

分 类 号: TP31
研究生学号: 201053H107

单位代码: 10183
密 级: 公 开



吉 林 大 学

硕 士 学 位 论 文

位图矢量化转换技术的研究

Research on Bitmap Vectorization Technology

作者姓名: 梁宏锬

专 业: 软件工程

研究方向: 计算机图形学与数字媒体

指导教师: 郭晓新 副教授

培养单位: 计算机科学与技术学院

2014 年 6 月

位图矢量化转换技术的研究

Research on Bitmap Vectorization Technology

作者姓名：梁宏锬

专业名称：软件工程

指导教师：郭晓新 副教授

学位类别：软件工程硕士

答辩日期：2013 年 6 月 / 日

未经由本论文作者的加以授权，任何保管和使用论文的书面
的版本、电子的版本的个人和单位，均不能针对论文采取修改、
复制、改编、发行、出租等不利于作者著作权的商业使用（除纯
学术性使用之外）。否则，将会承担相应的侵权责任。

吉林大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的硕士学位论文，是本人在指导教师的指导下，
独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文
不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究
做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识
到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：梁宏锐

日期：2014年 6 月 3 日

摘 要

位图矢量化转换技术的研究

随着人类社会的发展,图形已经深入的融入到了人们生活的方方面面。从书籍杂志中的图片到街头小巷的广告海报,从互联网的短视频图像到电子地图,从服装图样到工业制图,图形在工业、医学、IT产业等领域都起着至关重要的作用。通过计算机技术与工业设计的结合,运用CAD技术使得工业制图发生了巨大发展。人们只需通过计算机输入工件参数,或者通过扫描已有的工件,便可通过计算机控制机床完成生产,大大提高了工作效率。同时,早期的设计图样由于受到保存环境的影响,导致将设计图形进行数字化保存。然而,保存数量巨大的设计图样数据,势必耗费大量人力物力。通过自动输入与智能识别技术,将普通图像进行矢量化处理,可以有效的解决上述问题,方便数据的保存和利用,加速产品的升级发展。

本文首先介绍图像预处理技术,列举了图形对象的特点,就位图矢量化过程中的各个步骤对预处理进行了阐述,并介绍了数字化、几何变换、归一化、平滑、复原和增强等步骤,并对分割阈值选取,图像复原过程,图像增强方法,图像平滑方法做了详细分析,并对比了不同方法的优势。

其次阐述了矢量化产生及图像矢量化的一般步骤,详细介绍了边界重复法、边界交换法、适当骨架化法、基于Hough变换的方法、基于轮廓的方法、基于稀疏像素的方法等常用图像矢量的传统算法。介绍了基于稀疏像素的方法的步骤,通过对比各个算法的优缺点,得出适合本文的算法——基于Hough变换改进的方法,即在经典的Hough变换之前,先对图像进行预处理,如多边形提取,或者三次贝塞尔拟合来获取坐标的数据等。

最后对基于改进的Hough变换的数据流做了详细的说明,并对开发环境和设计原则做了简要的叙述。利用matlab设计了面向对象的操作软件。分别对多边形提取法和贝塞尔拟合法进行了应用,利用多边形提取法对球体和五角星两种对象进行了矢量化处理,得到了二者的矢量图;利用贝塞尔拟合法对人脸头像和球体进行了矢量化处理得到了二者的矢量图。两种方法都明显地改善了图像的锯齿现象。同时两种方法做了对比试验,发现多边形提取法对直线组成的效果较好,而贝塞尔拟合法对曲线组成的效果较好。

关键词:

矢量化,图像预处理, Hough变换, 贝塞尔拟合

Abstract

Research on Bitmap Vectorization Technology

With the development of human society, the graphics have been deep into every aspect of people's lives. From the pictures in books to magazines ; from video images to the electronic map on the Internet, from fashion figure to industrial drawing and advertising poster on streets and lanes , it plays an important role in industry and graphics in the industrial, medical, IT filed. Through the combination of computer technology and industrial design, the use of CAD technology has made a fast development. People can input workpiece parameters simply by computer or by scanning of the workpiece then the production can be done by computer-controlled machine. In that way the work can be greatly improved. At the same time, early design drawings need to be preserved due to the impact of the preservation of the environment. However, saving a huge number of design drawings and data is bound to spend a lot of manpower and resources. Through the entered automatically with the intelligent recognition technology, can effectively solve the above problems. It is easy to facilitate the data, accelerate the upgrading and development of the product.

This article first introduces the image pre-processing technology, exemplified the characteristics of the graphics. Introduces figure vectorization process in the first step of image preprocessing. This paper introduces detailed about digitized, geometric transformation, normalization, smoothing, restoration and enhancement steps. And separated threshold selection, the process of image restoration, image enhancement method for image smoothing method to do a detail analysis and compared the advantages of different methods.

Secondly, this paper describes the vector generation and general image vectorization step details repetition of the boundary, the distance to the exchange method, appropriate skeleton, based on the Hough transform, contour-based approach, based on sparse pixel method commonly used image algorithm vectorization traditional. Introduce the work steps of sparse pixels method , by comparing the advantages and disadvantages of various algorithms, we derived algorithm suitable herein - based Hough transform the improved method, i.e before the classic Hough transform, make the first image pre-processing, such as polygon extract, or a cubic Bezier fitting to obtain the coordinate data.

Finally, we give a detailed instructions based on the improved Hough transform data,

then a brief statement has been made focus on the development environment and design principles. Using matlab , This paper design object-oriented operating software. Vector processing carried out on the sphere and pentagram using polygon extraction has got their vector pictures, vector processing conducted on human skull and the sphere using Bezier fitting has got both of their vector pictures. Both methods are significantly improved image aliasing. At the same time, respectively made the application by extracting polygon method and Bezier fitting, and do a comparison test. The result of the proved polygon extraction method have better effect by straight lines, and the Bezier contemplated lawful curve effect is better.

Keyword:

Vectorization, image preprocessing, Hough transform, Bezier fitting

第一章 绪论.....	1
1.1 课题研究背景及意义.....	1
1.2 位图矢量化研究及发展现状.....	1
1.2.1 位图和矢量图概念.....	1
1.2.2 国内外研究及发展现状.....	2
1.3 本文研究内容.....	4
第二章 图像预处理.....	5
2.1 图像格式的种类.....	5
2.2 图像的预处理.....	6
2.2.1 图像的数字化.....	7
2.2.2 阈值分割.....	7
2.2.3 图像的复原.....	9
2.2.4 图像的几何变换.....	10
2.2.5 图像的增强.....	10
2.2.6 图像平滑.....	13
2.3 本章小结.....	14
第三章 图像矢量化方法.....	15
3.1 矢量化的产生.....	15
3.2 图像矢量化的一般步骤.....	15
3.3 常用图像矢量化算法.....	16
3.3.1 边界追踪法.....	17
3.3.2 距离变换法.....	17
3.3.3 适当骨架化法.....	17

3.3.4 基于轮廓的方法.....	18
3.3.5 基于网格格式的方法.....	18
3.3.6 基于稀疏像素的方法.....	19
3.4 基于 Hough 变换的改进的矢量化算法.....	19
3.4.1 Canny 算子.....	21
3.4.2 多边形提取法.....	21
3.4.3 贝塞尔曲线拟合法.....	22
3.4.4 SVG 图像输出	24
3.5 本章小结.....	24
第四章 图像矢量化的实现.....	25
4.1 图像矢量化.....	25
4.1.1 软件需求分析	25
4.1.2 系统的软件设计.....	26
4.2 图像矢量的应用与效果分析.....	27
4.2.1 多边形提取.....	27
4.2.2 贝塞尔矢量化.....	29
4.3 多边形提取法与贝塞尔矢量化对比.....	30
4.4 本章小结.....	32
第五章 总结与展望.....	33
5.1 全文总结.....	33
5.2 未来工作展望.....	34
参考文献.....	35
致 谢.....	37

第一章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

随着人类社会的发展,图形已经深入地融入到了人们生活的方方面面。从书籍杂志中的图片到街头小巷的广告海报,从互联网的視頻图像到电子地图,从服装图饰到工业制图,图形在工业、医学、第三产业等领域起着至关重要的作用^[1]。

通过计算机技术与工业设计的结合,运用CAD技术使得“称设计”发生了重大发展,人们只需通过计算机输入工件参数,或者通过扫描已有的工件,便可通过计算机控制机床完成生产,大大提高了工作效率。同时,早期的设计图纸由于受到保存环境的影响,亟需将设计图形进行数字化保存。然而,保存数量巨大的设计图纸数据,势必耗费大量人力物力,通过自动输入与智能识别技术,对图像进行矢量化转换,可以有效地解决上述问题,方便数据的保管再利用,加速产业的升级发展^[2]。民间艺术作品与工业图纸不同,在许多领域当中,对其进行矢量化转换具有重要的意义^[3]。

计算机对图形进行扫描后,保存为格式是BMP、JPG等文件格式的位图。位图是由无数个像素点构成的,当操作图像时,对其进行缩小或放大后,就会丢失图像中的信息,尤其在将图像放大后,在边界会出现不均衡的效果。当需要对位图进行修改时,由于其基本单位是像素点,对每个点进行修改变是不现实的。位图的这些缺点不利于计算机在图形学领域的应用。在进行矢量化转换后,对矢量元素的编辑就会很方便^[4],矢量元素之间的关系也可以非常方便地被修改,并在计算机显示终端上输出矢量图形。而且通过文件格式转换,使得将大量的栅格数据转换为矢量图形数据成为必然。

1.2 位图矢量化研究及发展现状

1.2.1 位图和矢量图概念

位图也叫做点阵图像或绘制图像,它是由称作像素的单点组合而成的。位图适用于存储内部信息量大,图案复杂,描述并不显式的图像数据,如遥感信息图像。与其相对应的是矢量图,它是以矢量方式(长度、方向等参数)表示的图像。矢量图与光栅图的

存储单位是图像形状等相关的参数特征信息，而不是单个像素或像素块。矢量图适用于存储信息量不大且有较明显规律性的图像数据，需要高图像分辨率的图像，如地图。图 1.1 是位图与矢量图的效果对比图。

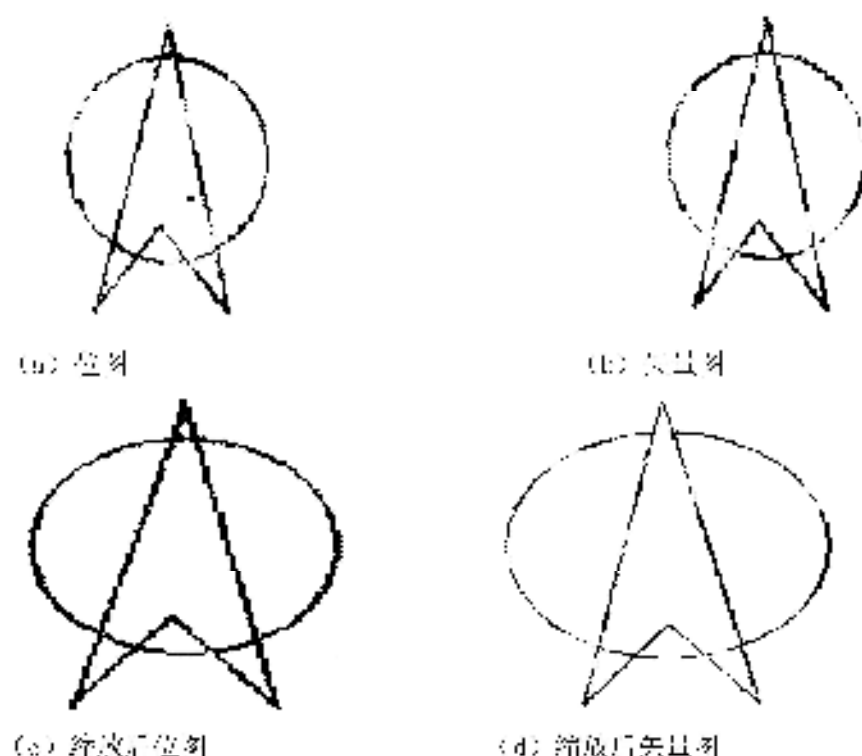


图 1.1 位图与对应的矢量图对比图

图 1.1 (a) 是一幅位图，图 1.1 (b) 是一幅矢量图，他们似乎没有区别，但在缩放后，位图出现明显的锯齿形状，而矢量图则基本没有变化，没有失真。从图中可以看出，位图只是简单的用像素或压缩的像素块为单位来表示图像，当通过缩放算法对位图进行缩放操作时，会使缩放后的图像的线条和边缘显得参差不齐，如在放大时图形会中现锯齿状线条，进行缩小操作时线条中也现信息丢失^[6]。而在矢量图中它是利用图形的特征来表示图形，这使得矢量图能够保持图形的完整性，可以随意操作，放大或者缩小，而且不会中现图形扭曲变形，信息丢失，满足工程化的应用，实现数据压缩，且在任何尺度下图形文件的大小是一样，是矢量图形的重要特征。

