

## 基于数字图像技术的织物组织分析方法的研究

### 摘要

随着国际纺织业竞争的加剧，我国企业必须提高纺织品质量和档次方能在激烈的竞争中取胜。纺织面料是纺织品内在品质的反应，纺织面料的分析和仿样设计是提高面料品质的一项重要的措施。目前在纺织行业中，织物面料的分析与识别主要还是凭经验或借助专业工具来完成。这种由专家人工进行织物面料组织结构参数的分析和提取的方法虽然具有权威性，但是操作要求高、不易掌握。同时分析与识别的时间周期也相对较长，而且分析过程单调而乏味。因此，迫切需要寻找一种新的、更好的织物组织分析方法来代替现有方法。

数字图像处理和人工智能技术的快速发展和应用，在很多领域大大减少了人们的工作量，提高了工作效率并缩短了生产周期，从而提高了工作和产品的质量。织物分析方面也需要利用计算机技术来帮助人们改进生产效率和质量。因此，有必要研制更先进的算法和技术路线，以代替人工对物面料的纱线参数、组织结构等进行有效地自动识别与分析。

本文研究了利用数字图像处理技术对织物面料进行自动提取分析参数和识别组织结构的方法，提出了自动识别织物面料组织结构的流程与技术路线。首先，利用带有透射光源的 CCD 摄像机和连续变倍体视显微镜采集高质量的织物透射图片，以利用其透射图像的组织点易于分离的特点。在图像预处理阶段选用了直方图变换方法增强图像对比度，并运用多次的维纳滤波方法去除织物表面的噪声，获得一个边缘清晰、噪音较少、易于分割的图片。

本文提出一种组织点识别方法，采用目前可靠性比较高的人工识别原理进行组织点分析。对于外形完整且具有周边组织点信息的组织点，通过与周边组织点宽高度信息进行比较来判定组织点性质；对位于图像边缘的残缺组织点，利用组织点同线排列规律来推断其性质；对于经纬纱密的计算，利用织物图像尺寸放大倍数与像素点宽度之间的关系间接

计算经纬密度。

在具体技术路线的实现上，本文通过对不同的图像分割方法具体提出了两种处理过程方案。对于简单三原组织采用利用织物的反射图像进行基于亮度投影的分割方法，并针对其分割后组织点的特点设计了一系列的分析步骤，并通过实验验证取得很好的识别效果。对于相对复杂的织物图像，本文提出一种基于形态分水岭的分割方法，分割前期处理方面采用了形态学梯度重建的方法，对局部极值进行切削达到每个组织点都只有一个局部极值的目的，以避免后期的组织点分割中过分割的现象。接下来采用分水岭的图像分割方法对组织点进行了分割，分割后的组织点区域正确且很好的保持了原有形状和大小。然后采用上述的组织点性质判定方法和纱密计算方法进行分析。因为采用了相对通用的分割方法，此方法对非高密单层织物有相对更宽的使用范围。

本论文所提出的上述技术路线和算法，具有一定的理论意义和较大的参考价值，特别在对织物点分割和组织结构的识别上具有一定的创新性，即使对于较为复杂的变化组织，也具有很好的识别效果，具有进一步研究的价值。

**关键词：**织物组织，亮度投影，数学形态学，分水岭分割，经纬纱密度，组织图

---

## RESEARCH OF WEAVE STRUCTURE ANALYSIS METHOD BASED ON DIGITAL IMAGE TECHNIQUE

### Abstract

As the textile industry competition intensifies internationally, we must improve the quality and upgrade the levels of textiles so as to win in these fierce competitions. Textile fabric is an inherent quality of textile goods. And the analysis of textile fabrics and imitation of the sample design is an important measure for improving the quality of fabrics. At present in the textile industry, the fabric analysis and identification mainly depends on manual operation with experiences or the professional tools. This manual way of fabric structure analysis and parameter extraction by experts, although authoritative, but needs high operating requirements and is not easy to master either, let alone the tedious and monotonous working period. Therefore, it is urgent to develop new better technical lines and algorithms for analyzing and recognizing parameters automatically to replace the work nowadays.

The development and application of digital image processing and artificial intelligence in many areas has greatly alleviated the workload and improved the efficiency of work to shorten the production cycle and enhanced the work and the quality of the product as a result. So fabric analysis also needs to use computer technology to help people to complete the work. Therefore, it is necessary to find much more advanced ways to recognize the yarn parameters and analyze the organizational structure of the fabric automatically instead of manually.

This paper, on basis of study on digital image processing technology of automatically extracting and analyzing fabrics parameter, finds out its own working flow and technical lines to accomplish this job automatically and effectively.

The first step is the acquisition of high-quality transmission of fabric picture with a CCD camera and transmission source of continuous variable zoom stereomicroscope. For the characteristics of the organization points in

---

this transmission image is easy to separate. In the image preprocessing stage we choose the index histogram transform method to extend high gray value, and use Gaussian filter to remove fabric surface noise, such as hairiness, so as to facilitate the follow-up work.

This paper presents a new method to identify the characteristics of textile interlacing point, that is the artificial identification method, which is nowadays considered as a better way to analyze the characteristics textile interlacing point with more reliability. Firstly, as to the whole points containing information of its neighbors', the characteristics is identified by comparing the characteristics between the point and those around it. Secondly, for the incomplete points, the already known pattern is applied to infer the characteristics of this kind of points. And finally, the latitude and longitude density of the fabric is indirectly calculated by taking the advantage of the relationship between the fabric image magnification size and pixel width.

According to the different image segmentation methods, two different specific schemes are proposed in this paper. The first one is for the simple elementary weave. And the segmentation method that is to analyze the brightness projection on the basis of the fabric reflection image is applied. Then a series of analysis steps are designed based upon the after segmentation nature of the points. Also the experimental verifications have shown good identification results. The second is about the relatively complex fabric images and a form of watershed segmentation method is introduced. In the earlier segmentation stage of this part, the morphologically gradient reconstruction method is adopted to cut the local extreme value so that each point with only one extremum, which can also avoid the over-segmentation phenomenon in the latter period of segmentation. Then the following step is to segment the structure points by means of watershed image segmentation method. And the segmented point regions are correct and remain the original shape the size. In the end, the identification and the fabric density calculation methods mentioned above are used for further analysis. Due to the adoption of the relatively common segmentation method, this scheme can gain better identification outcomes for various fabrics.

---

The algorithms and technique lines provided above have certain theoretical value and worthiness for reference, especially the pattern draft recognition method has some innovation in this field. Even for more complicated derivative weave fabric, it also has a good recognition result. The color and weave effect recognition method is also useful and practical. In a word, the method discussed in this article is valuable for popularizing in our practical working field.

Wang Changjun (Mechanical Design & Theory)

Supervised by Ye Guoming

**KEY WORDS:** Weave pattern, Brightness projection, Mathematics Morphology, Watershed segmentation, Warp and weft densities

---

## 东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，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及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并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：

日期：2008年3月12日

## 东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ，在 \_\_\_\_\_ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 。

学位论文作者签名：王长军

指导教师签名：叶国强

日期：2008年3月12日

日期：2008年3月14日

## 第一章 绪论

### 1.1 课题研究的目的及意义

现今数字图像技术发展的日渐成熟，其在各领域的应用产生了很好的效果，也引起了纺织行业内的极大关注。数字图像技术日益广泛的应用为这个传统行业带来了新的活力，并从根本上改变了纺织品设计与生产的落后局面。将基于数字图像技术的计算机辅助设计 CAD(Compute Assisted Design)技术应用于产品设计、工艺设计、仿真模拟等领域，能够有效地缩短产品开发周期，降低成本消耗。与纺织品设计相关的 CAD 系统涉及机织物、针织物、印染、服装以及刺绣等许多领域<sup>[1]</sup>。近年来，随着市场需求的快速发展，机织物的 CAD 相关技术研究与应用也在不断地完善、拓展与提高。

数字图像处理在纺织测试分析中的另一个重要应用就是织物组织结构的分析，即通过分析织物外观来识别织物的组织规律，并从中提取结构参数。目前在纺织行业中，织物面料的分析与识别主要还是靠人工借助放大镜、照布镜或织物密度分析镜等工具凭经验来完成<sup>[2]</sup>。这种方式操作要求高、不易掌握、要求操作人员有很好的专业知识和经验，而这些都需要专门的训练才能达到的。同时织物分析与识别在熟练之后就是花大量时间进行机械操作的工作，时间周期长且分析过程单调而乏味，还存在不可避免的人工误差<sup>[3]</sup>。因此研制新的方法与系统，以代替人工有效地自动检测和分析各种织物面料的类别、纱线参数、组织编织结构等将有很重要的意义。

首先采用数字图像技术可以对各种织物面料类别及组织结构作正确的识别与分析，能为面料设计、借鉴、创新、仿造提供有价值的科学依据与技术资料。而现有的织物面料识别技术大都基于个别的织物面料进行特征提取与识别，这些技术与方法的运用在理论与实际应用中取得了一定的成果，但从已有系统的功能、适应性和正确性上来看，还有不少可改进之处<sup>[4]</sup>。

其次，纺织产业的生产必须以市场为中心，为了开发出更加适应市场需求的新产品，就需要对国内外既有织物进行研究、再创新，对织物及其组织进行有效识别与分析是其中一个非常重要的环节。基于图像技术的织物面料参数分析以及组织结构的自动识别与研究也为学习他人的优秀创意设计提供了技术支持。对已生产的织物进行仿造或改进，就必须进行织物分析，从而掌握织物的组织结构特点和上机技术条件等资料，这对于我国学习国外先进的面料设计技术，生产出适合国内外市场的纺织产品具有很重要的意义。

隨着市場經濟的曰漸成熟，紡織行業的競爭越來越激烈。用戶對由紡織品的外觀、功能、價格等構成的性價比也有着曰漸嚴格和提高的要求。並且紡織品市場也由賣方市場轉為買方市場，全球化市場的競爭加劇，小批量、多品種、快交貨促使縮短紡織品的設計周期，以便快速設計出滿足消費者需求的產品。面料識別與分析的智能化將進一步提高面料分析、設計與生產的自動化水平，從而加快面料設計生產步伐，緊跟國際面料設計的最新潮流，增強企業及產品的競爭力<sup>[5]</sup>。

綜上所述，織物面料參數和組織結構的自動識別研究對於紡織及面料行業的產品生產、設計創意、仿造及企業競爭力的提升具有重要意义。從國內外已取得的研究成果及目前相關理論與技術的發展趨勢看，用計算機來識別與分析紡織面料是一個可行的構想，但目前的研究還處於比較單一、片面的領域，不能完全滿足紡織分析中的各个方面要求。在有些方面還受到紡織品特有性質的制約，仍需研究探索新的技術、方法與解決途徑。因此，要使設計開發的織物面料智能識別算法與系統具有很好的適應性與正確性還有許多應用理論與關鍵技術有待進一步深入研究。

## 1.2 國內外相關研究

關於織物組織結構分析的研究始於二十世紀八十年代中期的日本<sup>[6][7]</sup>，經歷了由光學分析到數字分析的圖像處理過程。在這二十多年里，國內外的許多學者對基於圖像處理技術的織物組織分析進行了大量的研究，探索出一系列的技術路線，取得了不少的技術成果。

現存的織物組織結構分析與研究方法按織物分析研究的技術路線大致可分為：1.直對圖像的灰度值進行計算；2.通過快速傅立葉變換(FFT)轉換到頻域後再進行分析計算；3.利用小波分析方法；4.一些結合特殊理論的方法。

### 1.2.1 基於圖像灰度分布分析法

在數字圖像處理中，圖像是一種灰度值在二維空間的分布變化，織物圖像灰度值的變化反映了織物的表面形態信息，對圖像灰度值直接進行計算，可以獲得物体的相關信息。現在常用的方法有自相關函數、灰度共生矩陣等。

Huang C.等直接利用織物的掃描圖像來獲得結構參數<sup>[8]</sup>。先分別計算圖像各行、各列的灰度值，由其極值位置來判別織物經緯紗線的位置，並換算為織物的密度。然後由浮線的長寬關係判別交織點的類型。最後，通過比較尋找完全相同的行(列)來確定織物組織的經緯紗線循環數並最終求得織物的組織結構。韓國學者 Kang T.等利用自相關函數對織物圖像進行研究<sup>[9]</sup>。通過計算圖像各行、列的自相關值，並繪出相應的自相關曲線圖和確定織物循環單元的大小。接着分析織物的透射圖像，得出經緯紗

线的位置以及经纬纱线交织点的位置、纱线间距，计算可得织物密度。然后分析织物的反射图像，将反射图像转换成灰度图像，由灰度图像得到各组织点区域的宽度和高度，并由宽度与高度的比值决定组织点的类型，得到织物的组织结构。再将反射图像转换成 256 色图像，接着将 256 色值转换为 Hsv 值，使相近的颜色合为一种颜色，从而确定织物中纱线颜色的种数。美国马里兰大学的 Sobus. J 利用灰度共生矩阵对织物的结构性能进行了研究<sup>[10]</sup>。台湾学者 Lin.J.运用共生矩阵的方法自动测定织物的密度<sup>[11]</sup>，首先将图像的灰度由 256 级灰度降到 16 级灰度，接着将预处理过的图像各像素点的光线强度值保存为矩阵形式，再根据参数像素点和的距离、角度计算得出图像的共生矩阵，并将其归一化，进一步计算参数图像的灰度对比度。无论在图像哪个方向，只要存在周期性结构，图像的灰度对比度值就会出现最小值。最后根据一定长度范围内极小值的个数就可计算出织物的密度。

### 1.2.2 基于傅立叶分析法

由于对于给定图像，其二维傅立叶变换能包括全部纹理信息，因此，从傅立叶频谱导出特征值也是非常有用的。傅立叶变换是将信号由空域转换到频域的一种工具。通过傅立叶变换，把图像在空域中的二维灰度分布转换成对应的频域中的二维频谱分布，进而提取图像的频率域信息，研究织物的表面形态。

日本学者 Ravandi.S 等运用傅立叶变换对平纹织物的部分结构特征(织物表面的方向性、突出纱线的密度、经纬纱线的周期性)进行了研究<sup>[12]</sup>。Xu.B.运用傅立叶变换对织物结构进行分析<sup>[13]</sup>。首先对织物图像进行傅立叶变换，将图像由空间域转换到频率域得到频谱图。然后对频谱图进行滤波并分析其所有峰点的能量和相对于整个能量谱能量的比例，便可以直接度量织物结构的周期性(均匀性)。最后抽取能量谱某一方向上的峰点重建图像，可得到织物经纱或纬纱的图像，并对其图像进行一维傅立叶变换，求其频率即可求得织物的密度。江南大学的高卫东等运用傅立叶变换开发了一种织物结构自动识别系统<sup>[14]</sup>。先计算织物扫描图像的纬向亮度均值，以得到包含纱线位置更替变化的纬向亮度信息，然后对纬向亮度信号进 FFT 变换和波谷提取运算，并最终确定纬纱的位置和密度。对于经纱排列参数的自动识别，先对纬纱排列参数的结果进行自相关分析得出纬纱循环数，并将纬纱按其在组织结构中的位置进行重新排列。然后计算经向亮度均值，由亮度的变化确定经纱的位置，同时可以得出组织点的类型。再计算定长度内经纱的根数和纬纱图像经向亮度均值的自相关值来求取经纱密度和经纱循环数。对织物组织结构的自动识别根据第一二步的分析结果，将组织点的状态存为矩阵形式(1 表示经组织点，0 表示纬组织点)，接下来根据经纱组织循环数去掉多余的列即可得到织物组织图。国内还有其他学者对傅立叶变换在织物结构分析

中的运用进行了研究，如辛斌杰等利用傅立叶变换测定织物的经纬纱密度<sup>[15]-[17]</sup>，李艳梅等把傅立叶变换和自相关函数相结合来测量织物的经纬纱密度<sup>[18]</sup>。

### 1.2.3 基于小波分析法

小波变换<sup>[19]</sup>作为一种新的数学工具，在信号处理领域引入了一种多尺度分析或多分辨率分解的思想，在图像处理及模式识别中起着重要作用。小波分析在织物经纬密度测量方面也取得了一些成果。利用该理论对织物图像进行处理分析时，小波分析可把图像分解为逼近图像和细节图像之和，从而得到图像的水平分量和垂直分量等。而机织物正好是由经纱和纬纱垂直交织而成，对该类织物图像进行小波分解，可分别得到经向和纬向的信息，并进一步测得织物的经纬密度。

冯毅力等运用小波变换计算了织物的密度<sup>[20]</sup>。首先，将图像分解为多层次的高频图像(垂直高频、水平高频、对角线高频)和低频图像并分别计算每一层次分解图像与原图像的相关系数，其中相关系数最大的分解层次为最佳的分解层次。然后用最佳分解层次的垂直高频和水平高频信息重构图像。接着选取适当的阈值对重构图像进行二值化处理，为了计算织物的密度还需对图像进行平滑处理。平滑处理后计算细度、密度等指标只需分别对平滑处理后二值图取一行或一列，计算其中黑色像素的个数和连续黑色像素的个数累加和(纱线根数)，两个值相除即为每根纱线所包含的平均像素数(纱线平均直径)。再用纱线根数除以图像宽度即可求得织物的密度。庄国瑜、孙悦运用小波变换方法测量了织物的密度<sup>[21]</sup>。并指出运用小波变换进行图像处理时的注意事项以及小波变换的优点，同时还讨论了不同的小波基对织物图像处理速度和处理效果的影响。目前常用的各种小波基各有自己的特点，对不同图像需要分析或处理的任务和目的也各不相同，故应有针对性地选取合适的小波基。马云芳等也对小波变换在织物图像处理中的运用展开了研究<sup>[22]</sup>。首先运用二维小波变换对图像进行多层次分解，得到所需的垂直分解图像和水平分解图像。然后根据织物正面的经浮长凸起的程度高，所占空间大，亮度高而纬浮长的凸起程度小，所占空间小，较为暗淡的特性判断出织物的经纬密度和浮长，进而计算出经纬组织点数和飞数，并可由这些数据来描述织物的组织。

### 1.2.4 结合特定理论的分析法

近年来，随着模式识别、人工智能、图像处理与分析等应用理论与技术的迅速发展国内外在织物组织智能化识别与分类方面的技术研究逐渐深入，人工神经网络、贝叶斯分类以及纹理特征表示等新技术被广泛运用于织物分类中，并取得了很多的成果。

### 1) 基于贝叶斯方法的织物分类

胡觉亮等提出一种基于贝叶斯统计的织物自动分类识别方法<sup>[23]</sup>,利用贝叶斯框架对织物分类识别建立模型。在显微镜下观察各类织物的几何特征,计算每种织物的面积  $s$ , 周长  $L$  和各阶矩  $P$ , 从而计算每类织物的圆形度  $DC$ , 每种织物可以通过它们的几何形态特征区分开来。然后,假设织物分类问题中的特征向量服从多变量的正态分布,并通过贝叶斯的决策规则计算织物各类别的后验概率。通过对每一类织物建立特征模型,这些特征向量在方案中表示为各类织物的几何形态参数,而且这些特征向量之间是相互独立的,从而可以实现对棉、麻、丝三种织物的自动分类识别。

### 2) 基于神经网络的织物分类

韩国学者 Jeon.B.<sup>[24]</sup>运用自相关函数结合神经网络来开发组织结构自动识别系统。系统中用自相关函数来测定纱线的位置、组织点的位置、循环单元的大小以及经纬纱的密度,其测定过程与 Kang T.的一样。但织物组织结构的确定由神经网络来完成。将上述宽度与高度的比值作为神经网络的输入值,组织结构作为输出值,对其进行训练,用来识别织物的组织结构。

