

# 纺织品表面图像的分形特征分析

杨旭红 李栋高 何 蕾

(苏州大学材料工程学院,苏州,215021)

**摘要:**根据分形理论,对纺织品表面图像的灰度分布和起绉纹理进行了分析。结果表明,两者都具有显著的分形特征,起绉纹理的分维数与纺织物的视觉风格密切相关。

**关键词:**纺织品 分形 灰度 起绉纹理 分维数

中图法分类号:TS 106.847 文献标识码:A

纺织品具有凹凸不平、粗糙、不规则的表面纹理。其起绉程度有大有小,绉纹分布有粗糙有细密,这些不同的形态直接影响到织物的视觉效果和其他风格。长期以来,对织物表面的粗糙纹理很难有简单可行的定量刻划指标。

分形理论是近二三十年以来发展起来的一种非线性理论,从字面上来说,“分形”(Fractal)是指一类极其零碎而复杂,但有其自相似性或自仿射性的体系,它们普遍存在于自然界中。分形理论现已成为一门重要的新学科,被广泛应用到自然科学和社会科学的相关领域,成为当今国际上许多学科的前沿研究课题之一。分形理论使人们能以新的观念、新的手段来处理扑朔迷离的无序的混乱现象和不规则的形态,揭示隐藏在复杂现象背后的规律、局部和整体之间的本质联系<sup>[1]</sup>。分形概念的出现,为描述自然界和社会的复杂现象提供了一种简洁有力的几何语言。定量刻划分形特征参数是分形维数(简称分维)。纺织品表面在一定的分辨率范围内具有明显的自相似性,因此,本文利用分形理论,对纺织品表面图像进行了分形特征的分析,并计算了其分形维数。

## 1 纺织品图像的获取和预处理

### 1.1 实验材料

选取不同起绉效果的八块双绉织物为研究对象,试样规格如表1所示。

### 1.2 纺织品图像的获取

利用计算机图像输入系统,首先将样品放置于低倍显微镜下,在反射光照射下,通过 CCD 摄像头将织物图像输入到计算机中。由于所需图像为织物表面的宏观纹理图像,故放大倍数不宜过大,本文所用倍数为 10 倍。图像分辨率为  $512 \times 512$  像素,256 个灰度等级。其中灰度值 0 表示黑,255 表示白。实际处理时截取中间  $256 \times 256$  像素的图像,相当于实际织物尺寸为  $0.85 \text{ cm} \times 0.85 \text{ cm}$ 。

表1 双绉织物样品的规格

样品号	原料规格(dtex)		纬丝捻度 (捻/m)	成品密度(根/cm)	
	经丝	纬丝		经密	纬密
1	2/22/24	2/22/24	2800	62.2	62.2
2	2/22/24	4/22/24	1890	61.8	45.3
3	2/22/24	4/22/24	2400	63.6	56.9
4	2/22/24	4/22/24	2400	66.1	46.6
5	2/22/24	4/22/24	2400	69.9	39.9
6	2/22/24	4/22/24	3070	68.6	59.5
7	2/22/24	4/22/24	3070	74.1	49.6
8	3/22/24	4/22/24	3070	63.8	57.3

### 1.3 纺织品图像的预处理

织物图像在输入过程中,由于受到光照不匀和显微镜视场的影响,所得图像有明显的中间亮、四周暗以及靠近光源一侧亮、而远离光源一侧暗的现象。为消除背景的影响,采取以下方法予以解决:首先拍摄织物图像的显微图像,然后在相同的条件下,拍摄一幅不放置样品的显微背景图像,将织物图像与背景图像进行相减,即可消除背景不匀的影响。预处理

理后的图像如图 1 所示。

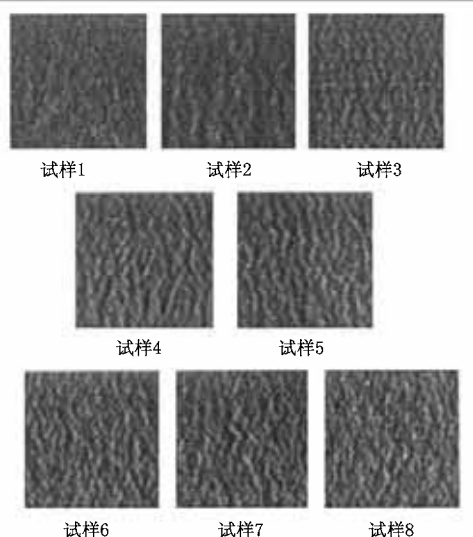


图 1 预处理后的织物物图像

## 2 织物物图像的分形特征分析

### 2.1 织物物图像的维数计算方法

在自然科学中,维数是空间和客体的重要几何参量。一个几何对象(点、线、面、体)的维数,通常是由表示它的一个点所需的独立变量的个数来确定的。因此, $n$ 维空间就有 $n$ 个独立的变量。维数 $d$ 通常是一个非负整数,但在分形几何中, $d$ 可以扩大为分数,因此,分形几何又称为分数维几何,而将其维数 $d$ 称为分维。