1.2.2 国内外研究及发展现状

矢量化研究从开始于 20 世纪 70 年代。当时的技术与实践条件以及用途是相当受限制的，所以只局限很小的范围内进行应用。要针对性的对其中的对象进行处理，方法相对容易的是针对地图的处理。在 1985 年之后，CAD 机械制图软件逐渐得到应用，

出现了很多需求转化为 CAD 格式的工程图纸。在 CAD 快速发展的情况下,矢量化研究也逐渐的被推崇。矢量化研究在九十年代最为火热,但随着计算机技术的提高,处理速度逐渐加快,完善了对像和图像的识别,模式识别技术在基于对图像处理的情况下得到了重视,为之后的图形矢量化在计算机上的应用奠定了基础。每年都会有多种图像矢量化的国际会议,旨在发展图形矢量化。之后,图像矢量化软件层出不穷,如德国 Softelec 公司的研发的 VPSstudio,美国 GLA 公司研发的的 GLXRaster CAD Series,英国 softcover 公司研发的 scan2CAD,日本日立公司研发的 Imageseries 等。这些软件应用多个方面,比如地修,机械制图,建筑设计,电子电路仿真等高科技领域。由于不同工程领域应用图形矢量化存在差异性,许多公司为此设计了专门的矢量化软件,例如,Arc 公司的 xyz,这是一款主要针对地图和 GIS 领域的软件。这些软件都提供了良好的用户界面与通信接口,并都具有强大的处理功能。但是在精度上还是没有达到工程自动化的要求,软件还是需要继续改善^[10]。表 1.1 是国外软件性能对照表^[10]。

表 1.1 国外软件性能对照表

软件名称	研发单位	优点	缺点
VPSbox	德国 SOFTELEC 公司	采用 Windows 界面开发,算法采用中心线及轮廓线法	部分线条信息丢失较多,精度不是很高
EXALto Image-Pro	美国 Rasterex 公司	具有良好的光栅,矢量平台编辑功能	软件的精度不同
TSG-341F 系统	日本	较完善的处理功能和容易使用的用户接口	具有对像首、缺模敏感等缺点
CGIS 系统	日本	实现识别基本图形	由于采用分段算法,分段点不能被全部正确识别 ^[10]

通过上表可以看出,大多数的软件基本功能完善,在矢量化处理和绘图处理上都各有所长,但是精度不够,并且自动化程度也不够好。

对于上面提到的不足,光栅矢量化研究在我国展开,这是近几年才开始发展的,但是具有很快的发展速度。国内多所高校进行了深入研究,例如中科院自动化所、华中科技大学的 GIS 系统、上海工业大学的微机工程图图像自动识别系统等。其他高校也是纷纷研究,推出自己的系统。同时国内学者还提出了不同的算法。宋庭宇等提出了自动矢

量化算法中，其主要包括直线、圆、圆弧的算法。该算法通过拟合存在断点和奇异点的直线，图像的完整性得到了很好的保留。本方法整体上简洁、快速，但是在图像细化处理方面尤其是在直线或者圆弧相交的情况下，需要对图像再处理，再细化。这样就浪费了时间，使得矢量化运算效率降低。

鉴于此，一种能够识别曲线、直线、圆、圆弧的矢量化方法应运而生。李庆华等提出了二次拟合矢量化方法，它是一种先识别直线然后识别圆、圆弧的矢量化方法，该算法解决了相交的问题，但是在图像处理过程中对噪声不敏感，使得图形矢量化发生较大偏差。随后，王刚等提出了新的矢量化的统计方法，该方法以图元为矢量化的基本结构。通过改进的编码技术，将圆弧或者直线作为图元进行处理，这样可以有效地去除噪声，使得噪声干扰减小。但是这种算法的缺点也有很多，例如很短的直线或者圆弧识别很困难，不容易定位交点等。与国外软件情况类似，国内各种软件的矢量化实现替代了手工劳动，但是软件的性能、精度、工程化应用还是没有达到理想的设计标准，尤其是在提高矢量化速度、效率，矢量化的结果修正同矢量化的盲目性方面更加加强。

1.3 本文研究内容

本文通过对现在的位图矢量化技术研究，实现了位图矢量化功能。目前大多数的矢量化方法都是对位图图像进行位图处理，在对处理的图像进行修改、细化、提取等，来对图形进行重新描述。因为在对位图进行处理时，数据量很大，在工程中进行矢量化时，大量的矢量化计算机软件和方法都不能够满足要求。本文通过采用多种技术，为研究和解决该难题提供了优先的解决方案，并且在试验中取得了很好的应用效果。

论文的具体安排如下：

第二章：矢量化之前的图像的预处理。分别研究了预处理的每个过程，并对分割阈值选取，图像复原过程，图像增强方法，图像平滑方法做了详细分析，而且对比了不同方法的优劣。

第三章：列举了图形矢量化的方法，对比每种方法的优缺点，并得出了本文所采用的方法，并对该算法进行了深入研究。

第四章：研究了基于Hough改进的算法，实现了相应的软件模块，描述了其开发环境和设计原则等，并对等多边形提取法和贝塞尔拟合法做了研究，同时进行了对比。

第五章：对全文进行了详细的总结，和未来的展望，如对算法的改进等。

第二章 图像预处理

2.1 图像格式的种类

图像 (Picture) 最常见的定义是各种影像和图形的总称。图像是通过扫描仪、摄像机等输入设备捕捉实际的画面而产生的数字图像。从广义上说, 图像就是所有具有视觉效果的面画, 如图纸上面的图形、彩色照片、电视图像、多媒体摄影像或计算机屏幕上的画面等。根据不同的图像记录方式可将图像分为两大类: 数字图像和模拟图像。模拟图像是通过电、光等物理量的变化强弱来记录图像亮度信息, 例如模拟电视图像; 而数字图像则是通过计算机存储的数据来记录图像上各点的亮度信息^[1]。

目前, 图像的格式有众多种, 如 Microsoft 公司的 BMP 标准图像文件格式、ZSoft 公司的 PCX 文件、CompuServe 数据库公司, GIF 文件格式, 由 Adobe 公司和微软联合开发的 TIFF 格式、数码相机 RAW 图像格式、JPEG 压缩图像格式等。表 2.1 是图像格式及其特点^[2]。

表 2.1 图像格式及其特点

图像格式名称	特点
BMP 图像	可描述多达 24 位彩色的图像; 它的图像可以采取压缩和不压缩两种方式进行存储
GIF 图像	能够可致式缩文件容量得以节省大量传输时间, 是 Web 上广泛流传的图片格式
TIFF 图像	排版与图像扫描最常用到的图像文件格式
RAW 图像	相当广阔的色彩层次及较高的宽容度, 记录最原始最真实的信息, 不仅修图和更改, 为后期制作留下了广阔的可操作空间
JPEG 图像	能在极高的压缩率的同时, 展现十分丰富生动的图像, 占用最少的磁盘空间

对形指描画出物体的轮廓、形状或外部的界限构造的矢量图形。如绘制的直线、圆、矩形、曲线、图表等。图形通过构成图形的元素位置、属性、形状等参数描述图形, 通过 Draw 程序的编辑产生的图形就是矢量图。其特点是描述对象经过移动、缩

成、旋转和扭曲等独立，任意变换后不会发生失真。图形通常用来描述轮廓不很复杂，色彩不是很丰富的对象，如：几何图形、工程图纸、CAD、3D 造型软件等。图形格式有以下几种格式：SWF 图形格式，Shapefiles 图形格式，CAD 图形格式，coverages 图形格式，SVG 格式图形格式，CDR 格式图形格式，EPS 格式图形格式等。

(1) SWF 图形格式

Flash 是 Macromedia 公司制作的一种动画编辑软件，可设计制作后缀名为 .swf 的动画，此格式的动画的优点是，占用相对小的存储空间同时可以提供更加丰富的多媒体形式，而且可以与 HTML 文件达完全兼容，达到“互相配合”的地步。

(2) CAD 图形格式

普通的 CAD 文件包含 AutoCAD 的线画文件(.dwg)，Autodesk 的线画交换格式(DXF)，MicroStation 的设计文件(.dgn)，对于一个 Microstation 文件的扩展名是可变的。

(3) Shapefiles 图形格式

ESRI 公司开发的 Shapefiles 格式是一种专用矢量图形格式，Shapefiles 格式的矢量数据都可以被所有 GIS 产品读取。对于其他数据流，例如 GPS 接收机获得的数据能被存为 X、Y 事件表或 shape 文件。

(4) SVG 图形格式

SVG 是一种可缩放的矢量图形格式。基于一种开放标准的矢量图形语言是它的特点，在图形放大显示时，可获得非常清晰的边缘，同时 SVG 图像中的文字有搜寻和缩放的功能，不受任何字体的限制，并且由于其生成的文件非常小，下载非常快，所以在设计高分辨率的 Web 图形页面时应用十分广泛。

2.2 图像的预处理

矢量图形是利用数学形态学描述的几何图形表示的图像，这些元素包括点、路径和多边形。图像矢量化是提取中图像中的特征信息，将其转化为矢量图像。由于图像中含有大量的、不同的载体信息，图像生成的同时载体信息中就混入了大量的噪声。这些噪声有被溶剂污染的工业化用纸；因电器机械运动或接头抖动而使电流的变化产生噪声；磁头、磁头等抖动或同时抖动等影响；设备内部电路带来的噪声；相位电路和偏转系统所引起的噪声，所以要在图像矢量化之前进行图像的预处理，所谓图像预处理就是尽可

能够将与图像中的无关信息去除掉，还原出图像中有价值的真实的信息，在提高相关信息的可检测性的同时最大限度地简化数据，从而增强特征抽取、图像分割、匹配和识别的可能性。通常预处理过程分为数字化、归一化、几何变换、复原、平滑和增强等步骤。

2.2.1 图像的数字化

图像处理速度是制约其应用的一个重要性能。二值化工程图纸后，得到的二值图像数据量小，识别精度高，易于匹配，速度很快。二值图像二值化处理之后，数据信息量会大大减少，因而对系统内存的要求也大大减弱了，从而提高了软件的处理速度，所以在对图纸进行矢量化之前，一般都将其转换成二值图像^[1]。