浙江工程学院张瑞林<sup>[25]</sup>将 KESF 系列风格评价系统测得的 16 个物理量,用三层 BP 神经网络进行织物识别,其输入层由 16 个神经元组成,分别作为 16 个物理量的输入端,输出层由 4 个神经元组成,分别表示四类不同效果的丝织物类别,获得很好的识别效果。

### 3) 基于模糊聚类分析法

台湾学者 Kuo.C.<sup>[26]</sup>等认为用经纬浮线来判别织物的组织结构时,由于纱线原料、细度不同等因素的影响,各种织物的经纬浮线的形状会有著异。因而一种具体的经纬浮线判别标准不能满足所有情况下的判别要求。因此提出了用模糊 C—Means(FCM)聚类的方法来自动识别织物组织结构。首先对扫描图像进行处理,增强图像灰度的对比度,使织物的结构特征更加明显。然后计算图像水平和垂直方向的灰度值均值,确定纱线和交织点的位置,及纱线间距。确定交织点位置后,先计算四个统计值 f—阶统计值:均值、标准差;二阶统计值:共生矩阵的对比度和一致性为聚类分析作准备。接着对图像进行 FCM 分析得出组织点的类型,确定织物的组织结构。

### 4) 基元特征模式匹配识别法

东华大学张一<sup>[27]</sup>提出了一种提取织物组织结构纹理基元特征的方法,利用织物组织结构规律性强的特点,对一些具有固定性状的循环纹理基元进行了特性定义和抽取,然后在织物图像中寻找相同的纹理特征单元,通过基元匹配的算法获得织物的基元贴片图,然后利用自相关函数找出织物的最小循环单元,同时研究了生成组织图的数学模型,从最小循环单元中获取数学模型所须的参数来生成织物的组织图,从而达

---

到了织物组织结构的自动识别。

但是,如夏尚淳<sup>[28]</sup>提到利用织物图像来分析组织的方法不能用来解决所有的织物组织识别问题,它只能解决一部分织物的组织识别。只有当织物图像反映了组织结构的全部特性时,它的识别在理论上才是可能的。而如多层和多重织物,它们的表面图像并不能反映中间层组织结构的形式。即使在有可能识别的情况下,因为生产实践中各种因素的影响,往往会使织物表面部分组织点的图像无法真实地反映其组织结构,所以要做到完全准确的识别也是很困难的。造成这种情况的因素很多,这些问题的存在是织物组织自动识别的难点所在,也是为什么迄今为止还没有一套自动化程度很高的商品化的组织分析系统问世的原因。

尽管如此,计算机辅助分析系统还是可以把设计师从人工分析的繁重劳动中解放出来。在利用图像识别的方法达到某一可以接受的准确率的情况下,可以结合人机交互的方式,配合计算机自动识别所无法解决的经验知识,最终达到满意的分析结果。无论从市场需求还是实验研究结果都已证明,在织物的仿样设计中采用计算机辅助组织分析技术是个必然的趋势。

### 1.3 本文的主要研究内容

本文主要研究工作和具体内容安排如下:

第一章 对课题目的与意义进行阐述,主要对本课题的国内外研究现状进行综述,简述了现有各种方法的技术路线及特点。

第二章 概述本文将要用到的织物及其分析技术的基本概念,为分析识别算法做一个必要的专业准备,并且介绍了织物分析系统的各部分组成及特点,分析了各种软硬件平台的优缺点。

第三章 阐述织物的组织特点及利用数字图像技术进行织物分析的难点。在对织物图像和不同性质组织点特点进行分析的基础上,提出了一种基于织物周边组织点信息比较的组织点性质识别方法,同时也提出了一条生成组织图和提取织物结构参数的技术路线。

第四章 介绍了彩色转灰度、灰度直方图变换、滤波去除噪声三种预处理方法,同时分析现有织物图像分割方法,针对不同复杂程度的织物特点提出了两种不同的图像分割处理方案。

第五章 介绍针对原组织织物特点采用基于亮度投影曲线的分割方法,并根据分割后的组织点边界特点设计了具体处理过程,最后利用算法编制软件进行实验证,而且对试验结果和误差源进行了分析讨论。

第六章 针对织物组织透射图提出一条分割路线,先对图像进行预处理,并利用

---

形态学梯度重建方法抑制图像局部极大值，然后采用分水岭分割的方法将组织点完整分割。最后分别采用基于周边信息比较的组织点性质识别方法、组织点边缘坐标投影修剪平整归一化的组织图生成方法以及组织结构参数、经纬纱密度参数提取算法进行进一步的分析和研究。

第七章 对本论文内容做一个总结，并对本课题进一步发展提出展望。

## 第二章 织物组织分析与自动分析系统简介

本章主要对于织物组织分析用到的一些必要织物组织概念做了简述，为本文的分析方法做一些理论基础准备。并对分析系统的总体结构、系统的硬件部分和软件部分以及软件流程进行了一个简略的说明。

### 2.1 织物组织与结构

机织物(通常简称为织物)是由相互垂直排列的两个系统的纱线，在织机上按一定规律交织而成的制品<sup>[29]</sup>。在织物内与布边平行的纵向(或平行于织机机深方向)排列的纱线称为经纱(线)。与布边垂直的横向(或垂直于织机机深方向)排列的纱线称为纬纱(线)。经纱和纬纱在织机中互相浮沉，进行交织以形成织物。

#### 2.1.1 织物组织结构的表示法

织物内经纱和纬纱相互交错或彼此沉浮的规律称为织物组织。在经纬纱相交处即为组织点，凡经纱浮于纬纱之上的称经组织点，凡纬纱浮于经纱之上的称纬组织点。一切织物组织都由按一定规律排列的经、纬组织点组成<sup>[30]</sup>。

经组织点和纬组织点的排列规律在织物中达到重复时的最小单元称为一个组织循环。构成一个组织循环的经纱根数用  $R_e$  表示，构成一个组织循环的纬纱根数用  $R_w$  表示。用来表示经纬纱浮沉规律图称作组织图。组织图的表示方法有两种，即方格表示法和直线表示法。此处介绍一下组织图的方格表示法：

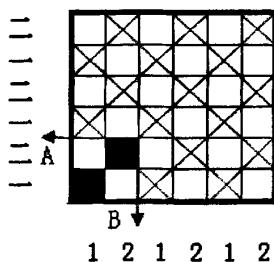


图 2-1 组织图的方格表示法

如图 2-1 所示，在方格纸上纵行代表经纱，横行代表纬纱。纵行和横行相交构成方格，它表示经纱和纬纱相交的组织点。若为经纱组织点，则在此方格内填满颜色或标以斜纹或叉、点、圈等符号；若为纬组织点，则在方格内不填任何符号。图中还用

箭矢 A 和 B 标出织物组织的一个组织循环。箭矢 B 左侧的经纱根数为  $R_j$ ，箭矢 A 下面的纬纱根数为  $R_w$ ，则  $R_j=R_w=2$ 。

在织物组织图中描述相邻的经纱或纬纱之间存在的关系的参数被称作组织点的飞数，它是指同一系统相邻两根纱线上相应经(或纬)组织点的纵(或横)向间隔的组织点数，用符号  $S$  表示，有经向飞数(Warp Step)和纬向飞数(Weft Step)之分。如果观察两根相邻经纱，则沿着经纱方向计算相应组织点之间的间隔组织点数，即为经向飞数，用  $S_j$  表示；如果观察两根相邻纬纱，则沿着纬纱方向计算相应组织点之间的间隔组织点数，即为纬向飞数，用  $S_w$  表示。如图 2-1 所示，相邻两根纬纱 1 和 2 上的相应经组织点的横向间隔组织点数为 1，所以  $S_w=1$ 。同理，相邻两根经纱 1 和 2 上相应经组织点的纵向间隔组织点数为 1，所以  $S_j=1$ 。图 2-1 中， $S_w=1$ ， $S_j=1$ 。组织点飞数除分经向和纬向外，还由于相对的方向不同而有所区别，因此可看作是一个代数值，经向飞数向上方为正(+)，向下方为负(-)；纬向飞数向右方为正(+)，向左方为负(-)。组织循环纱线数反映了织物组织的复杂程度，而织物点飞数则表示了完全组织中相应浮点的位置关系。

### 2.1.2 织物组织结构的分类

机织面料的种类有原组织织物、小花纹组织织物、复杂组织织物、大提花组织织物，在此只简单介绍一下原组织织物<sup>[31]</sup>。

#### (1) 平纹组织

平纹组织是所有织物组织中最简单的一种。图 2-2 为平纹组织图。在平纹组织循环中，共有 2 根经纱和 2 根纬纱，4 个组织点，其中 2 个经组织点，2 个纬组织点，因为经组织点数等于纬组织点数，所以织物的正反面没有差异，因此平纹组织属于同面组织。

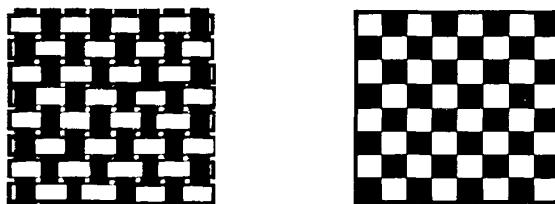


图 2-2 一上一下平纹组织图交织示意图和组织图

平纹组织可用分式  $\frac{1}{1}$  来表示，其中分子表示经组织点，分母表示纬组织点。习惯称平纹组织为一上一下。

### (2) 斜纹组织

斜纹组织的特点是组织图上有经组织点或纬组织点构成的斜线，面料表面上有经(或纬)浮长线构成的斜向织纹。构成斜纹的一个组织循环至少要有3根经纱和3根纬纱。斜纹组织一般以分式表示。其分子表示在组织循环中每根纱线上的经组织点数，分母表示纬组织点数，分子分母之和等于组织循环纱线数。在原组织的斜纹分式中，分子或分母必有一个等于1。当分子大于分母时，在组织图中经组织点占多数，称之为经面斜纹，纬组织点占多数，称之为纬面斜纹，交织示意图和组织图如图 2-3 所示。

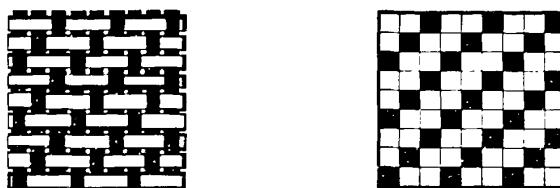


图 2-3 一上二下右斜纹交织示意图和组织图

### (3) 缎纹组织

缎纹组织是原组织中最复杂的一种组织。这种组织的特点在于相邻两根经纱上的单独组织点相距较远，而且所有的单独组织点分布均匀有规律。缎纹组织的单独组织点，在织物上由其两侧的经(或纬)的浮长线所遮盖。在织物表面都呈现经(或纬)的浮长线，因此布面平滑匀整、富有光泽、质地柔软。

在缎纹组织的组织循环中，任何一根经纱或纬纱上仅有一个经组织点纬组织点，而这些单独组织点彼此相隔又较远，分布均匀。缎纹组织也有经面缎纹与纬面缎纹之分。

缎纹组织也可用分式表示，分子表示组织循环纱线数，分母表示飞数，飞数有按经向计算的和纬向计算的两种，经向飞数用于经面缎纹，纬向飞数用于纬面缎纹。如图 2-4 所示即为八枚五飞缎纹。

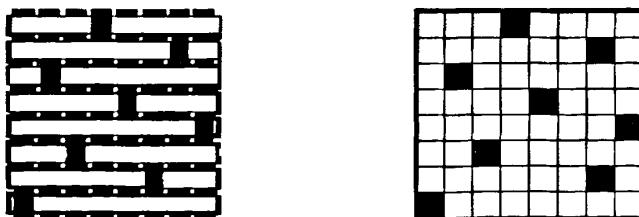


图 2-4 八枚五飞缎纹交织示意图和组织图

#### 2.1.3 织物组织分析

对已生产的织物进行仿造和改进，就必须进行织物分析，掌握织物的上机技术和

纱线参数等资料以做参考，并且这些参数对织物的物理机械性能影响很大，不同的参数决定了织物的手感、通透性及力学性能等，因而也就决定了织物的用途，它们包括经纬纱原料，织物的正反面、织物经纬向，经纬纱密度，经纬纱特数，经纬纱织物的盖度率，经纬向，经纬纱缩率，织物面密度等<sup>[31]</sup>。

鉴于数字图像处理技术信息主要来自织物的表面特征，所以可以进行分析的项目主要是织物的经纬纱密度，经纬纱线的细度、织物的盖度率等可以通过图像反应的几项。在本文中主要针对经纬纱密度和织物组织进行分析，在此将与二者有关方法介绍一下。

经纬纱密度是指在织物单位长度中排列的经纬纱根数，称为织物的经、纬纱密度。织物密度的计算单位以公制计，是指 10cm 内经纬纱排列的根数。密度的大小，直接影响织物的外观，手感，厚度，强力，抗折性，透气性，耐磨性和保暖性能等物理机械指标，同时他也关系到产品的成本和生产效率的大小。经、纬密度的测定方法有以下两种。1. 直接测数法：直接测数法是凭借照布镜或织物密度分析镜来完成。织物密度分析镜的刻度尺长度为 5cm，在分析镜头下面，一块长条形玻璃片上刻有一条红线，在分析织物密度时，移动镜头，将玻璃片上红线和刻度尺上红线同时对准某两根纱线之间，以此为起点，边移动镜头边数纱线根数，直到 5cm 刻度线为此。输出之纱线根数乘以 2，即为 10cm 织物的密度值。在点数纱线根数时，要以两根纱线之间的中央为起点，若数到终点时，超过 0.5 根，而不足一根时，应按 0.75 根算；若不足 0.5 根时，则按 0.25 根算。织物密度一般应测得 3-4 个数据，然后取其算术平均值为测定结果。2. 间接测试法这种方法适用于密度大的，纱线特数小的规则组织的织物。首先经过分析织物组织及其组织循环经纱数(组织循环纬纱数)，然后乘以 10cm 中组织循环个数，所得的乘积即为经(纬)纱密度。

分析织物的组织是指对经纬纱在织物中交织规律进行分析，以求得此种织物的组织结构。常用的织物组织分析方法有以下几种。1. 拆纱分析法：对于纱线较细、密度较大、组织较复杂的织物宜采用此法。其基本方法是将纱线逐根拆开，然后看清其经纬纱的浮沉规律，逐根地填绘于意匠纸上，具体步骤如下：(1).仔细观察试样确定拆纱方向、拆纱部位和拆纱起点。宜将密度大的纱线（经纱）拆开，利用密度小的那个方向的纱线的间隙来观察，便于看清纱线的浮沉情况。(2).确定拆纱方向后，将密度大的那个方向的纱线拆除若干根，使密度小的纱线露出约 10mm。(3).用分析针拨出一根所要观察的纱线，观察其与另一方向纱线的沉浮规律，并将观察所得记入意匠纸方格中。已达到重复时为止。(4).如系色织物，同时将该纱线的颜色也记入意匠纸。逐根拆出、观察、记录，直到组织循环与色纱循环均达重复。2. 直接观察法：有经验的工艺员或织物设计人员，可采用直接观察法，依靠目力或利用照布镜，对织物进

行直接的观察，将观察的经纬纱交织规律，逐次填入意匠纸的方格中。分析时可多填写几根经纬纱的交织状况，以便正确的找出织物的完全组织来。这种方法简单易行主要是用来分析单层密度不大，纱特数较大的原组织织物和简单的小花纹组织织物。

#### 2.1.4 织物样本的准备

分析织物组织结构时，数据的准确程度与取样的位置、样品面积、样品的质量等都有关系，所以对取样有一定的规定<sup>[31]</sup>。

(1) 取样位置。织物下机后，经纬纱张力为了获得平衡，导致织物幅宽和长度略微发生变化，引起织物边部和中部以及织物两端的密度不同。在染整过程中，这些部位产生的变形也不一样。因此，为了使测得的数据具有准确性和代表性，取样时样品到布边的距离不小于5cm，离两端距离在棉织物中一般不少于1.5-3cm；在毛织物中一般不少于3cm；丝织物上约不少于3.5-5cm。拍摄图像时，尽量做到经纱与垂直方向平行，纬纱与水平方向平行。因为在后面处理过程中，要分析织物的经向和纬向信息，若织物放置不当，则两者不完全对应，会引入一定的误差，即使采取织物图像纠偏处理时，也会增加处理量，不利于分析。

(2) 取样大小。取样大小随织物种类和结构而异，面积大小在保证分析资料准确的前提下，力求减小，因为取样过大，织物图像所占空间就很大，会降低处理的速度。理论上简单组织可取的略小些，一般为15cm×15cm，织物组织循环较大的织物可以取20cm×20cm，如样品尺寸较小时，只要5cm×5cm左右也可进行分析。

(3) 确定织物正反面。对织物进行分析时，应判断织物的正反面，一般从外观效应来判断，区别组织特征和表面效应。一般的判断方法如下：

平纹织物表面平坦，由于是同面组织，织物的正反面效应相同，难于区分，一般选择光洁面而病疵少的一面为正面，对一些起特殊效应的平纹织物如起泡、起条等也是如此。斜纹织物表面起斜路，选择斜路清晰的一面为正面。如果是异面组织，易于区分，同面组织也要根据纹路清晰而定。缎纹织物表面光滑、光泽好。由于它是异面组织，所以织物两面所起的效应完全不同，比较容易判断，以光滑、光泽强的一面为正面。条格和配色花纹织物正面的条格或花纹显著、匀整、清晰悦目、很好判断。凸条和凹凸织物的正面紧密而细腻的显示出凸条或凹凸花纹，反面粗糙，有较长的浮长线衬托。起小花纹织物的正面花纹、色泽均比反面清晰悦目。如果两面效应接近，不必强求其正反面。

(4) 确定织物的经纬向在织物正反面确定之后，须区分织物中的经纱和纬纱，对于不同的织物有一些经纬向的判断有一定的规律可循具体可参阅有关文献<sup>[31]</sup>。

## 2.2 织物组织分析系统

织物组织识别系统主要包括硬件和软件部分：图像的输入与采集设备、数字图像的处理与分析软件。其中图像输入与采集由显微镜、CCD 摄像机、图像采集卡以及计算机来完成，图像处理与分析由分析软件完成，分析结果显示在显示器屏幕上。主要实现以下几个功能：经纬密度的测量，组织循环数的确定，组织点属性的判别，生成组织图还有经纬密度测量和组织点属性。

### 2.2.1 织物图像录入设备

原始的织物图像数据是通过图像采集部件进入计算机的，因此，图像采集部件的作用是采集原始的模拟图像数据，并将模拟信号转换成数字信号。计算机在接受到图像的数字信号后，将其存入内存储区。计算机图像处理系统常用的图像采集部件有：CCD(Charge Coupled Device 电荷耦合器件)摄像机加上视频图像采集卡、图像扫描仪、数码相机、显微光密度计<sup>[32]</sup>。

(1) 摄像机和视频图像采集卡<sup>[33][34]</sup>，图像处理系统采用的摄像机分为电子管式摄像机和固体器件摄像机两种。目前普遍采用的是固体器件摄像机，因为电子管式摄像机的重要元件是电子管，体积相对固体器件要大的多。CCD 类型的是固体器件摄像机中常用的一种，它是由电荷耦合元件组成的图像探测器，其工作原理如下：被测物体图像经物镜(镜头)成像到 CCD 光敏区，由于光的作用使光敏区的对应电极产生信号电荷，并被收集到电极下方的势阱中形成电荷包，这一过程相当于一个光积分过程。当光积分周期结束时，加到成像区和存储区电极上的时钟脉冲使成像收集到的信号电荷迅速转移到存储区中，然后依靠加在存储区和水平读出寄存器上的适当脉冲，在 CCD 的输出段即可获得被测物体图像的视频信号。CCD 摄像机在分辨率、灵敏度等方面已做到较高水平，由于用 CCD 实现了光电转化和扫描，因此其体积小，重量轻，结构紧凑。另外，CCD 摄像机摄像速度快，无磁场干扰，易于从监视器上直接评价图像输入效果。

