

哈尔滨工业大学
硕士学位论文
涂胶机器人视觉系统的应用研究
姓名：宗德祥
申请学位级别：硕士
专业：机械设计及理论
指导教师：唐德威
20050601

## 摘要

机器视觉技术易与计算机控制的工作平台相结合，能满足特殊或复杂的工程需求，因此在数十个行业均具有广泛的应用。本文结合涂胶机器人的性能特点，对机器视觉技术在涂胶机器人上的应用进行研究，设计用于涂胶机器人上的机器视觉软硬件系统。

在分析机器视觉发展现状及应用特点的基础上，基于视频图像处理理论（包括视频图像预处理、边缘检测、轮廓提取方法等），提出视觉系统总体设计方案。

在视觉系统总体设计方面，主要进行影响视觉系统准确性因素的分析，设计构成视觉系统硬件的方案，并将双眼系统 CCD 标定技术进行简化处理，应用到涂胶机器人视觉单眼系统中。

在视觉系统软件实现方面，针对涂胶机器人的实际需求，设计了视觉系统三大模块，即零件识别模块；喷嘴运动轨迹 NC 代码自动生成模块；胶线质量检测 and 缺陷自动报警模块。该软件系统对线细化和曲线矢量化方法进行改进，并应用基于图像内容的 NC 代码生成技术，实现数控代码的自动生成。

在 Windows 操作系统平台下，给出基于 Visual C++6.0 的视觉系统软件对减速箱上下箱体结合面涂胶质量检测的实例，并通过实验验证所设计系统的可行性。程序界面友好，运行稳定，具有广泛的应用前景和工程实用价值。

**关键词** 机器视觉；涂胶机器人；质量检测；图像处理；NC 代码

## Abstract

Machine vision can be easily combined with the working platform controlled by computer, and can satisfy special and complicated engineering requirements. So machine vision is applied widely to scores of industries. Based on the glue-robot features, the machine vision technology, which is used to the glue-robot vision system, has been studied, and its hardware and software systems have been designed.

On the foundation of analyzing the present condition and applied characteristics of machine vision, according to the video image processing theory, i.e. image pre-processing, edge detection, outline extracting and image recognize, the overall design project of the vision system has been proposed.

In the overall design, the accuracy of the machine vision system has been analyzed and its hardware construction has been designed. Double CCD calibration technique has been simplified, which can easily apply to single eye's machine vision system.

According to the glue-robot actual requirements, the software has been divided into three models including object recognition, sprayer trace numerical control (NC) code generation, and glue-line quality detection. Based on the characteristics of glue-line, the methods of curve thinning and vectorization have been improved, NC code generation of image content has been applied and been generated automatically.

Under the Windows platform, the Glue-robot vision system edited in Visual C++6.0 with quality detection is used in spraying experiment on the surface of the gearbox. The experiment shows that the machine vision system is correct and feasible, whose program is friendly, steady, and has a definite and comprehensive application future.

**Keywords** machine vision, glue-robot, quality detect, image process, NC code

## 第1章 绪论

### 1.1 课题背景

涂胶机器人是自动化程度较高的新型机器人，在现代工业场合有着极其广泛的应用。现代化工厂为了适应市场竞争压力，纷纷采用先进的柔性自动化生产线，使得一条生产线的产品不断的变化，必然要求处于生产线末端的涂胶机器人系统向更高的智能化水平发展，以自动适应产品的多样性。因此，本课题提出了对涂胶机器人进行视觉系统应用研究的任务，实现对产品的识别、涂胶质量检测等任务<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究的目的和意义

#### 1.2.1 视觉系统应用研究的目的

机器视觉是研究计算机模拟生物外显或宏观视角功能的科学与技术，是一个相当新且发展十分迅速的研究领域。机器视觉在人类视觉无法感知的场合，如精确定量感知、危险场景感知、不可见物体感知等，更突显其优越性。

在工业领域，机器视觉已被成功地应用于零件的识别与定位、产品质量检验、刀具磨损监控、精密测量和移动机器人导航等领域。这些应用表明机器视觉作为检测手段在工业场合应用已经初步达到实用化的水平<sup>[2-5]</sup>。

传统检测手段与机器视觉检测相比存在明显的缺陷。传统检测手段主要包括手工检测和机械系统检测两种方法。其中，手工检测的弊端：(a)人工无法持续保持一致的检测效果；(b)不同的检测者之间存在差异；(c)无法实现实时的流程控制。机械系统检测的弊端：(a)局限性多，不灵活，笨重，设置困难；(b)易产生错误；(c)无法适应现代的质量控制和统计流程控制(SPC)。采用机器视觉检测就能克服传统检测手段的缺点，同时有益于提高产品质量、提高生产率、改进产品生产的流程控制状况。

因此，本课题将利用涂胶机器人这一实例，开展视觉系统的应用研究工作。

### 1.2.2 视觉系统应用研究的意义

机器视觉系统是指通过机器视觉产品(即图像摄取装置,分 CMOS 和 CCD 两种)将被摄取目标转换成图像信号,传送给专用的图像处理系统,根据像素分布和亮度、颜色等信息,转变成数字化信号,图像处理系统对这些信号进行各种运算来抽取目标的特征,进而根据判别的结果来控制现场的设备动作。机器视觉系统的特点是提高生产的柔性和自动化程度;在一些不适合于人工作业的危险工作环境或人工视觉难以满足要求的场合,常用机器视觉来替代人工视觉;在大批量工业生产过程中,用人工视觉检查产品质量效率低且精度不高,用机器视觉检测方法可以大大提高生产效率。而且机器视觉易于实现信息集成,是实现计算机集成制造的基础技术。正是由于机器视觉系统可以快速获取大量信息,而且易于自动处理,也易于同设计信息以及加工控制信息集成,因此,在现代自动化生产过程中,人们将机器视觉系统广泛地用于工况监视、成品检验和质量控制等领域<sup>[6-9]</sup>。

同时,机器视觉作为一种新兴的工业实用技术,有着广阔的市场应用背景。目前全球整个视觉市场总量大概在 70~80 亿美元,而且每年按照 8.8% 的增长速度保持增长。工业发达国家纷纷瓜分视觉产品市场,虽然我国机器视觉技术应用研究起步较晚,但也要及时把握市场机遇,迎头赶上,为国家经济发展做出贡献。

将机器视觉的理论和方法应用到涂胶机器人系统中,既有利于提高涂胶品质,提高产品的质量,创造更好的社会效益,也必然会促进我国机器人技术向高度自动化和智能化方向发展,提高我国的科学技术水平。

因此,视觉系统应用研究,对发展我国科技、经济都有较重要的意义。

## 1.3 国内外的研究现状

### 1.3.1 涂胶机器人发展及现状

涂胶机是涂装系统不可缺少的重要设备之一。随着电子及控制技术的发展,涂胶设备也由最简单的涂胶机发展到现在的智能涂胶机<sup>[10-14]</sup>。图 1-1、图 1-2 为涂胶机器人的典型应用场合。

目前,涂胶机系统一般分为四种<sup>[15]</sup>:

(1)一般喷涂机 该涂胶机只适合于对简单的工作平面进行喷涂,因为它只

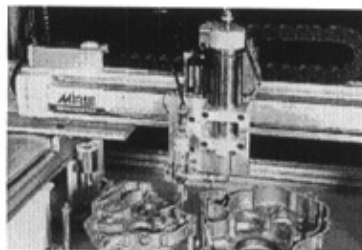


图 1-1 汽车业涂胶

Fig.1-1 The application of gluing in automobile industry

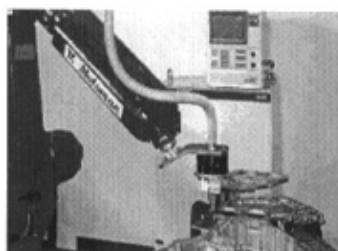


图 1-2 机车业涂胶

Fig.1-2 The application of gluing in locomotive industry

有一个运动轴，只能作往复运动（也称往复机）。对有曲面形状的喷涂对象，一般涂胶机就无能为力了，如图 1-3 所示。



图 1-3 一般喷涂机

Fig.1-3 General glue-machine

(2)机械仿形喷涂机 该涂胶机的喷枪运动是靠安装在涂胶机内部的仿形导轨来引导喷枪运动的，其只能对固定形状与尺寸的对像进行喷涂工作。北京机械工业自动化研究所机器人中心研究成功 EPPM 系列移动龙门式仿形自动喷涂机，具有代表性，如图 1-4 所示。

(3)软仿形喷涂机 该喷涂系统在被喷涂表面运动时，一般需要三个运动轴



图 1-4 机械仿形喷涂机

Fig.1-4 Mechanical profiling glue-machine

同时运动。喷枪运动的轨迹是靠计算机软件控制的，使用一套软仿形喷涂设备就可以完成对不同的喷涂对象进行相应的喷涂。北京机械工业自动化研究所机器人中心研究成功 SPP 系列软仿形自动喷涂机，如图 1-5 所示。

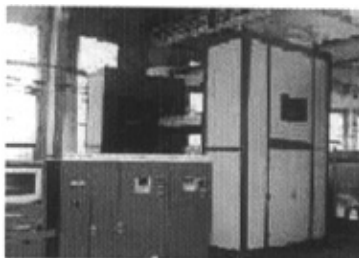


图 1-5 软仿形喷涂机

Fig.1-5 Soft profiling glue-machine

**(4)智能涂胶机** 该涂胶机集成了上述几种涂胶机系统的特点，引入视觉系统及现代控制方法，使得涂胶机系统从开始涂胶到涂胶后质量检测高度集成，逐渐实现涂胶机系统的智能化。国内沈阳新松机器人自动化股份有限公司自主开发、设计和制造了“自动涂胶机”，如图 1-6 所示，该涂胶机应用位置传感器技术实现对工件的辅助定位。由于该涂胶机不能实现零件的智能识别及涂胶质量的自动检测，尚不属于真正意义上的智能涂胶机。

哈尔滨通达工业环保自动化有限公司立足于智能涂胶机器人系统的研究，设计制造了如图 1-7 所示关节式智能涂胶机器人系统，两年多来，该系统已经在天津、吉林、上海等地得到了实践应用，工作性能稳定可靠。本课题就是针对该涂胶机系统展开研究的。

目前，视觉系统应用于涂胶机系统中尚处于探索阶段，日本、德国等机械装备生产先进国家的涂胶机生产商也正处于对这一课题的应用研究阶段，尚没有形成成熟的产品。

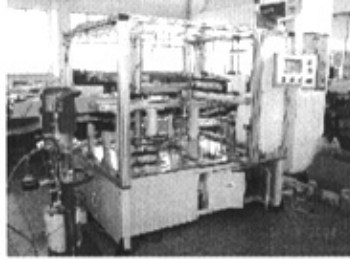


图 1-6 自动涂胶机

Fig.1-6 Automatic glue-machine



图 1-7 关节式智能涂胶机器人

Fig.1-7 Prosthetic intelligent glue-robot

### 1.3.2 机器视觉的发展及现状

1.3.2.1 国外机器视觉的发展及现状 北美：视觉系统国际公司的市场调研报告，1999~2000 年北美的机器视觉市场规模从 16.8 亿美元增长到了 19 亿美元（年增长率 12.4%）。1999 年，北美商业机器视觉市场规模为 12.5 亿美元，预计 2010 年可达到 28 亿美元（年增长率 12.4%）<sup>[16]</sup>。

日本：在 2000 年机器视觉市场有 1,000 亿日元，日本市场 300~400 亿日元。以上是狭义上的机器视觉的数据，如果包括图像处理相关联的市场，在日本国内则有数千亿日元的规模<sup>[17]</sup>。

欧洲：欧洲机器视觉学会(EMVA)调查报告显示，欧洲视觉市场 20 年来规



模逐渐扩大,从 1986 年的 4.2 亿美元增长到 2004 年的 11 亿美元。同时,预计 2005 年视觉市场将增长 8.8%。而在一项 2004 至 2006 年更长期的展望报告中预计市场的年均增长率将几乎达到 20%<sup>[18]</sup>。

### 1.3.2.2 国内机器视觉的发展及现状

(1)1990~1998 年机器视觉的初级阶段 1990 年以前,仅仅在大学和研究所中有一些研究图像处理和模式识别的实验室。在 20 世纪 90 年代初,一些来自这些研究机构的工程师成立了视觉公司,开发了第一代图像处理产品,例如基于 ISA 总线的灰度级图像采集卡和一些简单的图像处理软件库,他们的产品在大学的实验室和一些工业场合得到了应用,人们能够做一些基本的图像处理和析工作。尽管这些公司用视觉技术成功地解决了一些实际问题,但由于产品本身软硬件方面的功能和可靠性不够好,限制了他们在工业应用中的发展潜力。另外,一个重要的因素是市场需求不大,工业界的很多工程师对机器视觉没有概念,同时很多企业也没有认识到质量控制的重要性。这种状况一直持续到 1998 年。所以,称 1990~1998 年为初级阶段。期间真正的机器视觉系统市场销售额微乎其微。主要的国际机器视觉厂商还没有进入中国市场。

(2)1998~2002 年机器视觉概念引入期 1998 年以来越来越多的电子和半导体工厂落户广东和上海,带有机器视觉的整套生产线和高级设备被引入中国。随着这股潮流,一些厂商和制造商开始希望发展自己的视觉检测设备,这是真正的机器视觉市场需求的开始。设备制造商或 OEM 厂商需要更多来自外部的技术开发支持和产品选型指导,一些自动化公司抓住了这个机遇,例如,北京和利时电机技术有限公司(原北京四通电机公司,主要做运动控制),他们走了不同于上面提到的图像公司的发展道路——做国际机器视觉供应商的代理商和系统集成商。从美国和日本引入最先进的成熟产品,给终端用户提供专业培训咨询服务,有时也和他们的商业伙伴一起开发整套的视觉检测设备。经过长期市场开拓和培育,不仅仅是半导体和电子行业,而且在汽车、食品、饮料、包装等行业中,一些顶级厂商开始认识到机器视觉对提升产品品质的重要作用。这里,我们将 1998~2002 年定义为机器视觉概念引入期。在此阶段,许多著名视觉设备供应商,诸如: dvt, ccs, matsushita, omron, cognex, datatranslation, matrix, coreco 开始接触中国市场,寻求本地合作伙伴。

(3)从 2002 年至今,称之为机器视觉发展期 从下面几点可以看到中国机器视觉的快速增长趋势:

(a)在各个行业,越来越多的客户开始寻求视觉检测方案,机器视觉可以解决精确的测量问题和更好地提高他们的产品质量,一些客户甚至建立了自己的

视觉部门。

(b)越来越多的本地公司开始在他们的业务中引入机器视觉，一些是普通工控产品代理商，一些是自动化系统集成商，一些是新的视觉公司。虽然他们绝大多数尚没有充分的回报，但都一致认为机器视觉市场潜力很大，资深视觉工程师和实际项目经验的缺乏是他们面临的最主要的问题。

(c)一些有几年实际经验的公司(诸如，大恒、和利时电机)逐渐给自己的定位，以便更好的发展机器视觉业务。他们或者继续提高采集卡、图像软件开发能力，或者试图成为提供工业现场方案或视觉检查设备的领袖厂商。单纯的代理仍然是他们业务的一部分，但他们已经在元件和系统的层次上<sup>[19-20]</sup>，开始开发自己的技术或者诀窍。

(d)经过几年寻找代理的过程，许多跨国公司开始在中国建立自己的分支机构。通常他们在北京或上海建立自己在中国的分支机构，来管理关键的客户以及向合作伙伴提供技术和商务支持。

总的来说，中国机器视觉市场处在一个迅速发展期。随着市场的发展，将有更多的国内公司自己或者联合外国公司开发具有自主知识产权的视觉产品。

## 1.4 本课题的研究内容

本课题主要研究内容是：根据涂胶机器人应用的环境背景，设计出一套机器视觉系统，实现对工件的智能化操作，主要功能是实现对零件的识别、涂胶轨迹 NC 代码的自动生成，零件表面涂胶质量检测、断胶报警、重新涂胶等功能。首先，通过查阅国内外相关技术资料，获得视觉软件系统设计知识、方法和经验。其次，根据涂胶机器人具体的应用环境背景和实际功能需求，建立了视觉系统的总体实现方案和明确划分了软件功能模块。最后，应用数字图像处理学知识，并通过程序语言实现了视觉系统在涂胶机器人系统中的应用实例。

### 1.4.1 系统功能要求和性能指标

本课题的涂胶机器人主要应用于生产线上对减速箱分箱面的密封胶喷涂这道工序，即在减速箱上下盖结合处，均匀涂上密封胶。根据客户的要求及结合工厂的实际情况，提出了系统具体应达到的基本技术要求。