假设一幅原始照片的灰度值是空间变量的连续函数。那么对一个具有 $V \times V$ 点阵的照片的采样灰度加以量化（归为 2^B 灰度等级之一），便可以得到数字图像，使其能够在计算机上处理。若要使数字图像能够有效的还原出原来的图像，就要控制 V 、 N 和 B 值的大小。在接收装置的空间和灰度分辨能力范围内，重建图像的质量与 V 、 N 和 B 的数值大小是成正比。为了实现重建图像的频谱等于原始图像的频谱的目标，可以将采样周期设置为等于或小于一半的原始图像中最小细节尺寸，此时获得的原始图像与重建图像可以完全相同。在存储量一定的条件下，为获取最好的处理效果，可以根据不同性质的图像选择合适 M 、 N 和 B 值。

对于工程图纸而言，如果底图扫描输入时的效果较好，通常扫描可直接转换成二进制的图像，但在扫描二值图时产生的有污点噪声图像时，必须进行去污点处理。目前的扫描机通常采用阈值分割法来实现去污点噪声的目的。

2.2.2 阈值分割

图像阈值分割^[8]是应用比较广泛的一种分割技术，其主要利用对比图像中要提取的目标区域与其背景在灰度特性上的差异，将两个目标区域和背景区域的组合看成不同灰度级的图像近似，通过选取一个相对合理的阈值，就可以确定图像中的每个像素点应该属于目标区域还是背景区域，进而生成相应的二值图像。

通常可以通过灰度图像直方图阈值来实现灰度图像的二值化。通常图像的二值化的阈值处理方式如下：

$$f(i, j) = \begin{cases} 1, & f(i, j) \geq t \\ 0, & f(i, j) < t \end{cases} \quad (2.1)$$

通常用 $f(i, j)=1$ 的部分表示图像, $f(i, j)=0$ 的部分表示背景, 其灰度级范围为 $[Z_1, Z_2]$, t 在上述区间取值, 确定 t 的阈值称为阈值选择, 图 2.1 为阈值方法示意图。

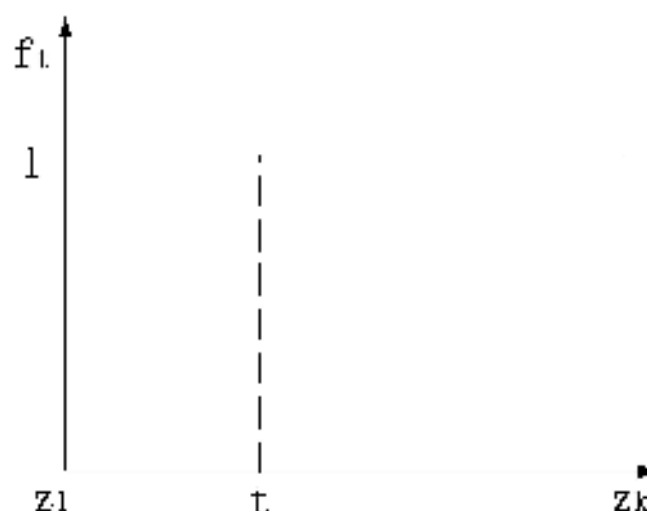


图 2.1 阈值方法的示意图

常用的阈值方法有自适应阈值法、全局阈值法、类判别分析法。

所谓自适应阈值法: 一般情况下, 背景灰度值是可以变化的, 在图像中背景和物体之间的对比度也是有变化的, 此时就要选出能够自适应的阈值, 固定的阈值在图像的某个区域可能效果很好, 但是在其他区域可能效果不好。这种情况下, 灰度值需要被设为一个随图像中位置而变化的函数值, 即自适应阈值。

全局阈值法: 将背景的灰度值看作恒定, 选择图像中所有背景与物体具有几乎一样的对比度, 这时, 只要选择恰当的阈值, 使用一个固定的全局阈值, 一般都会有比较理想的效果。

类判别分析法: 依据类别判别分析法 (Otsu 提出) 确定阈值。阈值的计算步骤如下:

- (1) 计算并输入图像的灰度级直方图
- (2) 计算灰度值

$$\mu_k = \sum_{i=0}^{255} (i-1) P_{\text{his}}(i) \quad (2.2)$$

其中 $P_{\text{his}}(i)$ 表示灰度级的概率函数

- (3) 计算灰度类均值 $\text{Aver}(k)$ 以及类直方图 $\#(k)$

$$A_{kwr}(k) = \sum_{i=0}^K (i+1)P_{kwr}(i) \quad (2.3)$$

$$B(k) = \sum_{i=1}^K P_{kwr}(i) \quad (2.4)$$

(4) 计算类分离指标

$$J(k) = \left\{ \left[L_{kwr} * W(k) - A_{kwr}(k) \right]^2 / \left[W(k) * (1 - B(k)) \right] \right\} \quad (2.5)$$

(5) 求使 J 最大的 k 值。要计算的最佳阈值 T 为： $T = k + 1$

对于目标像素与背景对比明显的图像，即白色背景占据了图像中的绝大部分面积。因为目标线条在整幅图像中所占的面积比较小，图线所对应的峰面积比较小，像素的数量也较少。如图 2.2 所示为理想工程图灰度直方图。



图 2.2 理想工程图灰度直方图

目标图像和背景上的灰度值的数量最多的点是在图中的两个峰尖处。物体图线边缘附近的相对数量较少的点是在低谷处。一般采用整体阈值法，来处理灰度变化均匀的目标图像。最简单的做法是在整个图像中将阈值设置为常数。只要选择了恰当的阈值，利用一个固定的全局阈值，通常会有不错的分割效果。将分割阈值选在灰度直方图低谷，即图 2.2 所对应的灰度值，就能够正确的分割图线和背景。

2.2.3 图像的复原

为了复原原始的图像，使它能无差的接近理想的像场，将考虑影响图像退化的各种因素并加以修正。但在实际应用中却常常会发生图像退化的现象。例如光学系统的像差，大气流的波动，因为相机和物体的相对运动造成的运动图像误差等等，都会使图像的复原发生退化。

图像复原的基本思路，首先建立退化的数学模型，其后根据此模型对退化图像进行

拟合。通常可以把提取的退化图像 $f(x, y)$ 看成是理想图像 $F(x, y)$ 和退化函数 $H(u, v)$ 的卷积，因此可以得到它们的傅里叶变换的关系 $f(u, v) = H(u, v)F(u, v)$ 。从而根据退化函数确定退化函数后，就可以通过此关系式得到 $F(u, v)$ ，然后通过傅里叶反变换得出 $F(x, y)$ ，复原过程如图 2.3 所示。

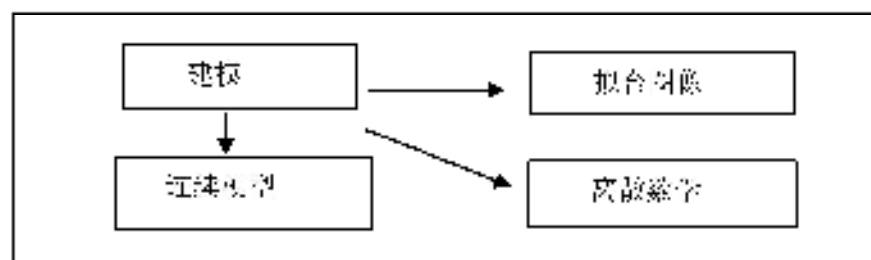


图 2.3 图像的复原

2.2.4 图像的几何变换

通过数学建模的方法来描述的图像几何变换，就是指用数学描述图像位置、大小、形状等变换的方法，是通过对图像的几何结构构造数学模型，实现对图像的几何变换的处理。图像的形状变换和图像的位置变换统称为图像的几何变换。图像经过放大、缩小与剪切等变化称为图像的形状变换。图像经过平移、旋转与缩放等变化称为图像的位置变化。

2.2.5 图像的增强

在某些特定的图像应用场合，要求强烈的观察图像的整体或局部特性，因此需要将图像增强，来改善图像的视觉效果，将所需要的不清晰的图像变得清晰或使某些感兴趣的特征更加强化出来，这样可以使图像质量更加提高、信息量更大，加强了图像分析和识别效果，满足一定条件下的具体分析要求。

可以将图像增强分成两类：一类是频域的图像增强，一类是空域的图像增强。空域的图像增强是把图像看成一种二维的信号，对其进行傅里叶变换，可以增强所需信号，如高通滤波器^[22]、低通滤波器^[23]、自适应滤波、带通和带阻滤波等。为了符合图像的整体特征要求，一般采用局部变换的图像增强方法。这些图像增强方法包括：利用局部统计特征的噪声去除方法^[24]、对比度受限的自适应直方图均衡化^[25]、局部直方图均衡化

外。最近出现了一些学科和图像技术相结合而产生的新方法,如利用统计分析的保细节平滑技术^[1],利用神经网络的脉冲噪声滤波技术^[2]。

几种传统的图像增强方法有:灰度级修正,灰度变换,直方图修正。

- 1) 灰度级修正:灰度级修正,就是由于光照强度,摄像位置,等光学系统的不均匀性而使得图像在成像的过程中,使得图像某些部分过亮或者过暗而进行修正,具体方法简述如下:

原来的图像为 $f(x, y)$, 不均匀降质图像为 $g(x, y)$, 代表降质性质图像函数为 $a(x, y)$, 用下式则来描述降质过程:

$$g(x, y) = a(x, y) \cdot f(x, y) \quad (2.6)$$

由此得到

$$a(x, y) = \frac{g(x, y)}{f(x, y)} = \frac{g_c(x, y)}{C} \quad (2.7)$$

将 (2.6) 代入 (2.7) 式中:

$$f(x, y) = \frac{g(x, y)}{a(x, y)} = \frac{g_c(x, y)}{g_c(x, y)} \cdot C \quad (2.8)$$

- 2) 灰度变换

1. 线性灰度变换

由于曝光不足或者过度等因素往往在图像成像时会产生对比度低的弊端,降低了图像的分辨率,利用图像灰度的线性变换,图像的质量便可以得到改善。假设灰度的范围是 $[a, b]$, 如果想使变换后图像灰度的范围变为 $[c, d]$, 可以利用 (2.9) 式的线性变换:

$$g(x, y) = \begin{cases} c & 0 \leq f(x, y) \leq a \\ \frac{d-c}{b-a} \cdot (f(x, y) - a) + c & a \leq f(x, y) \leq b \\ d & b \leq f(x, y) \leq Mff \end{cases} \quad (2.9)$$

Mff 表示 $f(x, y)$ 的最大值。

为了实验突出灰度变换或者目标的目的,抑制不感兴趣的灰度区域,可以得到 (2.10), 即采用“分段线性法”。

$$g(x, y) = \begin{cases} (c/a)f(x, y) & 0 \leq f(x, y) < a \\ \frac{d-c}{b-a} \cdot [f(x, y) - a] + c & a \leq f(x, y) < b \\ \frac{Mg-d}{Mf-b} \cdot [f(x, y) - b] + d & b \leq f(x, y) \leq Mf \end{cases} \quad (2.10)$$

如式(2.10)所示,通过对灰度空间 $[a, b]$ 进行线性的扩展,同时压缩灰度空间 $[0, a]$ 和 $[b, Mf]$,通过调整折线由线为点的位置,而且控制分线段的斜率,并可以任意压缩灰度区间。

2.1.2 非分段的线性指数

在一些分段的函数中,以后函数是指数-对数函数时,可达到图像灰度的非线性变换的目的。最常见的非线性性的指数变换函数为:

$$g(x, y) = b^{(f(x, y) - a) / c} - 1 \quad (2.11)$$

这里的 a 、 b 、 c 的作用是调整曲线的位置和形状,通过调整上述参数,可对图像的高灰度区提供较大的变化空间。

对数变换的一般形式为:

$$g(x, y) = a + \frac{\ln[f(x, y)] - 1}{b \cdot \ln c} \quad (2.12)$$

上式中的 a 、 b 、 c 作为调整曲线的位置和形状而引入的参数,其作用是采用上式的变化,当对高灰度进行压缩和对低灰度区进行较大的扩展时,能够使图像的灰度区域变得均匀,改善人的视觉特性匹配度。