图像采集卡是计算机与光学系统的关键接口部件，主要完成对视频信号进行模拟数字(A/D)转换的功能。图像采集卡在完成 A/D 转换的同时，与计算机相配合，可以通过总线控制对图像的采集方式。一些图像采集卡自身带有内存，甚至集成有一些基本的图像处理方法，在采集的同时可以利用采集卡自带的处理能力对采集的图像进行预处理。其工作过程为：首先对 CCD 视频信号进行滤波、放大处理，然后由 A/D 转换器件对连续的视频信号在时间上进行等间隔采样，并进行量化、编码，获得数字图像信号，最后存储到计算机内存或硬盘。

(2) 图像扫描仪体积较大，由于其以机械扫描的方式采集数据，因此采集速度不

如 CCD。精度和分辨率中等，速度较慢，非实时设备，成本较低，600DPI 及 1200DPI 精度的扫描仪已很常见，在家庭及办公室内使用居多。

(3) 数码摄像机，数码摄像机是将图像采集和数字化部件集成在同一台机器上，使其输出的信号能直接为计算机所接受。数码摄像机使图像的采集部件和主机的连接更具有通配性，而且由于其携带方便，有相应的存储器，因此更适用于现场数据采集。

(4) 扫描鼓，扫描鼓是一种高精度滚筒式的图像摄取设备，分辨率高，输入输出均可，多用于静态图像的输入、输出，但价格昂贵，维护要求高。

本系统采用的是北京杰伟世视音频设备有限公司的 JVC TK-C1481BEC 的 CCD 摄像机和北京微视公司生产的 V3a 型图像采集卡<sup>[35]</sup>。选择 CCD 摄像机主要考虑两个方面：一是分辨率，二是镜头。此外，还要考虑照度问题。摄像机分辨率指的是水平分辨率，其单位是线对，数值越大，成像越清晰。为了获得更清晰的图像，应选用较高线分辨率的器件。本系统选用的这款 CCD 摄像机具有高品质的图像和灵敏度，分辨率为 480 线，即使在非常阴暗的光线下也能拍摄到高品质的图像。其最低照度是 1.5Lux(F1.2)，且有全新的数码 AGC 功能(自动增益控制功能)，比传统 AGC 功能更灵活和更有效地增强感光度，在低照度的环境下也能拍摄清晰的物体。

为了取得可以看清楚组织点的织物图像，本系统还使用了变倍体视显微镜，该显微镜具有较长的工作距离，10×—200×连续改变放大倍率等优点，光学系统由物镜(变倍物镜、2×大物镜)、棱镜(半五角棱镜、直角棱镜组)及目镜组成，放大倍率的连续变化是靠改变变倍物镜的空间间隔来达到的，变倍系统连续变倍比为 1:4，摄影目镜 6.3×，工作台直径 95mm。

## 2.2.2 织物图像分析软件

织物图像分析软件部分需要完成的任务包括了从采集的织物组织的图片进行预处理进行图像增强消噪等然后对组织点进行分割提取各组织点的特征信息最后对组织点性质识别并绘制组织图和计算织物的参数。主要有以下三部分：

1. 图像预处理，包括彩色图转灰度图、灰度直方图增强、图像平滑降噪等工作；
2. 组织点分割，有形态学增强处理、形态学梯度重建、分水岭分割等几部分；
3. 组织结构识别部分包括组织点自身及周边组织点信息提取，组织点性质判别推断和组织图生成以及组织结构参数、经纬纱密度提取等几个方面。

上述算法将在本文的后续部分做较详细的说明。

对于软件开发工具的选择，因为目前织物图像分析系统设计尚处于设计有效算法阶段，选择算法的合适性和算法处理结果的正确性是现阶段的主要关心的方面，所以本文选取了 Matlab 工具来实现算法仿真。

作为算法设计工具平台, MATLAB 有三大特点<sup>[36]</sup>: 一是功能强大。主要包括数值计算和符号计算、计算结果和编程可视化、数学和文字统一处理、离线和在线计算。二是界面友好, 编程效率高。MATLAB 是一种以矩阵为基本单元的可视化程序设计语言, 语法结构简单, 数据类型单一, 指令表达与标准教科书的数学表达式相近。三是开放性强。MATLAB 有很好的可扩充性, 可以把它当成一种更高级的语言去使用。使用它很容易编写各种通用或专用应用程序。

MATLAB 对于图像处理还有自带图像处理工具包<sup>[37]</sup>, 它由一系列支持图像处理操作的函数组成的。所支持的图像处理操作有: 图像的几何操作、邻域和区域操作、图像变换、图像恢复与增强、线性滤波和滤波器设计、变换(DCT 变换等)、图像分析和统计、二值图像操作等。

(1) 图像文件格式的读写和显示。MATLAB 提供了图像文件读入函数 `imread()`, 用来读取如: `bmp`、`tif`、`jpg`、`pcx`、`tiff`、`gpeg`、`hdf`、`xwd` 等格式图像文件; 图像写出函数 `imwrite()`, 还有图像显示函数 `image()`、`imshow()` 等等。

(2) 图像处理的基本运算。MATLAB 提供了图像的和、差等线性运算, 以及卷积、相关、滤波等非线性运算。

(3) 图像变换。MATLAB 提供了一维和二维离散傅立叶变换(DFT)、快速傅立叶变换(FFT)、离散余弦变换(DCT)及其反变换函数, 以及连续小波变换(CWT)、离散小波变换(DWT)及其反变换。

(4) 图像的分析和增强。针对图像的统计计算, MATLAB 提供了校正、直方图均衡、中值滤波、对比度调整、自适应滤波等对图像进行的处理。

(5) 图像的数学形态学处理。针对二值图像, MATLAB 提供了数学形态学运算函数: 腐蚀(Erode)、膨胀(Dilate)算子, 以及在此基础上的开(Open)、闭(Close)算子、厚化(Thicken)、细化(Thin)算子等丰富的数学形态学运算。

以上所提到的 MATLAB 在图像中的应用都是由相应的 MATLAB 函数来实现的, 使用时, 只需按照函数的调用语法正确输入参数即可。

## 2.3 本章小结

本章介绍了织物组织的基本概念, 对织物组织的表示方法及其类型做一简述和并叙述了对织物组织分析的手工方法和织物分析样品的准备的注意事项。最后对织物组织分析系统的软硬件部分分别做了介绍。

## 第三章 织物结构识别和参数提取

本章首先就织物组织的特点及利用数字图像技术进行织物分析的难点进行了阐述。接着在对织物图像和不同性质组织点的特点基础上提出了一种基于织物周边组织点信息比较的组织点性质识别方法，还提出了一条实现组织图的生成和对织物结构参数提取的技术路线。

### 3.1 织物组织图像的特点及识别的难点

织物本身具有物理不规则性。织物是三维物体，其丝线的交织和表面起伏有一定的规律，形成一定的纹理结构。织物的每根丝线本身又是由很多更细小的丝线构成，其表面起伏不定，有突起，也有下凹。物理织物不是严格的规则图像。实际织物产品和织物物理图像都是不规则的，而要求得到的却是非常规则的组织结构图。实际的机织物组织结构和理想的机织物组织结构之间的矛盾造成了识别的主要困难<sup>[38]</sup>。除此之外，还有如下原因：

1.由于织物图像本身不是理想的规则图像，再加上图像中存在织物缺陷、毛刺、起球、浮丝、表面磨损、褶皱、纹理倾斜、变形、以及在图像采集过程中的光照污染、光线斜照等问题，高质量图像采集比较困难，而对图像分析更加困难。如图 3-1 所示织物图像分析将是很困难的。

2.织物本身的复杂性。织物组织点排列紧密，有的织物即使在放大的状态下都很难看清纱线之间的间隙；织造用的纱线粗细颜色多种多样。织物组织结构复杂多样，在生产中又受结构、机械、后整理等方面的因素的影响，使得织物组织外观中具有许多不确定的参数也增加了自动分析的难度。

3.经典图像处理和模式识别和人工识别相比，缺少大量的先验知识和专家经验。而且，很多规则难以形成数学描述。

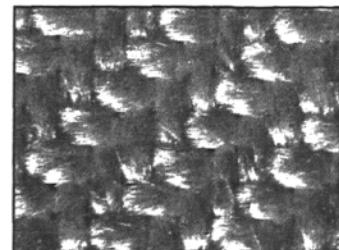
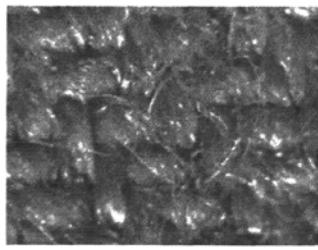
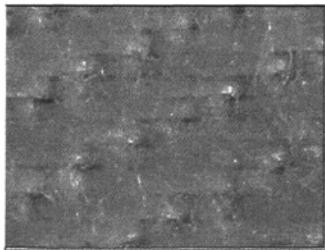


图 3-1 织物图像

## 3.2 国内外研究的现状

十几年来，国内外众多学者就这一方面问题进行了很多尝试性研究。虽然尚未形成较为完善的理论和实用的系统，但是也取得了一些经验。这些可以对后来的研究者产生一定的启发。

### 3.2.1 组织点性质的识别现存方法

#### (1) 基于组织点亮度特点的方法

高卫东提出一种方法<sup>[16]</sup>，将纬纱单元分为经组织点区域、纬组织点区域和纱间缝隙区，经纱浮于织物表面亮度高，纬纱沉于织物表面亮度低。通过区分亮度就可以将组织点性质分开。

#### (2) 基于组织点形状的判别法

根据组织点的椭圆形状的比率来确定经纬点的性质，Kang<sup>[9]</sup>等利用透射图像，通过两个方向上的亮度统计确定纱线的位置，以及经纬纱交织点的位置；在反射图像中，根据经纬纱交织点区域的椭圆形状比率确定其经纬点的性质。

#### (3) 基于模糊聚类的浮点属性判别算法

还有基于特殊理论的方法，Kuo.<sup>[26]</sup>等提出了一种基于模糊聚类的浮点属性判别算法，在准确划分出经纬交叉点区域的基础上，统计每个浮点区域的纹理特征，包括均值、方差、以及共生矩阵的对比度和均匀度等，然后利用模糊 C-均值算法对特征空间进行聚类，以判断所有浮点区域的经纬属性。相比于几何形状的判断，Kuo 的算法结合了纹理特征描述，但它也仅局限于单色单层织物的识别，其难点在于经纬纱线的准确定位。

#### (4) 基于神经网络分类的组织识别算法

Jeon<sup>[24]</sup>等提出了一种基于神经网络分类的组织识别算法，通过灰度自相关分析提取最小组织单元图像，计算交叉点的水平方向与竖直方向的相对长度比率；然后以学习向量量化算法为学习准则，利用一组已知的组织样本训练神经网络，再将比率值输入神经网络，网络的输出即为所属的组织模式类别。

#### (5) 基于基元匹配的组织图生成法

张一<sup>[4]</sup>通过织物组织物图像的亮度变化曲线来获取织物纹理基元的大小，并定义和提取织物的一些基本基元特征，根据织物组织结构的规律性强的性质，对这些基元通过特征匹配寻找周围的基元进而达到对循环组织的识别。

### 3.2.2 织物组织的经纬密度提取方法

国内也有不少文献对织物组织的经纬密度问题进行了研究。主要有傅立叶变换的

方法和小波分析法：辛斌杰<sup>[17]</sup>等利用傅立叶变换技术来提取经纬纱的空间频率信息，测量织物的经纬密度。李艳梅<sup>[18]</sup>等也采用傅立叶分析，在功率谱中提取亮度峰值获得经纬纱线密度，还采用了自相关分析识别组织循环的纱线数目高卫东等根据实际纱线的不同排列特点，分析经纬向亮度并进行傅立叶变换获得纱间距进而得到纱线密度。冯毅力<sup>[19]</sup>等采用小波变换对织物图像进行分解，经、纬纱线信息分别在某一层次的高频垂直重构图和高频水平重构图中得到最佳保留，对这些重构图进行二值化等处理，即可获得纱线细度、经纬密度及紧度等结构参数。其他文献也提到的各种改进的经纬密度获取方法，但基本原理也是以此几种方法为基础的。

### 3.3 织物组织点特点分析

在图像工程应用上，每一个领域都会利用现有通用图像处理分析算法，并结合自己的研究对象的特点进行操作<sup>[39]</sup>。在利用数字图像进行织物组织自动分析领域中，通过对国内外现有的织物组织分析方法总结，可以看出已有的算法都将织物的结构特点同图像技术的理论紧密结合起来，也产生了一定的效果。因而如何更好的利用织物组织的特点进行研究是在这个领域发展的一个重要方向。接下来，分别对织物组织点形成和排列规律进行分析阐述。

#### 3.3.1 组织点纱线交叉叠加规律

机织物中的每一组织点都是由经纱和纬纱互相交叉而成。经纬纱交叉时，经纱在上的组织点称之为经组织点，纬纱在上的组织点我们称之为纬组织点。这样可以分析经纬纱分别于不同叠加次序时的表现的不同来区分经纬组织点。

经过观察与分析，发现当一根纱线搭于另一根纱线上时，因为纱线本身具有一定的直径，必然有于交叉点处上方纱线的轴向长度要略大于下方纱线径向长度，如图3-2~图3-5所示组织点及示意图表现了这一现象，而且对于很多的织物都适用。这也是人工观察组织点性质方法所依照的理论根据。是人们目前测试结果可靠度比较高的一个方法。



图 3-2 纬组织点原图

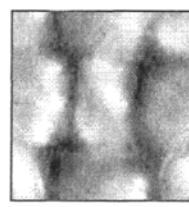


图 3-3 经组织点原图

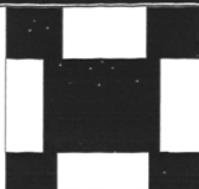


图 3-4 纬组织点二值示意图



图 3-5 经组织点二值示意图

### 3.3.2 组织点同线排列规律

通过观察织物组织点排列规律，还发现组织点的排列规律。因为组织点是由经纬纱交织而成，也可以说是组织点由经纬纱的沉浮交织而形成的。这样每一根纱线在织造过程中，通过在另一个垂直方向上纱线组中上下穿行形成一个个组织点。当它浮于纱线组上方时为本身性质组织点，当沉于纱线组下方时就于其上方就形成了另一种性质的组织点。如图 3-6 所示，白色为纬纱，黑色线条为经纱，他们交织成一个个组织点。由此可以看出一个必然规律：在经纱方向上经组织点相邻的两个组织点必为纬组织点。在纬纱方向上纬组织点的相邻的两个组织点必为经组织点。通过这个规律可以利用已识别性质的组织点来推断无法识别的组织点的性质。

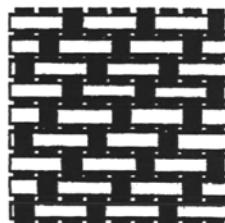


图 3-6 组织点排列规律图

## 3.4 本文组织结构识别与参数提取的新方法

通过上节分析，充分利用组织点纱线交叉叠加规律和组织点同线排列规律，在此提出一个织物组织分析算法，此方法是根据现在织物分析方面主要使用的人工进行织物组织分析的原理提出的，主要技术路线叙述如下。

首先对织物组织点进行分割，将分割好的组织点联系其周边组织点信息，然后通过比较织物组织点与周边组织点宽高度来对织物图像中完整的组织点性质进行识别，并利用织物组织的经纬组织点交替排列的规律，对不易辨认的组织点通过相邻已知的组织点性质进行推理确认最终形成完整的组织点性质图。将性质图进行边缘调整对齐并进行匀整以形成标准组织图，切除边缘非完整组织点，然后利用织物组织参数模型

规律对织物组织结构的自动识别。

其算法主要有五步：图像分割、组织点边缘平齐化、组织点性质识别、组织图生成、组织结构识别和参数提取。其实现流程如图 3-7 所示：

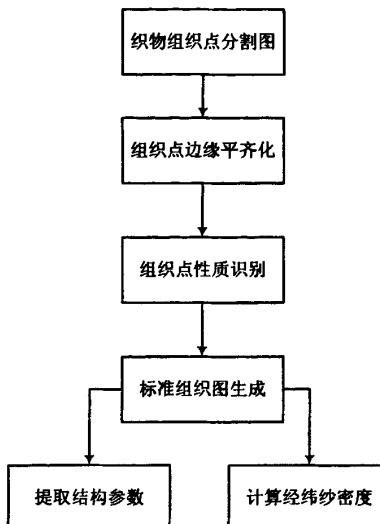


图 3-7 织物组织结构识别和参数提取算法流程图

### 3.4.1 织物图像组织点分割

将采集的织物表面图像进行预处理使其组织点清晰，利用图像分割技术对图像进行分割。因为要获得比较准确的组织点宽高度信息进行经纬性质识别，所以要求分割后的组织点边界比较准确。具体的分割技术将在接下来的章节阐述。

### 3.4.2 图像中间组织点性质识别

位于图像中间的组织点一般有比较完整清晰的外形及周边组织点，可以获得较为完整的自身及周边组织点的信息，有利于进行比较识别。将分割好的组织点分别同向上上下左右相邻组织点比较，因为分割结果的近似性和组织点自身的差异不大，可能导致同一点不同的性质的结论，对此可以对各向上组织点比较的信息置信度进行比较。这样取可能性最大的结果作为该组织点的性质结论。

### 3.4.3 图像边缘组织点推断

当进行图像采样时，很难保证边缘的点也是完整的，导致这些组织点信息不足或者是错误的信息，是不可以直接利用的。对于位于图像边缘的组织点通常无法直接利

用上述方法对其性质进行判断，不过可以根据组织点排列规律进行推断。

由组织点同线排列规律知：每一个经组织点的上下方向上相邻的两个组织点必为纬组织点，每一个纬组织点的左右方向上相邻的两个组织点必为经组织点。由此可以通过织物组织图像内部组织点的性质来推断边缘组织点的性质。同时还可以对内部完整组织点识别结果进行校核，当其结果与此规律发生冲突时，极可能识别发生错误。系统将通知用户人工检测。

#### 3.4.4 织物经纬纱密度计算

使用 CCD 摄像机拍摄织物图像，经图像采集卡将图像采集到计算机硬盘中，原来连续的织物信息被转换成离散的数字信息。图像的分辨率和图像尺寸以及采集时放大倍数一起确定图像的实际尺寸。本文图像采集系统的分辨率为每英寸  $96 \times 96$  个点，根据英寸、毫米的换算关系即一英寸等于 25.4 毫米，那么可以得知屏幕上每像素点长度代表 0.265mm，考虑到织物图像是经过放大  $n$  倍而得到的，因此屏幕每点实际代表的长度是  $0.265/n$  mm。

以计算经纱密度为例：由经纬纱密度的定义，在织物中以 10cm 内排列的经纬纱根数称为织物的经纬纱密度，经纱密度可由下列方法求得：由已知的裁切后图像的像素宽度以及此长度内的经纱根数，可计算出纱线根数  $m$ ，对应的实际每根经纱平均所占宽度为  $D_J$ ，由经纱密度定义可得其计算公式：

$$S_J = \frac{100 \times m \times n}{D_J \times 0.265} \quad (3-1)$$

其中  $S_J$  为经纱密度。 $n$  为显微镜放大倍数。

参数提取算法归纳如下：

Step1. 读取原图像高度与宽度，并同时读取在组织图形成过程中所裁切掉的部分的尺寸。将图像原始尺寸减掉裁切部分即为形成组织图的织物的图像尺寸。

Step2. 将图像尺寸通过计算放大倍数和图像分辨率转化为织物原始实际尺寸。

Step3. 分别统计组织图中的经纱和纬纱的根数，由公式(3-1)求得经纬纱密度。

### 3.5 本章小节

本章研究了织物本身的特点，同时分析织物组织点形成和排列的规律，提出一条组织点性质识别的新方法和进行经纬纱密度计算的方法。因为此方法采用目前最常用的人工识别原理，有较高的可靠性，和相对较高的计算准确度。