(1)视觉系统应能够采集清晰的零件图像；

(2)视觉系统应能够准确的识别零件；

(3)视觉系统应能够根据图像中零件信息自动产生执行机构行走轨迹的 NC 代码;

(4)视觉系统应能够实现胶线的质量检测;

(5)视觉系统应能够处理不同的零件图像信息, 具有较好的适应能力;

(6)视觉系统应操作简单, 能够长时间无错运行。

### 1.4.2 系统主要功能模块

作为实现涂胶机器人视觉系统功能的软件, 本课题研究的软件主要包括以下方面:

**1.4.2.1 工件自动识别模块** 现代化柔性生产线(FMS)中, 频繁变换工件是一种常见的现象。为了能够适应这种现象, 不造成生产线停顿, 作为生产线中一个子系统的涂胶机就必须能够自动识别工件, 有利于实现快速连续生产, 降低工人劳动强度。

本模块的输入信号是利用 CCD 成像技术, 通过 CCD 摄像机和视频采集卡采集的加工材料的图像信息, 基本格式是 bmp 位图。我们利用 Visual C++6.0 实现对加工二维图样的图像增强和细化处理, 并利用轮廓提取、模板匹配技术, 获得图像信息, 实现对零件的自动识别。

**1.4.2.2 喷嘴轨迹 NC 代码生成模块** 本模块通过数字图像处理的方法, 对涂有完整胶线轨迹的工件上的胶线进行提取, 然后利用数字形态学的方法对胶线轨迹进行细化、矢量化处理, 自动生成喷嘴运动轨迹的 NC 代码。

**1.4.2.3 胶线质量检测模块** 涂胶机对工件涂胶完成之后, 为了消除在涂胶过程中, 出现断胶、胶线太窄等缺陷, 就需要对涂胶质量进行评判。当发现涂胶缺陷后, 能够实现报警, 同时利用喷嘴轨迹生成模块, 重新进行涂胶。

## 第2章 基于 VC++ 的视频图像处理

### 2.1 引言

数字图像处理(Digital Image Processing)又称为计算机图像处理,它是指将图像信号转换成数字信号并利用计算机对其进行处理的过程。通常,图像处理的任務是将原图像的灰度分布作某种变换,使图像中的部分信息更加突出,以使其适应于某种特殊的需求。

在零件的在线检测过程中,我们的研究对象是采集到的图像中特定物体的位置,通过对该物体的识别和定位,由控制系统控制特定工具自动地进行处理。这种方法在自动控制领域和工业智能系统领域中有很好的应用前景。本章主要介绍系统相关关键技术<sup>[21~22]</sup>。

### 2.2 图像预处理

通过 CCD 获得的原始图像,成像过程中数字图像不可避免的掺杂了噪声,同时由于光照不均匀导致景物各部分之间明暗程度不一致,数字图像的质量不会很高。另外,在图像识别中,人们往往关心图像的某些重要特征,对其它特征则不关心或者希望加以抑制。因此,为了提高图像检测和识别的精度和速度,必须首先对输入模块得到的数字图像进行预处理,使系统关心的特征更加明显,而对其它有害特征则加以抑制。这种先于图像检测和识别的操作被称为预处理操作<sup>[23]</sup>。

通过观察和分析可知,视频图像中冗余信息绝大部分是由图像获取时光线以及环境噪音引入的,因而,本文视频图像预处理主要就是针对这两方面进行的。

#### 2.2.1 消除光线的影响

CCD 图像传感器在获取图像时,大部分采用的是被动光源技术,即将光源置于 CCD 同侧,由于光源问题或者物体表面镜面反射等原因,造成成像效果较差,出现灰度集中的情况。因而,需要通过灰度方面的处理手段改善成像质量<sup>[24~28]</sup>。

2.2.1.1 通过灰度变换消除光线的影响 由于 CCD 图像传感器在光线较暗时，成像效果较差，因而有必要对它的灰度值进行修正以增强对比度。采用线性灰度变换实现较为简单。假定原图像  $f(x,y)$  的灰度范围为  $[a,b]$ ，希望变换后的图像  $g(x,y)$  的动态范围为  $[c,d]$ ，则可用公式 (2-1) 实现变换。

$$g(x,y) = \frac{(d-c)[f(x,y)-a]}{b-a} + c \quad (2-1)$$

2.2.1.2 通过直方图修正消除光线的影响 直方图表示数字图像中每一个灰度级与其出现的频数间的统计关系，直方图给出了图像的概貌性的描述，如图像的灰度范围、灰度级大致分布情况。光线较暗时，直方图的分布就集中在灰度值小的一边；光线太强，其分布就集中在灰度值大的一边。为了消除光线对图像的影响，可以对图像的直方图作均衡化处理，使图像均匀地分布在各个灰度级，从而增大反差，使图像的细节清晰，对比度得到改善。

直方图修正具体方法：设变量  $r$  代表待增强图像中像素的灰度级，假设  $r$  已经归一化， $0 \leq r \leq 1$ 。 $r=0$ ，表示黑； $r=1$  表示白。设新图像的灰度级为  $s$ 。 $s$  与  $r$  的关系为  $s=T(r)$ ，假定  $T(r)$  满足： $0 \leq r \leq 1$ ， $T(r)$  单调增加，且  $0 \leq T(r) \leq 1$ 。

概率密度函数  $P_r(r)$  表示图像的灰度级分布， $F_r(r) = \int P_r(w)dw$  表示的是图像中灰度级小于  $r$  的像素点的数目。 $P_s(s)$  表示变换后图像的灰度级概率密度函数， $P_s(s)$  与  $P_r(r)$  之间存在的对应关系：

$$P_s(s) = \left[ \int P_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T^{-1}(s)} \quad \text{。通过改变}$$

$T(r)$  就可以控制  $P_s(s)$  的形状。当  $T(r) = \int P_r(w)dw$ ， $0 \leq r \leq 1$ ，易知  $P_s(s) = 1$ 。

这说明在变换后变量  $s$  的定义域上， $P_s(s)$  是一个均匀分布的概率密度函数，同时也意味着像素灰度级的动态范围增大，对比度增大。

而在实际图像处理过程中，发现图像灰度级是离散的，故可用频数近似代替概率值。

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad 0 \leq r \leq 1 \text{ 且 } k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (2-2)$$

式中  $P_r(r_k)$ ——第  $k$  级灰度值的概率；

$n_k$ ——图像中出现第  $k$  级灰度的次数;

$n$ ——图像中像素总数;

$L$ ——图像的灰度级数。

变换后图像的离散形式为

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad 0 \leq r \leq 1 \text{ 且 } k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (2-3)$$

其反变换为

$$r_k = T^{-1}(S_k) \quad (2-4)$$

由公式(2-3)和公式(2-4)可以知道, 利用累积分布函数作为灰度变换函数, 经变换后得到的灰度的直方图虽然不很平坦, 但却比原始图像的直方图平坦很多, 而且其动态范围也大大扩展了。因此, 本论文中, 采用直方图修正方法来消除光线的影响。

### 2.2.2 消除噪音的影响

图像在成像的过程中会引入各种各样的噪音, 噪音的成分不同, 采取的消除噪音的方法也不同。由于图像对比度大的边缘位置和物体之间相交的边界是图像频谱中的高频分量, 同时图像中的噪音信号一般也是高频分量。如果滤除噪音采用低通滤波器的方法, 则在消除噪音信号的同时也消除了图像信号的高频分量, 从而使图像的对比度减弱, 物体边界变得模糊、清晰度下降, 因而一般滤波方法达不到很好的效果。

2.2.2.1 邻域平均法去除噪音 设有一幅  $N \times N$  个像素的图像  $f(x, y)$ , 平滑后该点的灰度值为

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(m, n) \in S} f(m, n) \quad (2-5)$$

式中  $(x, y)$ ——图像中的像素点集合,  $x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ;

$s$ —— $(x, y)$  点邻域中点坐标的集合, 不包括  $(x, y)$  点;

$M$ —— $(x, y)$  集合内坐标点的总数。

这个方法对抑制噪音是有效的, 但是随着邻域的加大, 图像的模糊程度也越加严重。为了克服这个问题, 采用阈值法减少由于邻域平均产生的模糊效应。



$$g(x,y) = \begin{cases} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) / M & \left| f(x,y) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \right| > T \\ f(x,y) & \text{其它} \end{cases} \quad (2-6)$$

式中  $T$  ——规定的非负阈值。

公式(2-6)表示：当一些点和它邻域内的点，灰度平均值的差不超过规定的阈值  $T$  时，就仍保留其原灰度不变，如果大于阈值就用它们的平均值来代替该点的灰度值。这样就可以大大降低模糊的程度。经过这样的平滑处理后，可以滤除脉冲噪音和部分加性噪音，信噪比可提高  $\sqrt{M \times N}$  倍。

**2.2.2.2 同态滤波法去除噪音** 利用同态系统进行图像增强处理是把频率过滤和灰度变换结合起来的一种处理方法。它是把图像的照明反射模型作为频域处理基础，利用压缩亮度范围和增强对比度来改善图像的一种处理技术。

一副图像的照射分量通常用慢变化来表征，而反射分量则倾向于急剧变化。这个特征使得有可能把衣服图像取对数后的傅立叶变换的低频分量和照射分量联系起来，而把反射分量与高频分量联系起来。这样的近似是粗糙的，但却可以收到有效地增强效果。

用同态滤波方法进行增强处理的流程如图 2-1 所示。

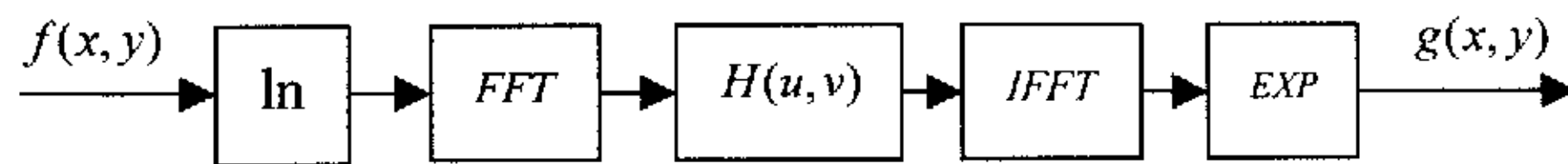


图 2-1 增强处理的流程框图

Fig.2-1 Flow chart of image enhancement

一般情况下，照明决定了图像中像素灰度的动态范围，而对比度是图像中某些内容反射特性的函数。用同态滤波器可以理想的控制这些分量。适当的选择滤波器传递函数将会对傅立叶变换中的低频分量和高频分量产生不同的响应。处理结果会使像素灰度的动态范围或图像对比度得到增强。

信号相关噪音一般均为乘性噪音，其简化数学模型为

$$G_i(z) = f_i(z) \times n_i(z) \quad (2-7)$$

式中  $G_i(z)$  ——混有噪音的信号；

$f_i(z)$  ——不含乘性噪音的信号；

$n_i(z)$  ——表示噪音。

先使噪音和信号解耦，即

$$y(z) = \ln G_i(z) = \ln f_i(z) + \ln n_i(z) = y_f(z) + y_n(z) \quad (2-8)$$

式中  $y(z)$ ——解耦后混有噪音的信号;

$y_f(z)$ ——解耦后不含噪音的信号;

$y_n(z)$ ——解耦后的噪音。

然后, 选用高通滤波器进行滤波处理, 适当提高高频分量以增强对比度, 同时压缩低频成分减小图像的动态范围。本文中, 采用三点线形滑动平均滤波器, 即

$$g_i(z) = 2f_i(z) - \frac{f_{i-1}(z) + f_i(z) + f_{i+1}(z)}{3} \quad (2-9)$$

经过滤波后, 滤除了噪音分量  $y_n(z)$ , 再将信号分量  $y_f(z)$  经同态反变换恢复为不含乘性噪音的信号  $f_i(z)$

$$f_i(z) = \exp[y_f(z)] \quad (2-10)$$

因此, 在处理一幅由于照射光不均匀而产生黑斑的暗影图像, 要去掉暗影又不失去图像的细节, 采用同态滤波方法是行之有效的。本论文采用该方法消除噪音对图像的影响。

## 2.3 边缘检测及提取

图像的最基本特征是边缘。所谓边缘就是指周围灰度强度有反差变化的那些像素集合, 是图像分割所依赖的重要基础。它广泛存在于物体与背景、基元与基元之间。边缘能勾划出目标物体, 使观察者一目了然。因此, 它是图像分割所依赖的重要特征, 是检测图像局部显著变化的最基本的运算。从本质上, 图像边缘是图像局部特性不连续(灰度突变、颜色突变、纹理结构突变等)的反映, 它标志一个区域的终结和另一个区域的开始。理想的边缘检测应当正确解决边缘的有无、真假和定位定向<sup>[29~32]</sup>。

物体的边缘是由灰度不连续性所反映的。边缘提取首先要检测出图像局部特性的不连续性, 然后再将这些不连续的边缘像素连成完整的边界。边缘的特性是沿边缘走向的像素变化平缓, 而垂直于边缘方向的像素变化剧烈。所以, 从这个角度说, 提取边缘的算法就是检测出符合边缘像素的数学算子。经典的边缘提取方法是利用边缘逼近一阶或二阶方向导数变化规律考察图像的每个像



素在某个邻域内灰度的变化，即如果一个像素落在图像中某一个物体的边界上，那么它的邻域将成为一个灰度级的变化带。最能表征这种变化的是灰度的变化率和方向，他们分别以梯度向量的幅度和方向来表示。边缘检测算子检查每个像素的邻域并对灰度变化率进行量化，同时确定灰度方向<sup>[33]</sup>。

目前，边缘检测的方法众多，如微分检测(一阶微分梯度法和二阶微分法)、最佳曲面拟合法、数学形态学和小波变换等。出于对检测技术成熟性的考虑，本文采用了微分边缘检测算法，并在 VC++ 环境下编程实现。

### 2.3.1 微分检测算法

2.3.1.1 Roberts 边缘算子 Roberts 边缘检测算子是一种利用局部差分寻找边缘的算子。它由下式给出

$$g(x, y) = \{[\sqrt{f(x, y) - f(x+1, y+1)}]^2 + [\sqrt{f(x, y) - f(x+1, y+1)}]^2\}^{1/2} \quad (2-11)$$

式中  $f(x, y)$ ——具有整数像素坐标的输入图像。

2.3.1.2 Sobel 边缘算子 图 2-2 所示的两个卷积核形成了 Sobel 边缘算子，图像中的每个点都用这两个核做卷积，一个核对垂直边缘影响最大，而另一个对水平边缘影响最大。两个卷积的最大值作为该点的输出位，运算结果是一幅边缘幅度图像。

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	-1
-2	0	-2
-1	0	1

图 2-2 Sobel 边缘算子

Fig.2-2 Sobel edge operator

2.3.1.3 Krisch 边缘算子 图 2-3 所示的 8 个卷积核组成了 Krisch 边缘算子，图像中的每个点都用 8 个掩模进行卷积，每个掩模都对特定边缘方向做出最大响应，所有 8 个方向中的最大值作为边缘幅度图像的输出，最大响应掩模的序号构成了边缘方向的编码。

2.3.1.4 高斯-拉普拉斯算子 拉普拉斯算子是一个二阶导数，它将在边缘处产生一个陡峭的零交叉，而噪声点对边缘检测有一定的影响。它把高斯平滑滤波器和拉普拉斯锐化滤波器结合了起来，先平滑掉噪声，再进行边沿检测，所以效

+5	+5	+5
-3	0	-3
-3	-3	-3

-3	+5	+5
-3	0	+5
-3	-3	-3

-3	-3	+5
-3	0	+5
-3	-3	+5

-3	-3	-3
-3	0	+5
-3	+5	+5

|  | | | | | | | | | | | |

-3	-3	-3
-3	0	-3
+5	+5	+5

-3	-3	-3
+5	0	-3
+5	+5	-3

+5	-3	-3
+5	0	-3
+5	-3	-3

+5	+5	-3
+5	0	-3
-3	-3	-3

图 2-3 Krisch 边缘算子

Fig.2-3 Krisch edge operator

果会更好。

常用的 LOG 算子是 5×5 的模板，其表示为

$$\begin{bmatrix} -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -4 & 8 & 24 & 8 & -24 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -2 & -4 & -4 & -4 & 2 \end{bmatrix}$$

LOG 算子到中心点的距离与位置加权系数的关系用曲线可用图 2-4 来表示。

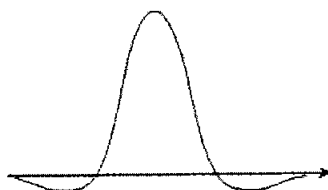


图 2-4 LOG 到中心点的距离与位置加权系数的关系曲线

Fig.2-4 Relation curve of the distance from LOG to the central  
vs the coefficient of position significance