2.1.3 直方图修正。

直方图修正是指使几构造灰度级变换,达到改造原图像的直方图效果,使变换后图像的直方图符合要求的结果。直方图修正是最重要的图像增强方法之一,其优点是:分离原图像灰度级集中的区域,增大反差效果,使得图像细节变得清晰,进而实现图像增强的目的。

设与 s 分别表示归一化的原始图像的灰度值 r 和直方图修正后的图像灰度,对 $[0, 1]$ 区间内的任一 r 值,按照下式变换

$$s = T(r) \quad (0 \leq r, s \leq 1) \quad (2.13)$$

通过(2.13)的变换,可以看出原始图像中的每个灰度值 r 都对应产生一个 s 值,若 $T(r)$ 是单调而有序的函数,则从 s 到 r 的逆变换为

$$r = T^{-1}(s) \quad (2.14)$$

根据概率知识我们知道, 假设已知随机变量 r 的概率密度是 $p_r(r)$, 且随机变量 s 是 r 的函数, 那么 s 的概率密度 $p_s(s)$ 就可以通过 $p_r(r)$ 求已, 即:

$$p_s(s) = p_r(r) \frac{dT^{-1}(r)}{ds} = p_r(r) \frac{dr}{ds} \quad (2.15)$$

直方图修正的理论基础^[24] 就是根据变换函数 $T(r)$ 可以控制图像灰度值的概率密度函数, 进而优化图像的灰度层次。

③ 小波分析

近几年以来, 国内外的学者已初步将小波分析应用到图像增强中^[25]。基于小波的反锐化增强法就是其中的一种方法。反锐化增强法以其较好的增强图像轮廓的优点, 广泛应用于摄影技术中。其基本公式是:

$$g(x, y) = f(x, y) + K[f(x, y) - \hat{f}(x, y)] \quad (2.16)$$

其中: $f(x, y)$ 是原始图像, $\hat{f}(x, y)$ 是人为模糊后的图像。为实现不同的增强效果, 可以灵活选择增强因子 K 。

另一种方法就是高频增强法。通常这种方法会利用小波分析和精确重构, 对分解图像进行线性化的运算处理。强化图中纹理的频率成分, 其后利用小波逆变换来重构图像。因为这种方法没有考虑噪声的影响, 因此在利用该方法进行高频来补偿轮廓时, 需要根据特定的图像选择适当的小波基, 最终获得理想的结果。

2.2.6 图像平滑

图像矢量化精度也是矢量化过程的重要因素^[26]。由于各种噪声源的干扰和影响, 不可避免的穿插在图像的获取和传输过程中, 从而图像的质量受到影响, 从而影响到后续处理的精准性。为了解决上述问题, 就产生了图像平滑方法, 它主要是通过滤波的方法来对数字图像, 从而来使得图像得到平滑。通常滤波方法主要可以分为两大类: 一类是局部处理, 而另一类则是全局处理。以图像的整体为对象进行滤波处理则是全局处理方法。例如最小二乘法滤波和 Wiener 滤波等。获得噪声的统计模型是全局噪声滤波法得以应用的关键, 但是对于大多数图像来讲, 获得比较完整的图像统计模型通常是很困难的。因为全局处理技术需要较长的处理时间, 所以目前应用比较广泛的滤波降噪技

术是局部处理技术。

局部处理技术只是针对某一像素的局部的邻域范围进行运算处理，拥有较高的计算效率、实时或准实时处理、多像素的并行处理等优点。几种常用的局部平滑方法如下所示。

- (1) 局部平均法：局部平均法是可以直接在空白域上平滑处理图像的方法。灰度图像的小块构成了图像的像素，同时每两个像素空间就具有很高的空间相关性，通过以上特点，像素的灰度被该像素邻域内的所有像素灰度的平均值代替，从而达到图像的平滑。
- (2) 中值滤波法：在图像处理中，标准型中值滤波是应用比较广泛的噪声滤除的方法。其主要是对一个滑动的窗口中全部像素进行排序，并选择窗口的中心像素为其中心。Justusson 提出了加权中值滤波方法，这个方法可以改善因标准窗口中值滤波而损失的图像边缘信号。这样，通过这种非线性滤波方法，使得在平滑滤波过程中边缘信号过明显，同时可以保护图像尖锐的边缘。
- (3) 梯度阈值加权平滑法：梯度是在需要表示图像灰度的变化率时常用的微分方法。它是通过改变梯度值与相邻像素点的灰度值，来反映图像灰度的变化程度。改变梯度值的大小，可改变中心像素的灰度，所以可以使用梯度阈值加权平滑法，对图像进行平滑，可保持图像的细节，又可滤除噪声。

表 2.1 三种滤波方法对比

处理方法	局部平均法	中值滤波法	梯形倒数加权平均法
窗口大小	5*5	3*3	4*4
均方差	523.7	521.4	55.3
信噪比 SNR	90.8	20.9	90.7

2.3 本章小结

本章介绍了图形图像的特点，就位图矢量化过程中的第一个步骤，即图像预处理进行了阐述，详细介绍了数字化、二值变换、归一化、平滑、复原和增强等步骤，并对分割阈值选取、图像复原过程，图像增强方法，图像压缩方法做了详细介绍分析，而且对比了不同方法的优劣。

第三章 图像矢量化方法

3.1 矢量化的产生

近几年来计算机图像技术不断发展，其中比较容易得到并含有庞大信息的数字形式就是栅格图像。但栅格图像数据量会随其描述分辨率的变高和描述范围的变化而成几何倍级扩大。矢量图形的具有诸如以下的很多优点：(1) 矢量图像是由简单的几何图形组成的，能够紧凑表示，故其占有存储空间较小；(2) 矢量图像可以很方便的进行编辑，在对矢量图像进行编辑时，例如旋转、平移、拉伸等操作时，只需修改相应的几何图形参数信息就可以实现以上的操作；(3) 用矢量表示的图像便于压缩或者放大，并且无论是压缩还是放大，都不会降低图像在计算机中的显示水平，边角的尖锐等特性也会在矢量图像的缩放过程中得到保持，不会有影响画面质量的情况发生。

数字图像处理中的一个重要步骤就是图像的矢量化，它包含了计算机图像处理、计算机图形学、计算机视觉以及人工智能等多个领域和学科。Adobe 公司的 Illustrator，Corel 公司的 CorelDRAW 是众多矢量图形设计软件中的佼佼者。大名鼎鼎的 FlashMX 制作的动画也是矢量图形动画。图像矢量化在未来将有更加广泛的应用。

3.2 图像矢量化的一般步骤

当用扫描仪扫描纸张时，也就产生了光栅文件。随着图形学的发展，扫描矢量化软件开始不再需要人工交互操作进行工作，开始具备一定跟踪功能。通过光栅块的连接关系来进行光栅跟踪。将不连续的光栅图进行首先细化处理，便可将光栅跟踪的原理应用到实际工作中。光栅完成细化后便可以将光栅图像变成便于跟踪的图像状态。然后进行全图矢量化，接着跟踪的程序在细化处理后的光栅图像上生成一些无序的矢量线。生成一幅可以使用的矢量图，必须要经过大量的矢量线组织。图核矢量化的过程如图 3.1 所示：

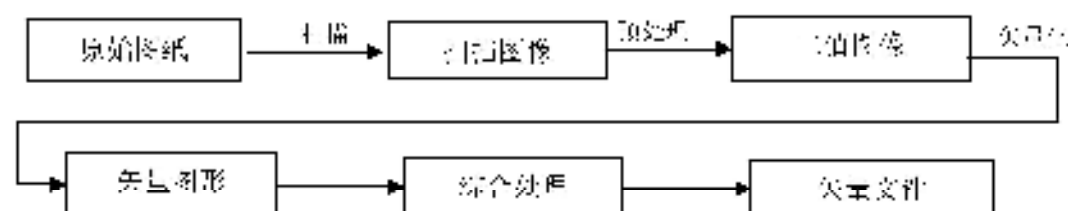


图 3.1 多幅矢量化的一般步骤

3.3 常用图像矢量化算法

所谓矢量化，即在保持相应的拓扑结构下将图像数据转化为图形。直线段和圆弧式线切割自动编程应用中最重要的几何元素之一，如何使矢量化算法成功的关键是如何快速准确的识别那些几何元素。

目前矢量化方法基本上被分为两个方面：基于细化方法和基于非细化的方法^[1]。

1) 传统的基于细化的方法主要有以下几种：边界跟踪法、距离变换法、距离骨架化方法以及基于 Thinning 变换的方法。这些细化方法的优越性体现在可以确保线段的连续性，而不足之处则是时间比较紧张，使得线宽信息损失严重，在交叉区域处容易产生变形及错误的分支。

2) 另外一种基于非细化的方法主要包括：基于轮廓线或游程的方法，基于网格模式的方法以及基于稀疏像素的方法等。其各方法特点如表 3.1 所示。

表 3.1 方法对比表

方法	特点
基于轮廓线方法	优点是保持线段的连续性并线宽信息，不足之处在于在游程图形表示过程中，可以产生畸变和引起交叉区域变形。
基于游程的方法	同上
基于网格模式的方法	由于只存储网格单元上的图像信息，所以研究问题得到相应的简化，但是网格的大小却难以控制。
基于稀疏像素的方法	能够保存线宽，并且中心轴和端点定位比较明确，矢量化所用时间少，但不针对所有的交叉区域提供正确的处理。

无论使用哪一种矢量化方法，其本质都是跟踪图像边缘，主要途径就是利用边界表达的方式。图像中亮度变化最明显的像素点聚集起来就是边缘，一般由图像亮度或判断图像亮度的一阶导数是否连续来决定。边缘检测仅仅是通过识别局部信息来决定边缘，得到图像的所有无序边缘点。相比之下，矢量化则是将图像整体作为输入，利用边缘跟踪原理，利用单幅图像的信息来判断某一个像素点是否为边缘点，按照这样的步骤得到节点的集合就是边缘集。

为方便对图形的后续处理，我们要对图像进行轮廓提取。主要方法是：在边缘检测的基础上将边缘点集，进行有序排列存储，从而得到一系列离散点数据，用这些离散点数据作为节点，用直线段或曲线进行拟合得到相应的图形。

下面从细化和非细化方面各选一些方法进行说明。

3.3.1 边界追踪法

边界重复细化算法主要是为了通过消除线体的外层像素从而不断收缩线体轮廓,就像对一个 3D 模型从外部线体向内侵蚀,直到只留下骨架线条。其反复过程就是,利用在图像上挪动一个界面,在移动的同时该界面的中心运用一套规则来标识。所有的标识点都会被删除掉在每一次扫描完后,重复进行扫描,直到可被删除的点再也没有。

谭柏珠等人采用了一种基于知识的窗口矢量化技术,实现高矢量化的效果。因为以上方法标识的界面大小是可以自动适应变化的,所以图像的骨架可以利用该方法更准确地得到,相比较常规的红化方法而言,对于交叉点的识别也要更加准确。