## 第四章 织物图像预处理与分割

### 4.1 织物图像预处理

对于一个图像处理系统来说，可以将整个处理过程分为三个阶段，在获取原始图像后，首先是图像预处理阶段；第二是分割特征提取阶段；第三是识别分析阶段。其中，图像预处理阶段十分重要，如果这阶段处理不好，后续工作的质量、精度将大受影响。

在实际应用中，系统获取的原始图像并不完美的，影响图像清晰程度的因素很多，例如室外光照度不够均匀就会造成图像灰度过于集中；由 CCD 摄像头获得的图像经过 A/D 转换(数/模转换，该功能在图像系统中由数字采集卡实现)、线路传送等都会产生噪声污染。因此图像质量不可避免地降低了，轻者表现为图像不干净、难以看清细节，重者表现为图像模糊不清，连概貌也看不出来。所以必须要对图像进行预处理以改善图像的质量。常用方法有：彩色转灰度，灰度直方图变换、滤波去除噪声等。

#### 4.1.1 彩色图像转灰度图像

本文系统中 CCD 摄像头输入的是 24 位彩色图像，它能较好的保证图像信息的完整性，但由于 24 位彩色图像信息量非常大，会增加后续处理计算量。因此，在织物图像处理过程中需要减少图像的次要颜色信息，令相似的颜色用同一种颜色来表示，使整幅彩色图像能用数目较少的并有代表性的颜色来表示。

自然界中的所有颜色都可以用红绿蓝(R、G、B)三原色组合而成<sup>[40]</sup>，大约有 1600 万种颜色。可将这些颜色分成 0 至 255 共 256 个等级，从这大约 1600 万种颜色中选用最常见的 256 种颜色作为位图调色板中的颜色给位图象素着色时，就得到了 256 位图。实现由 256 位图到灰度图的转换必须先将 256 位图调色板的每一个表项按照一定的算法转换为灰度图调色板，然后再将 256 位图每一个像素的调色板索引值替换为灰度图调色板索引值。通常将 256 位图调色板转换为灰度图调色板的方法主要有如下 4 种：

(1).最大值法：使 R、G、B 的值等于它们中的最大值即：

$$R = G = B = \max(R, G, B) \quad (4-1)$$

(2).平均值法：求 R、G、B 的平均值即：

$$R = G = B = (R, G, B) / 3 \quad (4-2)$$

(3).加权平均法：对 R、G、B 三值求加权平均值即：

$$R = G = B = (W_r * R, W_g * G, W_b * B) / 3 \quad (4-3)$$

其中,  $W_r$ 、 $W_g$ 、 $W_b$  分别为 R、G、B 的权值。权值不同, 得到的灰度图就不一样。

(4). 色彩系统变换法: 由 RGB 与 YIQ 色彩系统变换公式得, 当  $R=G=B$  时, 即得到相应的灰度值为:

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (4-4)$$

因为色彩系统变换法处理结果比较理想, 所以本文选用色彩系统变换法实现由 256 色位图到灰度图的转换。转换后的织物图如 4-1 图所示。

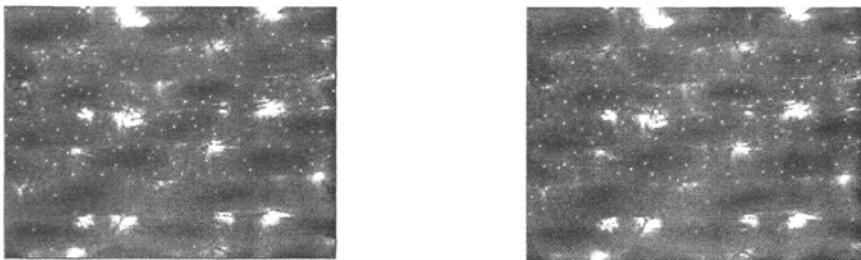


图 4-1 织物透射图转灰度图的效果

#### 4.1.2 灰度直方图增强变换

直方图<sup>[41]</sup>表示的是图像中每一灰度级与其出现频数之间的统计关系, 用横坐标表示灰度级, 纵坐标表示频数。直方图能反映出图像的灰度范围、每个灰度级的频数、灰度分布情况、整幅图像的亮度等, 它是对图像进行处理的重要依据。通过对直方图的变换可以增强图像对比度。

一副自然织物透射图像的灰度直方图, 如图 4-2 所示, 通常在低灰度区域上的频率较大, 这样的图像比较暗, 区域中的细节常常看不清楚。为使图像变的清晰, 可以使图像的灰度动态范围变动, 并且让频率小的灰度级经过变换后其频率变得大一些, 即将变换后的图像灰度直方图在较大的动态范围内趋于平衡, 这就是所说的直方图修正技术。采用直方图修正后可使图像的灰度间距拉大或使灰度分布均匀, 从而增大了反差, 使图像细节清晰, 达到图像增强的目的。直方图修正技术通常有直方图均衡化和直方图规定化两类。

直方图均衡化就是把给定的图像直方图分布改变成均匀分布的直方图, 它是一种常用的灰度增强方法。对于数字图像  $f(x, y)$ , 其灰度范围为  $f_{\min} \leq f(x, y) \leq f_{\max}$ , 先将其直方图正规化:

$$r = \frac{f(x,y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \quad (4-5)$$

以  $r$  和  $s$  分别表示正规化了的原图像灰度和经过直方图修正后的图像灰度。  
 $0 \leq r, s \leq 1$ 。

通过灰度变换函数  $s = T(r)$  将原图像直方图  $P_r(r)$  改变成均匀分布的直方图  $P_s(s)$ ，由概率论可知  $P_s(s)ds = P_r(r)dr$  要进行直方图均衡化，意味着  $P_s(s)=1$ ，  
 $s \in [0,1]$ ，则有

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(r) dr \quad (4-6)$$

即  $T(r)$  为  $P_r(r)$  的分布累积函数。

对于数字图像离散情况，其直方图均衡化处理的计算步骤：

1) 统计原始直方图的直方图

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{N} \quad (4-7)$$

$r_k$  是归一化的输入图像灰度级。

2) 计算直方图累积积分分布曲线

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{N} \quad (4-8)$$

3) 利用累积分布函数做变换函数进行图像灰度变换。,

建立输入图像与输出图像灰度及之间的对应关系，并将变换后的灰度级恢复成原先数范围。把相应的原灰度的像素数相加就得到新灰度的像素数，均衡化后的直方图如图 4-4 所示，可以看出均衡化的直方图比原直方图(图 4-2)均匀了，但它并不是完全均匀的是这是由于在均衡化的过程中原直方图上有几个像素较少的灰度归并的到一个新的灰度上，而像素较多的灰度间隔被拉大了，通过减少图像灰度级数可以换取对比度的扩大。

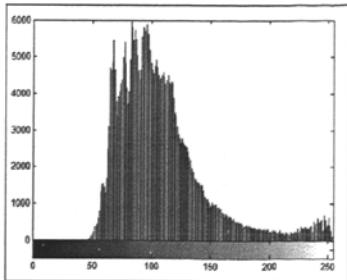


图 4-2 原图像直方图

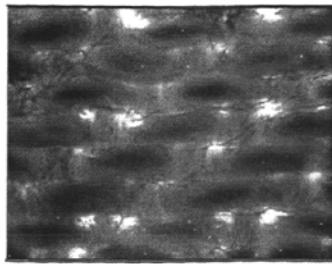


图 4-3 直方图均衡化后图像

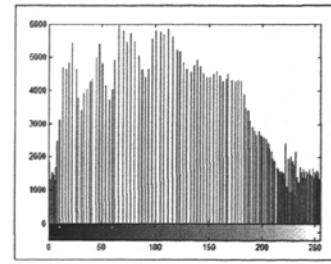


图 4-4 均衡化后直方图

直方图均衡化的优点是能自动的增强整个图像的对比度，但它的具体增强效果不易控制，处理的结果总是得到全局的均衡化的直方图，由图 4-3 可以看出均衡化后的图像“淹没”了部分组织点。这并不是一个理想的结果，这里希望高灰度值可以适当减少，以显示部分高灰度组织点。对于这个期望可以采用比较灵活的直方图规定化的方法处理。一般来说正确的选择规定化函数有可能获得比直方图均衡化更好的效果。

直方图规定化是将输入图像灰度分布变换为规定一个期望的灰度分布直方图， $P_r(r)$  为原图的灰度密度函数， $P_z(z)$  为希望得到的灰度密度函数。

首先分别对  $P_r(r)$ ， $P_z(z)$  做直方图均衡化处理则有：

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(\omega) d\omega \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (4-9)$$

$$v = G(z) = \int_0^z P_z(\omega) d\omega \quad 0 \leq z \leq 1 \quad (4-10)$$

经上述变换后的灰度  $s$  及  $v$  其密度函数是相同的均匀密度，再借助直方图均衡化结果做媒介，实现从  $P_r(r)$  到  $P_z(z)$  的转换。

利用  $s$  和  $v$  分布相同的特点建立  $r \rightarrow z$  的联系，即

$$z = G^{-1}(v) = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)] \quad (4-11)$$

实现步骤：

- 1) 直方图均衡化输入图像，计算  $r_j \leftrightarrow s_j$  对应关系；
- 2) 对规定直方图  $P_z(z)$  做均衡化处理，计算  $z_k \leftrightarrow v_k$  的对应关系；
- 3) 选择适当的  $v_k$  和  $s_j$  点对，使  $v_k \approx s_j$ ；
- 4) 由逆变函数  $z = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)]$  求得  $z$ 。

此处采用多峰值高斯函数来模拟直方图形状，将直方图的形状规定到函数曲线下。可以将部分高灰度值的比例减少。双峰值高斯函数曲线如图 4-6 所示，减少了部分高灰度值的频度，变换后的直方图如图 4-7 所示。变换后的图像如图 4-5 所示。对比度比较强，组织点清晰。

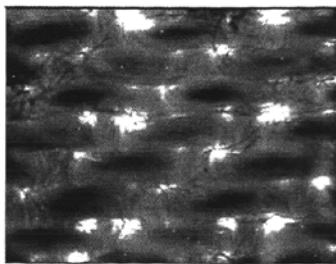


图 4-5 经过直方图规定化处理后  
织物图像

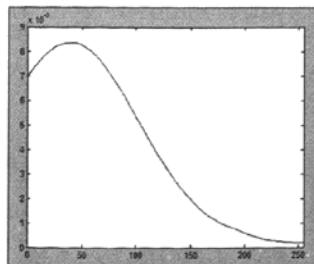


图 4-6 双峰值高斯函数

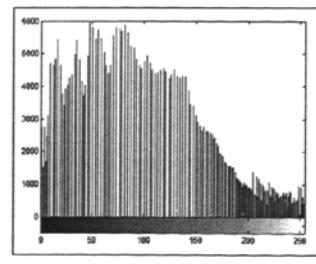


图 4-7 规定化后的直方图

### 4.1.3 图像平滑

在织物图像采集、传递过程中，由于电学和光学的影响，及织物小幅度滑动等随机因素的干扰而引入各种噪声。噪声是有负面影响的外加信号，不利于图像的特征提取，使从图像中获取信息有一定的困难和不便，因此要将其去除。本文采用 Wiener 滤波<sup>[42]</sup>的方法来去除噪声。

Wiener 是一种二维自适应非线性的滤波方法，它采用的自适应方法是基于统计的方法估计邻域中的像素值。相对于其它的线性方法而言，Wiener 有更强的图像适应性，可以感知图像中的方差：如果方差较大，则作较小的平滑处理；如方差较小，则作较多平滑处理。因而此种方法能在滤除噪声的同时，保留图像边缘及其他高频成分，比一般线性滤波器具有更好的降噪效果。

Wiener 滤波器的原理如下：

首先估计每一个像素点的局部矩阵和方差：

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{n1, n2 \in \eta} \alpha(n1, n2) \quad (4-12)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{n1, n2 \in \eta} \alpha^2(n1, n2) - \mu^2 \quad (4-13)$$

其中， $\eta$  为  $N \times M$  维领域，然后用 wiener 滤波器估计出每一个的灰度值：

$$b(n1, n2) = \mu + \frac{\sigma^2 - \nu^2}{\sigma^2} (\alpha(n1, n2) - \mu) \quad (4-14)$$

其中， $\nu^2$  为噪声的方差，对于一般的图像噪声，其方差都较小，因此当它们出现在较平滑的图像区域中时，图像的方差就较小，Wiener 对此区域作较多平滑处理以去除噪声；而大方差的图像区域中常常包括边界等关键特征，此时一般不希望使用太强的平滑以致模糊了边界，因此 Wiener 就使用较小的平滑以保留之。因为织物透射图噪声较强，此处采用多次反复的滤波，处理后的效果如图 4-8 所示组织点边缘清晰，而原有噪声和毛羽则减弱很多。

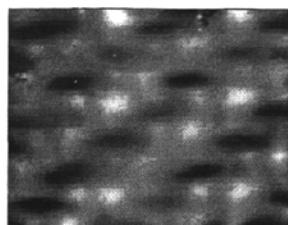


图 4-8 自适应滤波后的图像

一般经过上述三种预处理方法处理过以后，图像清晰，噪音小。对比度明显可以更好的用于图像分割。

## 4.2 织物组织点分割方法

在对图像的研究和应用中，人们往往仅对图像中的某些部分感兴趣，这些部分常称为目标或前景(其它部分称为背景)，一般对应于图像中特定的、具有独特性质的区域。为了辨识和分析目标，需要将它们分离提取出来，在此基础上才有可能对目标进一步利用。

### 4.2.1 图像分割技术

所谓图像分割<sup>[43]</sup>，从总体上说，就是把图像分成若干有意义的区域的处理技术。这些区域互不交叠，每一区域内部的某种特性或相同或接近，而不同区域间的图像特征则有明显差别，即同一区域内部特性变化平缓，相对一致，而区域边界处则特性变化比较剧烈。区域内的所有像素是一个连通集，在一个连通集中任意两像素之间，都存在一条完全由这个集合元素构成的连通路径。连通路径是一条可在相邻像素间移动的路径。多年来，人们对图像分割提出了不同的解释和表达，可借助集合概念用如下比较正式的方法定义：令集合  $R$  代表整个图像区域，对  $R$  的分割可看作将  $R$  分成  $N$  个满足以下五个条件的非空子集(子区域)  $R_1, R_2, \dots, R_N$ ：

$$(1) \bigcup_{i=1}^N R_i = R, (i = 1, 2, \dots, N);$$

(2) 对所有的  $i$  和  $j$ ，如果  $i \neq j$ ，则有  $R_i \cap R_j = \Phi$ ；

(3) 对  $i = 1, 2, \dots, N$ ，有  $P(R_i) = \text{TRUE}$ ；

(4) 对  $i \neq j$ ，有  $P(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ ；

(5) 对  $i = 1, 2, \dots, N$ ， $R_i$  是连通的区域。

其中： $P(R_i)$  是对所有在集合  $R_i$  中元素的逻辑谓词， $\Phi$  代表空集。由定义可以看出，经过图像分割，全部子区域  $(R_1, R_2, \dots, R_N)$  的总和  $\left(\bigcup_{i=1}^N R_i\right)$  应能包括图像中的所有像素(即原图像  $R$ )，并且  $(R_1, R_2, \dots, R_N)$  是互不重叠的，每个子区域都有独立的特性，属同一个区域中的像素应该具有某些相同特性，而不同的子区域具有不同的特性，每一个子区域内的像素是连通的。另外，图像分割定义对如何进行分割有指导作用。

图像分割算法一般是基于亮度值的两个基本特性之一：不连续性和相似性。基于亮度的不连续性分割图像，如边缘检测；基于亮度的相似性依据事先制定的准则将图像分割为相似的区域，如阈值分割、区域生长等。图像分割理论通过借鉴其它学科，如小波变换、分行理论、形态学、模糊数学、遗传算法、神经网络、人工智能等领域

的研究成果，产生了不少新的分割算法。

尽管分割算法多种多样，新的方法也不断涌现，但人们还是不能回避一个长期困扰的问题：如何客观地评价一个分割结果。客观评价对于自动分割意义重大，对比较不同算法的性能也很重要。一些文献总结了人们对分割评价的几种研究结果，但可以看出，多数方法都将算法的分割结果与主观判断结果作比较。事实上，人们对于人眼视觉系统的研究仍不成熟，难以用一个模型去描述它，这是寻求分割的客观评价的困难所在。另外一个更重要的原因是，分割是面向一个个具体应用目的，不同的应用场合对分割结果可能会有不同的评价。因此，在许多情况下，主观评价仍是最佳的衡量标准。

#### 4.2.2 现有织物组织点分割方法

对于采用以织物经纬组织点的分割进行织物组织分析方法而言，要对织物进行分析首先就要进行组织点分割，经纬组织点的位置形状的分割的质量对后期的组织分析以及参数提取的容易程度有很大的影响，较差的分割效果甚至可能导致组织分析的失败。所以组织点的分割对整个识别分析系统很重要的一步。

图像分割是一个比较困难的问题<sup>[44]</sup>，到目前为止尚未有对各领域通用的方法。每一领域都是在研究对自己分割对象有效的方法。织物组织在图像表现上有其独有的特点，在图像处理上有自己的方法，在这方面国内外有不少人进行了研究，也对这一问题的解决提出各式各样的解决方案。本文先对现有分割方法了解一下。

对于织物组织点分割问题，大致分为以下几类：

##### (1) 基于投影法的组织点分割方法

因为织物图案在图像中呈现了良好的空间周期性，其图像中的灰度变化可以用来作为组织点分割依据。Kang<sup>[9]</sup>通过统计图像中的水平和垂直方向上灰度值变化曲线，指出亮度曲线上极小值点即为组织点中间的分界点，由此来查找出经纬交叉区域。但在织造过程中由于组织浮长的影响，以及纱线密度和紧度的影响，很容易造成纱线的扭曲和倾斜。在实际的织物图像中，仅靠统计水平和竖直方向上的灰度变化，很难确定纱线间隙的真实位置。有文献通过综合组织循环周期中同相位的纱线单元来消除一部分纱线偏移误差，但仍然是不够的。

##### (2) 基于阈值化的组织点分割方法

文献<sup>[1]</sup>中提到阈值化的方法：录入一张不带任何物体的背景图片，将其转化为灰度级图像，把图像内所有的像素点的灰度值相加再除以点的总数作为背景的过滤阈值。将织物图像按过滤阈值进行阈值化白色的即为组织点黑色的为纱线间缝隙。实际图像采集过程中一般光线不匀，且组织点多较紧密，很难用一个阈值将织物图像中的

组织点分开。

### (3) 基于小波分解的分割方法

李维<sup>[38]</sup>提到采用小波分解特征提取的方法,利用小波分解的多方向性和织物经纬垂直交织的特性对织物图像进行分析。织物图像中经纬线的变化信息包含在某一分解层次的重构图像中,将把水平分量相加并做分块处理且以垂直线为结构元素进行闭运算得到组织图。但是此方法的限制就是要求图像有相对较好的水平垂直性。

综上所述,目前尚未有一种普遍适用的方法解决组织点的分割问题。

#### 4.2.3 本文采用的图像分割方法

本文中主要采用两种织物组织点分割方法:基于亮度投影的织物组织点分割方法和基于形态分水岭织物图像分割方法。

针对三原组织主要采用改进的亮度投影分割方法。因为对于三原组织的特点:在一个完整组织循环中,每根经纱或纬纱上,只有一个经(纬)组织点,其他均为纬(经)组织点。这样可以先进行某个方向上,或经纱方向或纬纱方向上的分割。然后对每个纱线条图再进行分割。