### 2.3.2 算子实现方法

对于数字图像，图像灰度值的显著变化可以用梯度来表示，下面以 Sobel 边缘检测算子和 LOG 算子为例来讲述在数字图像处理中边缘检测的实现。

2.3.2.1 Sobel 边缘检测算子 对于数字图像，可以用一阶差分代替一阶微分

$$\begin{cases} \Delta x f(x, y) = f(x, y) - f(x-1, y) \\ \Delta y f(x, y) = f(x, y) - f(x, y-1) \end{cases} \quad (2-12)$$

求梯度时对于平方和运算及开方运算，可以用两个分量的绝对值之和表示，即

$$G[f(x, y)] = \{[\Delta x f(x, y)] + [\Delta y f(x, y)]\} |\Delta x f(x, y)| + |\Delta y f(x, y)| \quad (2-13)$$

Sobel 梯度算子是先做成加权平均，再微分，然后求梯度，即

$$\begin{cases} \Delta x f(x, y) = f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) \\ \quad - 2f(x, y-1) - f(x+1, y-1) \\ \Delta y f(x, y) = f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1) - f(x+1, y-1) \\ \quad - 2f(x+1, y) - f(x+1, y+1) \\ G[f(x, y)] = |\Delta x f(x, y)| + |\Delta y f(x, y)| \end{cases} \quad (2-14)$$

上述各式中的像素之间的关系如下

$$\begin{bmatrix} f(x-1, y-1) & f(x, y-1) & f(x+1, y-1) \\ f(x-1, y) & f(x, y) & f(x+1, y) \\ f(x-1, y+1) & f(x, y+1) & f(x+1, y+1) \end{bmatrix}$$

对于边缘检测，我们还需掌握检测矩阵和检测实现公式，其中 Sobel 检测实现公式如下

$$\begin{aligned} G[i, j] = & |f[i-1, j+1] + 2f[i, j+1] + f[i+1, j+1] - f[i-1, j-1] - 2f[i, j-1] - f[i+1, j-1]| \\ & + |f[i-1, j-1] + 2f[i-1, j] + f[i-1, j+1] - f[i+1, j-1] - 2f[i+1, j] - f[i+1, j+1]| \end{aligned} \quad (2-15)$$

2.3.2.2 Laplacian of Gaussian(LOG)边缘检测算子 Laplacian of Gaussian 算子表示为

$$f(x, y) = \nabla^2 [G(r) \cdot I(x, y)] = \nabla^2 [G] \cdot I(x, y) \quad (2-16)$$

式中  $I(x, y)$ ——表示图像；

$$G(r) \text{——表示图像梯度的幅值, } G(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp(-r^2/2\sigma^2),$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \nabla^2 G(r) = -\frac{1}{\pi\sigma^2} \exp\left(1 - \frac{r^2}{\sigma^2}\right)$$

可见，图像的边缘点即是  $f[i, j]$  中的过零点。

LOG 算子的检测实现公式如下

$$G[i, j] = |f[i+1, j] + f[i-1, j] + f[i, j+1] + f[i, j-1] - 4f[i, j]| \quad (2-17)$$

式中  $G[i, j]$ ——处理后  $(i, j)$  点灰度值；

$f[i, j]$ ——处理前该点灰度值。

分别利用 Roberts 算子、Sobel 算子、Krisch 算子和高斯—拉普拉斯算子对图 2-5 的原始图像进行处理，可得到图 2-6(a)~(d)子图。



图 2-5 原始图像

Fig. 2-5 The original image

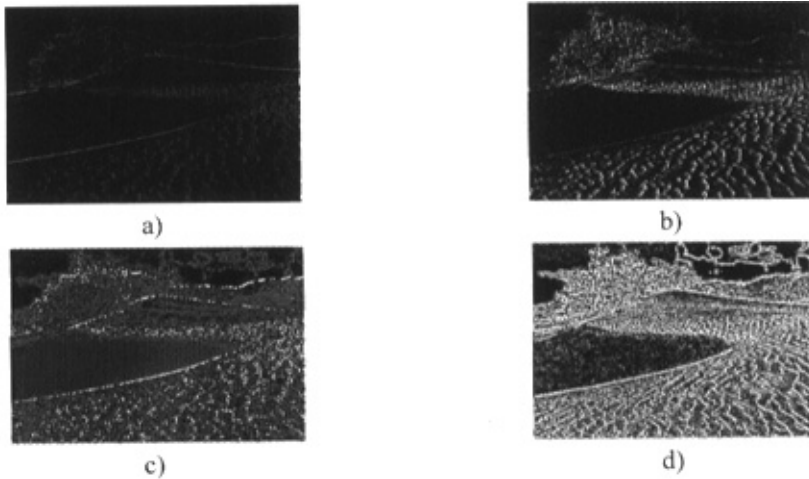


图 2-6 边缘算子运行图解

Fig.2-6 Diagram of edge operator running

## 2.4 轮廓提取与跟踪

轮廓提取和轮廓跟踪的目的都是获得图像的外部轮廓特征。因为，在很多情况下必须采用一定的方法表达轮廓的特征，为图像的形状分析做准备。

二值图像轮廓提取的算法非常简单，即掏空内部点；如果原图中有一点为黑，且它的 8 个相邻点都是黑色时(此时该点是内部点)，则将该点删除。实际上相当于用一个九点的结构元素对原图像进行腐蚀，再用原图像减去腐蚀图像。图像的轮廓提取过程如图 2-7 所示。



图 2-7 图像的轮廓提取示意图

Fig.2-7 Diagram of distilling the image outline

轮廓跟踪的基本方法是：先根据某些严格的“探测准则”找出目标物体轮廓上的像素，再根据这些像素的某些特征用一定的“跟踪准则”找出目标物体上的其他像素。图 2-8 显示了对图 2-7 中左图的轮廓跟踪结果。

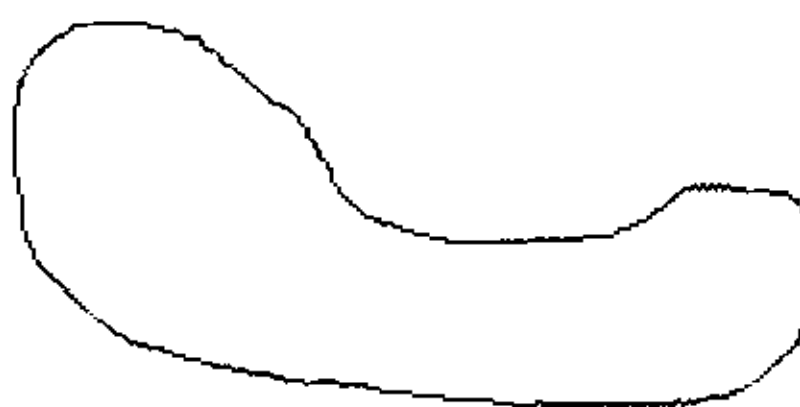


图 2-8 图像轮廓跟踪结果

Fig.2-8 Diagram of the tracking result of image outline

## 2.5 图像识别

确定图像的边缘后，我们得到了图像的一些边缘信息，根据这些边缘信息，可以确定待测物体的特征，从而判定、识别物体。对像识别在图像处理中

属于知识层技术。对于不同的物体，不同的识别目的，都有自己特定的识别方法。它们共同的特点是处理的对象是一些信息数据，利用知识进行处理，处理后的结果是对图像的描述、理解、解释以及识别。这里数据对数据的处理，在处理中不依靠图像原始的点位图，而是依靠原始图像中获得的某些信息。

本文采用目前比较流行的基于图像内容的图像识别技术<sup>[34~38]</sup>。基于内容的图像识别发展到今天，它的主要技术成果的思路是：从图像中分析抽取底层视觉特征(例如图像的颜色、形状、纹理、空间关系等)来衡量图像之间的相似度以实现基于内容的识别，特征的提取主要采用计算机视觉和数字图像处理技术，而图像相似性的匹配主要利用模式识别技术。

## 2.6 本章小结

针对视频图像的数字图像处理是课题开展的重要辅助环节，本章结合系统需要介绍了图像预处理技术，并结合典型算子对边缘检测和轮廓提取与跟踪进行了讨论，通过对比分析，突出了不同算法的特点，为完成后续的图像识别、胶线提取等功能模块提供了理论基础。

## 第3章 视觉系统总体设计

### 3.1 引言

视觉系统是体现机器智能化水平的一个重要标志,伴随着涂胶机器人智能化水平不断提高,人们给智能涂胶机引入视觉系统成为必然。本章主要针对减速箱生产线上涂胶机器人的具体应用场合,对涂胶机器人视觉系统的总体方案进行设计,充分利用现有的工厂资源,达到提高涂胶机器人智能化水平的目的。

### 3.2 系统总体方案设计

20 世纪 90 年代是基于 PC 技术迅速发展的年代。这种基于 PC 硬件和软件技术的迅猛增长,对制造业(从定单输入和系统分析到生产线过程控制)有十分重要的意义。随着 Intel 奔腾处理器和微软 Windows NT 的出现,制造商已有了一种真正的开放式体系结构、非专有的控制环境可以利用。这种环境支持(事实是促进)不同设备进行广泛的系统集成,它也使制造商能容易地开发用户应用程序,以支持其过程。更为重要的是,PC 硬件和软件平台是在工业界可接受的硬件部件和软件常规标准下建立的,采用标准的优势已被计算行业所证实,这些优势可以容易地转移到工厂车间和控制工业。这种开放式体系结构环境为系统控制、过程监视和数据采集、质量管理、以及以前不能做到的与其它系统的通信、典型的闭环结构、专用性、用于制造业的计算平台提供了一系列制造业专用的功能<sup>[39-41]</sup>。

基于开放式体系结构的 PC 制造的主要优势是:通信方便、连通性好、部件标准化和节省成本。开放式 PC 控制正在为现有的机械系统(如机器人、机床和自动化系统)提供即插即用自适应开创新的机遇,为改型和升级资本设备提供大的市场。

本文根据工业现场环境及实验室硬件条件基础,如图 3-1 所示,确定了涂胶机器人视觉系统的总体设计方案。涂胶机器人视觉系统主要包括两大方面:系统的硬件及系统的软件,其构成如图 3-2 所示。

其中,系统的硬件主要采用了 CCD+PC 的架构方式。既充分利用了现有的

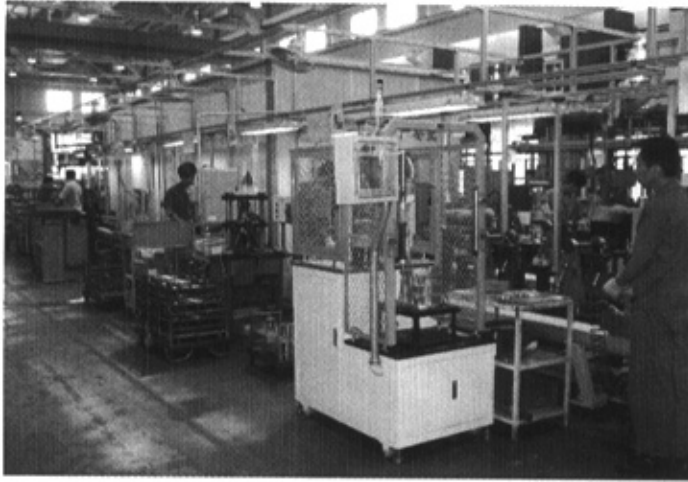


图 3-1 工厂环境

Fig.3-1 Factory environment

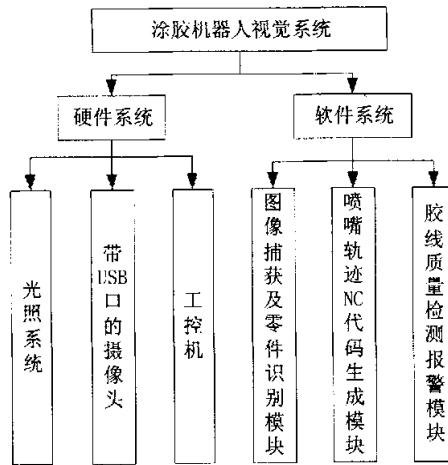


图 3-2 视觉系统的总体结构

Fig.3-2 Overall structure of vision system

CCD 成熟技术及 PC 机的大存储空间的优势，又充分利用了涂胶机生产线现有的硬件条件(已经具备计算机)，同时减少了系统的中间环节，使得整个系统的鲁棒性得以提高。采用 USB2.0 技术，可以大大提高数据的吞吐率，和降低数据传输的误码率。涂胶机器人视觉系统硬件组成如图 3-3 所示，包括光照系统、CCD 摄像机、工业计算机、执行机构等。



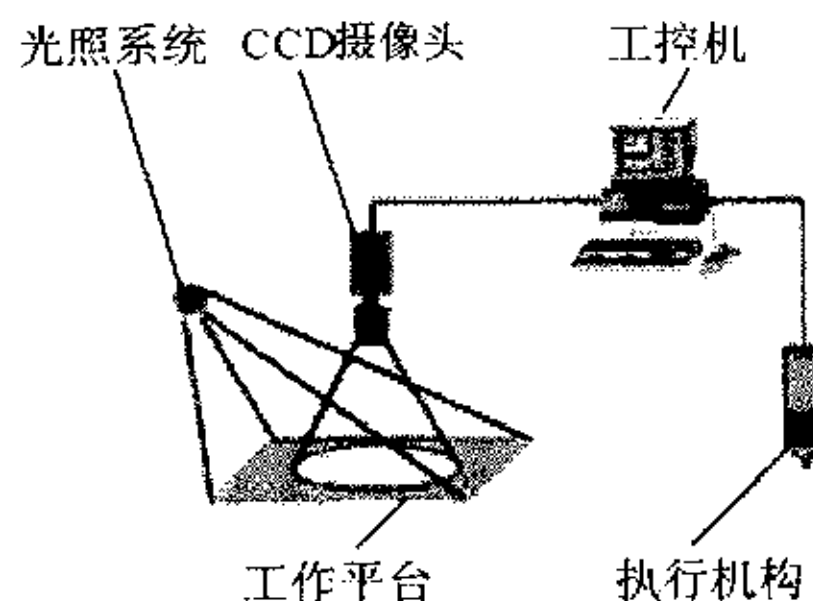


图 3-3 视觉系统硬件

Fig.3-3 The hardware of the vision system

### 3.3 系统准确性影响因素

系统方案确定后，需要分析影响视觉系统准确性的因素，以确保系统的准确可靠。影响视觉系统准确性，主要有以下三个因素：系统的硬件、系统的设置、系统软件的算法<sup>[42~44]</sup>。

#### 3.3.1 系统的硬件

(1)CCD 像头选择 例如，测量同样的物体，用低分辨率的 CCD 像头和用高分辨率的 CCD 像头，测量出来的结果有天壤之别。另外，CCD 像头的质量也很重要，不同质量的摄像头拍摄出来的图像效果是不一样的。

(2)镜头的选用也相当重要 主要是因为镜头的畸变问题，用价格高昂的远心镜头，就能拿到较准确的测量结果。

(3)最后，就是系统所用的视觉卡 因为视觉卡负责将视频信号，转换为数字信号，并存储到电脑的内存里。如果在转换或存储图像的过程中，出问题(如：丢失了一些信息)，会直接影响测量结果。

#### 3.3.2 系统的设置

(1)CCD 像头的设置 为确保像头的成像面(CCD 面)与被测物平行，必须要作 CCD 标定。所以在作 CCD 标定时，标定的是否准确，直接关系到 CCD 的设置是否是最佳状态，同时直接关系到测量的结果是否准确。

(2)系统标定 同理，如果系统标定标的不准，或是用作标定的标准系统标定模块不准，就会产生很大偏差。

### 3.3.3 系统软件的算法

视觉测量系统在测量时，通常用的都是边缘查找算法，所以，系统准确性就与所选择的相机的边缘查找算法有关。边缘查找算法有以下四种：硬性设定灰度值与亚像素结合；卷积算法；一级分解算法；二级分解算法。最不准确的是硬性设定灰度值与亚像素结合算法，因为亚像素算法的精确度只能达到  $1/2$  个像素。而二级分解算法，精确度可达  $1/20$  像素，是非常准确的。