3.3.2 距离交换法

在有很多可行的红化算法中,给出了更加规范化的具有一定形式的骨架定义^[20]。Platz 和 Rosenfeld 定义点阵图以离散的变换的方法是:用一个白的像素与一个随机像素间的最小距离代替该随机像素,具体步骤是:首先计算图形区域解析中的函数,然后可代替相反方向解析中的函数,这样通过计算顺序的估算函数值来解决这一转换。得到距离函数的目的是为了从局部最大操作中构造中骨架。距离交换法显而易见的缺点是:在交叉点处,特别明显的骨架的不连续性。优点是:相比边界追踪法算法而言,速度相对较快。

3.3.3 适当骨架化法

适当骨架化方法由 Davies 和 Plummer 方法首先提出^[21]。这种方法集合了 Rosenfeld 的算法和边界追踪细化算法所得的骨架点的精华,然后勾到一个三四个像素构成的骨架,再进行细化最后达到一个像素宽的骨架。这种方法得到的结果比重复细化算法的结果,优点是:提高了精确度,并且能使骨架的保持一定的连续性,缺点是:计算量也相对较大。

3.3.4 基于轮廓的方法

基于轮廓线 (contour-based) 的方法^[1]在基于二值化的矢量化算法中流行比较早。因为估算中轮廓特征就是为了更有效地得到图像的有效信息, 所以轮廓匹配法就是利用图像轮廓特征进行图像的识别与处理, 如图 3.2 所示, 它的基本步骤是:

- (1) 对图像进行轮廓提取, 并对其矢量化;
- (2) 对图像做轮廓匹配, 得到图像的大体骨架;
- (3) 轮廓识别, 通过判别交叉点, 从而确定各段的拓扑关系, 从而重新建设一个图形。

形。

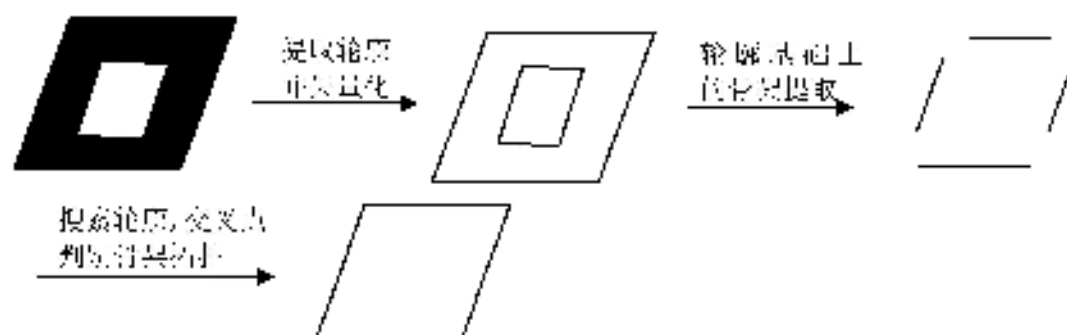


图 3.2 基于轮廓匹配法

轮廓匹配法的处理对象都是图像轮廓为单像素宽的, 对这种单像素轮廓的矢量化方法与二值化骨架的矢量化处理方法有相通之处。虽然利用轮廓匹配法所得到的结果噪声比骨架大, 导致特征的提取和分析相对更难一些, 但是轮廓法二值化后的骨架所包含的信息量更加丰富。

总之, 基于轮廓线匹配的矢量化方法本质上是首先得到图形的轮廓以此为基础对各个轮廓点进行匹配, 并且原来图形的中心线用每个轮廓点的中点来代替。优点是处理速度快, 可以保留图形的线宽信息等。缺点是图形容易分枝、对噪声敏感, 识别准确率不高。

3.3.5 基于网格模式的方法

网格模式是由 Lin 等人^[2]首先提出的, 它的应用领域是识别逻辑连接图中的特征模式, 基本步骤有以下三步:

- (1) 用预先设定好的正方形网格对图像做分割处理。

(2) 检验每个网格边界上的黑色像素，从而确定他们的分布识别特征模式。

(3) 用特征模式代替图像中的每个网格，并过分析网格的特征模式，对刚才得到的线段进行获取和跟踪。

这种方法的好处是：由于我们只考虑网格边界上的信息，而忽略网格内部的信息，所以研究问题得以简化。缺点是：如果网格太大，将使得网格内部的情况过于复杂而不好分析，相反，如果网格过小，则容易合并很相似的平行线，并且把距离很近的线错误地连接。

3.3.6 基于稀疏像素的方法

基于稀疏像素的方法可以分为以下几步：

(1) 确保中心点的跟踪方向和起始点是稳定的。当然，图像噪声和图像不确定性并不会影响起始点的选择。

(2) 确定跟踪步长后，顺着跟踪方向的轨迹进行跟踪。如果同时满足四个连续条件，就继续跟踪，并且记录中心点和宽度等信息。

(3) 如果与四个连续条件中的一个或多个不符，就要开始进行修正处理。

(4) 直线补稀：为达到数据压缩的目的，我们要选中能够反映原始图像中心的中心点，并去掉不重要的冗余点。

修正处理为：(a) 返回到最后一个中心点；(b) 将当前步长的二分之一作为新的跟踪步长；(c) 在新位置处重新检测上述连续条件，如果新的中心点与连续条件依然不相符，则跟踪步长继续取二分之一，重复进行新的中心点的测试。

3.4 基于 Hough 变换的改进的矢量化算法

考虑到实际应用的需求，和对各个算法的分析，本文采用了基于经典的改进的 Hough 变换的矢量化方法。经典的 Hough 变换是对图像中几何形状进行识别的基本图像处理方法之一，应用比较广泛，在泊车接口、工业检测定位等实际问题中起到了十分重要的作用^[10]。经典的 Hough 变换首先将图像的平面坐标作为参数坐标，并进行坐标变换，从而更容易检测和识别中变换结果。它的优点是易于并行处理，抗干扰能力强，缺点是因为有时候会检测到虚假直线，数据量十分大，导致计算量大。我们在经典 Hough

变换前,先对图像进行预处理,如灰度化,二值化,多边形提取法或者贝塞尔拟合法等。同时结合 Canny 算子,便得到了 Hough 变换的改进的矢量化算法。其中多边形提取法和贝塞尔拟合法的目的,是获得点阵的不同坐标数据,在图 3.4 中对直线的检测,使参数平面上的线对应到图像平面上的点,而参数平面中的一系列有公共交点的直线都对应于源图像的一条直线。基于这个原理,可以把检测直线转换为检测有特征特征的点,每个检测到的点,即对应图像平面上线的参数。最后直线就被检测出来了,同的检测原理与直线的检测原理大体相似。下面介绍 Hough 变换基本原理中直线方程的建立方法:

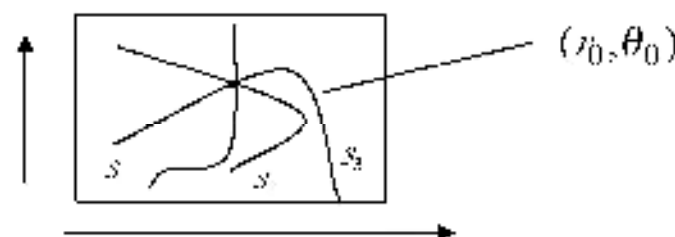
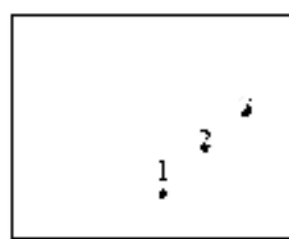
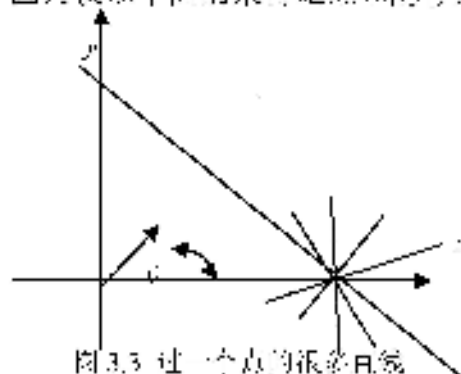
设在 $x-y$ 平面坐标系中,直线方程可描述为:

$$y = ax + b \quad (3-1)$$

用离散的极坐标表示为:

$$\rho = x_j \cos \theta_j + y_j \sin \theta_j \quad (3-2)$$

因为仅以平面的某确定点 (x_j, y_j) 无法确定一条直线,如图 3.3 所示,它们都满



足等式 (3-1), 其中 a_j 和 b_j 为常量, 它们在 $\rho-\theta$ 面上的表现为一正弦型曲线 s_j , 如图 3.5。对于一组 $x-y$ 平面上的点阵点, 如图 3.4。因为它们位于同一直线, 所以其对应于在平面 $\rho-\theta$ 上正弦曲线族 $\{s_1, s_2, s_3\}$ 将交于同一点 (ρ_0, θ_0) , 如图 3.5 所示。

3.4.1 Canny 算子

近年来在许多数字图像领域中, Canny 边缘检测算子得到了广泛应用, 其优点是能

够良好的检测和定位边缘。

高斯函数平滑后的梯度幅度的极大值点的图像边界点是 Canny 检测出最佳边缘检测算子的一个近似实现。使用 Canny 算子的计算，能得出数字图像边缘的边界的梯度方向和强度，通过对边界点的分析，得出一定的依据，每个式子的计算表达式如下式：

$$G_n = \nabla G; \quad \nabla G = \frac{\partial G}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial G}{\partial y} \hat{y}; \quad n = \frac{\nabla G * f(x, y)}{|\nabla G * f(x, y)|} \quad (3-3)$$

其中 ∇G 表示梯度向量， $\nabla G * f(x, y)$ 表示边缘的强度， n 表示边缘的方向。

由于高斯函数的分解性，把 ∇G 的两个滤波器卷积模板划分为一左一右的一维行列滤波器：

$$\frac{\partial G}{\partial x} = k \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2\tau^2}\right); \quad \frac{\partial G}{\partial y} = k \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\tau^2}\right); \quad (3-4)$$

将 (3-4) 分别与图像 $f(x, y)$ 卷积，得到：

$$E_x = \frac{\partial G}{\partial x} * f(x, y); \quad E_y = \frac{\partial G}{\partial y} * f(x, y) \quad (3-5)$$

$$A(x, y) = \sqrt{E_x^2(x, y) + E_y^2(x, y)}; \quad \alpha(x, y) = \arctan \left[\frac{E_y(x, y)}{E_x(x, y)} \right] \quad (3-6)$$

$A(x, y)$ 是图像上 (x, y) 点处的边界强度， $\alpha(x, y)$ 是该点 (x, y) 点处的法向向量（边界方向正交）。如果认为一个像素是图像的边界处，那么这个像素应该符合以下三条要求：（1）倘若该点梯度方向的一对邻近像素点的边界强度不大于该点的边界强度；（2）和该点梯度方向上此邻两点的方向差小于 45° ；（3）任意一个像素不小于以该点为核心的 3×3 空间中的边界强度极大值。（1）和（2）的功能是清除备选边界点中梯度方向上的两个邻近像素，（3）的功能是解除失实的边界点。

3.4.2 多边形提取法

图像矢量化中的多边形提取方法：首先对图像进行颜色量化，然后进行中值滤波，最后进行区域跟踪。输入图像的颜色函数首先量化到一个较小数值，这个数通常是 2 至 20 之间。矢量量化的图像通常包含一个较低小颜色数值。如果含有较高颜色数值，一般都不会有用，除非这个颜色能被简单的数学模型所描述。实际上，量化的过程只关

心均匀彩色形式的提取。在色彩还原之后，将对结果的图像进行中值滤波，以移除小的颜色部分。

颜色量化后，图像被分成一些二进制图像（一种颜色一个），然后在二进制图像上进行区域跟踪，构造出画线的每个形状的顺序坐标。之后，再用不同的频率进行数据采样，采样的最佳位置很大一部分是依赖于原始图像的分辨率和复杂性。如果说用的采样频率太低，多边形将被扭曲，如果采样频率过高，多边形将被由组成的图像所占据（如像素本身的形状）。被用作多边形的顶点的百分比，可以由用户的应用程序指定，通过实验和试错也可容易地获得最佳的百分比。