定义分维数的方法有很多种,计盒维数是常用的一种。设有一集合 $A$ ,确定其计盒维数的方法如下:

首先,用一矩形将集合 $A$ 覆盖住,再以 $\varepsilon$ 为边长,将此矩形均匀地划分为矩形网格;然后开始计数,逐个地数出这样的网格数目 $N(\varepsilon)$ ,只要网格中含有集合 $A$ 的任何一部分时,均可计数。根据 $\varepsilon$ 和 $N(\varepsilon)$ ,可以绘出 $\ln N(\varepsilon)$ 与 $\ln(1/\varepsilon)$ 的关系图。通过求出该图中直线的斜率的方法来确定集合 $A$ 的维数<sup>[2]</sup>。

对于二维图像,可以用矩形来作为盒子。但如果图像被认为表面是在二维空间内弯曲,那么盒子就要用长方体来代替。

本文的计算都是通过 Matlab 编程进行的。

2.1.1 灰度分布维数的计算 方法一:取一幅 $256 \times 256$ 像素的试样图像,用 $1 \times 1$ 的正方形将其覆盖,分别以 $\varepsilon=1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128$ 为度量单位作为矩形盒子的边长,将试样均匀的分成 $(1/\varepsilon) \times (1/\varepsilon)$ 个正方形区域。相应地, $N(\varepsilon)$ 可以

用下面这个公式来计算<sup>[3]</sup>:

$$N(\varepsilon) = \sum_{k=1}^n (g_{k\max} - g_{k\min}) / \varepsilon$$

这里 $g_{k\max}, g_{k\min}$ 分别表示第 $k$ 个盒子覆盖的部分中灰度的最大值和最小值。得到 $N(\varepsilon)$ 之后,绘出 $\ln N(\varepsilon)$ 与 $\ln(1/\varepsilon)$ 的关系图。根据该图中直线部分的斜率计算出维数 $d$ 。

方法二:同样取一幅 $256 \times 256$ 像素的试样图像,用 $1 \times 1$ 的正方形将其覆盖,分别以 $\varepsilon=1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128$ 为度量单位作为矩形盒子的边长,将试样均匀的分成 $(1/\varepsilon) \times (1/\varepsilon)$ 个正方形区域,再把灰度作为垂直于织物表面的第三个坐标,在这个坐标轴上也分为 $1/\varepsilon$ 层,这样灰度曲面就被 $(1/\varepsilon) \times (1/\varepsilon) \times (1/\varepsilon)$ 个立方小格所覆盖,计算包含有灰度曲面集合中任何一点格子总数,计为 $N(\varepsilon)$ 。再根据 $\ln N(\varepsilon)$ 与 $\ln(1/\varepsilon)$ 的关系图计算出维数 $d$ 。

2.1.2 起绉纹理维数的计算 织物物图像中有明暗相间的波纹,此明暗分布的不同,即反映不同的起绉效果。若织物表面是绝对平整的,则光照后布面上呈亮点;而当织物表面有凹凸时,在一定角度的光线照射下凸起部分就会在布面上投下阴影,且凸起部分越高,阴影面积越大。所以阴影面积的大小、分布是可以反映绉效应特征的。同样取一幅 $256 \times 256$ 像素的试样图像,用 $1 \times 1$ 的正方形将其覆盖,分别以 $\varepsilon=1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128$ 为度量单位作为矩形盒子的边长,将试样均匀的分成 $(1/\varepsilon) \times (1/\varepsilon)$ 个正方形区域,对织物图像设定一个阈值 $T$ ,当一个小格内存在有灰度值比阈值 $T$ 小的点,即暗的点时,就记数1,每个小格中含有多个暗点时只记数一次,累计相加这样的小格数就得到 $N(\varepsilon)$ 。

### 2.2 织物物图像的分形特征

分形的一个重要特征就是无标度性,即在不同尺度上表现出相同的粗糙性和破碎性。自然界中的分形往往具有一个最小标度和最大标度,即无标度区间。只有在无标度区间,才存在分形规律<sup>[4]</sup>。本文对无标度区间的确定是,首先作出 $\ln N(\varepsilon)$ 与 $\ln(1/\varepsilon)$ 的曲线图,找出线性关系好的一段,作为无标度区。并用最小二乘法作一元线性回归拟合出直线的斜率,作为分维的估计值。

2.2.1 灰度分布的分形特征 灰度分布维数用来反映灰度曲面的起伏程度。维数越大,则灰度起伏程度越大。由灰度分布维数计算方法一得到的 $\ln N(\varepsilon)$ 与 $\ln(1/\varepsilon)$ 的关系图如图 2 所示。由图 2 可看出,曲线的中间段呈良好的线性关系,而两端则明