## 3.4 系统功能部件选择

根据对影响系统准确性因素的分析，下面将对视觉系统的硬件进行选择。

### 3.4.1 光照系统选择

光源是影响视觉系统输入的重要因素之一，因为它直接影响输入数据的质量和至少 30% 的应用效果<sup>[45-46]</sup>。由于没有通用的机器视觉照明设备，所以针对每个特定的应用实例，要选择相应的照明装置，以达到最佳效果。许多工业用的机器视觉系统用可见光作为光源，这主要是因为可见光容易获得，价格低，并且便于操作。常用的几种可见光源是白炽灯、日光灯、水银灯和钠光灯。但是，这些光源的一个最大缺点是光能不能保持稳定，如图 3-4 所示。以日光灯为例，在使用的第一个 100 小时内，光能将下降 15%，随着使用时间的增加，光能将不断下降。因此，如何使光能在一定的程度上保持稳定，是实用化过程中急需解决的问题。另一个方面，环境光将改变这些光源照射到物体上的总光能，使输出的图像数据存在噪声，一般采用加防护屏的方法，减少环境光的影响。由于存在上述问题，在现今的工业应用中，对于某些要求高的检测任务，常采用 X 射线、超声波等不可见光作为光源。

由光源构成的照明系统按其照射方法可分为：背向照明、前向照明、结构光和频闪光照明等。其中，背向照明是被测物放在光源和相机之间，它的优点是能获得高对比度的图像；前向照明是光源和相机位于被测物的同侧，这种方式便于安装；结构光照明是将光栅或线光源等投射到被测物上，根据它们产生的畸变，解调出被测物的三维信息；频闪光照明是将高频率的光脉冲照射到物体上，要求相机的扫描速度与光源的频闪速度同步。

分析视觉系统应用环境(如照度<sup>[47]</sup>，见表 3-1)，认为照射光应以白光为主<sup>[48]</sup>。如图 3-5 所示，是三种目前常用的白光，代表三种不同光源种类输出的频

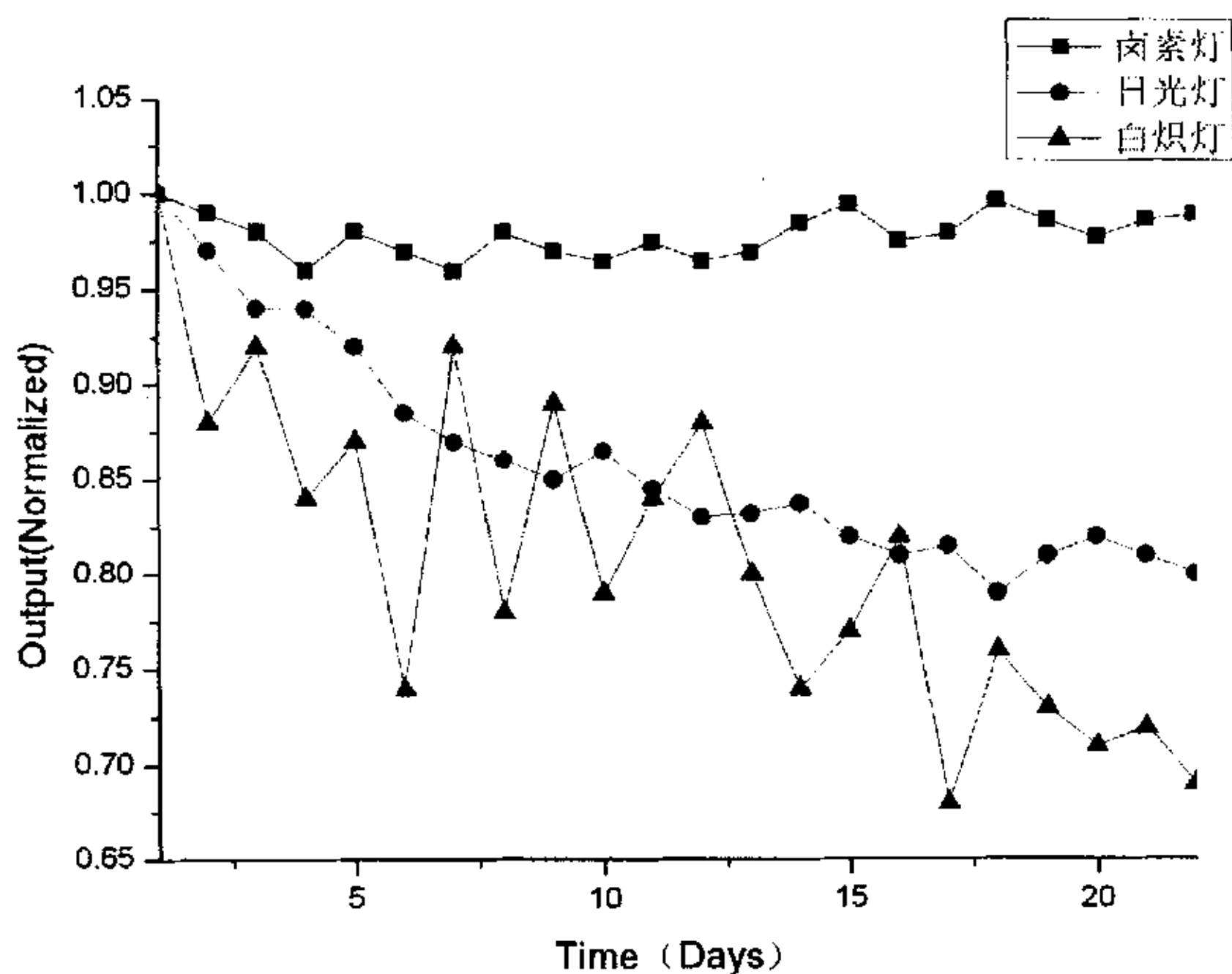


图 3-4 光能随时间变化趋势图

Fig.3-4 Variation tendency graph of the optical energy with time

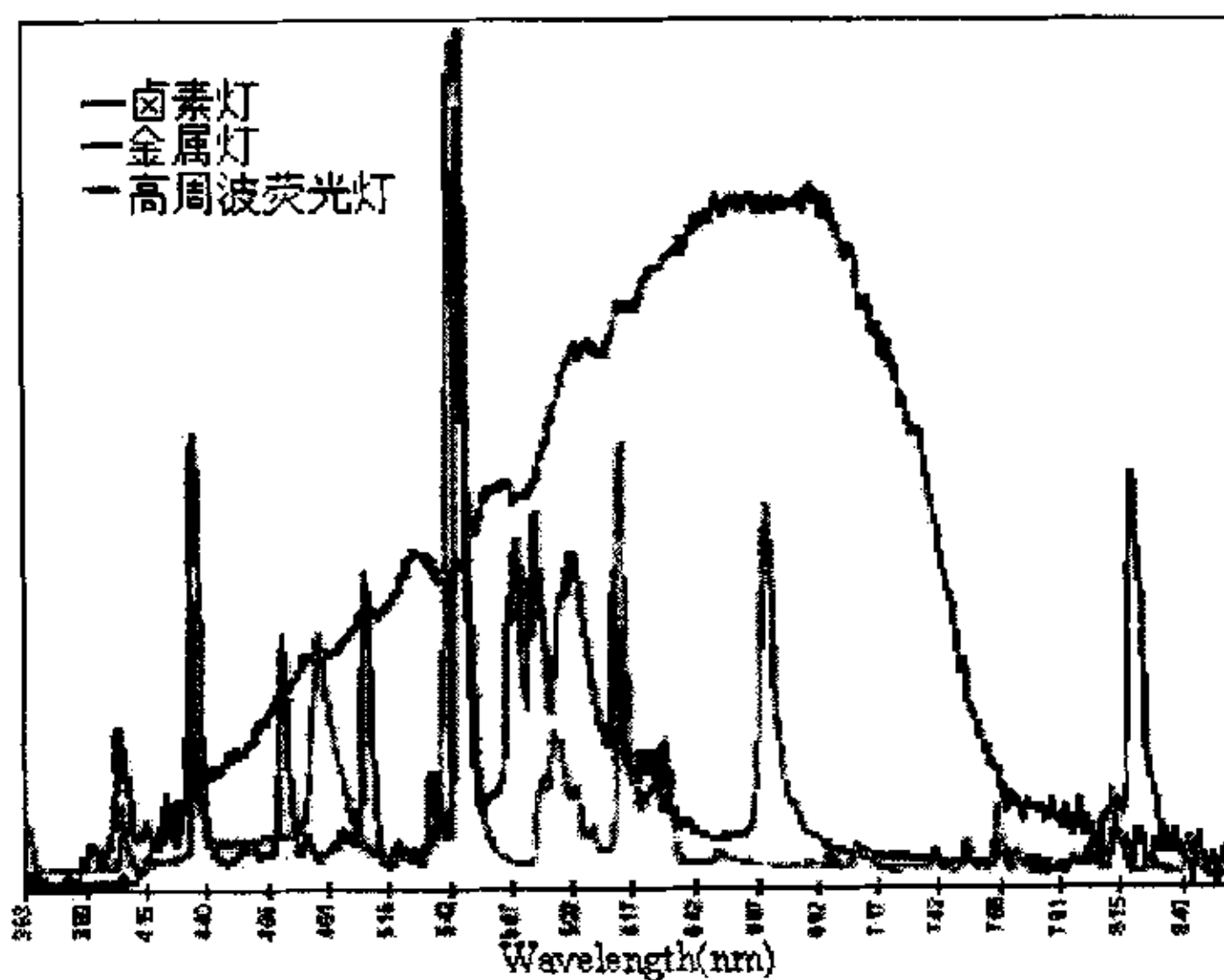


图 3-5 频谱图

Fig.3-5 Spectral diagram

谱图，包括卤素、金属及高周波荧光灯。从输出频谱明显看出每种光源的组成截然不同，对 CCD 而言，取像结果将产生个别差异。以卤素光来说，其输出

表 3-1 照度参考表

Table 3-1 The reference table of illumination

天气	照度 LUX	室内场所	照度 LUX
晴天	30000~300000	生产车间	10~500
阴天	3000	办公室	30~50
日出日落	300	餐厅	10~30
月圆	0.3~0.03	走廊	5~10
星光	0.0002~0.00002	停车场	1~5
阴暗夜晚	0.003~0.0007		

光谱成份均匀分布在可见光范围，而其它两种以放电方式激发光源的装置，则在特定波长，有突出的峰值或低表现力。同时，金属型及高周波荧光灯常容易受外在温度变化的影响，其稳定性往往会干扰视觉检测的运算结果。简言之，只有卤素光源可以真正表达或呈现出待测物在连续但不同波长时的表现力或影像，而其它二种光源则仅能断续地呈现某些特定波长的特色。另外，无论是荧光或金属灯泡，容易受温度及使用时间的长短影响其光量的稳定度，凡此种种，都表明卤素光是在应用彩色或需求“白光”检测场合最佳的选择。表 3-2 显示各种光源的特性。

表 3-2 光源特性

Table 3-2 The characteristic of light source

光源	颜色	寿命(h)	亮度	特点
卤素灯	白色，偏黄	5000~7000	很亮	发热多，较便宜
荧光灯	白色，偏绿	5000~7000	亮	较便宜
LED 灯	红，黄，绿，白，蓝	60000~10000	较亮	发热少，形状多
灯	白色，偏蓝	3000~7000	亮	发热多，持续光
电致发光管	由发光频率决定	5000~7000	较亮	发热少，较便宜

综合上述分析内容，考虑工件及胶线特点，将卤素灯作 CCD 工作光源，并且采用前向照明方式布置光源。

### 3.4.2 CCD 摄像头选择

CCD 像头的选择，是整个视觉系统设计的关键部分。选择 CCD 的基本依据主要有以下几点：

**(1)精度要求与 CCD 分辨率** 在考虑选用 CCD 时，必然先要考虑 CCD 的分辨率，这是因为 CCD 的分辨率会直接影响到整个视觉系统的计算精度。而衡量系统精度的标准，就是像素值——CCD 芯片上像素所对应的实际长度。

像素值的计算公式如下

$$\begin{cases} x_p = \frac{x_w}{x_{cp}} \\ y_p = \frac{y_w}{y_{cp}} \end{cases} \quad (3-1)$$

式中  $x_p$ ——摄像头  $X$  方向理论像素值;

$y_p$ ——摄像头  $Y$  方向理论像素值;

$x_w$ ——摄像头  $X$  方向的视野宽度;

$y_w$ ——摄像头  $Y$  方向的视野宽度;

$x_{cp}$ ——摄像头  $X$  方向的像素数目;

$y_{cp}$ ——摄像头  $Y$  方向的像素数目。

像素值越小,表明系统的计算精度越高。在知道 CCD 像素值以后,还需要了解 CCD 的分辨率。计算 CCD 分辨率的公式如下

$$\begin{cases} x_d = \frac{x_w}{x_p} \\ y_d = \frac{y_w}{y_p} \end{cases} \quad (3-2)$$

式中  $x_d$ ——摄像头  $X$  方向分辨率;

$y_d$ ——摄像头  $Y$  方向分辨率。

理论像素值指的是,根据项目精度的要求,通过推算得出的像素值在理论上所应该达到的数值。即像素值只有达到这一数值,才能确保系统的计算精度符合要求。

本文中,所测量的胶线的宽度范围为 1~4mm,工件为 300×400mm 左右,测量精度要求达到 0.1mm。由以上条件,通过计算可知,只要 CCD 的分辨率高于 3000×4000,就能够满足这个项目。

(2)速度要求 除了精度要求外,速度上的要求也是常常要面对的问题之一。系统速度的快慢取决于整个视觉系统运行的时间,包括两部分:成像时间、运算时间。成像时间,指从系统收到外来触发信号起,到图像到达计算机内存为止;运算时间,指从图像到达计算机内存起,到系统输出运算结果为止。

由于涂胶工序时间较长，因而在本系统中，对摄像机拍摄速度没有明显要求，故选用普通 CCD 摄像头就能满足要求。

综合上述分析内容，本论文研究中，摄像头选择特性如下：

- (1)视像解晰度：640×480
- (2)高解晰度硬件 130 万像素 CMOS 摄像头
- (3)信噪比：>50 分贝(典型值为 46 分贝，如果为 50 分贝，则图像有少量噪声，但图像质量较好；如果能达到 60 分贝，就不会出现噪声。)
- (4)输出接口：USB2.0 接口

### 3.5 摄像机标定

摄像机标定是计算机视觉领域里从二维图像获取三维信息的基本要求，是完成许多视觉工作必不可少的步骤<sup>[49]</sup>。摄像机标定主要任务是确定摄像机几何及光学特性(摄像机固有参数)和摄像机坐标系和工件坐标系关系的过程。摄像机标定技术，在机器人视觉领域已进行了大量研究工作。由于摄像机和图像处理技术等限制，要对视觉系统进行高精度标定还存在较大的困难。一般的方法是要设计出一套专门的标定工具，通过确定定标矩阵来实现。为了克服这些技术困难，在单眼摄像机标定过程中，引入双眼系统标定的成熟技术，通过分析系统的实际情况，只需要控制测量位置上的精确变动去测定四次，就可以实现摄像机的标定。

#### 3.5.1 摄像机模型与双目测距原理

摄像机成像是将三维空间点投影到平面上的透视变换过程。双目测距通过视差来获得深度信息。假定两摄像机的焦距相同为  $f$ ，透镜中心的距离(基线)为  $2d$ 。设左像机的像平面为  $xy$  平面，透镜中心形成的光轴平行于  $z$  轴，透镜中心坐标为  $(0,0,f)$ 。考虑摄像机  $x$  和  $y$  方向上的比例系数分别为  $\alpha$  和  $\beta$  时，并假定摄像机坐标系和绝对坐标系  $OXYZ$  重合，则空间中的一点  $P(X,Y,Z)$  与像平面上投影点坐标  $(X,Y)$  之间的关系可以表示为

$$\begin{bmatrix} xw \\ yw \\ zw \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & -1 & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

由于对任意的三维点，其像平面上的  $z$  坐标都有  $z=0$  成立。所以像平面上的  $(x, y)$  点对应于共线的二维点集。这个二维点集位于经过  $(x, y, 0)$  和  $(0, 0, f)$  两点的直线上。对左摄像机来说

$$\begin{cases} X_L = \frac{x_L}{\alpha f} (f - Z) \\ Y_L = \frac{y_L}{\beta f} (f - Z) \end{cases} \quad (3-4)$$

若两摄像机的比例系数相同的情况下，空间某点与像平面点的关系也可写出如下方程

$$\begin{cases} X_R = \frac{x_R}{\alpha f} (f - Z) \\ Y_R = \frac{y_R}{\beta f} (f - Z) \end{cases} \quad (3-5)$$