已提取的颜色多边形的数据现在是足以产生矢量化图像，对于直线组成的效果非常好，当包含曲线时产生的图像效果就不是很好。

3.4.3 贝塞尔曲线拟合法

二次贝塞尔曲线拟合法用于直线轨迹的图像的效果非常好，大部分的格式都在使用贝塞尔路径法，其中每条直线是贝塞尔曲线的一个子集。

对数学的数学研究范式中，在计算机图形学中，贝塞尔曲线（Bézier 曲线）是具有重要地位的。多维度的贝塞尔曲线又被称为贝塞尔曲面。贝塞尔曲线最开始由 Pierre de Casteljau 在 1959 年结合 deCasteljau 算法提出来的，利用稳定数值的方法绘制出贝塞尔曲线。

在几何中，beziorgon 是一段封闭的曲线，是由贝塞尔曲线组成的一个闭合的路径，类似多边形，它由线连接一组顶点。也在多边形的顶点用直线连接，在贝塞尔曲线的顶点用贝塞尔曲线连接。如图 3.6 所示。



图 3.6 由贝塞尔曲线组成的闭合路径

贝塞尔曲线的基本数学原理：

贝塞尔曲线分为：①线性贝塞尔曲线即一次方贝塞尔曲线②二次方贝塞尔曲线③三次方贝塞尔曲线④一般化（四次或者更高的贝塞尔曲线）

类似于数学中的函数特性，三次方贝塞尔曲线中，四点就可以构成一条三次方曲线，其基本原理是由曲线逼近控制点 P_0, P_1, P_2, P_3 所构成的四边形，这样就能够表达简单的形状，如图 3.7 所示。

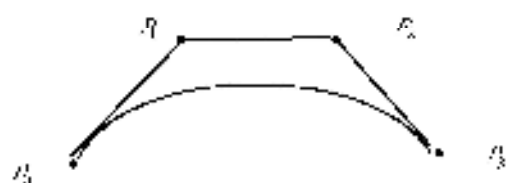


图 3.7 三次贝塞尔

函数

三次方贝塞尔曲线公式如 (3-3) 所示。三次方贝塞尔曲线的概念是 P_0, P_1, P_2, P_3 四个点在平面上或在三维空间中， P_0 和 P_3 是该曲线的出发点和终止点，曲线最初在 P_0 趋向 P_1 ，再从 P_2 的方向到 P_3 ，通常不会通过 P_1 或者 P_2 ，故称 P_1 或 P_2 为曲线的控制点（控制曲线形状），这两个点仅仅是在那里供应方向消息。 P_0 和 P_1 两点间的距离，确定了曲线在即将趋近 P_0 之前，走向 P_1 方向的“距离有多远”。 t 是在 0 和 1 之间， t_{off} 代表插入点的指数， P_1 和 P_2 需要在拟合前确定。

$$q(t) = (1-t)^3 P_0 + 3t(1-t)^2 P_1 + 3t^2(1-t) P_2 + t^3 P_3 \quad (3-7)$$

P_1 和 P_2 可以使用最小二乘法拟合，在 (3-8) 式中最大限度地减少 S ，其中 p_i 是实际数据值。

$$S = \sum_{i=1}^n [p_i - q(t_i)]^2 \quad (3-8)$$

这样通过求解 (3-9) 和 (3-10) 可得到 P_1 和 P_2 ：

$$\frac{\partial S}{\partial P_1} = 0 \quad (3-9)$$

$$\frac{\partial S}{\partial P_2} = 0 \quad (3-10)$$

建立一个贝塞尔函数要求每一个多边形所有部分的贝塞尔函数拟合，部分的贝塞尔拟合方法如下：

(1) 拟合曲线是可能地拟合多边形的大部分，直到最小的 S 值大于输入的平方误差阈值。

(2) 保存这条拟合曲线，同时从它的终点开始一条新的拟合曲线，重复步骤(1)来拟合新的部分。

(3) 当所有的多边形拟合完后停止。

3.4.4 SVG 图像输出

为了完成矢量化过程，必须输出已经矢量化的图像。我们使用SVG2.0格式（可缩放格式的矢量图形）输出。因为该格式是开放的，所以能够在任何一个简单的文本处理器中被广泛使用和编辑。而SVG 1.1标准基于XML的，同时由万维网联盟维护^[3]。三次贝塞尔路径和填充颜色都输出到一个到SVG文件。

3.5 本章小结

本章介绍了矢量化的产生及图像矢量化的一般步骤，详细介绍了边界追踪法、直交变换法、适当骨架化法、基于Hough变换的方法、基于形状的方法、基于稀疏像素的方法等经常使用图像矢量化的习惯算法。说明了基于稀疏像素的方法工作步骤，通过对比各个算法的优缺点，得出适合本文的算法——基于Hough变换改进的方法，即在经典的Hough变换之前，先对图像进行预处理，如多边形提取，或者三次贝塞尔拟合来求得轮廓的数据等。

第四章 图像矢量化实现

本章通过深入研究矢量化的相关方法，实现了图像矢量化方法。在本章对使用 Hough 变换法的图像矢量化各模块的进行介绍，并对矢量化的效果进行了分析。

4.1 图像矢量化

4.1.1 软件需求分析

图像数字化要实现的基本功能包括：输入扫描的图片或者图像；得到点阵的图像；图像平滑；图像的二值化；区域跟踪；数据采样。

根据以上分析可画出图形矢量化模块的数据流图，多边形提取法的数据流图如图 4.1 所示，贝塞尔拟合法的数据流图与其类似。图中方框的内容为数据流，通过数据流图可以清晰地看出图像矢量化的全过程。为了使数据更具有说服力，我们用不同的频率进行采样。

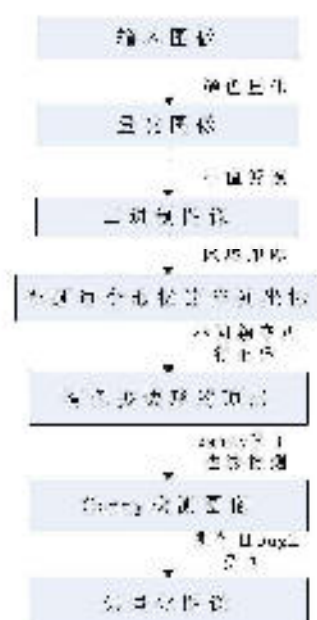


图 4.1 矢量化数据流图

4.1.2 系统的软件设计

按型确定完成之后，下一步就是系统设计了。对图形矢量化后的数据，使用 Matlab 编程，编制了一个矢量化的软件，其界面如图 4.2 所示。其界面右边有：颜色量化级：顶点的百分比；最大均方误差；矢量化模式（多边形矢量化，贝塞尔矢量化）。

其中颜色量化级设置的程序如下：

```
%设定使用的颜色量化级
function num Colors Call back(h Object, event data, handles)
global num Colors;
num = str2double( get( h Object, 'String' ) );
if is nan( num ) || ~is real( num )
    %恢复原来的值
    set( h Object, 'String', num Colors );
else
    num Colors = num;
    set( h Object, 'String', num Colors );
end
% 更新窗口标题
guidata( h Object, handles );
```

其中设定顶点的百分比的程序如下：

```
%设定顶点的百分比
function vertex Percentage Call back(h Object, event data, handles)
global vertex Percent;
v = str2double( get( h Object, 'String' ) );
if is nan( v ) || ~is real( v )
    %恢复原来的值
    set( h Object, 'String', vertex Percent );
else
    vertex Percent = v;
    set( h Object, 'String', vertex Percent );
end
% 更新窗口标题
guidata( h Object, handles );
```

设定最大均方误差程序如下：

```
%设定最大误差
```

```
function maxErrorCallback(hObject,eventdata,handles)
global maxSquareError;
e = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(e) || ~isreal(e)
    //恢复最初的值
    set(hObject,'String',maxSquareError);
else
    maxSquareError = e;
    set(hObject,'String',maxSquareError);
end
// 更新索引结构
guidata(hObject,handles);
```

