垂直投影法很适合应用于处理呈竖直条状的作物行图像中，该方法的应用可以很方便的找到列像素的信息，从而找到一些特殊作用的点；条形分割可以大大减少计算量。

(5) 提出了一个通过选取合适种子点使用区域生长法分割图像找到特定作物行目标，

并将提取到的作物行设置为感兴趣区域进行研究的方法，然后结合水平条分割和垂直投影法找到作物行定位点。该方法只针对图像中的一条作物行提取导航基准线，完全可以得到导航信息，同时可以减少处理不必要的数数据，提高系统实时性。

(6) 基准线检测阶段，用 Hough 变换直线检测算法分别对边缘检测和中心线检测提取的定位点拟合直线，对比两种定位点提取方法的精度。并与检测直线中常用的最小二乘法和线性回归法进行对比，分析 Hough 变换算法的优点和不足。

6.2 需要改进之处及下一步工作建议

本文主要针对试验条件下的农田小麦种植图像进行处理，没有考虑自然环境下的农田中经常存在的杂草的影响，因为杂草和小麦的颜色较接近，针对如何消除杂草的影响，是一个难点，也是今后工作中需要考虑的问题。

下一步工作主要是使用本文提出的针对单作物行提取基准线的方法应用于玉米生长图像中，并改进算法，找出更适合玉米田间作业的自动导航算法。

参考文献

- [1] 杨为民,李天石,贾鸿社.农业机械机器视觉导航研究[J].农业工程学报.2004,20(1): 160-165.
- [2] 高峰,李艳等.基于遗传算法的农业移动机器人视觉导航方法[J].2008,39(6): 127-131.
- [3] Marchant JA. Tracking of row structure in three crops using image analysis[J].Computers and Electronics in Agriculture, 1996(15): 161-179.
- [4] J.F.Reid et al. Agricultural automatic guidance research in North America[J].Computers and Electronics in Agriculture .2000(25): 155-167.
- [5] Marchant JA. Tracking of row structure in three crops using image analysis[J]. Computer Electron Agric 1996: 161-79.
- [6] Marchant JA, Brivot R. Real-time tracking of plant rows using a hough transform. Real-Time Image 1995: 363-71.
- [7] Toru Torii. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2000,25(1): 133-153.
- [8] Wilson J N .Guidance of agricultural vehicles-a historical erspective[J].Computers and Electronics in Agriculture ,2000,25: 3-9.
- [9] S.Han , Q. Zhang ,B.Ni ,J.F.Reid A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems[J]. Computers and Electronics in Agriculture 43(2004)179-195.
- [10] M.Kise , Q.Zhang , F.Rovira Mas .A Stereovision-based Crop Row Detection Method for Tractor-automated Guidance[J]. Biosystems Engineering (2005) 90(4), 357-367.
- [11] Eric Royer, Maxime Lhuillier, Michel Dhome and Jean-Marc Lavest . Monocular Vision for Mobile Robot Localization and Autonomous Navigation[J]. International Journal of Computer Vision 74(3),237-260,2007

- [12] Raphael Linker, Tamir Blass. Path-planning algorithm for vehicles operating in orchards[J]. Biosystems Engineering 101(2008), 152-160.
- [13] 熊利荣, 丁幼春等. 机器视觉技术在农业领域中的应用[J]. 湖北农机化. 2004(4): 23.
- [14] 邓继忠, 张泰岭, 石江. 机器视觉技术在农业机械中的应用[J]. 农机化研究. 2001: 91-93.
- [15] 沈明霞. 自主行走农业机器人视觉导航信息处理技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2001.
- [16] 王荣本, 纪寿文, 初秀民等. 基于机器视觉的玉米是非智能机器系统设计概述[J]. 农业工程学报. 2001, 17(2): 151-154.
- [17] 任永新, 谭豫之, 杨会华等. 基于模糊控制的黄瓜采摘机器人视觉导航[J]. 江苏大学学报. 2009, 30(4): 343-346.
- [18] 袁佐云, 毛志怀, 魏青. 基于计算机视觉的作物行定位技术[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10 (3): 69-72.
- [19] 魏莉敏, 陈宁, 刘宏刚等. 基于 DirectShow 技术的视频采集方案的实现[J]. 电子技术, 2007(2): 66-69.
- [20] 谢志鹏, 陈锻生. 基于 VFW 的实时视频图像采集处理程序设计[J]. 微机发展. 2004, 14(11): 121-123.
- [21] 王铭. 回调函数在软件设计中的应用[J]. 河南教育学院学报. 2003(3): 44-46.
- [22] 王集成. 基于 VFW 图像采集应用[J]. 计算机与数字工程. 2009, 37(7): 136-139.
- [23] 任重远. 显示器相关颜色空间 RGB 与无关颜色空间 Lab 的关系[J]. 今日印刷. 2007(6): 44-45.
- [24] 吴富宁, 朱虹, 郑丽敏等. 计算机辅助小麦图像识别应用中颜色辅征基本参量的表达 [J]. 农业网络信息, 2004, 4: 10-14.
- [25] Woebbecke D M, Meyer G E, Von bargaen K. Color indices for weed identification under various soil, residual, and lighting conditions [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 259-269
- [26] 王俊芳, 王正欢, 王敏. 常用图像去噪滤波方法比较分析[J]. 2009(16): 310-311.
- [27] 刘丽梅, 孙玉荣, 李莉. 中值滤波技术发展研究[J]. 云南师范大学学报. 2004(4): 23-27.
- [28] 李敏, 蒋建春. 基于腐蚀算法的图像边缘检测的研究与实现[J]. 计算机应用与软