两摄像机之间的距离关系可表示为

$$X_R = X_L + 2d \quad (3-6)$$

由公式(3-4)，(3-5)，(3-6)，可以计算出表示深度信息的  $Z$  坐标：

$$Z = f - \frac{2d\alpha f}{x_R - x_L} \quad (3-7)$$

式中  $x_R - x_L$  ——视差。

由公式 3-7 可以求出代表深度信息的  $Z$  坐标，这就是双目测距原理。

### 3.5.2 标定原理

若把坐标原点移到透镜中心位置，设左右摄像机上的坐标为  $x_L$  和  $x_R$ ，则可将双目测距原理公式(3-7)的深度信息表示为

$$Z = \frac{2d\alpha f}{x_R - x_L} \quad (3-8)$$

若在  $Z$  的方向上，我们控制变动  $\Delta Z$  距离，其左右摄像机上的坐标为  $x_L'$  和  $x_R'$ ，这时的深度关系可以表示为

$$Z + \Delta Z = \frac{2d\alpha f}{x_R' - x_L'} \quad (3-9)$$

由公式(3-8)、(3-9)解得：

$$f = \frac{\Delta Z}{2d\alpha} \left( \frac{(x_R - x_L)(x_R' - x_L')}{(x_R - x_L) - (x_R' - x_L')} \right) \quad (3-10)$$

$$Z = \frac{\Delta Z}{\frac{x_R - x_L}{x_R' - x_L'} - 1} \quad (3-11)$$

可见，距离的测量仅与  $Z$  方向变动的大小和两次测量的视差有关，在测量系统中， $d$ 、 $\alpha$ 、 $f$  均是常数，可以通过两次测量，计算出来。在实际标定过程中，就可以不必知道  $d$ 、 $\alpha$ 、 $f$  的实际值。测量结果可表示为：

$$Z = \frac{(x_R - x_L)(x_R' - x_L')\Delta Z}{((x_R - x_L) - (x_R' - x_L'))(x_R'' - x_L'')} \quad (3-12)$$

### 3.5.3 标定实验

通过将摄像头在  $X$  方向上移动一固定距离  $2d$  形成双目系统。测量时，通过在  $Z$  方向上移动距离  $\Delta Z$  来标定。

在标定实验中，引起测量误差的原因很多，有来自摄像机方面的原因，也有来自图像处理，图像匹配等方面的原因，同时也与被测物的形状等有关。在本论文中，采用一表面光滑的矩形盒子为目标进行标定实验，如图 3-6 所示。

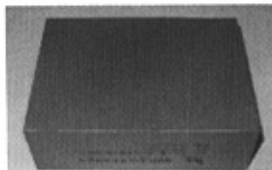


图 3-6 立方体

Fig.3-6 cube

用摄像机从两个不同的位置获取盒子图像，再通过求取物体重心的方法来确定对应点匹配。对不同摄像距离和不同基线长度的标定情况进行了测定实验，盒子大小为  $153 \times 115 \times 53 \text{ mm}^3$ 。实验数据如表 3-3 所示，其中  $D = 2d$ 。

实验数据表明，保持  $D$  不变时， $\Delta Z$  越大，标定误差越小；保持  $\Delta Z$  不变时， $D$  越大，标定误差越小。同时表明， $D$  值对系统标定结果的准确程度影响



表 3-3 标定数据实验结果  
Table3-3 Data of calibration Experiment

(mm)

$D = 50, \Delta Z = 40$			$D = 50, \Delta Z = 60$		
标准值	实测值	误差	标准值	实测值	误差
690	654	-5.2%	690	611	-11.4%
750	687	-8.4%	750	692	-7.7%
810	716	-11.6%	810	776	-4.2%
$D = 70, \Delta Z = 40$			$D = 70, \Delta Z = 60$		
标准值	实测值	误差	标准值	实测值	误差
690	655	-5.2%	690	654	-5.2%
750	691	-7.9%	750	704	-6.1%
810	753	-7.0%	810	758	-6.4%

最为明显，当  $D$  值较大时，标定精度有明显的提高。本论文中，将  $D = 70, \Delta Z = 60$  时标定的数据作为涂胶机器人应用时 CCD 标定的参考数据。

### 3.6 本章小结

本章根据视觉系统在工厂的实际应用环境，从视觉系统准确性影响因素分析着手，对系统各硬件部件进行了分析和选择。同时利用成熟的双眼视觉系统标定技术对单眼视觉系统进行了标定，确保了系统硬件的准确可靠。为后续系统软件实现，作了充分准备。

## 第4章 视觉系统软件的实现

### 4.1 引言

机器视觉系统中，视觉信息的处理技术主要依赖于图像处理方法，它包括图像增强、数据编码和传输、平滑、边缘锐化、分割、特征抽取、图像识别等内容。经过这些处理后，输出图像的质量得到相当程度的改善，既改善了图像的视觉效果，又便于计算机对图像进行分析、处理和识别。本章针对应用于齿轮减速箱的涂胶机系统，进行了视觉系统软件设计。

### 4.2 软件系统组成

系统的软件由图像捕获处理及零件识别模块、NC 代码生成模块、胶线质量检测报警模块三部分组成，如图 4-1 所示。系统引入了数字摄像技术和图像信息处理技术，应用图像处理、模式识别和 NC 代码生成技术，通过对图像的采集和处理，使得涂胶机达到更高的智能化。

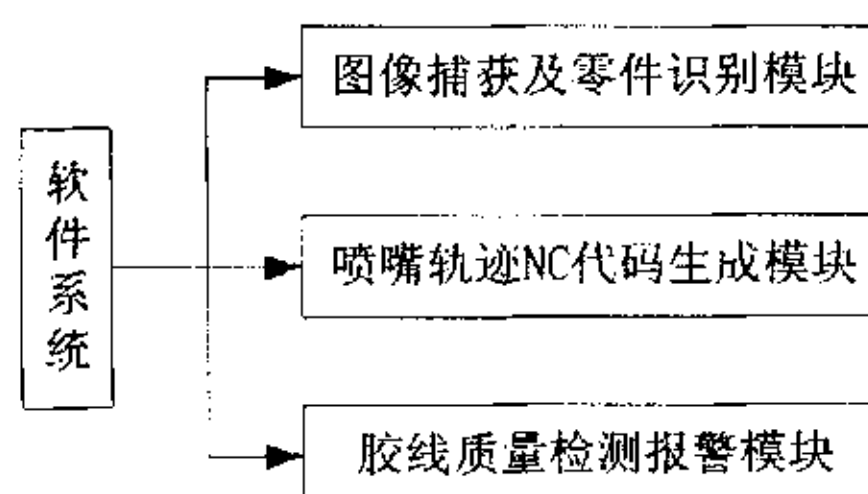


图 4-1 视觉软件系统框图

Fig.4-1 Diagram of the vision software system

### 4.3 系统重要模块及关键技术

#### 4.3.1 图像捕获处理及零件识别模块

本模块主要任务是实现图像的采集处理，消除光源、周围环境等噪声的影响，实现对零件的正确识别。关键技术是零件存在性判断及零件相似性判断。

模块总体流程图如图 4-2 所示。

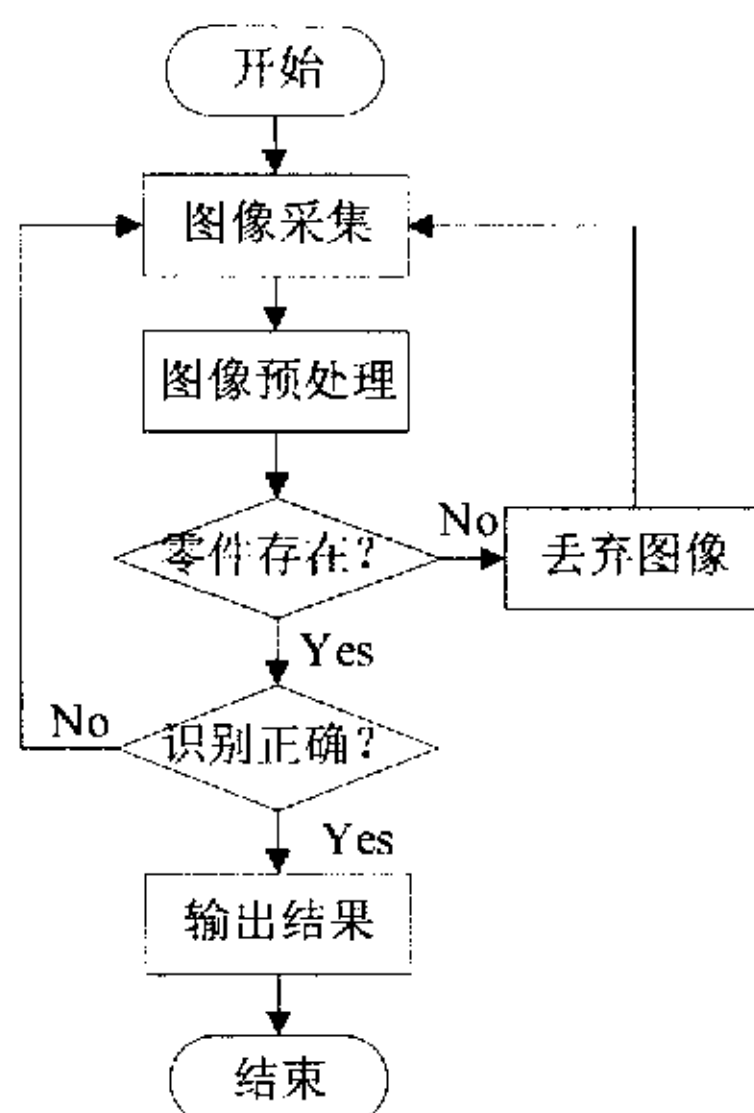


图 4-2 图像采集及零件识别模块流程图

Fig.4-2 Flow chart of image gathering & part recognizing

在系统采集到图像后，需要对图像中是否存在零件进行判断。若零件存在，则进行零件识别，否则，丢弃此图像，重新采集图像，其丢弃与否的准则由式(4-1)给出。

$$|F_Q(i, j) - F_D(i, j)| = \Delta f > g \quad (4-1)$$

式中  $g$  ——设定的灰度判决门限；

$F_Q(i, j)$  ——采集到的待处理图像灰度图；

$F_D(i, j)$  ——标准图像的灰度图。

该算法是将待处理图像灰度图  $F_Q(i, j)$  与标准图像灰度图  $F_D(i, j)$  对应像素灰度值相减，滤除背景噪声，再根据设定的灰度门限  $g$  进行标记，差大于  $g$  的像素值标记为“1”，记录其个数，再与图像中总的像素个数作比值，比值大于门限  $j$  时，则说明图像中存在零件，本系统中  $j$  的取值范围为 20%~40%。为了加快处理速度，可以只对视频图像中某个感兴趣的区域进行视频检测，零件存在性判断程序流程图如图 4-3 所示。

零件识别是系统的重要功能之一，本系统中，零件识别算法是将图像之间相对距离作为主要判断依据。首先获取图像的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  颜色直方图的 0 阶矩

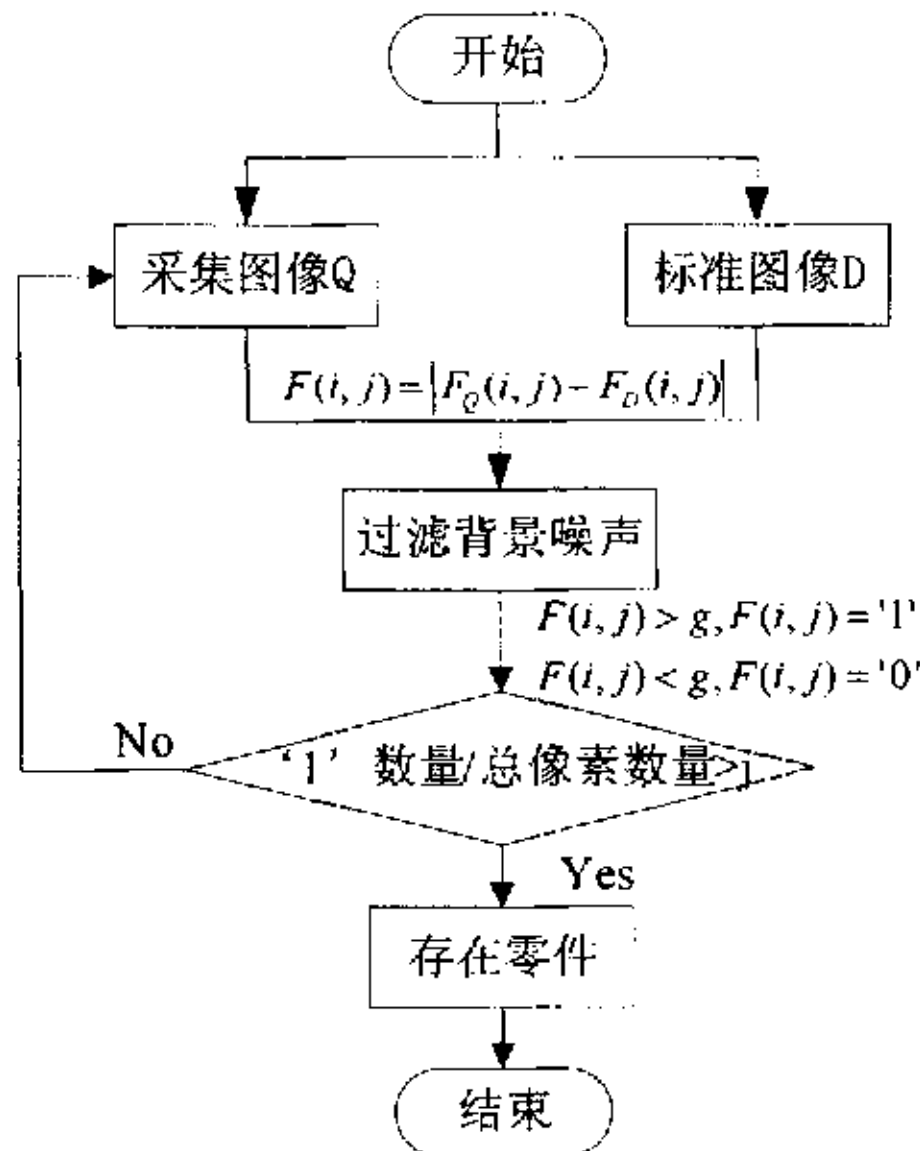


图 4-3 零件存在性判断流程图

Fig.4-3 Flow chart of the judgment for part existence

$u_R$ 、 $u_G$ 、 $u_B$ ，再构成匹配特征矢  $f = [u_R \ u_G \ u_B]^T$ ，最后计算待识别图和标准图的欧氏距离  $d(Q, D) = |f_Q - f_D|$ 。 $d(Q, D)$  越小，表明两幅图像相似程度越高。图像相似性判断算法流程如图 4-4 所示。该算法具有较高的识别正确率，通过实验验证，正确率最高可达到 99.4%。

#### 4.3.2 喷嘴运动轨迹生成模块

NC 代码生成模块是涂胶机器人视觉系统软件的重要组成部分，目的是通过对减速箱零件的识别，自动产生喷头行走轨迹的 NC 代码。利用图像进行工业设计和加工是当前的一个热点，是 CAD/CAM 系统发展的一个重要方向。在计算机控制的加工系统中，利用图像信息作为输入数据时，需要将其转化为控制系统可以识别的代码<sup>[50~52]</sup>。该模块主要流程如图 4-5 所示。

涂胶曲线生成模块的关键技术为图像矢量化技术。经过细化处理后的图像，其表示方式还是以单个像素表示，不利于生成数控代码，因而要进行矢量处理，形成矢量骨架加工信息。流程图 4-5 中的骨架提取和骨架拟合是零件信息矢量化的重要环节。本程序中，根据零件图像灰度阈值的大小，采用轮廓跟踪法来提取零件图像轮廓，轮廓提取算法归一于对图像内部孔洞的提取。