4.2 图像矢量化中的应用与效果分析

4.2.1 多边形提取—

以栅格球体为例，这一次设置的参数的是 5 色量化，顶点的轨迹比为 10%，最大平均误差为 5%，使用多边形提取法矢量化。得到输入球体的界面如图 4.2：

设定好参数以后，点击 Vectorize，便可得到 5 色的球体的矢量化图，如图 4.3 所示。

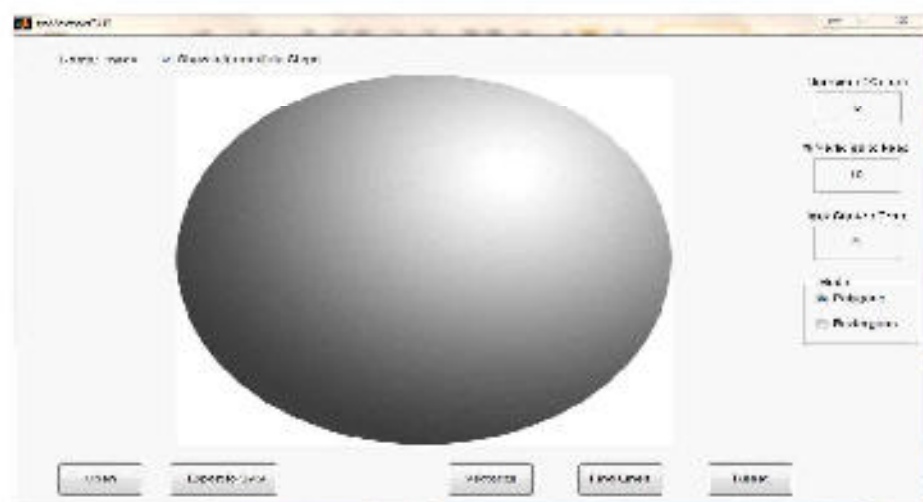


图 4.2 多边形提取法球体数据输入时界面

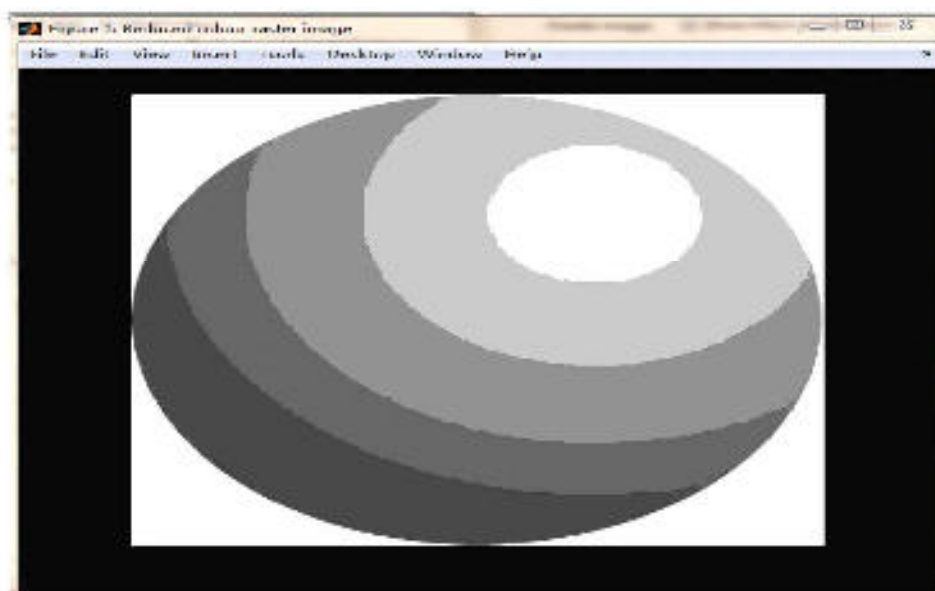


图 4.3 灰色量化的球体的多边形表示法矢量化图

同样的参数设定，我们对彩色的五角星采用多边形提取法得到矢量化图，输入数据如图 4.4 所示，输出数据如图 4.5 所示。

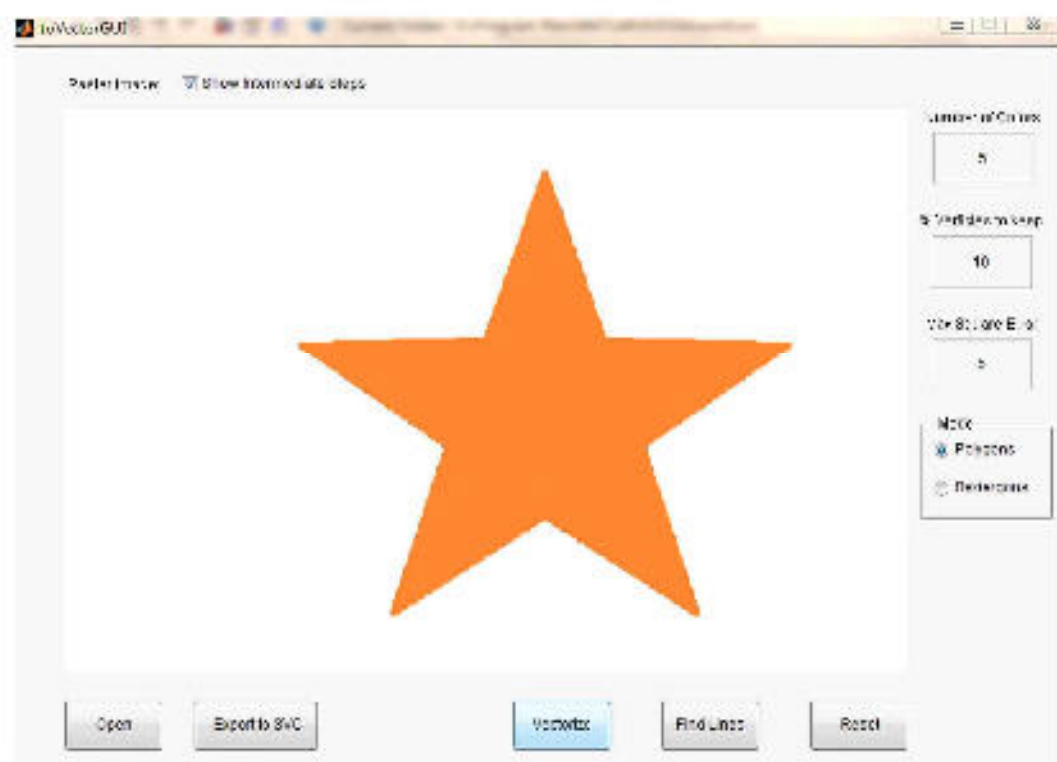


图 4.4 多边形提取法交互呈数据输入时界面

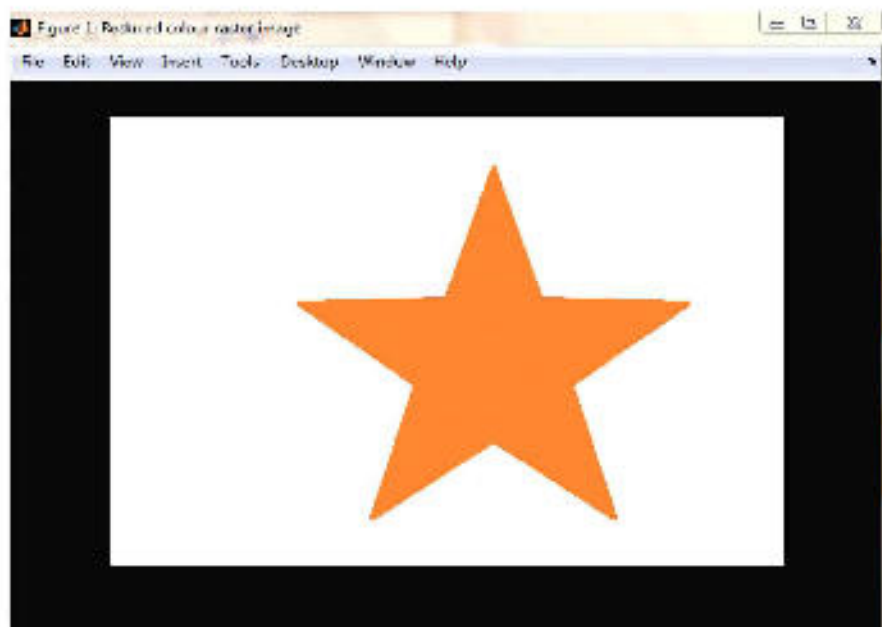


图 4.5 多边形提取法五角星矢量化图

如图 4.3 和 4.5 图所示，自由线组成的球体的多边形提取法，失真现象较为明显，效果相对不好，而由直线组成的五角星的多边形提取法的矢量化时，几乎没有失真现象，效果较好。

4.2.2 贝塞尔矢量化

这次以一个人的头颅的草图为例，同样的设定的参数的是 5 色量化，顶点的快速比为 10%，最大均方差为 5%，但使用的是贝塞尔矢量化。勾划输入头颅草图的外面如图 4.6。设定好参数以后，点击 Vectorize，便可得到 5 色的球体的头颅矢量化图，如图 4.7 所示。图 4.8 是在人体头颅上正在进行三次贝塞尔拟合时。