- 件.2009(1): 82-84.
- [29] 张莹.开闭运算在消除图像噪声中的应用研究[J].潍坊学院学报.2002(2): 65-66.
- [30] 阴国富.基于阈值法的图像分割技术[J].现代电子技术.2007(23): 107-108.
- [31] Otsu N.A threshold selection method from gray level histograms[J].IEEE Trans.On Systems Man and Cyberm.1997,9(1): 62-66.
- [32] 张建光, 李永霞.基于区域的图像分割[J].科技资讯.2011(26): 13.
- [33] 吴佳艺.基于机器视觉的农林环境导航路径生成算法研究[D].杭州: 浙江工业大学.2009.
- [34] 康乾.常用边缘检测方法分析与比较[J].信息与电脑.2010(01): 139.
- [35] 张卫, 杜尚丰.机器视觉对农田中定位基准线的识别[J].中国农业大学学报, 2006,11(4): 75-77.
- [36] 卢卫娜.车辆视觉导航方法研究[D].西安: 西北工业大学.2006.
- [37] H.T.Sogaard, H.J. Olsen. Determination of crop rows by image analysis without segmentation[J].Computers and Electronics in Agriculture 38(2003)141-158.
- [38] 任永新, 谭豫之, 杨会华等. 基于模糊控制的黄瓜采摘机器人视觉导航[J]. 江苏大学学报. 2000.30(4): 343-346.
- [39] 刘建友, 李宝树等, 航拍绝缘子图像的提取和识别[J].传感器世界.2009(12): 22-24.
- [40] 商飞, 王丰贵, 田地等.一种基于圆内接直角三角形的圆检测方法[J].光学学报, 2008,28(4): 739-743.
- [41] 赵颖, 王书茂, 陈兵旗.基于改进 Hough 变换的公路车道快速检测算法[J].中国农业大学学报.2006,11(3): 104-108.
- [42] 秦小文, 温志芳, 乔维维.基于 OpenCV 的图像处理[J].电子测试.2011(7): 39-41.

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- [1] 马红霞, 马明建. 基于Hough变换的农业机械视觉导航基准线识别[J]. 农机化研究, 2013, 4

致 谢

衷心感谢我的导师马明建老师，他学问渊博，治学有方，对学生因材施教，感谢老师在选择课题时给了我较大的自主性，能让我在感兴趣的领域有了深入研究的机会。马老师在编程方面的造诣让我深深的敬佩，也督促着我更加努力学习编程知识。两年的研究生生活很紧张，感谢老师不断的督促和谆谆教导，使我能加快步伐，抓紧时间学习。

感谢刘海涛老师、刘中合老师，是他们渊博的知识和对学生的关爱让我在研究生期间学到了很多课本中无法学到的知识，使我得到了更多的锻炼机会。

感谢我的师哥孙文辉、张辉、郝昭会，他们指导我如何进行试验，同时对我的课题提出了很多建议和意见。还有实验室的同学和师弟师妹，在我紧张写论文的时间里对我十分的关心，并为我营造了一个安静的学习环境，十分感动！

感谢班长曲宏杰，他分担了班里的大部分工作，让我有更多的精力和时间投入到论文和试验中。感谢我的同学们，是你们让我体会到友情的温暖，无论遇到什么困难，只要想到有他们在，我就感觉充满了希望。

感谢软件技术交流群里的同学们，虽然素不相识，但是每当我提出问题时，他们都不厌其烦的解答，使我的基础知识得到提升，课题的进展也更加顺利，也让我对专业的兴趣愈加浓厚。

感谢我的父母和亲人，是他们给我最大的宽容和安慰，是他们在我想要放弃的时候，给我支持和鼓励，让我勇敢的坚持下去。

最后，向参加本论文评阅和答辩的专家、教授致以最诚挚的谢意！