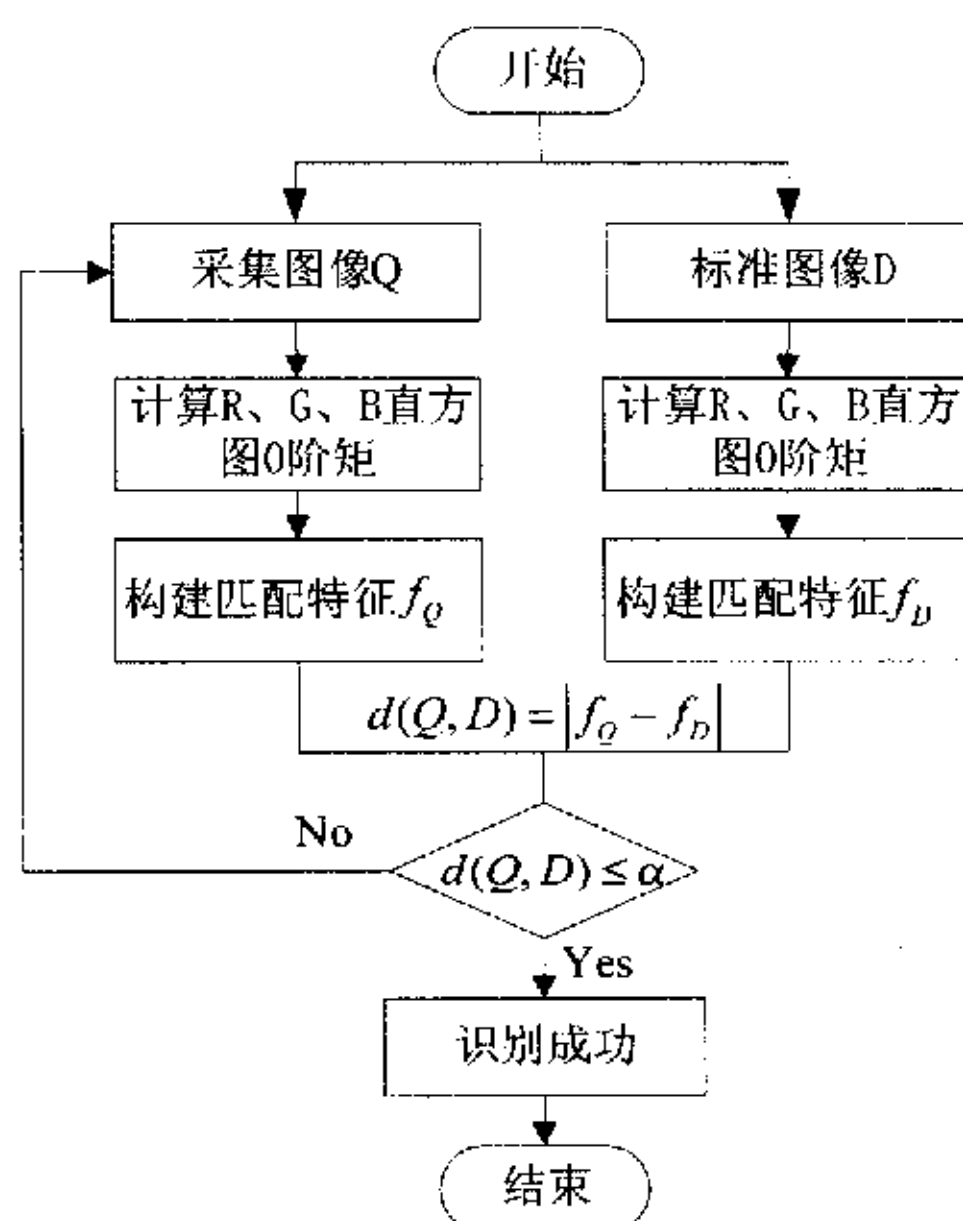


图 4-4 零件识别流程图

Fig.4-4 Flow chart of part recognizing

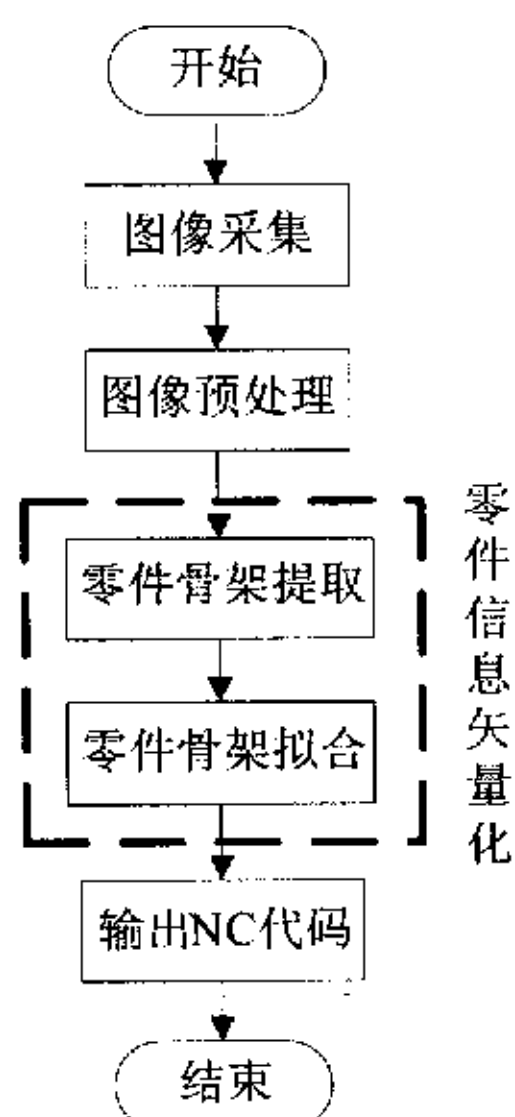


图 4-5 NC 代码生成模块流程

Fig.4-5 Flow chart of NC code generation

**4.3.2.1 轮廓跟踪算法** 轮廓跟踪采用链码结构的边界跟踪，该跟踪方法是对二值化图像进行边界跟踪。采用的方法是跟踪等值线，即对与起始点等值的最大连接的元素集合的外边界进行跟踪。跟踪需要解决 3 个问题：跟踪值、跟踪起点、跟踪方向。我们把图像中要跟踪的边界的灰度值作为跟踪值，而跟踪方向

是按“向最左看”规则来决定，这样就能保证跟踪的轨迹是沿着从边界上某一起始点开始的边界轨迹。

等值线跟踪过程：由一等值点出发(第一个点是起点)，按照左找原则找到下一个等值点，由这一走向，仍按照左找原则定出由新点出发搜索的第一个方向，随后就按固定的搜索顺序在此点周围的8个方向顺移到这个新找到的点，再以此点为中心，继续8个方向搜索，直到边界封闭。链码结构的边界跟踪结果得到的边界数据可以是边界点的一串链码值，(把跟踪得到的方向值顺序记录下来，方向值可为0~7，用3bit就可以记录一点，再记录起始点的平面坐标，这样就能以很少的存储量实现了一个物体边界的记录。)也可以是边界点的 $x, y$ 坐标。

我们使用如图4-6所示的方向对应图，来作为向最左看的搜索规则。图中

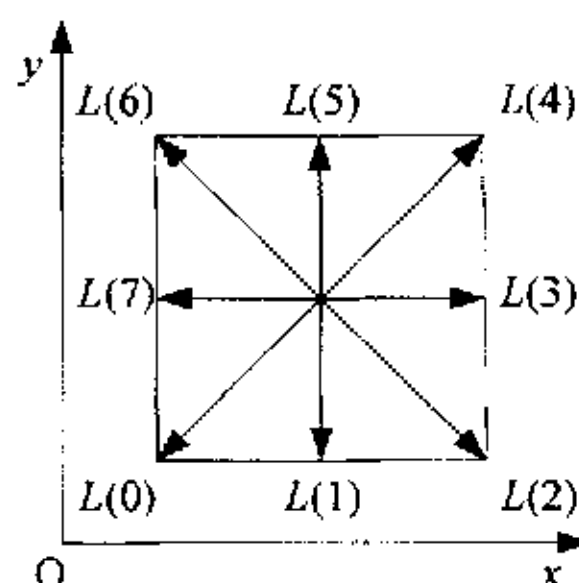


图4-6 方向对应图

Fig.4-6 Diagram of the direction corresponding

画出了平面相邻的 $3 \times 3$ 点，中心点平面坐标为 $(x, y)$ ，这是上一次找到的点。8个箭头分别指向 $A$ 点周围的8个点。这就是以 $A$ 点为中心的8个搜索方向，每一个方向则以 $M$ 值来表示( $M = 0, 1 \dots 7$ )。我们把 $A$ 点周围8点的灰度值顺序地送入 $L(N)$ 中，如果 $L(K)$ 等于 $L_G$ ，则找到一个新点，由这一走向定出方向值 $M_K$ 来，再把新点周围8点的灰度送入 $L(N)$ 中，这时第一次搜索就是判断 $L(M_K)$ 是否等于阈值 $L_G$ ，这是第一个方向，以后的搜索方向就是从第一个方向起顺时针排列下去。跟踪得到的边界点的记录方式可以直接记忆边界点的平面坐标，也可以采用链码的方式，只记录跟踪得到的方向值。这样可以节约存储空间，链码结构的边界跟踪流程图如图4-7所示。

跟踪边界是一个复杂的过程，首先要找边界的起点，然后进入跟踪环。在跟踪环里，以新找到的边界点为中心点取出8邻域像素点的数据，由此来判别有无下一个新的边界点。如存在新的边界点，则记录其链码值；如不存在，则

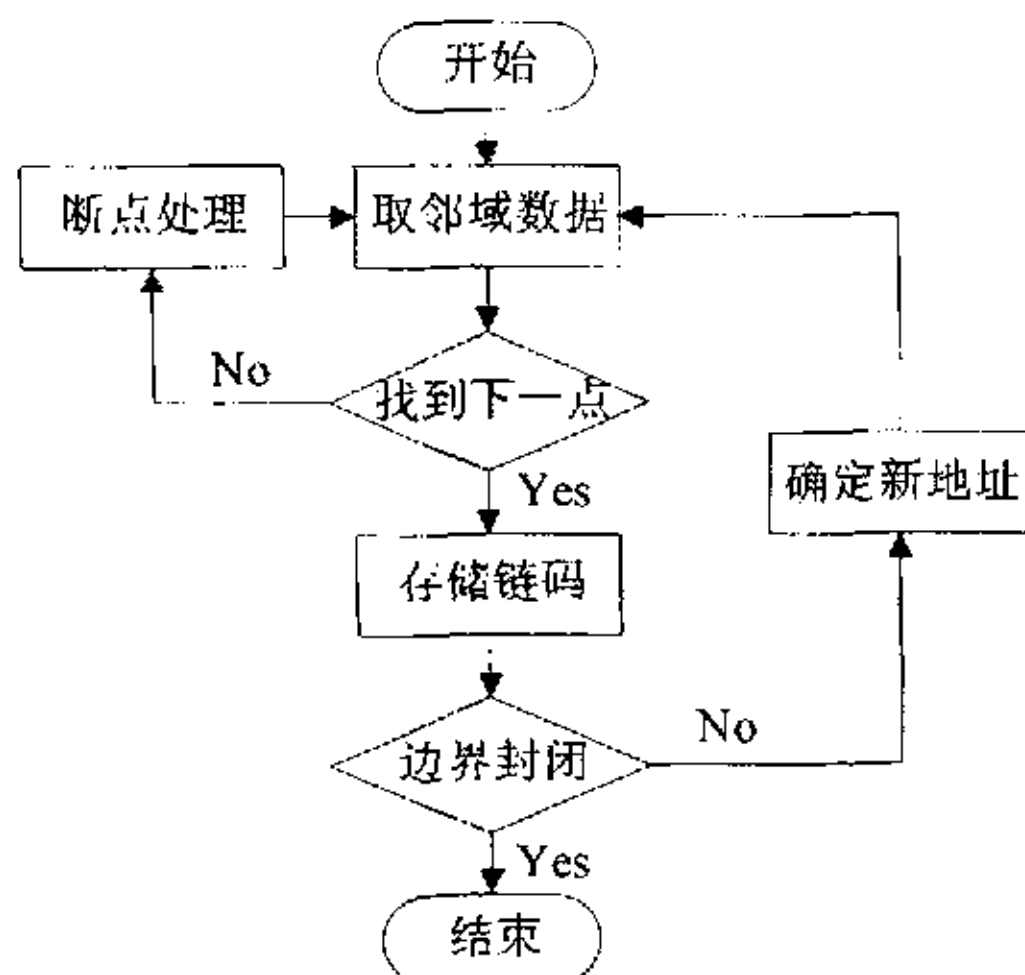


图4-7 链码结构的边界跟踪流程图

Fig.4-7 Flow chart of the chain structure for edge following

进入断点处理。断点处理包括找新的边界点、断点和新边界点之间的插值。

4.3.2.2 曲线线细化算法及改进 轮廓边缘跟踪后，得到一系列边缘曲线。当边缘曲线宽度为 1 时称为细线，线细化的最终结果就是把所有的线目标都转变为细线，只有细线才便于线跟踪和矢量化。

线细化，就是不断去除曲线上不影响连通性的轮廓像素的过程，在这个过程中保留曲线的多重像素，直到目标曲线所有点都是多重像素为止，对细化的一般要求是：(1)保证细化后曲线的连通性；(2)细化结果是原曲线的中心线；(3)细化处理速度快；(4)保留细线端点。

根据各种不同的应用，国内外已经发表了许多细化算法，如内接圆法、经典算法、异步算法、快速并行算法及并行八边算法等，不同的算法在处理速度和效果上各有其特点。本文使用的算法是在Hilditch细化算法的基础上改造而成，试验表明它有较好的细化效果和很快的处理速度。

如果目标像素  $P$  同时满足以下条件，那么  $P$  可以被标记为可删除点。

- (1)  $P_0 + P_2 + P_4 + P_6 \leq 3$ ，保证  $P$  是轮廓像素。
- (2)  $P_i (i = 0 \sim 7)$  中至少有两个目标像素，保证  $P$  不是端点。
- (3)  $N_c = 1$ ，保证  $P$  不是多重像素。

算法中还要用到两个序列，一个用来描述某一像素点是否被标记为可删除点，另一个记录剩余的目标像素点。后一个序列对提高算法的速度起着至关重要的作用，因为细化过程中，剩余的目标像素点越来越少，如果在这时候还是



- 这个算法有一个缺点就是宽度为2的线将全部被删除，如图4-8所示的两行像素点都满足可删除的条件。

图4-8 2像素宽的曲线图

一个目标像素点是否可被删除，是由其八邻域中目标像素点的分布决定的。但是，如果其八邻域中的某一目标像素点已经被标记为可删除点，那么这个目标像素点就不能当作目标像素点来对待，因为这个点注定是要删除的。所以八邻域中的被标记为可删除点的目标像素点不能再作为目标像素点进行判定。如图4-8所示，第一行像素点被标记为可删除点后，在判定第二行像素点时，因第一行已经不属于目标像素点，第二行像素点就不会也被判定为可删除点。

[illegible]

**Fig.4-9 Diagram of curve with three-pixel width**

(1)  $P_0 + P_2 + P_4 + P_6 \leq 3$ , 保证  $P$  是轮廓像素。在这个条件中, 八邻域中的目标像素点不管标没标记为可删除点, 都按 1 处理。

- (2)  $P_i$  ( $i=0 \sim 7$ ) 中至少有两个目标像素, 保证  $P$  不是端点。在这个条件





$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{i \cdot \sum_{k=1}^n (x_{t-k} - x_t) + j \cdot \sum_{k=1}^n (y_{t-k} - y_t)}{\sum_{k=1}^n \sqrt{(x_{t-k} - x_t)^2 + (y_{t-k} - y_t)^2}} \\
 T_b &= \frac{i \cdot \sum_{k=1}^n (x_{t+k} - x_t) + j \cdot \sum_{k=1}^n (y_{t+k} - y_t)}{\sum_{k=1}^n \sqrt{(x_{t+k} - x_t)^2 + (y_{t+k} - y_t)^2}}
 \end{aligned} \tag{4-2}$$

式中  $i, j$  ——  $x, y$  两个相互垂直方向的单位矢量。

点  $P_i$  处的变化率  $r(P_i)$  定义为

$$r(P_i) = \left\| \frac{T_f - T_b}{2} \right\| \tag{4-3}$$

#### (b) 初步分段的算法

闭合轮廓初步分段的步骤如下：

第一步，计算每个点的变化率。

第二步，计算所有点变化率的平均值，并将所有点均记为未处理。

第三步，找到所有未处理点中具有最大变化率的点，将点记为初始分段点，并标记为已处理，然后从此点开始，向前和向后查找第 1 个变化率小于平均变化率的点，将中间经过的所有点均标记为已处理过。若所有点均被记为已处理，或点处的变化率小于平均变化率，则结束，否则，转向下一步。

第四步，重复第三步。

(2) 分段光滑矢量化 为了保证整个轮廓线的闭合及保持曲线的棱角，初始分段点必须作为最终分段点。同时，为了保证曲线的光滑以及直线的平坦，需要对初始分段后的各段线条进行曲线或直线拟合。为此所采取的方法包括：① 正确检测原图像的直线部分和曲线部分，然后分别用直线段和样条曲线来拟合；② 分别对每两个相邻分段点之间的线条进行分段线性逼近，并将新的分段点插入到两初始分段点之间。

#### (a) 自动检测直线段或曲线段

对任意两相邻的初始分段点  $P_A$  与  $P_B$ ，先假定以直线段进行拟合，然后计算拟合偏差  $S$ ，根据拟合偏差来确定  $P_A$  与  $P_B$  之间是否为直线段。拟合偏差的定