对于三原组织以外的单层织物一般不具备在一个完整组织循环中某向纱线上只有一个组织点的特点。所以不可以先进行一个方向上行切割再对子图切割。对此采用基于形态分水岭的织物组织点分割方法。在图像分割中,形态分水岭方法主要用于目标物的聚堆分离中,在其他领域中取得很好的使用效果。织物组织点的分割也是聚堆分离分割中的一种,利用此方法可以较好将组织点。

因为对于不同的分割方法,分割后的织物组织点边界会有不同的表现,也需要不同的处理和识别方法。接下来的两章将分别就两种分割方法的分析路线进行说明。

### 4.3 本章小节

对于织物图像的分析,图像的预处理可以改善图片的质量,提高识别效果。本节中运用了彩色转灰度,灰度直方图变换、滤波去除噪声三种预处理方法,优化了图像质量,同时也保留了利于后面图像分割所需信息,为分割打下良好基础。同时也分析现有织物图像分割方法,并针对织物特点提出了两种图像分割的路线。

## 第五章 基于亮度投影分割的织物组织点分析方法

本章所述的织物组织点分割方法主要针对三原组织织物。因为三原组织织物的最小循环单元中，经纱或纬纱上只有一个纬组织点或经组织点。这样可以在一个纱线方向上先进行行分割，然后再分别对分割后的子图像再次进行分割，最终获得对每一个组织点的分割。

### 5.1 本文织物组织点分割方法

此处的织物分析采用织物的反射图像进行处理。其优势是将二维图像通过统计其亮度曲线，并利用亮度曲线对图像进行分割。本质上即转化为一维的曲线进行的处理。相对于二维图像处理，一维曲线则在处理难度上降低了很多，还加快了处理的速度。处理的结果也可靠的多。

对于此分割方法，图像在分割前可以按前述的图像预处理的方法进行处理，也可以不进行预处理，对亮度曲线采用一维滤波等方法处理也可以收到理想的效果。

#### 5.1.1 织物图像行分割

当光源位于织物的正上方时，浮于表面的经纬组织点在纱线轴线方向有最大的亮度，而在纱线的间隙处亮度最小。因此，织物图像亮度的交变信号能够很好的反映纱线位置的更替。对于三原组织可以先对组织点进行行分割，首先判断织物的经纬纱，并判断哪个纱线方向适合行分割。由图 5-2 可以看出此处采用的织物图片，宜先对纬纱进行行分割。

令图像任一像素点的亮度值为  $f(x, y)$ ，用平行于纬纱方向的平均亮度曲线  $L(y)$  来统计经向的亮度信息<sup>[45]</sup>。

$$L(y) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^N f(x, y) \quad (5-1)$$

其中  $N$  为经向图像的像素点数。由于织物表面不可避免的存有毛羽，会使亮度曲线受到噪声的影响。通过对亮度曲线进行 3 次样条曲线拟合得到光滑的亮度曲线，寻找曲线极小值点，即为纬纱的分割的位置。由图 5-1 可以看到，细线部分为织物图像经纱方向的亮度曲线，粗线部分为样条拟合曲线，其极小值处为整幅图像纱线



的间隙，按间隙处的坐标在原图像上画出直线结果如图 5-2 所示，可以看出画线位置基本上表示出了间隙的正确位置。

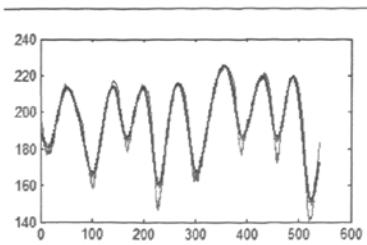


图 5-1 织物图像经向亮度曲线及拟合曲线

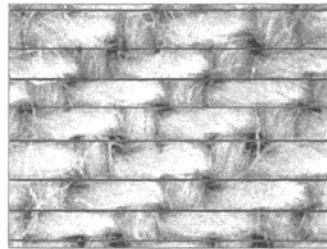


图 5-2 织物图像行分割图

### 5.1.2 纱线条图像的分割

将分割后的纱线图像，利用上述方法进一步分割，则可以得到织物的组织点。但是，织物因为织造过程或使用过程中的外力作用，会产生纱线的扭曲，使纱线的轴线一定程度上偏离理想轴线，直接导致分割后的纱线边缘的不平齐。如图 5-4 中的纱线即有一定程度的扭曲。扭曲的纱线，因为长宽比很大，如单纯采用整幅图像的行分割的方法，会产生很不理想的结果，这样需要进行前期的处理。

经过研究发现，虽然纱线扭曲导致子图像中纱线边缘的扭曲，但是在纱线的轴线两旁 50% 的位置的亮度可以代表整个纱线的区域分布。于是可以取纱线轴线上下对称各 25% 的区域，然后在此区域中进行亮度分析可以得到相对较好的结果。图 5-3、5-5 为两条纱线的亮度投影曲线图，图 5-4、5-6 为于原图上按投影图的谷点位置绘制的分割线，分割效果良好。

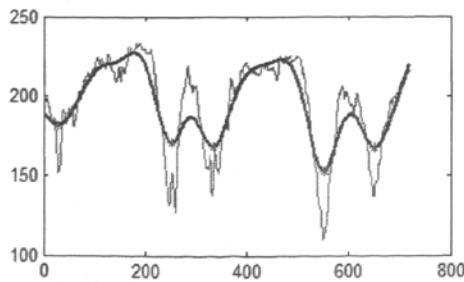


图 5-3 纬纱横向亮度曲线及拟合曲线



图 5-4 纬纱分割图

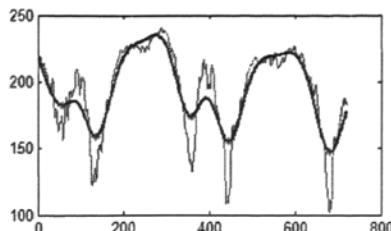


图 5-5 纬纱横向亮度曲线及拟合曲线



图 5-6 纬纱分割图

整幅图像的完整的分割结果如图 5-7 所示。除边缘以外，内部组织点分割位置比较准确，有良好的分割效果。

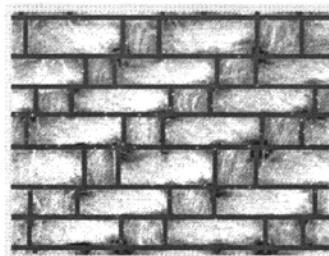


图 5-7 织物图像组织点分割图

### 5.1.3 织物组织结构的识别及组织图的生成

处于边缘的组织点，由于采集图像时可能导致边缘纱线残缺，不能正确反应其应有特征，可先不进行识别。所以，将分割好的图像的组织点的首尾两行，和每一行的首尾两个组织点排除，先不予以识别。

首先，对于内部组织点进行周边组织点的信息获取，因为此处采用的分割方法是先进行分割再进行子图像分割，所以，每个组织点在同一行上高度是相同的，没有必要进行比较了，主要是获得经纱方向的相邻组织点信息。具体方法是：对于一个组织点，以其左右两边的边线向上下延伸，然后检查上下两行哪几个组织点的位置落在其范围内，这几个组织点即为其相邻组织点。

获得的组织点分别与其相邻组织点相比较，计算其差异度。其差异度的定义为：

$$dw_i = \frac{w_c - w_{iar}}{w_c} \times 100 \quad (i=1, 2, \dots) \quad (5-2)$$

$$dh_i = \frac{h_c - h_{iar}}{h_c} \times 100 \quad (i=1, 2, \dots) \quad (5-3)$$

其中： $dw_i$ ， $dh_i$  为第  $i$  个周边组织点与中心本组织点比较产生的差异度。 $h_c$ ， $w_c$  为中心待定性质点的高宽度， $w_{iar}$ ， $h_{iar}$  第  $i$  个周边组织点的宽高度。

这样将各周边组织点与中心性质待定点比较产生的所有差异度进行比较,  $|dh_i|$ ,  $|dw_i|$  即为组织点的可信度, 选出其中最大的值结果作为最终结论。其中  $dw_i$ ,  $dh_i$  的正负号用来判断组织点的性质, 判别标准见表 5-1。

表 5-1 经纬组织点性质判别表

差异度	周边点位置及比较项目	符号为正	符号为负
$dw_i$	上下位置排列周边点与中心点比较	纬组织点	经组织点
$dh_i$	左右位置排列周边点与中心点比较	经组织点	纬组织点

将所有内部组织点的性质识别后, 分别以白色填充纬组织点位置, 以黑色填充经组织点位置, 以灰色填充边缘未识别组织点形成组织点性质图, 填充结果如图 5-8 所示。

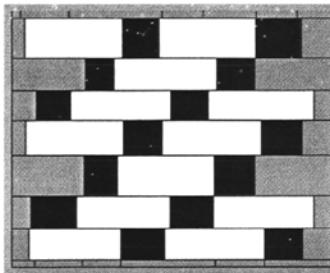


图 5-8 织物内部组织点性质图

由于实际组织点的大小位置的不规则性, 需要将性质图规则化。先将所得到的组织点的横坐标相比较, 如果两个数值相差小于纱线宽度的一半, 就可以认为两者本应在一条水平直线上, 取所有相近点的平均值作为所有相近点的统一横坐标。计算公式如式(5-4)

$$x_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (5-4)$$

$$|x_j - x_m| < \frac{\omega}{2} \quad (5-5)$$

$x_i$  为统一后的横坐标点,  $x_j$  满足式(5-5)。式(5-5)中  $\omega$  为纱线宽度,  $x_m$  为任意尚未进行比较的横坐标点, 即为下一个用于比较基准点,  $n$  为所有满足式(5-5)横坐标点个数。

然后比较组织点的纵坐标从而将相近点的纵坐标统一,重新生成性质图(图 5-9),这时候的二值图就是经纬组织点边缘平齐、大小均匀的性质图了。然后首尾两行首尾两列的坐标位置记录下,并将其切除,形成一个组织点完整的组织点性质图。接下利用组织点同线排列规律推断,未识别的组织点性质将其性质补填到性质图中,则形成了一副完整的代表织物组织的性质的二值图,如图 5-10 所示。并将调整后的组织图的每一个点做数据信息记录其数据结构如下:

{组织点编号; 组织点性质; 所在行数; 所在列数; 上下左右四顶点坐标; }

将性质图的从每一条纱线间隙处分开,结果如图 5-11 所示,最后将每一个组织点宽度高度调整,使每一个组织点宽高相等,即形成标准的织物组织图(图 5-12)。

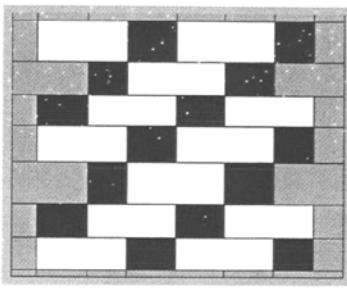


图 5-9 织物内部组织点边缘平齐图

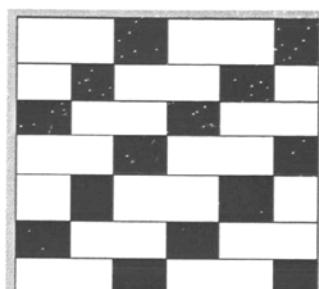


图 5-10 去除边缘的全部组织点性质图

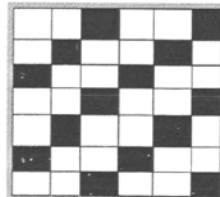


图 5-11 间隙线切分后的组织点分割图

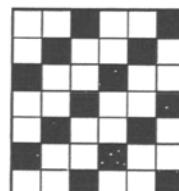


图 5-12 规则化的组织图

#### 5.1.4 组织图校验

考虑到图像获取和分析过程中一些随机因素的干扰,需对上述方法分析得到的组织图进行进一步的校验。

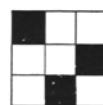
此处可以对性质图校验,因为性质图中的组织点符合同线排列规律的,所以提取性质图中的组织点信息数据。取出所有经组织点,检验其同列范围相邻组织点的性质,是否符合每一个经组织点上下两个组织点为纬组织点;同理提出所有纬组织点进行检验;如果不符于此规律则由人工干预纠错与确认。

### 5.1.5 组织参数提取

将组织图转化为组织矩阵<sup>[46]</sup>如图 5-13 所示, 经组织点为 0 纬组织点为 1。对组织矩阵分别按行和列向量求最大无关向量组。行向量最大无关组个数即为纬纱循环数, 列向量最大无关组个数即为经纱循环数。即可按经纬纱循环数提取组织循环单元并按矩阵生成组织循环单元图(图 5-14)。

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

图 5-13 组织矩阵图



$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

图 5-14 组织循环图及矩阵

然后分别统计 0、1 个数。因为目前分析织物主要针对三原组织, 三原组织的基本特征为<sup>[47]</sup>:

1. 组织点飞数是常数, 即  $S=$ 常数。

2. 每根经纱或纬纱上, 只有一个经(纬)组织点, 其他均为纬(经)组织点。这就决定论原组织的组织循环经纱数必然等于组织循环纬纱数。亦即  $R_j=R_w=R$ 。

三原组织组织参数分析步骤如下:

1. 取一个完全组织矩阵进行分析, 若 0、1 个数相同则为平纹组织。即可确定  $R_j=R_w=2$ ,  $S=1$ 。
2. 若 0 的个数多于 1 的个数, 即为经面组织; 若 1 的个数多于 0 的个数即为纬面组织。从完全组织矩阵中任取一列向量统计, 其中 0 的个数为组织循环内经组织点  $L_j$ , 1 的个数为组织循环内纬组织点  $L_w$ 。
3. 若为一个经面组织则纵向扩展一个循环单元矩阵, 从第二列第一个 1 位置  $y_s$  开始沿第一列向下寻找出现的第一个 1 出现的位置  $y_e$ 。则有飞数为:

$$S = y_e - y_s \quad (5-6)$$

4. 若为一个纬面组织则横向扩展一个循环单元矩阵, 从第倒数二行第一个 0 位置  $x_s$  开始沿倒数第一行向右寻找出现的第一个 0 出现的位置  $x_e$ 。则有飞数为:

$$S = x_e - x_s \quad (5-7)$$

5. 若  $S$  为 1 则为斜纹,  $S>1$  则为缎纹。

对于图 5-13 矩阵分析如下，首先求矩阵的行向量最大无关向量组个数为 3，列向量最大无关向量组个数也为 3，所以此组织图的最小循环单元为 3 行 3 列，组织循环经纬纱数为 3，即  $R_j = R_w = 3$  所以在矩阵中任取连续的 3 行 3 列矩阵即为组织循环单元。结果如图 4-50 所示。其中有 3 个 0，有 6 个 1，所以为纬面组织。由式 5-7 计算组织飞数为  $S = x_e - x_s = 1$ ，所以是一个斜纹。

然后取组织循环图中的一列向量，其中 0 的个数为经纱组织点数，1 的个数为纬纱组织点数。所以此组织为  $L_j = 1$ ， $L_w = 2$

由分析数据得出结论，本组织为一个一上二下斜纹。

### 5.1.6 织物经纬纱密度计算

使用 CCD 摄像机拍摄织物图像，经图像采集卡将图像采集到计算机硬盘中，原来连续的织物信息被转换成离散的数字信息。图像的分辨率和图像尺寸一起决定了文件的大小及输出质量。本文图像分辨率为每英寸  $96 \times 96$  个点，根据英寸、毫米的换算关系即一英寸等于 25.4 毫米，那么可以得知屏幕上每点长度代表 0.265mm，考虑到织物图像是经过放大  $n$  倍而得到的，因此屏幕每点实际代表的长度是  $0.265/n$  mm。

以计算经纱密度为例：由经纬纱密度的定义，在织物中以 10cm 内排列的经纬纱根数称为织物的经纬纱密度，经纱密度可由下列方法求得：由已知的裁切后图像的像素宽度以及此长度内的经纱根数，可计算出纱线根数  $m$ ，对应的实际每根经纱平均所占宽度为  $D_j$ ，由经纱密度定义可得其计算公式：

$$S_j = \frac{100 \times m \times n}{D_j \times 0.265} \quad (5-8)$$

其中  $S_j$  为经纱密度。 $n$  为显微镜放大倍数。

参数提取算法归纳如下：

Step1. 读取原图像高度与宽度，并同时读取在组织图形形成过程中所裁切掉的部分的尺寸。将图像原始尺寸减掉裁切部分即为形成组织图的织物的图像尺寸。

Step2. 将图像尺寸通过计算放大倍数和图像分辨率转化为织物原始实际尺寸。

Step3. 分别统计组织图中的经纱和纬纱的根数，由公式求得经纬纱密度。

表 5-2 纱线间平齐间隙线坐标

纬纱间隙线坐标	15	100	168	230	304	391	459	525
经纱间隙线坐标	56	166	251	358	461	568	655	

求经纬纱密，由表 5-2 知道组织图的首尾缝隙线位置分别为：纬向(56, 655)，经向(15, 525)，则规则组织图的尺寸为：599\*510。由组织图知经纱有 6 根纬纱 7 根。图像采集放大倍数为 40 倍，由公式 4-3 得：

纬密：

$$s_w = \frac{100 \times 40 \times 7}{0.265 * 510} = 207.17 \text{ (根/10cm)} \quad (5-9)$$

经密：

$$s_j = \frac{100 \times 40 \times 6}{0.265 * 599} = 151.2 \text{ (根/10cm)} \quad (5-10)$$

## 5.2 实验实例分析

### 5.2.1 系统软件的实现及演示

由于织物识别系统的开发尚处于初始阶段，工作的重心在于算法研究，所以本文选取了 Matlab 工具来实现算法仿真。本文之所以选用 Matlab 工具，主要是因为它的语言平台简单、直观，而且本身集成了多个现成函数，非常适合于用来做预研和算法的前期开发。在此利用 Matlab 中的 Guide 工具<sup>[48]</sup>设计一个集成的织物组织分析平台。现演示如下：

织物组织图像分析系统软件的运行界面如图 5-15 所示。图中，左边为输入图像显示区域，显示需要进行分析的织物原始图像，而该图像的输入则通过菜单“打开”按钮来导入；对于图像处理中间的参数调整可以通过“参数设置”菜单来设置；图像如需预处理可通过“预处理”菜单来进行处理；图的右边是分析的结果显示区，结果可以通过保存按钮保存到指定的文件夹中。图像分析是通过下部的“图像分割”、“性质识别”、“生成组织图”、“参数提取”几个按钮来实现。除了显示最终结果。下面就一副斜纹图说明一下分析过程。

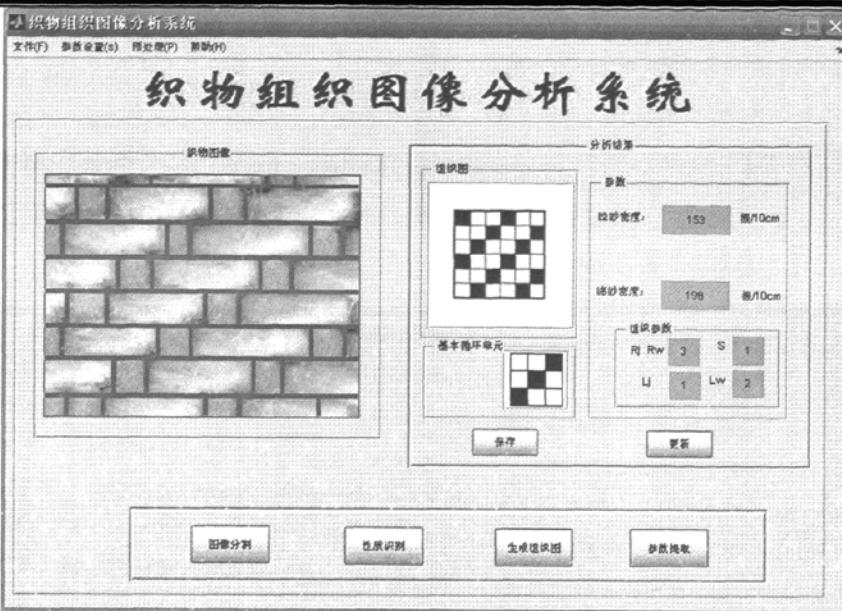


图 5-15 织物组织图像分析系统软件界面

通过点击开始按钮开始分析，结果显示在右侧结果区，如图 5-15 所示，本文可以看到这幅织物的组织图和其基本循环组织单元图。还有组织的经纬纱密。经纱密度为 153 根每 10cm 纬纱密度为 198 根每 10cm。经纬纱循环根数为 3 根，飞数为 1，经线浮长为 1，纬线浮长为 2，所以是一副一上二下斜纹织物。