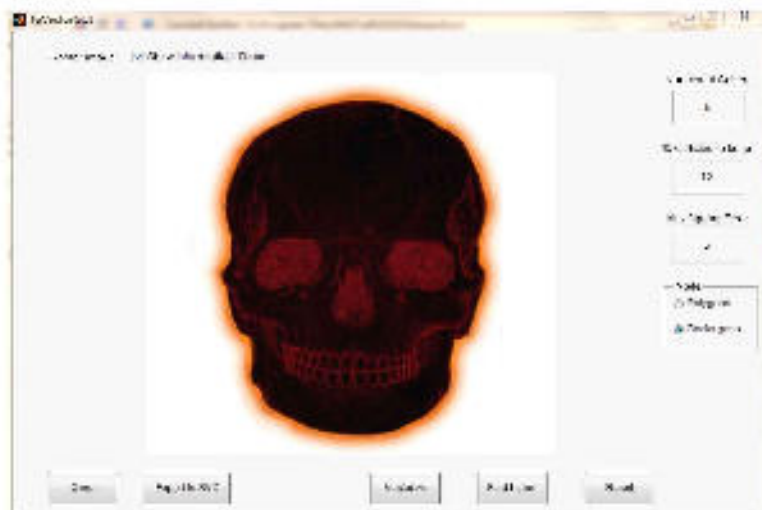


图 4.6 人体头颅贝塞尔拟合输出界面

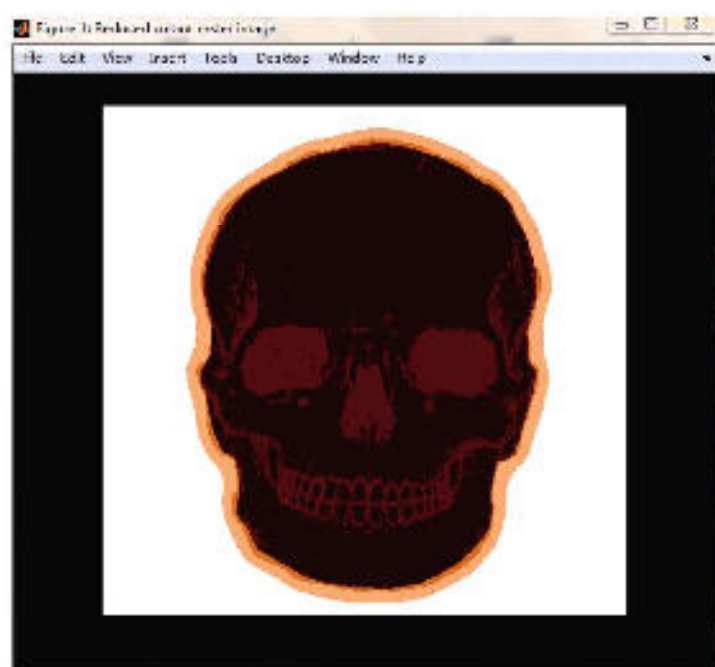


图 4.7 人体头, 贝塞尔拟合法输出图

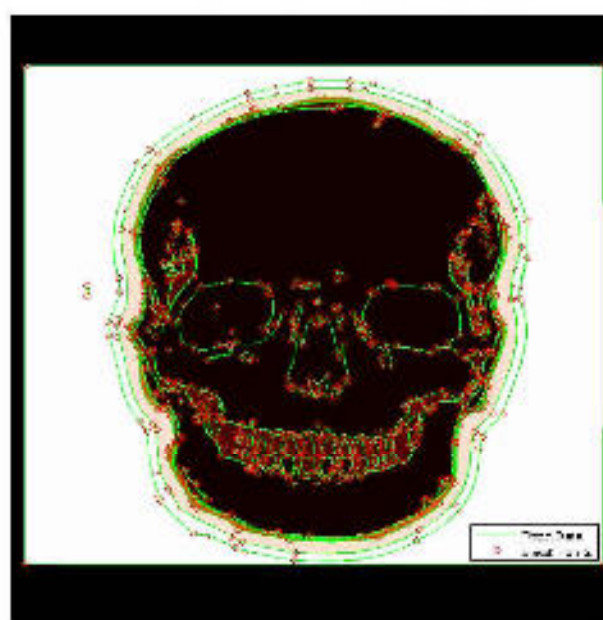


图 4.8 已进行的人体头贝塞尔拟合法

4.3 多边形提取法与贝塞尔矢量化对比

采用了上式算法进行了实验。图 4.9 和 4.10 是表示多边形矢量化和贝塞尔矢量化不同方法矢量化字母“D”的部分结果。

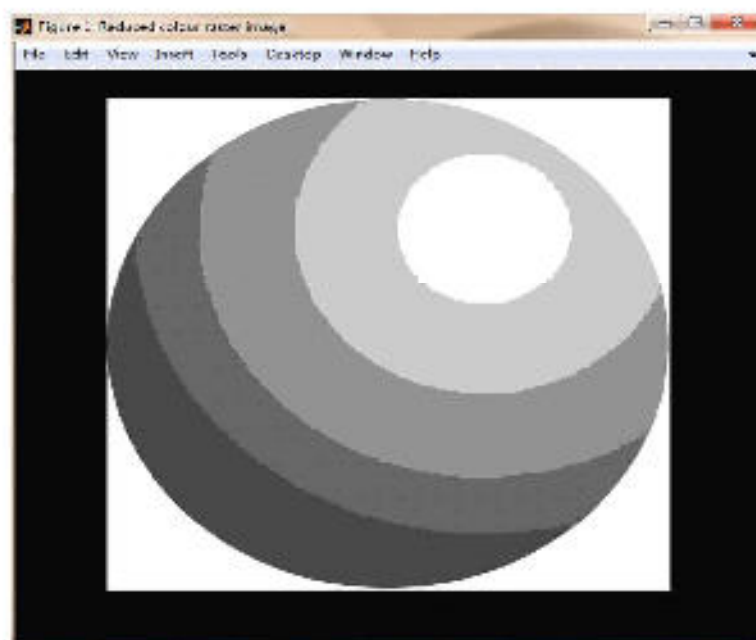
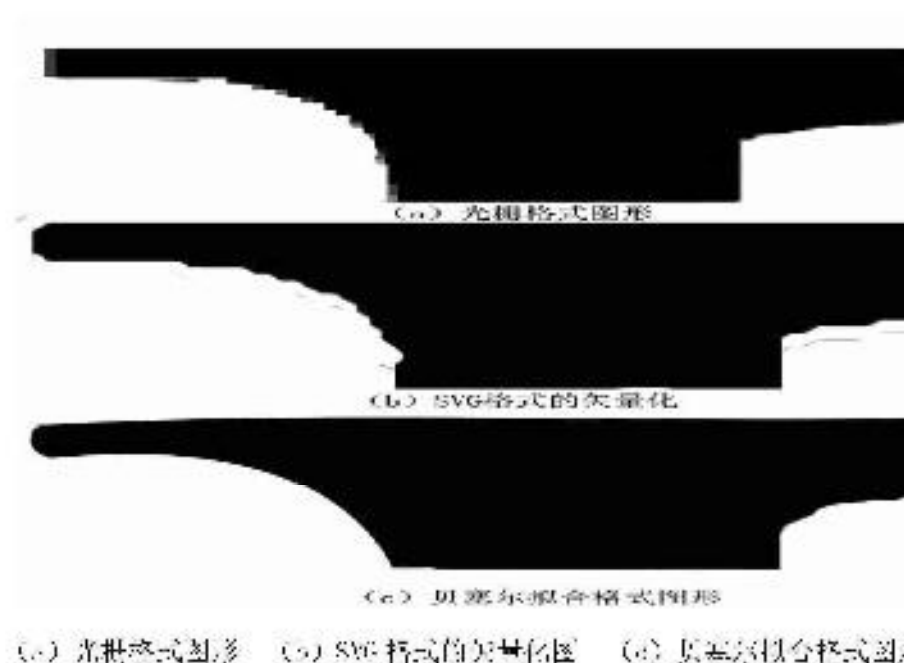


图 4.10 五色量化的彩色图形取值的矢量化



(a) 光栅格式图形 (b) SVG 格式的矢量化图 (c) 贝塞尔拟合格式图形

图 4.11 字符“D”的对比效果

如图所示，当栅格字母“D”放大后出现了较大的锯齿现象，用贝塞尔矢量化和多边形矢量化明显地减少了锯齿的现象，其中贝塞尔矢量化的效果更好，几乎没有锯齿现象的出现。达到了当初软件设计的目的。

4.4 本章小结

本章首先对基于改进的 Hough 变换的数据流式做了详细的说明，并针对开发环境和设计原则做了简要的叙述。分别对多边形提取法和贝塞尔拟合法进行了应用，并做了对比试验，多边形提取法对由直线组成的效果较好，而贝塞尔拟合法对曲线组成的效果较好。

第五章 总结与展望

5.1 全文总结

本文主要实现了基于 Hough 变换的改进的矢量化算法，其中分别采用了多边形提取法和贝塞尔曲线拟合法进行多边形的轮廓提取。

论文首先阐述了国内外矢量化的研究与发展现状，对图像预处理，其中重要的图像的数字化，数字化中重要的阈值分割，图像的复原，图像的增强，图像的几何变化局以及图像的平移等步骤做了较为详细的说明，为图像的矢量化的进行做好了铺垫。

对于图像矢量化的一般步骤做了简要的叙述，同时对图像矢量化的不同算法进行了详细的叙述和对比，图像矢量化的方法大致分为基于细化方法和基于扫描化的方法，细化方法有：边界跟踪法、距离变换法等；扫描化的方法有：基于轮廓线的方法，基于游码的方法等。

在各种图像矢量化的方法中，找到了比较适合本课题的图像矢量化方法，即基于 Hough 的变换方法，同时对其算法进行改进，加入了图像矢量化 Carry 边缘检测算子，将两者结合使用，即可以抗噪，又可以将一些不连续边缘检测出来。再者对涉及的多边形提取法和三次贝塞尔拟合法关键技术进行了探讨。

在具体的软件设计过程中，结合面向对象的设计方法，采用 Matlab 编程，对基于改进的 Hough 算法的数据流程做了详细的说明，分别对多边形提取法和贝塞尔拟合法进行了应用，并进行了结果对比。

矢量化软件对于彩色图和草图效果很好，多边形提取法对直线组成的效果较好，对曲线组成的图像的效果就不是那么的好，而贝塞尔拟合法对于曲线组成的图像的效果也一样较好，矢量化设置阈值的大小对矢量化的效果起到了关键的作用，矢量化后文件大小大大地减小了。其中，在进行 Hough 变换之前首先使用 Carry 算子进行边缘检测是本文的主要创新点。

论文中对该算法进行了实验分析，结果表明，该方法可以将一些图像有效地转换为对应的矢量化图形，减少了存储空间。另外，在经典的 Hough 变换之前，先对图像进行预处理，所得到的效果更好。

5.2 未来工作展望

本文的矢量化方法还存在很多问题 and 不足，例如：灰度图像的二值化处理阈值的选择对 Hough 变换的效果有很大影响；另外，在 Hough 变换之前首先使用 Canny 算法进行边缘检测，从而得到一个代表图形边缘的二值图像，为后续工作中利用 Hough 变换检测对应的图形做准备，因此 Canny 检测也会影响图形检测效果。以后拟对边缘检测等预处理方法进行改进，以保证尽量降低有效边缘的丢失，又减少误检边缘。

为了确保多边形角落的点能够被采样到，可采用角点采样法，来改进多边形的提取，从而提高矢量化的效果，同时可以使用更少的点来跟踪多边形。

此外，在矢量化其他的图像，如圆，矩形等时，可使用其它不同宽度的线。这将使得，如果图形存在于图像之中，它们将一最大的矢量化误差矢量化。

以上都是本文下一步要做的主要工作。

参考文献

- [1] 马建威. 工程设计中 CAD 技术的普及与推广[J]. 工程设计 CAD 及自动化, 1993, 3: 6-8.
- [2] 沈立, 张晨霞. 黑白图像的矢量化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 3: 170-173.
- [3] 邵维忠, 汤英浩. 面向对象的分析[M]. 清华大学出版社, 北京, 2000.
- [4] 葛方勇, 白元荣等. 线场割加工软件中的图像矢量化辅助系统[J]. 工程图学学报, 2005, 3: 23-28.
- [5] 秦强, 李景兰, 李宗宽. 刺绣图案中直线和圆弧的矢量化研究[J]. 微计算机信息, 2006, 23(5-3): 200-201.
- [6] 宋晓宇, 王永会. 工程图自动矢量化算法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2003(3): 41-43.
- [7] 叶邦彦, 顾柏, 李燕鸣, 等. 基于交叉点提取的工程图矢量化方法研究[J]. 华南理工大学学报, 2000, 8: 100-150.
- [8] 江早. 工程图扫描识别技术现状和发展[M]. 东北大学软件技术研究中心, 1992.
- [9] 吴景湛等. 中国计算机智能接口与智能应用前沿研究[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [10] 顾学阶. 基于线阵轮廓匹配的图形识别算法研究[J]. 华中理工大学学报, 1997, 25: 34-37.
- [11] 朱建新, 周济等. 基于轮廓匹配法的图形矢量化研究[J]. 电工学研究, 1994, 12: 123-126.
- [12] 陈月林等. 基于直率的轮廓精确分段技术[J]. 华中理工大学学报, 1995, 6: 20-23.
- [13] 曹上海, 郑全战, 徐斌. 图像格式结构指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [14] 曹毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [15] 张鹏远, 董海, 周文灵. 计算机图像处理技术基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1996.
- [16] 董金. 图像形态学[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991.
- [17] 张昊, 徐刚. 基于四邻域的二值图像细化算法[J]. 信息技术与信息化, 2004, 6: 25-27.
- [18] 叶芝芸. 文本图像的灰度二值化方法[J]. 红外与毫米波学报, 1997, 16: 344-350.
- [19] Tamnar Pelt, JeeS Lim Adaptive Adaptive filtering for image enhancement[J]. Optical Engineering, 1982, 21(1): 108-112.
- [20] H. PegeMcAdmas, G. AllnaJohnson, S. A. Suddarth, C. E. Rvain. Implementation of adaptive filtration for digital chest imgang[J]. Optical Engineering, 1987, 26(7): 669-673.
- [21] PhaiioG. Talloes, JoseCorrea, MiugelSuato, CanllenGonzalez Enhancement of chest and breast radiographs by automatic spatial filtering[J]. IEEE trans on Medical IMaging, 1991, 10(1): 330-335.
- [22] Haiguang Chen, Andrew Li, Leon Kaufman, etc. A fast filtering algorithm for image

- enhancement [J].IEEE Trans on Medical Imaging, 1997, 13(3):557-564.
- [23] 王雍南,李树涛,毛廷加.计算机图像处理与识别技术[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [24] ONG SEN LEE. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics [J].IEEE Trans on Pattern Anal and Machine Intel,1980,PAMI-2(2):165-168
- [25] D.T.Poll,R.Cormarie,E.D.Pisano, etc., Evaluation and optimization of contrast enhancement methods of medical images[J]. SPIE, 1992, 18(1): 336-345.
- [26] 洪卫坚. 图像增强的自适应直方图修正算法研究及其应用[D]. 重庆:重庆大学,2002.
- [27] 朱菊华,杨新,李俊,熊鹏飞.基于纹理分析的保细节平滑滤波器[J].中国图形图像学报,2001,6(11).
- [28] 刘忠仁,孙圣和.基于模糊神经网络的脉冲噪声滤波器[J].中国图形图像学报,2001,6(4)
- [29] 王槐林,刘明华.物流管理学[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- [30] 基于直方图修正的图像增强技术[J].广东公安科技,2002,74(2).
- [31] 陈少卿,吴朝晖,程敬之.甘井湾 X 光片的多分线特征增强[J].西安交通大学学报,1999.
- [32] 兰汉丽.基于小波变换的图像增强方法研究[D].郑州纺织工学院学报,1999.
- [33] 郑晓慧.图案加工快速视觉测量算法研究及系统实现[D].广东工业大学,2007.
- [34] 张旗,卢卫阳.图形矢量化中直线拟合与合并算法[J].现代电子技术,2002,3:19-21.
- [35] R.W.Smith.Computer Processing of Line Images: A Survey[J]. 1988,20(1): 7-15
- [36] Lin, Shimotsuji, Minoh,T.Sakai. Efficient Diagram Understanding with Characteristic Pattern Detection[J].Computer Vision,Graphics and Image Processing,1985,3(6):84-106.
- [37] Yin Peng-ye. A new circle/ellipse detector using genetic algorithms[J].Pattern Recognition letters,1999,20(7): 731-740.
- [38] 王斌,舒华忠,施卫健,罗利民.一种基于轮廓线的形状描述与匹配方法[J].电子与信息学报,2008,4: 25-28
- [39] 陈燕龙,祝成虎.基于 Canny 算子的边缘检测改进算法[J].计算机应用与软件,2012,5: 51-52

致 谢

在论文的完成时候，首先要感谢我的导师郭晓新副教授，论文是在他的全面指导下完成的。论文从选题、研究、撰写、修改直至定稿都无不计算着他的帮助，对此表达由衷的感谢。

感谢关心我的亲友，感谢他们多年来对我生活上、精神上的支持和鼓励。

再次对给予我关心和帮助的老师、亲友和同学表示衷心的感谢！