义如下

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} d_i \quad (4-4)$$

式中  $d_i$ ——轮廓上位置在  $P_A$  与  $P_B$  之间的任一点  $P_i$  到直线段  $P_A P_B$  的垂直距离。

设直线  $P_A P_B$  的方程为

$$A_1 x + A_2 y + A_3 = 0 \quad (4-5)$$

则

$$d_i = \frac{|A_1 x_i + A_2 y_i + A_3|}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}} \quad (4-6)$$

若  $d_i$  大于某一容限值  $\delta$ ，则认为  $P_A$  与  $P_B$  之间是曲线段，否则，认为  $P_A$  与  $P_B$  之间是一直线段。 $\delta$  可选取由实验得到的一些经验阈值数据，也可采用模式识别里面有关聚类分析的方法获得。本文中， $\delta$  通过实验获得。

#### (b) 直线段的矢量化

当边界某段(如初始分段点  $P_A$  与  $P_B$  之间)为直线时，若按前述多边形逼近的基本算法进行分段，则所得分段点最多为两个(即两个端点)，这对下一步的曲线拟合会造成麻烦。为此，对直线段可直接采取长度约束的分段方法。

由初始分段点  $P_A$  与  $P_B$  可得直线方程，在此直线段上每隔一定距离取得一点作为分段点，按序插入到  $P_A$  与  $P_B$  之间即可。

#### (c) 曲线段的拟合与矢量化

由于噪声的影响或定位的问题，边界轮廓的曲线段，(如初始分段点  $P_A$  与  $P_B$  之间)可能出现不光滑的现象，这时可首先采用曲线拟合的方法使之变得光滑，然后对曲线拟合后的轮廓曲线段用分段合并算法实现多边形逼近，将得到的新的分段点进行记录。

常用曲线拟合的方法有最小二乘法、贝塞尔方法和  $B$  样条方法等。本文中采用三次  $B$  样条曲线实现对非直线段的拟合，并用曲线拟合得到的顶点代替原轮廓点。为了不破坏轮廓的连续性，曲线的两端点应保持不变。利用三次  $B$  样条对曲线进行拟合后，再用分段-合并算法实现多边形逼近。分段-合并算法的步骤如下：

第一步，行递归分解。现以一段弧为例来说明这种分解算法的基本思想。

如图 4-11 所示, 对轮廓曲线段  $P_s P_t$  进行矢量化逼近。首先以直线连接边界轮廓段的首点  $P_s$  与尾点  $P_t$ , 并计算中间各点  $P_m$  到直线  $P_s P_t$  的距离。若最大距离  $d_{\max} < \delta$  ( $\delta$  的取值可根据对矢量化的精度要求来确定,  $\delta$  越小则精度越高), 则认为点  $P_s$  与点  $P_t$  之间的轮廓可近似为一条直线。该曲线段的分解结束。否则, 轮廓点列在最大距离所对应的点  $P_m$  处分解, 并继续对分解成的两个轮廓子点列  $P_s P_m$  和  $P_m P_t$  进行上述同样的分解, 如此递归分解, 直到每个子点列都满足要求为止。该算法最终将轮廓点列分解成若干段可以近似为直线段的首尾相连的轮廓子点列。

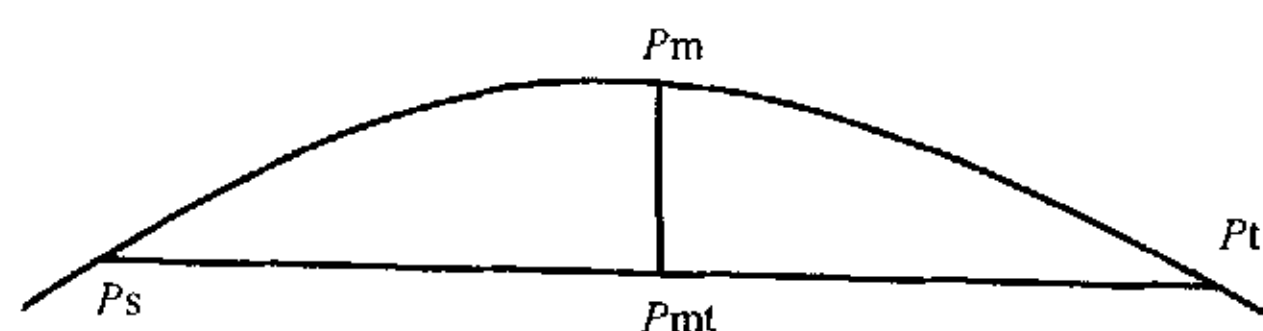


图 4-11 分段算法图

Fig.4-11 Diagram of sectionalize algorithm

第二步, 对每三个顺序相邻的分段点之间的两段轮廓线如三个顺次相邻的分段点  $ABC$  之间的轮廓段  $AB$  和  $BC$  计算  $A$  和  $C$  之间的各轮廓点到直线  $AC$  的最大垂直距离, 若该距离在误差限  $\varepsilon$  之内, 则删除分段点  $B$  轮廓段  $AB$  和  $BC$  合并成为一段轮廓  $AC$ , 依次对所有相邻的三顶点执行该项操作。这就是合并的过程。

分段合并算法的优点是算法简单, 可通过调整距离误差限对任意边界轮廓曲线进行逼近, 达到很高的描述精度。该算法首先提取曲率极值点作为初始的分段点, 然后在各个分段内分别进行拟合和矢量化, 既保留了轮廓的关键的几何特征点, 又保证了各特征关键点之间曲线的光滑以及直线的平坦, 具有较强的抗噪声作用。本论文就应用了该改进的矢量化算法, 生成涂胶机执行机构自动行走轨迹的 NC 代码。

### 4.3.3 胶线质量检测报警模块

胶线质量检测报警模块是涂胶机器人涂胶质量检测控制的重要模块, 该模块的任务是检测胶线质量, 并做出相应反馈, 实现涂胶机器人的视觉闭环控制。根据涂胶机器人涂胶特点, 可以归纳涂胶质量缺陷产生的原因主要包括以下两个方面: ①涂胶机器人喷嘴移动速度过快, 胶线呈现过窄甚至断胶的现

象；②涂胶机器人胶水浓稠不均，喷嘴压力过小，胶线呈现过窄甚至断胶的现象。这些胶线缺陷可通过视频监控手段检测消除，以提高涂胶质量。

涂胶机器人在涂胶过程中，若出现胶线断开的现象，是非常严重的质量问题，将会直接关系到密封件的密封性能。故而胶线是否连续成为胶线质量检测的一个重点，检测胶线通断的算法流程如图 4-12 所示。其检测步骤如下：

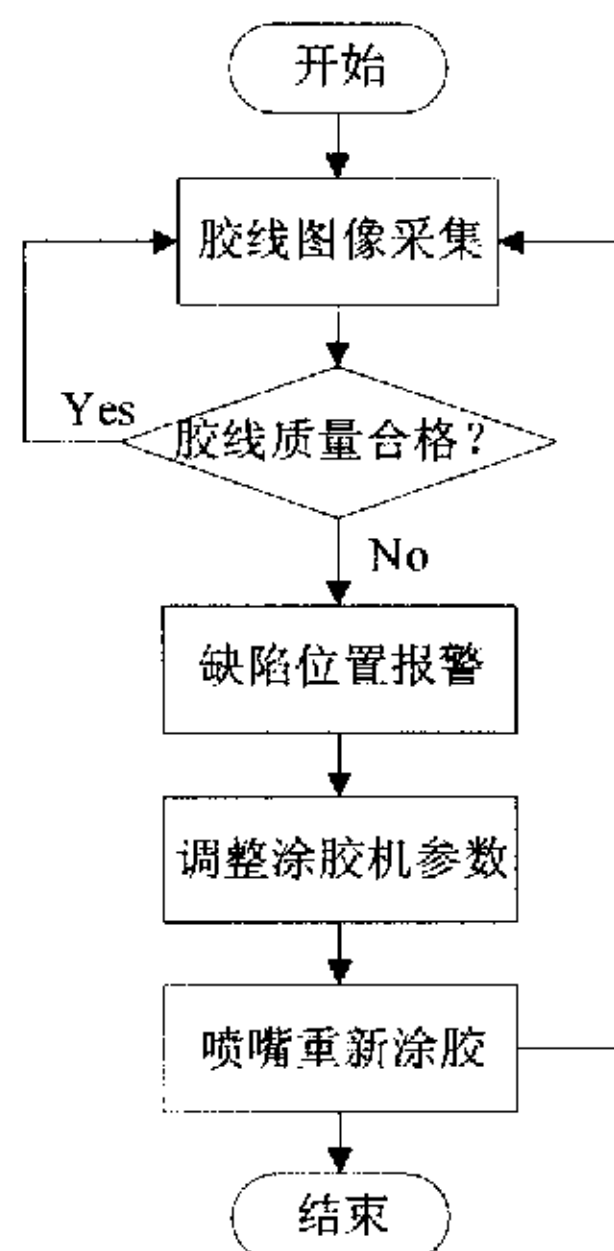


图 4-12 涂胶质量检测报警模块流程图

Fig.4-12 Procedure of glue-line's quality testing & warning

第一步：提取胶线曲线，用形态学的方法细化胶线曲线，提取胶线骨架信息。  
第二步：计算各像素点的八邻域，看该像素点是否是曲线的端点，若是曲线端点，则曲线不封闭，记录端点位置，并报警，通知涂胶机执行机构重新涂胶。

#### 4.4 本章小结

本章对涂胶机器人视觉系统软件算法进行了研究，结合涂胶机器人的实际工况，引入了基于图像内容的图像识别、NC 代码自动生成等关键技术，同时根据涂胶曲线特点，改进了线细化和曲线矢量化算法，使计算机图像处理的结果更好地符合胶线的实际情况。

## 第5章 系统实验与分析

### 5.1 引言

本章运用前面几章讨论的视频图像处理、图像识别、边缘检测等技术，给出了上述方案的设计实例，并用实验验证了该方案的可行性。

### 5.2 系统调试与实验

#### 5.2.1 视觉系统的总体结构

视觉系统总体结构如图 5-1 所示。视觉系统通过 CCD 获取需要处理的零件信息，通过图像处理软件系统处理之后，通知工控机，由工控机发出指令，驱动喷嘴执行机构执行相应操作。

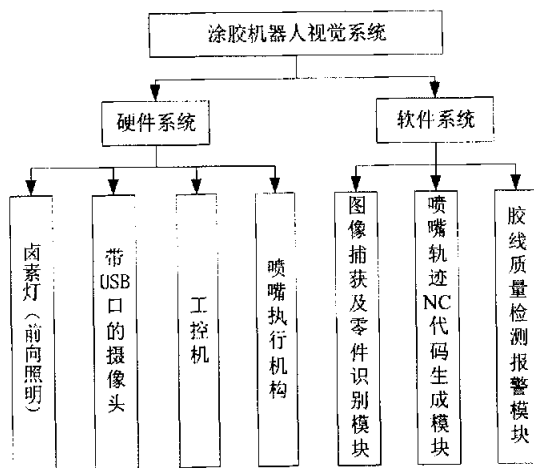


图 5-1 系统总体结构

Fig.5-1 Diagram of the system's overall structure

#### 5.2.2 系统硬件调试实验

视觉系统在使用时，需要预先安装 USB 的驱动程序，以及 CCD 摄像头的

驱动程序。然后将 CCD 摄像头和计算机通过 USB 口连接起来，上电检测系统硬件是否连接正确，系统能否正确识别 CCD 摄像头。

### 5.2.3 系统软件调试实验

硬件检测没有错误后，开始调试系统软件程序。图 5-2 为系统正常启动后的界面。显示屏左侧为视频相关控制面板，右侧为系统功能模块控制面板。



图 5-2 软件系统界面

Fig.5-2 Interface of the software

**5.2.3.1 零件识别模块实验** 本软件系统中，零件识别指的是对减速箱工件的识别。通过观察，得出减速箱工件外形具备以下特点：

- (1) 减速箱一般具备规则的外形结构和空腔结构；
- (2) 减速箱分箱面和箱体上存在螺栓孔；
- (3) 减速箱分箱面具有比较大的灰度特性。

根据上述特点，将待识别零件特征存入数据库，编写软件模块调用该数据库，实现对零件的识别。

实验数据如下：图 5-3 为减速器下箱体识别实验，当进入 CCD 视觉范围内的物体，通过识别程序认为是有效工件时，程序会用一个椭圆将其标出。图 5-3(a)为没有零件存在时，系统识别状况；图 5-3(b)为零件刚进入 CCD 视觉范围内的图像；图 5-3(c)为零件识别结果图；图 5-4 为两组减速箱的识别实验，

图 5-4(a)、5-4 (b)为减速箱从左端进入 CCD 视野后的识别结果；图 5-4(c)、5-4(d)为减速箱从右端进入 CCD 视野后的识别结果，从图 5-4(b)、5-4(d)可以看出，无论工件从哪个方向进入 CCD 视野范围，识别程序都能准确地将有效工件识别出来。图 5-5 为当实验台上出现其他干扰物体时，零件识别实验。从图 5-5(b)~5-5(d)的程序对工件的识别结果可以看出，程序准确的判断出了减速器箱体为有效工件，并用椭圆对其进行了标记，对于已进入 CCD 视野范围内的其它物体，无论是圆形的，还是方形的，程序都没将其识别为有效工件。通过实验，证明系统能够正确的识别零件，并具有较强的抗干扰能力。

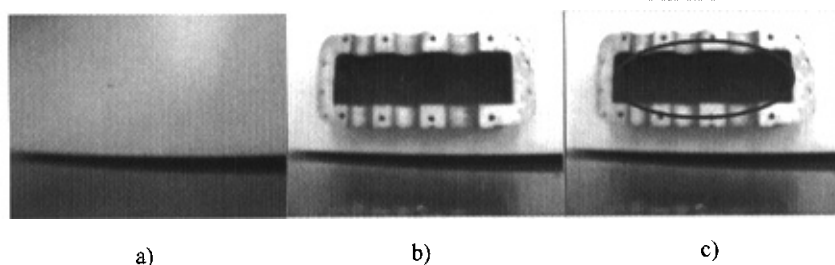


图 5-3 减速箱下盖的识别实验

Fig.5-3 Reorganization experiment on gearbox cover

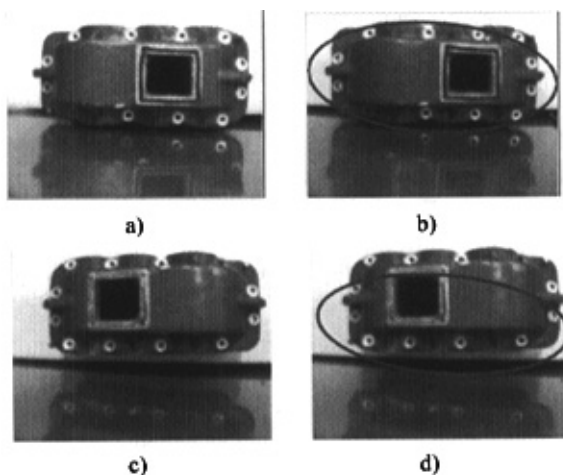


图 5-4 减速箱的识别实验

Fig.5-4 Reorganization experiment on gearbox



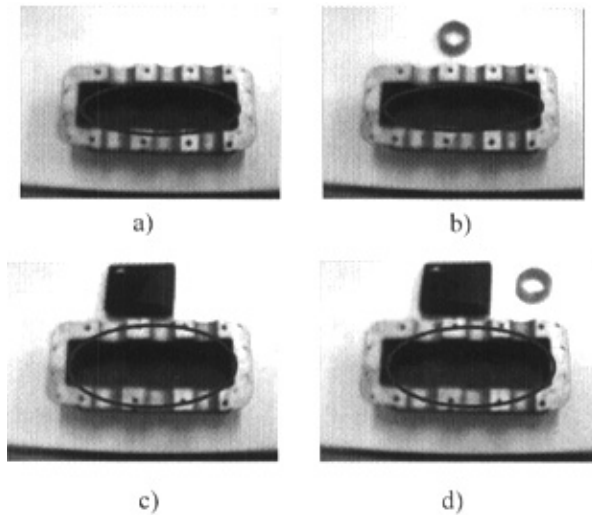
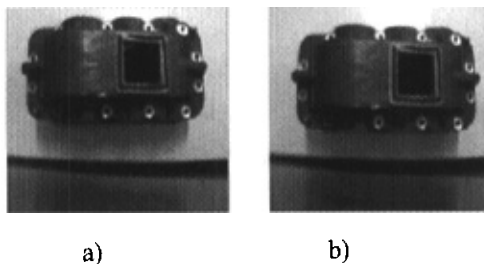