### 5.2.2 试验结果讨论和分析

织物的组织种类繁多，根据其经纬线组数及交织规律可分为简单组织和复杂组织。复杂组织结构复杂，变化多端，分析难度较大，本文未做讨论，由于时间和条件的限制，本文主要选择了三原组织作为样本做了分析。在本系统上测试 10 个试样，得到经纬纱的密度、组织结构。将自动测试的结果与传统的人工测试结果进行对比。

织物的经向或纬向的密度，是指沿织物纬向或经向单位长度内经纱或纬纱排列的参数。国家标准与部标准中分别规定棉织物与毛织物均以公制密度表示。公制密度是指在 10 厘米宽度内经纱或纬纱的根数。不同织物的密度可在很大范围内变化，大多数棉、毛织物的密度在 100 至 600 根的范围内。是织物设计即分析的重要指标之一。

由表 5-3 测试结试结果可以看出，自动测量的经纱密度与手工测量的结果百分比误差最大为 3.88%，最小为 0.26%。此处定义自动测量结果与手工测量结果间的平均百分比误差为：

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|x_i - y_i| / y_i) \times 100 \quad (5-11)$$

其中： $\delta$  为误差值； $x_i$  为自动测量值； $y_i$  为人工测量值。

表 5-3 试验结果及分析

编号	组织结构	颜色	经密			纬密			织物组织			
			人工	自动	误差(%)	人工	自动	误差(%)	Rj/Rw	Lj	Lw	S
1	平纹	白	400.2	395	1.30	308.4	314	1.82	2	1	1	1
2	斜纹	白	521.4	527	1.07	278.2	277	0.43	3	2	1	1
3	斜纹	白	375.6	382	1.70	196.8	191	2.95	3	2	1	1
4	平纹	白	335.6	337	0.42	274	273	0.36	2	1	1	1
5	平纹	白	398.2	389	2.31	216.4	213	1.57	2	1	1	1
6	斜纹	白	533.4	548	1.86	284	274	3.52	3	2	1	1
7	平纹	白	216.4	208	3.88	213.4	218	2.16	2	1	1	1
8	缎纹	白	533.4	542	2.16	234.8	220	2.04	5	3	2	3
9	缎纹	黄	624.2	622	0.35	332.6	341	2.53	5	3	2	3
10	缎纹	红	794	800	0.76	674	682	1.19	5	3	2	3

表 5-1 中样本织物经密平均误差：

$$\delta_j = (1.3 + 1.07 + 1.70 + 0.42 + 2.31 + 1.86 + 3.88 + 2.16 + 0.35 + 0.76) / 10 = 1.58 \quad (5-12)$$

即经纱测量平均误差为 1.58%；

纬向平均误差：

$$\delta_w = (1.82 + 0.43 + 2.95 + 0.36 + 1.57 + 3.52 + 2.16 + 2.04 + 2.53 + 1.19) / 10 = 1.86 \quad (5-13)$$

即纬向平均误差为 1.86%。

可以看出，对于织物的经纬纱密度无论是误差最大值还是平均误差均在 5% 以内。对于织物组织的组织参数的结果四项数据全部正确。说明自动测量结果与手工测量结果相关性显著，可以代替部分手工分析工作。

### 5.2.3 实验误差分析

实验结果显示本文的自动分析方法可以满足织物结构分析的要求。但是实验仅是针对三原组织非高密织物，对于稍微复杂的织物并未进行验证。对于实验条件和实验过程的分析发现对系统中的测量结果的准确度影响主要以下几个因素：

(1) 样本质量和录入效果的影响：样本本身的质量好坏直接影响到测量的准确

性。一些样本本身存在着比较明显的经斜或纬斜现象，经纬纱不能呈垂直排列的状态，这样的样本会影响到分析的结果；一些样本由于存放时间长或在采样过程中受到较多的摩擦，表面存在较多毛羽，或有一定的污渍等，容易使布面变得模糊，经纬纱交界及纹路不清晰，分析结果也会产生较大的误差。还有录入时的经纬纱发生倾斜也会造成

(2) 织物组织结构的影响 织物本身的组织结构对测量结果有很大的影响，本文采用的是透射图的识别方法，对于低密织物有很好的识别效果，如果织物过紧甚至不能看出织物的缝隙则将导致很差的结果。

(3) 处理过程的影响 在后期纱线密度测量时，要切除边缘不完全组织点。因为纱线扭曲和分割的组织点边界的移动造成对纱线的过多或过少的切割，虽然是轻微的偏差，在密度换算以后就被放大几十甚至上百倍这是一个不小的误差源。

### 5.3 本章小结

本章主要对基于亮度投影分割的织物分析实现路线进行了介绍，同时还就三原组织做了试验进行误差分析，最后对实验误差产生的原因进行了分析。本系统对识别对象是一些结构较为简单的低密织物组织本方法有很好的效果，至于更复杂和低质量织物图片的分析效果还待进一步的研究。

## 第六章 基于形态分水岭图像分割的织物组织分析

基于亮度投影的分割方法对于原组织织物可以进行很好的分割和提取参数，但是对于复杂组织，其组织点排列方式复杂多变，无法按先行后列的顺序进行分割，分割效果就不理想。本章提出的基于形态分水岭图像分割方法，可以对一些非高密的单层复杂组织进行分割和参数提取。

### 6.1 织物图像的选择

织物分析可以采用织物的反射图像和透射图像<sup>[49]</sup>进行处理。如果使用织物的反射图像（如图 6-1）进行处理和分析，由于织物的品种、质地和结构千差万别，造成干扰因素太多，最主要的就是大多数织物组织点排列紧密难以分割，因而使得分析方法困难重重。而利用织物的透射图像（如图 6-1），借助透射光线，则可以把织物纱线间的缝隙变得清晰可见，使得组织点之间更容易分离，可以很好识别织物组织，也能准确地计算出经纬密度。虽然采用透射图仍不能解决部分高密织物的识别问题，但可以解决大部分织物的组织识别问题。

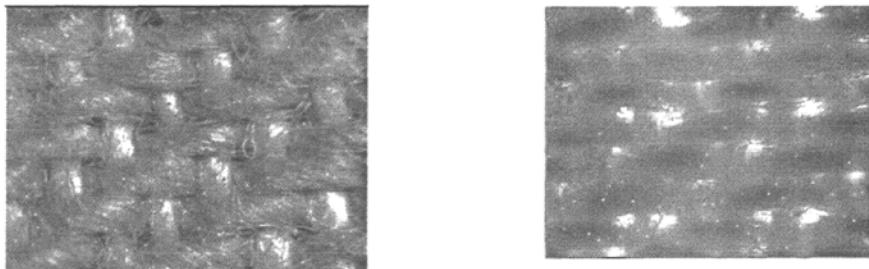


图 6-1 红白混色织物的反射图和透射图

此处利用织物的透射图组织点易分离的特点，首先通过灰度直方图增强，空间域滤波去噪等方法对图片进行预处理，然后利用形态学方法进一步对图像处理，最终采用分水岭的图像分割方法分割织物组织点。

### 6.2 基于形态分水岭组织点分割

分水岭变换是一种有效的图像分割手段<sup>[50]</sup>，目前已广泛应用于图像分析领域。分水岭变换将图像视为 3D 地貌表面，其中山峰对应灰度极大值，山谷对应极小值，通

过检测地貌局部极小值对应的堤坝即可确定区域的轮廓水线，通过分水岭的界线可以将图像分割为一系列区域。

分水岭分割直接对灰度图像进行灰度形态学运算，因而避开阈值化处理过程，在图像分割领域中，针对聚堆区域分离一类的算法是很有效的。它曾经应用于医学图像中细胞<sup>[51]-[52]</sup>、脑 CT 等图像<sup>[53]</sup>的分析以及石头、玻璃<sup>[54]</sup>和浮选泡沫<sup>[55]</sup>等图像分割都收到很好的效果。织物组织点的分割也有着相似的图像特征表现情况，将基于形态学的分水岭分割方法应用到织物组织点分割中是一个可行的方案。

整个图像分割的流程如图 6-2 所示。彩色图像转灰度可以在不影响组织点分割的情况下降低要处理的数据量；通过一系列的预处理措施可以增强图像的显示，可以去除织物表面毛羽噪声并使组织点和纱线间隙对比明显；形态学重建目的在于消除梯度图像中由非规则灰度扰动和噪声引起的局部极值，保留重要的轮廓极值信息从而降低过分割现象。最终通过分水岭分割方法将织物组织点分割开。

下面结合图 6-1 中红白混色斜纹织物透射图对整个分析过程进行陈述，其预处理部分即为第四章中过程和例子，限于篇幅此处不再重述，下面着重说明以下其余步骤。

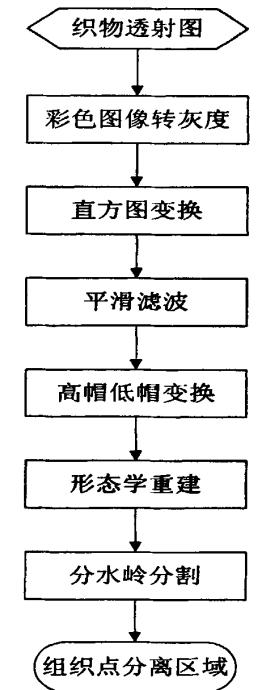


图 6-2 组织点分割的流程

### 6.3 形态学处理和分水岭分割

本文采用一种基于形态学梯度重建的分水岭图像分割方法分割织物组织点<sup>[56]</sup>。

数学形态学<sup>[57]</sup>是一种基于集合论的非线性图像处理理论，它的基础是二值形态学，基本运算包括腐蚀运算、膨胀运算、开运算、闭运算。它最初应用在二值图像上，若将灰度图像看作三维立体集合，即三维空间中的二值图像。那么，数学形态学的理论也适用于灰度图像，形成灰度数学形态学(简称灰度形态学)的理论。利用形态学开闭重建运算对原始图像的形态学梯度图像进行滤波重建，在简化梯度图像的同时，保持了轮廓分水线的准确定位，消除了产生过分割现象的根源，加之整个分割过程只涉及一个参数(结构元素)的选择，该方法不但能产生较好的分割效果，而且降低了算法的复杂性。

### 6.3.1 对比度增强处理

分水岭分割通过从图像中提取区域极小值，进而确定该极小值对应的分水岭。分水岭反映的是图像中强度骤变的分界线，为了便于提取区域极值，通常先对图像进行对比度增强处理，以突出图像中的明暗变化。

高帽变换<sup>[58]</sup>指从一副原始图像中减去对其做开运算后得到的图像其定义为：

$$THT(f) = f - (f \circ g) \quad (6-1)$$

其中， $g$  为结构元素。高帽变换是一种波峰检测器，它在较暗的背景中求亮的像素点。与它相对偶的是低帽变换，其定义为：

$$BHT(f) = (f \bullet g) - f \quad (6-2)$$

低帽变换是一种波谷检测器适合在较亮的背景中求暗的像素点。

进行高帽变换和低帽变换可以得到灰度图像中的一些重要标记点。例如，在较亮的背景中求较暗的像素点或在较暗的背景中求亮的像素点；检测受到噪声污染的图像中的边缘。在本织物透射图中，利用高帽变换所得到的图像与原始图像相加。然后再减去低帽变换所得图像，可以增强组织点中间的缝隙。

### 6.3.2 形态学梯度图像重建

由于分割中关心的通常是梯度的大小，因此采用形态学膨胀和腐蚀计算梯度。形态学梯度运算具有非线性，能在增强图像中极值对比度的同时，保持图像中相对平滑的区域。对于图像  $f(x, y)$ ，其梯度图像为  $g(x, y)$ <sup>[59]</sup>

$$g(x, y) = f(x, y) \oplus b(x, y) \quad (6-3)$$

$$g(x, y) = f(x, y) \ominus b(x, y) \quad (6-4)$$

其中： $b(x, y)$  为圆盘状结构元素； $\oplus$  和  $\ominus$  分别表示灰度形态学膨胀和腐蚀运算。经形态学梯度处理后，图像中的灰度跃变急剧增强，选用的圆盘状结构元素具有各向

同性，消除了梯度对边缘方向的依赖性；同时，结构元素半径较小，避免了梯度图像中产生过厚边缘造成的区域轮廓定位误差。对于形态学梯度图像，噪声和细节依然存在，如果直接进行分水岭分割，仍然会出现过分割。为此，采用形态学开闭重建运算对梯度图像进行重建，目的在于消除梯度图像中由非规则灰度扰动和噪声引起的局部极值，保留重要的轮廓极值信息。

形态学开和闭重建运算建立在测地膨胀和腐蚀的基础上，对于梯度图像  $g(x, y)$  和参考图像  $r(x, y)$  其形态学测地膨胀定义为：

$$\begin{cases} D_B^{i+1}(g, r) = \text{Min}[(D_B^i \oplus B), r] \\ D_B^i(g, r) = \text{Min}[(g \oplus B), r] \end{cases} \quad (i=1, 2, 3\dots) \quad (6-5)$$

其中， $B$  表示圆盘状结构元素。圆盘形结构元素满足旋转不变性，因此不会造成图像特征值的畸变。类似地， $g(x, y)$  的形态学测地腐蚀定义为：

$$\begin{cases} E_B^{i+1}(g, r) = \text{Max}[(D_B^i \ominus B), r] \\ E_B^i(g, r) = \text{Max}[(g \ominus B), r] \end{cases} \quad (i=1, 2, 3\dots) \quad (6-6)$$

形态学测地膨胀和腐蚀均为迭代运算。当迭代次数达到预定值或  $D_B^i = D_B^{i+1}$  和  $E_B^j = E_B^{j+1}$  时迭代过程终止。基于测地膨胀和腐蚀的定义，形态学开和闭重建运算  $O_B^{(rec)}$  和  $C_B^{(rec)}$  分别定义为：

$$O_B^{(rec)}(g, r) = D_B^{(rec)}[(g \circ B), r] \quad (6-7)$$

$$C_B^{(rec)}(g, r) = E_B^{(rec)}[(g \bullet B), r] \quad (6-8)$$

其中  $\circ$  和  $\bullet$  分别为形态学开和闭运算； $D_B^{(rec)}$  和  $E_B^{(rec)}$  分别表示形态学测地膨胀和腐蚀收敛时的结果。考虑到开和闭重建运算分别对梯度图像  $g(x, y)$  中明暗细节和噪声的平滑特性，将上述开和闭重建运算结合，构建形态学混合开闭重建运算，以达到同时消除梯度图像中明暗细节和噪声的目的。形态学混合开闭重建运算  $B$  定义为先开后闭的二次重建即

$$g_B^{(rec)} = C_B^{(rec)}[O_B^{(rec)}(g, r), r] \quad (6-9)$$

首先采用形态学开重建运算  $O_B^{(rec)}$  消除梯度图像中的尺度比结构元素小的极大值噪声和非规则干扰，随后再进行形态学闭重建运算  $C_B^{(rec)}$  去除比结构元素小的暗噪声及非规则干扰。这样，区域极大值和极小值均得到了修正，减少和消除了因细节和噪声干扰造成的分水线位置偏移和因局部极小值过多造成的分水岭过分割现象。对组织

图的处理效果如图 6-3 所示。经过形态学开闭重建的梯度图像  $g_B^{(rec)}$  消除了其中过多的区域极值和噪声，因而避免了标准分水岭产生过分割的可能，加之形态学开闭重建运算的准确的轮廓定位能力，减小了区域轮廓线的位置偏移。

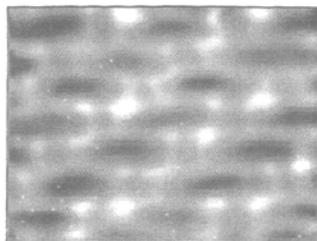


图 6-3 形态梯度重建效果

### 6.3.3 分水岭分割

分水岭算法<sup>[60]</sup>是一种较新的基于区域的图像分割方法。该算法的思想来源于洼地积水的过程：首先，求取梯度图像；然后，将梯度图像视为一个高低起伏的地形图，原图上较平坦的区域梯度值较小，构成盆地，原图上的边界区域梯度值较大，构成分割盆地的山脊；接着，水从盆地内最低洼的地方渗入，随着水位不断长高，有的洼地将被连通，为了防止两块洼地被连通，就在分割两者的山脊上筑起水坝，水位越涨越高，水坝也越筑越高；最后，当水坝达到最高山脊的高度时，算法结束，每一个孤立的积水盆地对应一个分割区域。

对于本文中在重建的梯度图像上进行分水岭变换，实际上就是先对  $g_B^{(rec)}$  进行极小值标记，然后以极小值为山谷，搜索其灰度值相近的邻域像素，并将其置为背景(或前景)值，即逐渐“淹没”周边区域。当相邻的两个极小值对应的区域像素相遇时，即确定为区域轮廓像素点。当所有区域极小值对应的轮廓像素点确定并标记后，分割过程结束。由图 6-4 可以看出各组织点边缘基本上保持了原来组织点的边界，并且过分割的情况很小，对组织点后续的识别影响不大。

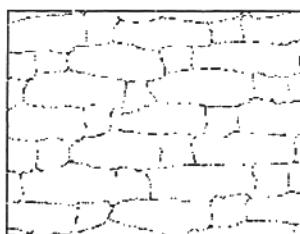


图 6-4 分水岭分割效果图

## 6.4 组织点边界平齐化

从分割结果可以看到，经过分水岭算法分割后的组织点的区域边缘凹凸不平，排列也是织物组织点原始扭曲状态，不适合直接用于结构识别和参数提取，因而此处先要进行组织点边界线和排列位置的规则化。

### 6.4.1 寻找组织点直线近似分界线

根据织物纱线交织的织造方式，经纬纱线相互垂直交叉在一起，而且经过织机的牵伸打纬，能基本上保证经纬纱线为直线状态，这样组织点的边缘线大致在一条直线上。在已取得织物点边缘的情况下，其边缘的位置一般分布在一条直线的附近，这样如果找到他们的统计极值点，即为边缘坐标值相对集中的位置，此即可作为组织点直线分割的线。基于此思路，在此设计一种坐标集中投影算法，其流程图如图 6-5 所示，步骤归纳如下：

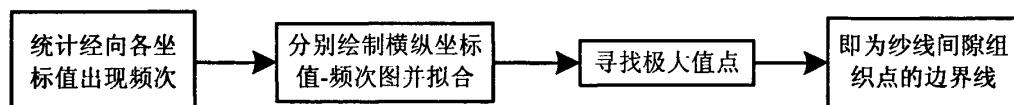


图 6-5 寻找纱线间隙过程图

Step1. 将组织点分割的界线纵横坐标形成两个集合，并分别统计出来坐标集中每一个不同坐标值出现的次数。

Step2. 以坐标值为横坐标次数为纵坐标绘制曲线，并对其进行拟合求取拟合曲线的极值点，即为规则化后的纵横坐标。如图 6-6 图 6-7 所示，横轴为边缘图的横纵坐标的值，纵坐标对应的为他们的出现的频次。粗曲线为拟合曲线，其极大值点坐标即为要找寻的纱线间隙线，组织点的近似直线分界线。图 6-8、图 6-9 为直线分界线与原始边缘图叠加比较效果，可以看出，直线可以正确反应出组织点规则分界线。

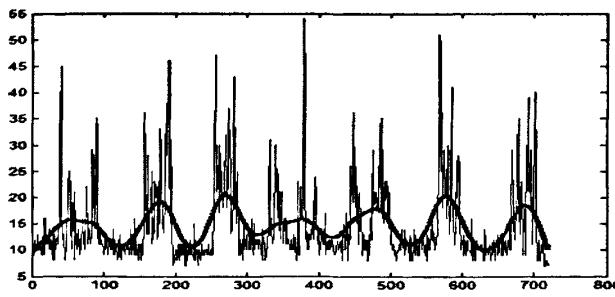


图 6-6 横坐标的坐标-频次关系曲线图及拟合曲线图

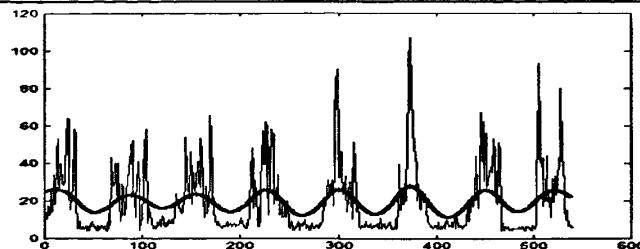


图 6-7 纵坐标的坐标-频次关系曲线图及拟合曲线图

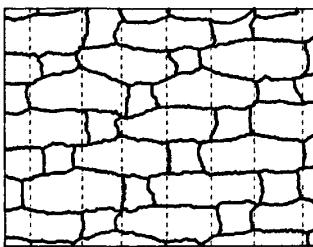


图 6-8 经向纱线间隙线

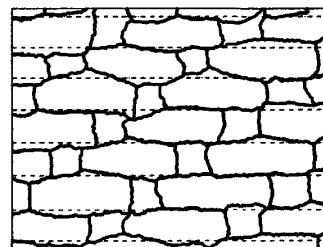


图 6-9 纬向纱线间隙线

#### 6.4.2 绘制组织点平齐边界图

首先规则化横坐标，令每一个边缘点纵坐标不变横坐标向最近的经向纱线间隙线投影，将自己的横坐标值替换为间隙线横坐标值，结果如图 6-10 所示。以同样方式规则化纵坐标结果如图 6-11 所示。将两幅图叠加即为规则后的组织点分割图(图 6-12)。

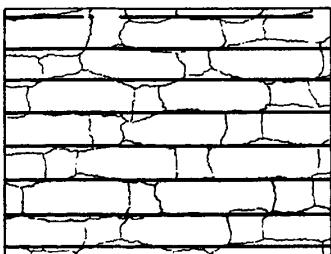


图 6-10 纬向纱线间隙投影线

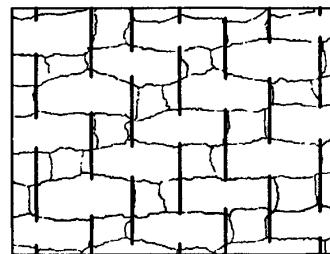


图 6-11 经向纱线间隙投影线

其次，修剪组织点平齐边缘图。由图可以看出，由于纱线的扭曲而偏离直线位置，经过投影生成的组织点分割线总是或间断或突出而造成分割区域的不封闭，所以要进行修剪。

修剪的算法：用经纬向纱线间隙线横向和纵向将投影线分割成小区间，计算每个区间内投影线的长度，并计算每一小段其所在区间平行投影线方向长度。将投影线长度和区间长度比较，如果投影线长度大于区间长度一半，则将投影线延长至区间长度；

如果投影线长度小于区间长度一半，则删去此投影线。经过修改的平齐边缘如图 6-13 所示。

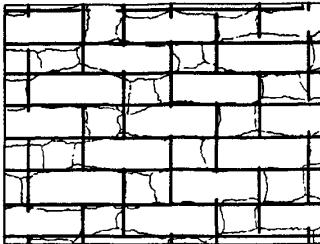


图 6-12 叠加后的纱线间隙线

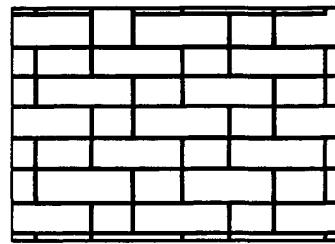


图 6-13 修剪后的纱线间隙线叠加图

## 6.5 织物组织点性质识别

### Step1. 组织点自身信息提取。

因为本文要通过对组织点信息进行比较，所以首先要把组织点的信息提取出来，本文所需的信息主要是：组织点分区的编号、组织点周边组织点的编号和位置以及这些组织点的平均宽度和平均高度等。

#### 1) 组织点编号及周边现对位置的确定

当分水岭方法分割区域时会分别于不同的区域做有标记，整个织物组织透射图被分割成若干独立的组织点，每一个独立区域内以其标记数字填充，这样其区域内的灰度值即为即为区域的编号，通过伪彩色增强<sup>[61]</sup>方法可以让本文看到这一点。

伪彩色增强就是对原来灰度图像中不同的灰度值区域赋予不同的颜色，使人眼能够更明白的区分不同的灰度值区域。分水岭分割后不同区域被标以不同的值，伪彩色增强后其值不同的区域就显示不同颜色。如图 6-14 所示，经过伪彩色增强本文看到整幅图像颜色不同。其颜色值也指出了其所代表的区域编号。

#### 2) 对周边组织点编号搜索

对边缘平齐化后的组织点区域分区搜索，区域中比重最大的数值即为此区的主要组织点的区域，以此数值填充区域就得到带有标记的平齐化组织点分区图，施以伪彩色增强的效果如图 6-15 所示。这样欲得到某一组织点的上下左右位置的组织点编号可以通过查询其各方向上的区域内的数值即可得到。

#### 3) 内部完整组织点编号的获取

因为此方法仅对有完整外形的组织点有效，知道哪个组织点具有完整外形是有必要的。一般图像内部组织点都有比较好的外形。本文采用方法为：取图像最外面的向量的元素，提取其包含的不同的数值，这些数值即为处于边缘的组织点区域的编号。于是，如图 6-16 所示，其余编号的组织点区域即为内部组织点。

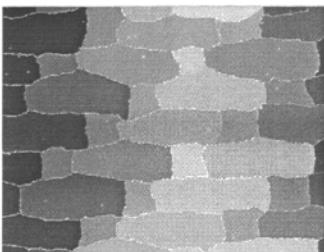


图 6-14 组织点分割区域的伪彩色增强图

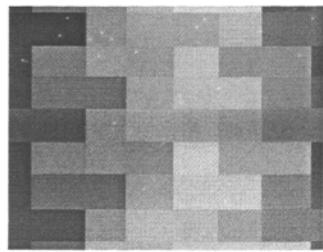


图 6-15 区域边缘平齐化后伪彩色增强图

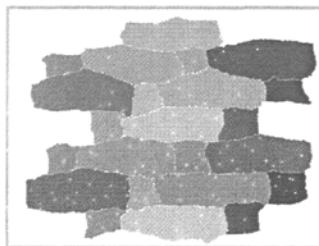


图 6-16 内部组织点图

### Step2.组织点平均宽度高度信息获取

组织点平均宽高度的提取主要过程：先将要进行分析的组织点单独提取到一副图中，然后提取组织点的边缘，因为组织点边缘凹凸不平，有很大的变形毛刺噪声等，对于平均高宽度的提取十分不利。所以先采用傅立叶描绘子<sup>[62]</sup>对组织点边缘表达通过调整描绘子的个数可以对边缘进行平滑。同时求取包含区域的最小矩形，用来确定进行宽高度提取范围。

以计算平均高度为例说明求取过程，从包含区域的最小矩形的最右端起，逐列扫描整个矩形区域，由于组织点的边界不规则，可能会有较大纵向凹陷导致一条扫描线上可能会有多条边缘线交叉，无法正确判断高度信息，可以将这种情况舍弃，可设每列中有且仅有两个非零像素点的扫描信息才有效，这样通过两点位置来计算上下两条边缘之间的像素直线距离，然后除以有效扫描的次数即得组织点的平均宽度。同理可以计算组织点的平均宽度。其计算流程图如图 6-17 所示。

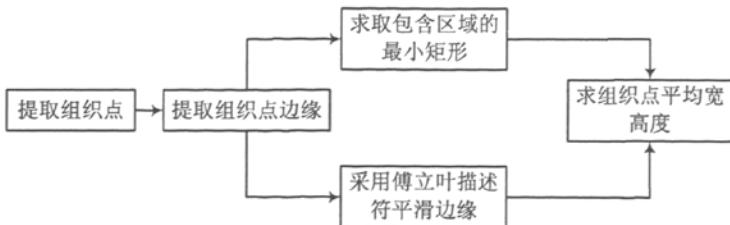


图 6-17 组织点平均宽高度计算流程图



### Step3. 组织点性质的判定

因为获得的组织点是有的会存在扭曲变形，并且经过分水岭分割或多或少会造成组织点精确边缘的变动，所以无法十分明显的表现出宽度和高度差异，有的还可能表现为相反的差异，经纬两向可能得出相矛盾的结论，致使无法直接仅凭判断经纱方向或纬纱方向的宽高度的对比来得出正确的结论。

但是，由织造原理产生宽度差异的物理规律是可以体现出来的。产生矛盾的情况一般是经纬纱组织点与其上或下的纱线差异不大，轻微的扭曲或边缘移位会造成结果相反。但是在相差较大的时候即使有变形移位也不会影响识别的效果。所以，可以通过分别比较经向纬向的差异程度来确定结果可信的程度，进而按差异度最大的结果来最终确定组织点的性质。其差异度的定义为：

$$dw_i = \frac{w_c - w_{iav}}{w_c} \times 100 \quad (i=1,2\dots) \quad (6-10)$$

$$dh_i = \frac{h_c - h_{iav}}{h_c} \times 100 \quad (i=1,2\dots) \quad (6-11)$$

其中： $dw_i$ ， $dh_i$ 为第*i*个周边组织点与中心本组织点比较产生的差异度。 $h_c$ ， $w_c$ 为中心待定性质点的平均高宽度， $w_{iav}$ ， $h_{iav}$ 第*i*个周边组织点的平均宽高度。

这样将各周边组织点与中心性质待定点比较产生的所有差异度进行比较， $|dh_i|$ ， $|dw_i|$ 即为组织点的可信度，选出其中最大的值结果作为最终结论。其中 $dw_i$ ， $dh_i$ 的正负号用来判断组织点的性质。判别标准见表 6-1。

表 6-1 经纬组织点性质判别表

差异度	周边点位置及比较项目	符号为正	符号为负
$dw_i$	上下位置排列周边点与中心点比较	纬组织点	经组织点
$dh_i$	左右位置排列周边点与中心点比较	经组织点	纬组织点

下面任意取一个经组织点和一个纬组织点采用上述方法进行组织点性质判断的过程介绍及分析。图 6-18 为提取的 30 号组织点及其周边组织点的外形及排布图。

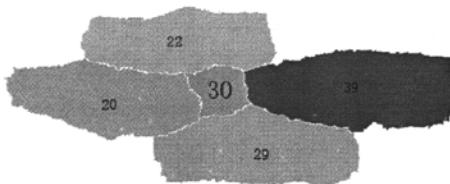


图 6-18 第 30 号组织点及其周边组织点

首先，对待定性质的组织点进行特征信息提取，先提取组织点的平均宽高度，利用程序查询上下左右位置的组织点的编号，结果见表 6-2：

表 6-2 30 号组织点自身信息表

编号	平均宽度	平均高度	上方	下方	左侧	右侧
30	58.57	49.76	22	29	20	39

然后，将周边点的编号输入特征提取程序，进行边缘提取和平滑，提取他们的平均高度和宽度，如图 6-19~6-28 所示。得到的结果列在表 6-3 中。

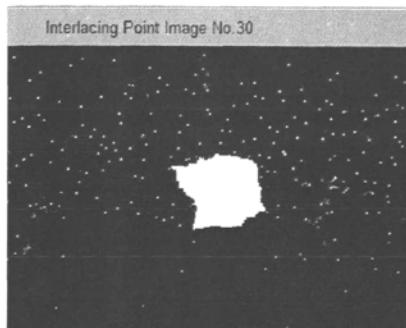


图 6-19 第 30 号组织点提取图

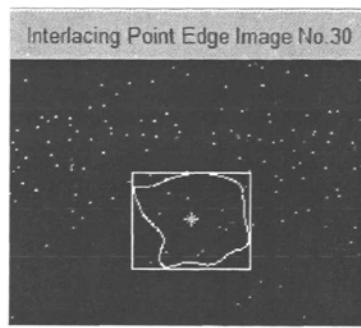


图 6-20 第 30 号组织点最小矩形及平滑边缘

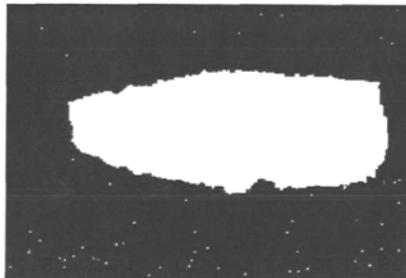


图 6-21 第 39 号组织点提取图

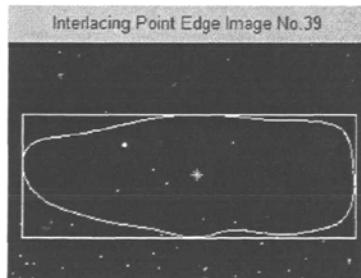


图 6-22 第 39 号组织点最小矩形及平滑边缘

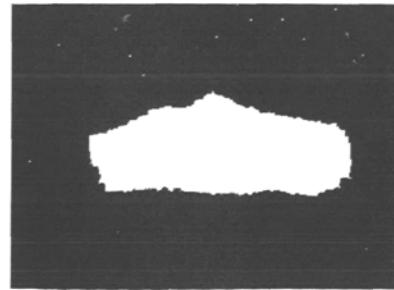


图 6-23 第 29 号组织点提取图

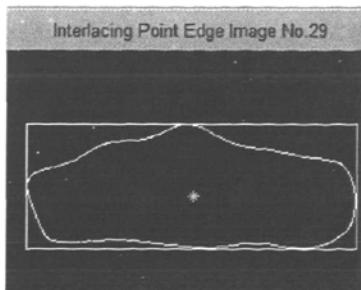


图 6-24 第 29 号组织点最小矩形及平滑边缘

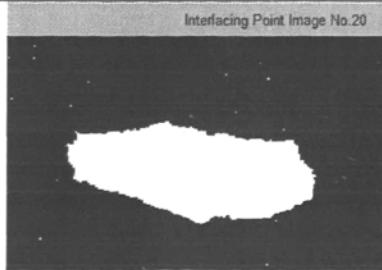


图 6-25 第 20 号组织点提取图

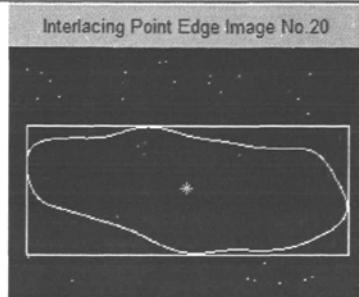


图 6-26 第 20 号组织点最小矩形及平滑边缘

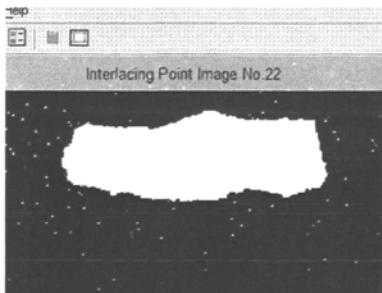


图 6-27 第 22 号组织点提取图

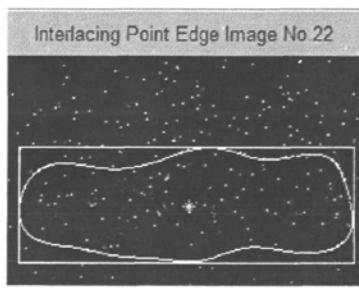


图 6-28 第 22 号组织点最小矩形及平滑边缘

表 6-3 30 号周边组织点信息比较表

编号	方向	中心组织点	位置	平均宽度	平均高度	对应差值		差异度
29	经向	58.57(均宽)	上	237.4	70.6	宽度差值	-178.83	-305.33
22	经向		下	221.6	61.6		-163.03	-278.35
20	纬向	49.76(均高)	左	209.36	67.1	高度差值	-17.34	-34.85
39	纬向		右	246.43	76.46		-26.7	-53.66

由表 6-3 可以看到, 由同 29、22 号组织点比较结果分析 30 号组织点应该为经组织点, 由同 20、39 号组织点比较结果分析 30 号组织点应该为纬组织点。这样就产生了矛盾的结果, 于是寻找其中可信度比较大的结果应该为与 29 号组织点比较的结果其差异度高达 305, 所以结论为: 30 号组织点为经组织点。由图 6-18 可以很清楚的看出 30 号组织点为经组织点。所以其判断结果是正确的。

下面再对一个纬组织点的性质进行识别。25 号组织点及其周边组织点形状及其排列位置见图 6-29。

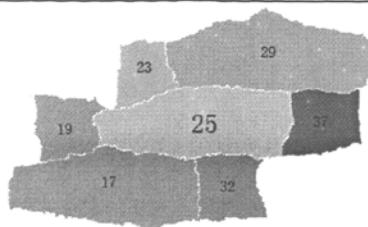


图 6-29 第 25 号组织点及其周边组织点

Step1 对待定性质的组织点进行特征信息提取，先提取组织点的平均宽高度，并利用程序查询上下左右位置的组织点的编号，结果见表 6-4。

表 6-4 25 号组织点自身信息表

编号	平均宽度( $w_{av}$ )	平均高度( $H_{av}$ )	上方	下方	左侧	右侧
25	221	66.22	23/29	17/32	19	37

Step2 将周边点的编号输入特征提取程序，进行边缘提取和平滑，提取它们的平均高度和宽度。其提取过程中的组织点形状及边缘平滑图见图 6-30~6-43。



图 6-30 第 25 织点提取图

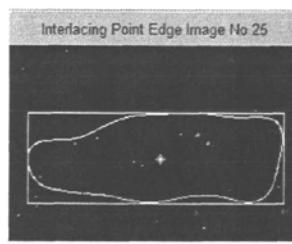


图 6-31 第 25 织点最小矩形及平滑边缘

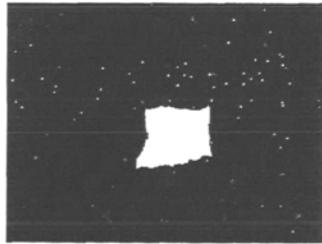


图 6-32 第 37 织点提取图

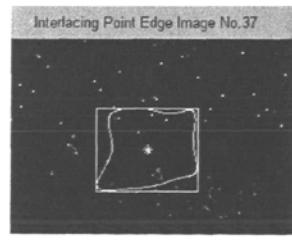


图 6-33 第 37 织点最小矩形及平滑边缘

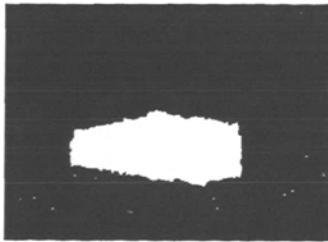


图 6-34 第 17 织点提取图

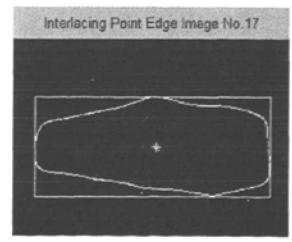


图 6-35 第 17 织点最小矩形及平滑边缘

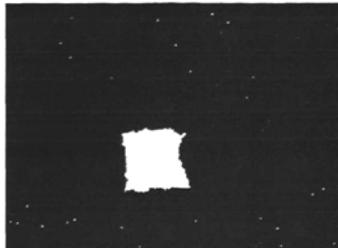


图 6-36 第 32 织点提取图

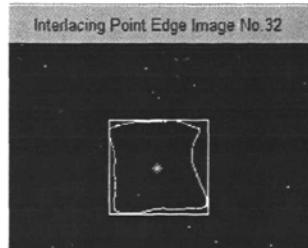


图 6-37 第 32 织点最小矩形及平滑边缘

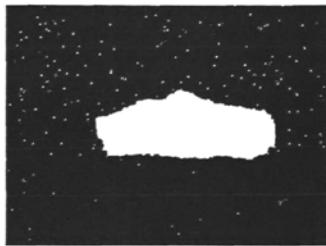


图 6-38 第 29 织点提取图

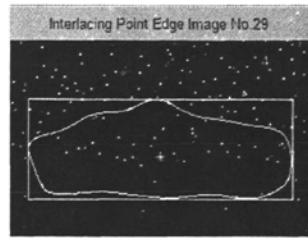


图 6-39 第 29 织点最小矩形及平滑边缘

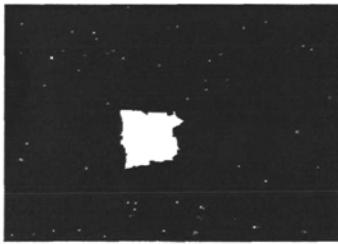


图 6-40 第 19 织点提取图

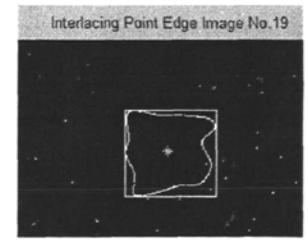


图 6-41 第 19 织点最小矩形及平滑边缘

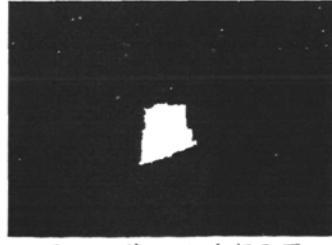


图 6-42 第 23 织点提取图

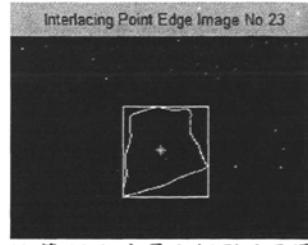


图 6-43 第 23 织点最小矩形及平滑边缘

其周边组织点特征信息见表 6-5, 可识别结果为最大差异度绝对值为 73.91, 符号为正, 由表 6-1 判别标准可知, 25 号组织点为纬组织点。与人工判别的结果相同。