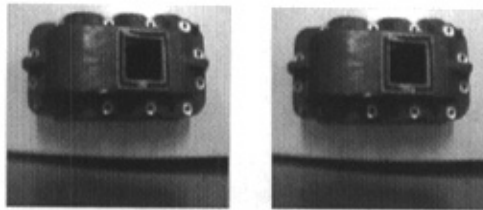
图 5-5 带干扰的减速箱识别实验

Fig.5-5 Reorganization experiment on gearbox with interference

**5.2.3.2 胶线质量检测模块实验** 软件系统中，胶线质量检测的目的是检测胶线是否会出现不连续的状态。胶线的不连续状态根据胶线断点的多寡可以分为两类：单一断点状态和多重断点状态。这两种断点类型，本软件都必须能够检出。软件模块实验结果如图 5-6 所示，其中，图 5-6(a)、5-6(b)为胶线出现单一缺陷时的检测结果；图 5-6(c)、5-6(d)为胶线出现多个缺陷时的检测结果，缺陷都用蓝色的点作了标记。缺陷检测平均需要 2.7s 时间。

**5.2.3.3 喷嘴运动轨迹 NC 代码生成模块实验** 喷嘴运动轨迹生成模块，读取含有完整胶线信息的位图，将胶线提取出来，通过线细化算法和曲线矢量化算法，将胶线信息转化成 NC 代码。图 5-7 为读取图 5-8 获取的胶线原始图像，通过图像预处理，消除图像噪声，细化并矢量化胶线，获得图 5-9 所示宽度为 1 的曲线。程序针对该曲线自动生成的 NC 代码如下：





c) d)

图 5-6 胶线质量检测

Fig.5-6 Quality detection for glue line

```
G92 X0.0 Y0.0 Z0.0;
G90 S10000 M03 F150 T01;
G00 X0.000 Y0.000 Z1.000;
G00 X10.781 Y3.000 Z1.000;
G01 X10.781 Y3.000 Z0.000;
.....
G01 X18.094 Y18.563 Z0.000;
G00 X18.094 Y18.563 Z1.000;
M02;
```

图 5-10 为自动生成的 NC 代码在数控模拟器中模拟的喷嘴运动轨迹。

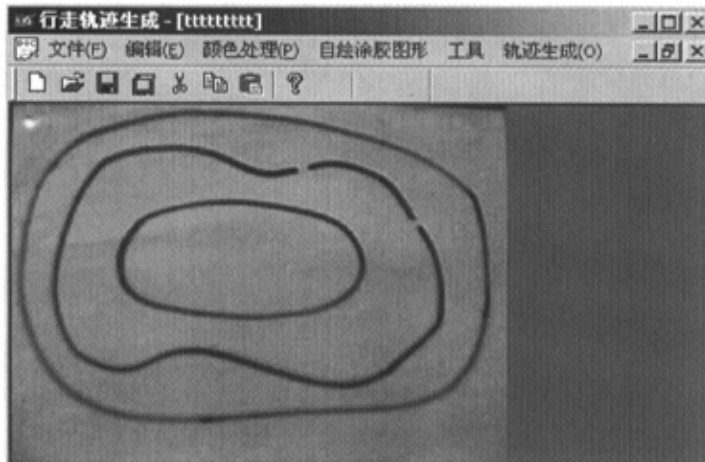


图 5-7 喷嘴运动轨迹生成模块界面

Fig.5-7 The interface of air spout trace generation

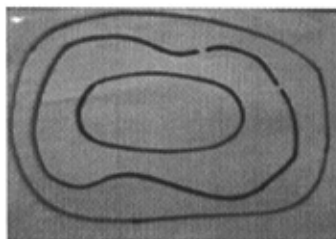


图 5-8 胶线原始图像

Fig.5-8 Image of original glue line

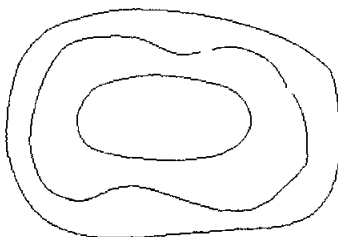


图 5-9 处理后的胶线图像

Fig.5-9 Image after glue line processed

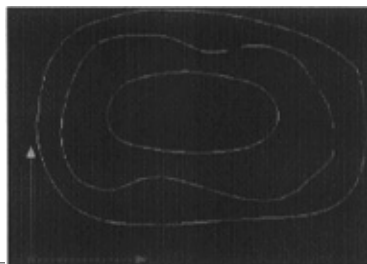


图 5-10 数控模拟器模拟轨迹

Fig.5-10 Trace by NC imitator

### 5.3 本章小结

本章通过实验验证了涂胶机器人视觉系统方案设计是可行的，同时验证了系统利用模式识别技术可以实现零件存在性及相似性判别，利用形态学和矢量化技术能够自动生成喷嘴运动轨迹的 NC 代码及实现胶线质量检测与报警。也通过实验验证了软件系统运行的正确性与可靠性。

## 结论

视觉系统的应用可提高涂胶机器人的自动化程度,可使该类机器人具有较高的智能性与集成性,因此,涂胶机器人视觉系统应用研究有着客观存在的实际需求及较深的应用理论基础。通过阅读大量机器视觉及数字图像处理方面的理论知识,针对本课题的实际应用背景,将视频图像处理技术、视觉系统硬件构架及软件实现几大功能分模块逐个展开,进行深入讨论与研究,最终形成整体设计方案,并给出了实验实例。

本文所取得的主要研究成果如下:

(1)在数字图像处理技术方面进行了深入的研究,对传统的线细化和曲线矢量化方法作了改善,使计算机图像处理的结果更好地符合胶线的实际情况。并将双眼系统 CCD 标定技术应用到机器人视觉单眼系统中,简化了实验复杂程度。

(2)将 CCD、工控机、光源等视觉系统硬件设施直接应用于涂胶机器人中,可提高涂胶机器人的自动化与智能化程度。

(3)运用 Visual C++6.0 软件开发了一套完整的涂胶机器人系统应用软件,该软件包括视频图像捕获及处理、喷嘴运动轨迹 NC 代码自动生成、胶线质量检测与报警等三大功能模块。

(4)将涂胶机器人视觉系统硬件与软件进行了有机的结合,并利用该视觉系统进行了实验。验证了其可方便地实现工件的自动识别、胶线质量检测与报警、喷嘴运动轨迹 NC 代码自动生成等功能。可满足提高劳动效率、减轻工人劳动强度,提高涂胶质量等设计要求。

作为自主开发的软件,本软件系统具有的优点为:

(1)软件以 Visual C++6.0 为开发工具,运行速度快,性能稳定,且方便系统移植。

(2)系统的功能模块均以菜单、命令等形式实现,界面更友好,支持功能更强大。

(3)能够适应多种不同工件在同一生产线上分时作业的要求。

本课题跟踪国际先进技术,应用机器视觉系统实现涂胶机器人向高度自动化、智能化方向发展。该类机器人具有明确而广泛的应用前景,其直接面向一般工业部门与中小型企业,市场潜力巨大。

## 参考文献

- 1 王吉芳, 郭桂兰, 王锡俊. 自动涂胶机的研制. 制造业自动化. 2001(6): 39~42
- 2 李红俊, 韩冀皖. 数字图像处理技术及其应用[J]. 计算机测量与控制. 2002(10):620~622
- 3 阮秋琦. 数字图像处理. 电子工业出版社. 2001:24~40
- 4 贾云得. 机器视觉. 科学出版社. 1999:60~64
- 5 章毓晋. 图像工程. 清华大学出版社. 2000:12~16
- 6 何斌, 马天予, 王运坚等. Visual C++数字图像处理. 人民邮电出版社. 2002:465~471
- 7 孙慧, 周红霞, 李朝晖. 图像处理中边缘检测技术的研究[J]. 电脑开发与应用. 2002(6):7~9
- 8 姚峰林, 詹海英, 李元宗. 机器视觉中的边缘检测技术研究. 机械工程与自动化. 2005 (1):58~76
- 9 Serkan Kayain, M Mete Bulut, A New One Pass Algorithm to Detect Region Boundaries, Pattern Recognition Letters. 2001(22):1169~1178
- 10 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础. 科学出版社. 1999:60~66
- 11 M Tang, SD Ma. Model Based Adaptive Enhancement for Far Infrared Image Sequences. Pattern Recognition Letters. 2000(21):827~835
- 12 胡山, 许增朴, 于德敏. 基于彩色色标的服务机器人定位研究. 制造业自动化. 2005(2):68~74
- 13 Surendra Gupte, Osama Masoud, Robert F.K.Martin. Detection and Classification of Vehicles [J]. IEEE Trans. On Intelligent Transportation Systems. 2002,3(1):37~47
- 14 Mallat S. IEEE Trans Inform Theory. 1991, 37(4): 1019~1033
- 15 姚峰林, 詹海英, 李元宗. 机器视觉中的边缘检测技术研究. 机械工程与自动化. 2005(2):108~110
- 16 杜啸晓, 杨新, 施鹏飞. 一种新的基于区域和边界的图像分割方法[J]. 中国图像图形学报. 2001,6A (8):755~759
- 17 刘直芳, 徐欣, 游志胜等. 基于遗传算法的车窗定位[J]. 计算机应用研

- 究. 2002,19(11):72~74
- 18 Fukui H, Hasegawa T. A Study on Detection of Vehicles Positions using HSV Color Transformed Template Images[C]. Vehicular Technology Conference. 2001. VTC 2001Fall. IEEE Volume2,2001,2:718~722
- 19 王运琼, 游志胜. 基于色差均值的快速车窗定位算法. 计算机应用与软件. 2004,21(1):78~79
- 20 周献中, 王宏波, 郑华利. 地形图点状虚线的自动矢量化研究与实现. 计算机应用. 2004.24(1):63~67
- 21 William HA. Role of Onset Asynchrony in Contour Integration [J]. Vision Research. 2002,42(1):1~9
- 22 Opas Chutatape, Linfeng Guo. A Modified Hough Transforms Form Line Detection and Its Performance [J]. Pattern Recognition. 1999,32(1):181~192
- 23 郭庆胜, 郑春燕. 地图线状符号图案单元的优化配置方法[J]. 武汉大学学报信息科学版. 2002,27(5):499~504
- 24 Hecht H, Bader H. Perceiving to Pological Structure of 2-D Patterns [J]. Act a Psychologica. 1998,99(3):255~292
- 25 Kubovy M, Alex OH. On the Law Fullness of Grouping by Proximity [J]. Cognitive Psychology. 1998,35(1):71~98
- 26 Pettet MW. Shape and Contour detection [J]. Vision Research. 1999, 39(3): 551~557
- 27 Srimant PT, Alexand J. Detecting Collinear Dot Sin Noise [J]. Vision Research. 1999, 39(25):4161~4171
- 28 M Tang, SD Ma. Two Step Classification Based on Scale Space. In: Proceedings of 15<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition, Barcelona. Spain. 2000:230~236
- 29 M Tang, SD Ma. Semantically Homogeneous Segmentation with Non Parametric Region Competition. In: Proceedings of 15<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition, Barcelona. Spain. 2000:410~412
- 30 M Tang, SD Ma. General Scheme of Region Competition Based on Scale Space. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001, 23(12):1366~1378
- 31 R. Highnam, M. Brady. Model Based Image Enhancement for Far Infrared Images. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

- 1997,19:410~415
- 32 Roberts SJ. Parametric and Non Parametric Unsupervised Cluster Analysis. Pattern Recognition. 1997,30(2):261~272
- 33 Zhu SC, Yuille AL. Region Competition: Unifying Snakes, Region Growing and Bayes/MDL for Multi-band Image Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1996,18(9):884~900
- 34 潘泉, 张洪才, 程咏梅. 计算机智能图像识别算法研究. 计算机应用. 2004,24(2):65~68
- 35 姜宁, 史忠植. 文本聚类中的贝叶斯后验模型选择方法[J]. 计算机研究与发展. 2002,(5):589~593
- 36 王莉, 王正欧. OTGSOM:一种用于数据聚类的动态自组织神经网络[J]. 电子信息学报. 2003,(4):678~682
- 37 周水庚, 胡运发. 隐含语义索引及其在中文文本处理中的应用研究[J]. 小型微型计算机系统. 2001,(2):987~991
- 38 石美红, 张军英, 李永刚. 基于差别特征的纹理图像识别研究. 计算机应用. 2004,(1):66~69
- 39 Manjunath SB, Ma YW. Texture Features for Browsing and Retrieval of Image Data [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001,18(8):837~842
- 40 Calvin GC, Herbert KEN. Note: Texture Descriptors Based on Co-occurrence Matrices [J]. Computer Vision. Graphics and Image Processing. 2002, 51:70~86
- 41 Speis Athanasios, Healey Glen. Feature Extraction for Texture Discrimination Via Random Field Model Switch Random Spatial Liter Action [J]. IEEE Transactions on Image Processing. 2003,5(4):635~645
- 42 Main Wu Ren, Jingyu Yang, Han Sun. Tracing Boundary Contours in a Binary Image. Image and Vision Computing. 2002(20),125~131
- 43 王磊, 王立胜, 顾训穰. 图像轮廓提取的迭代收缩算法. 计算机应用与软件. 2004,21(2):76~78
- 44 Eckhorn R, Reiboek HJ, ArndtM, etal. A Neural Network for Feature Linking via Synchronous Activity: Results from Cat Visual Cortex and Simulations [M]. In Models of Brain Function. Cotterill RMJ, Ed. Cam bridge, UK: Cambridge:800~825
- 45 Johnson JL, Padgett ML. PCNN Models and Applications [J]. IEEE Transactions

- Neural Networks. 2001,18(8):837~842
- 46 Kuntimad G, Ranganath HS. Perfect Image Segmentation Using Pulse Coupled Neural Networks [J]. IEEE Transactions Neural Networks. 2002. 10(3):591~598.
- 47 Johnson JL. Pulse Coupled Neural Nets: Translation, Rotation, Scale, Distortion and Intensity Signal Invariance for Images [J]. Applied optics. 2000, 33(26):6239~6253
- 48 Wu Ren, Jingyu Yang, Han Sun. Tracing Boundary Contour Sin a Binary Image. Image and Vision Computing. 2002,20,125~131
- 49 Hu Zhanqi. NC Programming Method of Plane Contour Machining Based on Image Data. CADDM. 2000,10(2):41~44
- 50 钟大平, 周来水, 毛占东. 细分曲面的 NC 刀轨生成算法及实现. 东南大学学报(自然科学版). 2004,34(1):50~53
- 51 张海云, 赵玉刚. 基于图像的二维零件的数控加工编程. 现代制造工程. 2004,10:18~20
- 52 吴凤和, 施法中, 胡占齐. 面向数控加工的图像处理方法研究. 中国机械工程. 2004,15(13):1163~1166



## 哈尔滨工业大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《涂胶机器人视觉系统的应用研究》，是本人在导师指导下，在哈尔滨工业大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。

作者签字 宗德祥 日期：2005年6月23日

## 哈尔滨工业大学硕士学位论文使用授权书

《涂胶机器人视觉系统的应用研究》系本人在哈尔滨工业大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归哈尔滨工业大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解哈尔滨工业大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅。本人授权哈尔滨工业大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

保密□，在 年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密☒。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名：宗德祥 日期：2005年6月23日

导师签名：唐德威 日期：05年6月23日

## 攻读学位期间发表的学术论文

1. 唐德威, 宗德祥, 邓宗全等. 涂胶机器人视觉系统的应用研究. 机器人. (已录用)
2. 唐德威, 宗德祥, 邓宗全等. 管道内径在线检测机器人的结构设计. 林业机械与木工设备. 2005,33(2):39~44
3. 唐德威, 宗德祥, 邓宗全等. 胶线图像处理中线细化与矢量化改进方法研究. (已投稿)

## 致谢

行文结束之际，作者衷心地感谢导师唐德威副教授两年来的关心、教育以及在本文立题和研究过程中的悉心指导！

唐老师在科研工作中忘我的工作态度时刻督促作者在今后的学习工作中努力拼搏、谦虚谨慎、务实开拓、时省时新。唐老师言传身教的科学精神和做人原则更使作者终身受益。

感谢邓宗全教授在学习与生活上的指导和关心，邓老师不知疲倦的工作精神和敏锐的学术洞察能力，给我们树立了学习榜样。

作者同时感谢刘廷荣教授、陈明教授、刘荣强教授、李明章副教授、陶建国副教授、于卫真技师、陈巧艳女士在本课题进行中给予的指导和支持！

作者衷心感谢高海波、胡明、方海涛、吴湘、郝广平、吴炳晖、毕贞法等学长给予的关注和指导，同时感谢实验室各位同学的无私帮助！

感谢所有关心、帮助过我的亲人、老师、同学和朋友们！