表 6-5 25 号周边组织点特征信息表

编号	方向	中心组织点	位置	平均宽度	平均高度	对应差值		差异度
17	经向	221(均宽)	上	218.37	71.06	宽度	2.63	1.19
32	经向			69.18	70.47	度	151.82	68.70
23	经向		下	57.66	62.17	差	163.34	73.91
29	经向			237.40	70.60	值	-16.40	-7.42
19	纬向	66.22(均高)	左	68.16	64.02	高度	2.20	3.32
37	纬向		右	77.36	64.88	差值	1.34	2.02

将其他所有内部完整组织点通过此方法，进行识别并将结果逐个填到边缘平齐化的组织图中。经组织点填黑色，纬组织点填白色，未识别的边缘组织点填以灰色，其识别结果如图 6-44 所示。

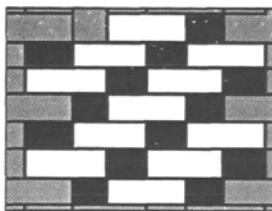


图 6-44 内部完整组织点识别结果

### 6.5.1 图像边缘组织点推断及全图检验

图像边缘多为不完整纱线，其存在对识别并无益处，所以将规则化横纵坐标的首坐标以前尾坐标以后部分切掉并分别记录去除的宽度(如图 6-45)。这样将未识别的组织点根据已识别的组织点推算将其性质按编号填入对应规则图中。效果如图 6-46 所示。并将调整后的组织结构图的每一个组织点做数据信息记录以备性质检验时使用，其数据结构如下：

{组织点编号；组织点性质；所在行数；所在列数；上下左右四顶点坐标；}

然后将提取号的组织点数据信息按照第五章中所述检验方法进行全图检验。如果不符组织点排列规律，则停止计算由人工干预纠错。

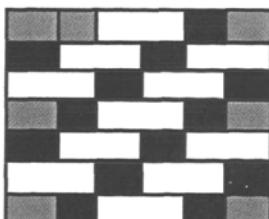


图 6-45 边缘切割后的规则组织结构图

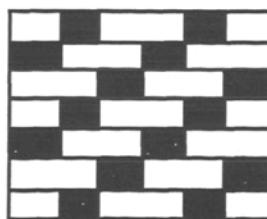


图 6-46 完全识别的组织结构图

### 6.5.2 组织图的生成算法

织物中经纬纱线相互沉浮、交织的规律，通常用组织图的方式来表示<sup>[63]</sup>。

首先将规则组织结构图中纬纱间隙线、经纱间隙线延伸于横纵方向贯穿组织点结构图，将跨度较大的组织点再次切分为单行单列的交叉点形式。然后经纬纱线间隙线之间的距离调整到统一的数值即形成一个标准的组织图。其变换过程如图 6-47、图 6-48 所示。

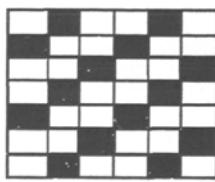


图 6-47 间隙线切分后的组织点分割图

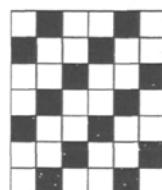


图 6-48 规则化的组织图

由于非原组织织物结构的复杂性和图像采集面积的有限性，需要对织物多次采集和分析，参数提取须进行拼接后方能进行，这一过程将在以后的课题中继续研究，此处不再说明。

## 6.6 本章小结

本章根据手工组织分析方法设计出一套计算机自动分析算法。坐标投影，剪切连接修整形成规则图，再规则化成标准的组织图，通过组织图矩阵的向量相关性分析取得循环单元。利用像素长度和放大倍数的关系测得织物的经纬纱密度。此方法可以适用于大多数非高密单层织物。但是由于织物本身特点，对于进行分析的织物采集要求和前期处理比较高，所以要应用于商业软件还有一定的差距。

## 第七章 总结与展望

本课题主要目的是针对基于数字图像工程的织物组织分析系统中需要解决的关键问题研究实用有效算法，提高组织分析系统的自动化和智能化，以其将来实现分析系统工业化应用。

本文中设计一条新的织物组织分析路线，对于原组织织物采用基于亮度投影分割的方法予以分割，然后采用利用织物组织点纱线交叉重叠规律和组织点排列规律对组织点性质进行识别，然后利用图像分辨率和显示像素点与实际尺寸关系，间接计算纱线密度。对于通用的非高密单层织物的组织分析采用基于形态分水岭的分割方法，首先采用透射图通过直方图增强和 Wiener 滤波降噪提高图像质量。然后通过形态学梯度重建的方法分离组织点并强调区域单一局部极值，最后通过分水岭方法分割组织点得到较好保持组织点形状的效果。

本文在组织点性质识别上提出新的方法，利用较高可靠性的手工识别的原理，通过比较相邻组织点的形状及相对位置来判定经纬属性，并且通过织物织造规律经纬交替的排列特点识别不易识别残缺或过于畸形的组织点，并且通过计算分割好的经纬纱条数进行经纬纱密的计算方法。

通过识别原理分析和试验结果分析，本方法相对于以前的识别方法本方法有相对较高的准确率。具有一定理论意义和较大的参考价值。

本课题的研究过程中，本文觉得还有以下几点可以进一步研究的地以更好的提高织物组织分析的效果。

1. 分割方法上采用，对于图像的分割基于边缘和基于区域的图像分割算法各有优缺点。对于织物这种较为复杂的织物反射图像来说仅用一种分割算法分割图像难以取得令人满意的结构。而两者有一定的互补性，可将这两种算法结合从而减少一些分割问题，提高分割性能。
2. 织物识别上采用部分识别与联合拼接的方法，对于采用组织点分割的方法有一个很大的缺点就是取样范围太小，对用复杂的组织很难仅凭一副图像包括整个组织全貌。可以采用大幅高分辨率图像采集，进行分块识别最后拼接形成全图，然后再综合分析组织结构参数。
3. 由于织物表面的复杂性和图像处理和模式识别的发展不足，对于现在工业级组织分析系统的实现，暂时实现完全的自动分析是有一定困难的，但本文可以在达到一定识别准确率的情况下，可以发展人机交互的系统，以设计出实

用系统。

4. 研究织物识别专家规则和应用系统自学习机制。虽然织物组织分析工作对于本领域工人来讲即只意味着大工作量机械的操作，似乎没有什么技术含量，但是对于计算机来讲却是十分困难的事。究其原因除了人具有识别空间结构，进行图像的理解的惊人能力，还有就是人类的学习能和经验积累是一个多年的储备的结果。但是计算机技术在这方面研究是不够的。所以本文期待数字图像处理这门学科的进一步发展，以及研究人类理解机制、人的视觉特性、心理学特性的进展，以提供更好的分析工具和思想方法。把人类在识别中用到的先验知识和经验运用在机织物的自动识别中，将对图像处理技术和织物分析的发展起到极大的促进作用。

## 参 考 文 献

- [1] 顾平, 蒋高明, 张瑞云.纺织品 CAD 原理与应用 [M].中国纺织出版社 2005: 156-158
- [2] 盛明善.织物样品分析与设计 [M].北京: 中国纺织出版社, 2003: 45-46
- [3] 张怀珠.新编服装材料学 [M].上海: 东华大学出版社, 2004.
- [4] 张一.基于图像的织物组织参数分析和组织结构识别的研究[D] 东华大学 2006: 8-9
- [5] 朱松文.服装材料学 [M].北京: 中国纺织出版社, 2002: 124-127
- [6] 西松丰典.Automatic Recognition of the Pattern by using Image Information Analysis.[J] Textile Mach.Soc.Jpn., 1991, 44(6): 51-57.
- [7] 太田建一, 野中敬人, 石井富久等.Automatic Analyzing of A Fabric Design with requence Components, Part 1: Automatic Analyzing of A Wearing Design. J.Textile Mach.Soc.Jpn., 1998, 49(9): 61-68
- [8] Huang C., Liu S., and Yu W. Woven Fabric Analysis by Image Processing, Part1: Identification of Weave Patterns. Textile Res.J., 2000: 70(6): 481-485
- [9] Kang T., Kim C., OH, K.. Automatic Recognition of Fabric Weave Patterns by Digital Image Analysis. Textile Res. J., 1999, 69(2): 77-83
- [10] Sobus J., Pourdeyhimi B., Gerde J.. Assessing Changes in Texture Periodicity Due to Appearance Loss in Carpets Gray Level Co-occurrence Analysis. Textile Res. J. 1991, 61(10): 557-567
- [11] Lin.J.. Applying a Co-occurrence Matrix to Automatic Inspection of Weave Density for Woven Fabrics.[J] Textile Res. J., 2002, 72(6): 486-490
- [12] Ravandi S., Toriumi K. Fourier Transform Analysis of Plain Weave Fabric Appearance. Textile Res. J., 1995, 65(11): 676-683
- [13] Xu B.. Identifying Fabric Structures with Fast Fourier Transform Techniques Textile Res. J., 1996, 66(8): 496-506
- [14] 高卫东, 刘基宏, 徐伯俊, 薛卫, 狄炜.织物中纬纱排列参数的自动识别棉纺织技术, 2002, 30(1): 28-31
- [15] 高卫东, 刘基宏, 徐伯俊, 薛卫, 狄炜.织物中经纱排列参数的自动识别.棉纺织技术, 2002, 30(3): 31-34
- [16] 高卫东, 刘基宏, 徐伯俊, 薛卫, 狄炜.织物组织结构的自动识别.棉纺织技术, 2002, 30(4): 26-28
- [17] 辛斌杰, 余序芬, 吴兆平.机织物经纬密测量的图像处理技术 [J].中国纺织大学学报, 1999, 25(3): 34-37
- [18] 李艳梅, 徐伯俊, 高卫东.织物组织结构参数自动识别系统的研究 [J].北京纺织, 2002 23(2): 54-57
- [19] 杨福生.小波变换的工程分析与应用 [M].北京: 科学出版社, 2001.
- [20] 冯毅力, 李汝勤.用小波变换法自动测量机织物经纬密度 [J].纺织学报, 2001, 22(2): 94-95

- 
- [21] 庄国瑜,孙悦.织物纹理计算机图象处理的多频道分解方法[J].天津工业大学学报,2001; 20(3): 26-28
  - [22] 马云芳,王小华.基于小波理论的织物纹理特征提取 [J].杭州电子工业学院学报, 2002; 22(6): 85-88
  - [23] 胡觉亮.基于贝叶斯方法的织物分类研究 [J].纺织学报.2004, 25(1): 48-49.
  - [24] Jeon B., Bae J., Moon W.. Automatic Recognition of Woven Fabric Patterns by Artificial Neural Network. Textile Res.J., 2003: 73(7): 645-650
  - [25] 张瑞林,蒋静坪.人工神经网络识别丝织物的研究.2002, 23(2).
  - [26] Kuo C., Shih C., Lee J.. Automatic Recognition of Fabric Weave Pattern by a Fuzzy C-Means Clustering Method. Textile Res.J., 2004, 74(2): 107-111
  - [27] 张一,耿兆丰.基于基元特征匹配的织物组织结构分析与识别 [J].微计算机信息, 2006, 22(1): 268-271
  - [28] 夏尚淳.织物组织 CAD 应用手册, 中国纺织出版社 2001
  - [29] 陈秋水.织物结构与设计 [M].上海: 中国纺织大学出版社, 1998: 62-63.
  - [30] 严洁英, 顾任平.织物组织与纹织学(第二版) [M]., 北京: 纺织工业出版社, 1981: 5-45
  - [31] 蔡陞霞. 织物结构与设计 [M].纺织工业出版社, 1990, 4-9, 35-47
  - [32] 王耀南, 李树涛.计算机图像处理与识别技术[M]北京: 高等教育出版社, 2001: 18-20
  - [33] 林家明.面阵 CCD 摄像机光学镜头参数及其相互关系[J].光学技术, 2000, 26(2): 183-185
  - [34] 王庆有.CCD 应用技术 [M].天津: 天津大学出版社, 2000: 11-53
  - [35] 杨娜, 基于图像处理技术的织物组织自动识别的研究 [D].东华大学 2005: 23-25
  - [36] 罗军辉, 冯平, 哈力旦.A Matlab7.0 在图像处理中的应用 [M].机械工业出版社 2005.6: 3-15
  - [37] 徐飞, 施晓红.MATLAB 应用图像处理 [M].西安, 西安电子大学出版社, 2002: 109-124
  - [38] 李维 机织物组织结构的识别 [D] 东南大学 2006: 6-7
  - [39] 罗为.图像分割技术 [J].计算机世界报, 1995, 25: 45-48
  - [40] 章毓晋.图像处理与分析 [M].北京: 清华大学出版社, 1999: 96-98
  - [41] 张洪刚, 陈光, 郭军.图像处理与识别 [M].北京: 北京邮电大学出版社, 2006: 43-45
  - [42] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods .Digital Image processing Uing MATLAB [M].北京: 电子工业出版社, 2006: 60-65.
  - [43] 罗林, 图像分割算法的研究.[D].武汉科技大学, 2007: 2-5
  - [44] 王爱民, 沈兰荪.图像分割研究综述 [J].测控技术, 2000, 19(5): 1-6
  - [45] 吴海虹 张明敏 潘志庚 裘文波.彩色图像的织物组织自动识别 [J] 计算机辅助设计与图形学学报, 2005,17(8): 1710-1715
  - [46] 吴涛, 邵如林, 腾鸿微.矩阵在织物组织上建模的探讨 [J].天津纺织科技, 2000, 1: 7-8
  - [47] 顾平.织物结构与设计学 [M].上海: 东华大学出版社, 2004: 19-21
  - [48] 李显宏.MATLAB7.x 界面设计与编译技巧 [M].北京: 电子工业出版社, 2006: 266-359
  - [49] 李丽丽.织物组织识别中组织点坐标的确定 [J].纺织科学研究, 2006, 4: 13-20
  - [50] 余松煜, 周源华, 张瑞.数字图像处理[M] 上海交通大学出版社 2007: 312-316

- 
- [51] 胡亚斌, 刘建平.基于区域增长和改进分水岭算法的胃腺癌细胞图像分割[J].计算机与数字工程, 2006, 34(8): 151-154.
  - [52] 丛培盛, 孙建忠.分水岭算法分割显微图像中重叠细胞[J].中国图象图形学报, 2006, 11(12): 1782-1786.
  - [53] 李荣艳, 熊文生, 曹佃国.一种改进的分水岭人脑 MR 图像分割方法[J]. 北京师范大学学报(自然科学版)2006, 42(6): 583-586.
  - [54] 周雪芹, 刘晓红, 玻璃碎片图像的边缘检测 [M].计算机应用, 2005, 25(9): 2146~2147
  - [55] 谷莹莹, 林小竹, 李左丽, 王彩红.基于分水岭变换的浮选泡沫图像分割 [J] 北京石油化工学院学报 2007, 15(1): 61-65.
  - [56] Wang Xiao-peng, Luo Jin-wen.Watershed Segmentation Based on Morphological Gradient Reconstruction [J] Journal of Optoelectronics Laser, 2005, 16(1): 98-101
  - [57] 王树文等.数学形态学在图像处理中的应用 [J].计算机工程与应用, 2004, 32: 89-92
  - [58] 胡学龙, 许开宇, 数字图像处理 电子工业出版社 2006: 177-178
  - [59] 崔屹, 图象处理与分析—数学形态学方法及应用, 北京: 科学出版社, 2000
  - [60] 章毓晋.图像分割 [M].北京: 科学出版社, 2001: 79-81
  - [61] 阮秋琦, 阮宇智等.数字图像处理[M].北京: 电子工业出版社, 2003.
  - [62] 徐建华.图像处理与分析 [M] 北京: 科学出版社, 1994: 187-193
  - [63] 段亚峰.纺织 CAD/CAM [M].西安: 西北工业大学出版社, 2002

## 致 谢

东华大学机械工程学院新型纺织机械实验室有着求实严谨的学术氛围和良好的实验条件，两年半的研究生工作和生活给我留下了深刻而又美好的回忆。在此，作者怀着感激和留恋的心情向所有关心、指导、理解、支持和帮助自己的领导、师长、朋友和师兄弟们表示衷心的感谢！

向导师叶国铭教授致以最崇高的敬意和感谢！叶教授治学严谨，学识渊博，思维敏捷，雷厉风行，对科研精益求精、对新型纺织机械独到的见解、对科学事业执着的追求精神将使我终身受益！叶教授不仅在学术与科研中给本人精心的指导，而且在思想、工作和生活等方面也给予无微不至的关怀和关心，谨此向叶教授表示诚挚的感谢！

感谢新纺机课题组的唐林、马晓建、甘学辉老师的关心！感谢师兄沈丹锋博士，尚继辉硕士、闫健硕士和孙星强硕士的帮助和协作，使得本论文得以顺利完成。还要感谢新纺机学科组的成员等在工作、学习和生活上友好交流和支持，为求学生涯留下美好回忆，此番经历将终身难忘！

感谢我的父母、我的家人和我的女朋友赵芳芳，是你们默默无闻的支持和鼓励让我无畏的走到今天！感谢您们，并祝您们幸福安康！

## 攻读硕士学位论文期间发表的论文

1. 王长军, 叶国铭. 织物组织自动识别方法的研究. 中文核心《毛纺科技》, 已录用。