显超出了无标度区。取线性关系良好的中间四个点,即  $\varepsilon=1/8, 1/16, 1/32, 1/64$ , 计算灰度分布维数  $d$  和线性相关系数  $R$ 。由方法二得到的  $\ln N(\varepsilon)$  与  $\ln(1/\varepsilon)$  的关系图如图 3 所示, 同样取  $\varepsilon=1/8, 1/16, 1/32, 1/64$  的四个点计算。结果如表 2 所示。两种方法所得维数从大到小顺序分别为试样 8, 4, 2, 7, 3, 1, 6, 5 和 8, 4, 2, 6, 3, 1, 7, 5, 除 6, 7 号顺序相反外, 其余一致的良好。更为重要的是,  $R^2$  几乎都接近或

超过 0.999, 说明线性关系非常好, 也即织物表面图像的灰度分布确实具有分形特征。

2.2.2 起绉纹理的分形特征 起绉纹理的维数主要反映灰度值小于阈值的像素点, 即起绉块的分布特征。本文分别取阈值  $T$  为 103, 104 和 105, 根据 2.2.1 所述方法得  $\ln N(\varepsilon)$  与  $\ln(1/\varepsilon)$  关系图如图 4 所示, 取  $\varepsilon=1/16, 1/32, 1/64, 1/128$  的四个点计算维数  $d$  和线性相关系数  $R$ , 结果如表 3 所示。

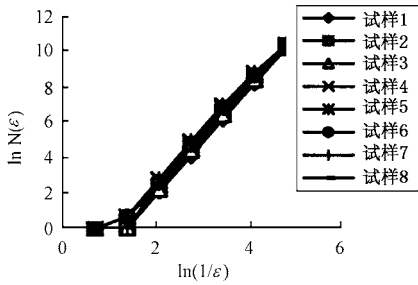


图 2 方法一的灰度分布维数计算图

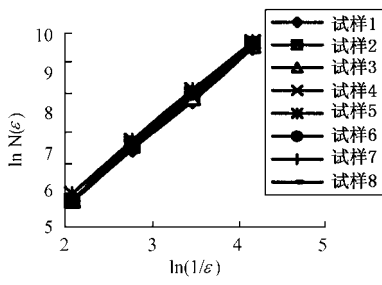


图 3 方法二的灰度分布维数计算图

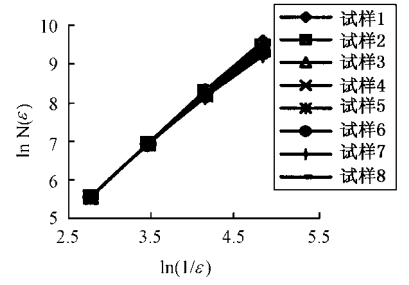


图 4 起绉纹理的维数计算图

表 3 织物的灰度分布维数

样品号	方法一		方法二	
	维数 $d$	$R^2$	维数 $d$	$R^2$
1	2.9044	1.0000	2.2583	0.9996
2	2.9636	0.9992	2.3077	0.9995
3	2.9219	0.9993	2.2656	0.9992
4	2.9697	0.9969	2.3084	0.9988
5	2.8484	0.9988	2.2403	0.9995
6	2.8611	0.9989	2.3072	0.9988
7	2.9380	0.9984	2.2513	0.9999
8	2.9509	0.9995	2.3177	0.9997

表 4 织物的起绉纹理维数

样品号	阈值 $T=103$		阈值 $T=104$		阈值 $T=105$	
	维数 $d$	$R^2$	维数 $d$	$R^2$	维数 $d$	$R^2$
1	1.85414	0.9968	1.9048	0.9988	1.9447	0.9996
2	1.7963	0.9963	1.8569	0.9979	1.9002	0.9989
3	1.7843	0.9956	1.8561	0.9977	1.9059	0.9989
4	1.7650	0.9972	1.8189	0.9981	1.8632	0.9987
5	1.7540	0.9976	1.7998	0.9981	1.8387	0.9985
6	1.6858	0.9956	1.7489	0.9968	1.8052	0.9975
7	1.6656	0.9960	1.7188	0.9968	1.7718	0.9975
8	1.6458	0.9935	1.7307	0.9955	1.8002	0.9971

由表 3 中的  $R^2$  可知,  $\ln N(\varepsilon)$  与  $\ln(1/\varepsilon)$  具有非常好的线性关系, 即织物的起绉纹理具有显著的分形特征。当阈值改变时, 由于阈值越大, 起绉块越多, 在二维平面中的充满程度越大, 故维数越大。虽然起绉维数的数值与阈值的选取有关, 但从表 3 的数据可看出, 根据维数的相对大小, 可以对织物进行聚类。同时对照图 1, 可看出不同类别的织物,

其表面视觉风格也不同。如试样 2 和 3 为一类, 表面纹理都比较平坦; 试样 4 和 5 为一类, 表面纹理起伏大, 且纹理较粗犷; 试样 6, 7 和 8 为一类, 纹理清晰且细腻; 试样 1 的起绉程度很小, 与其他织物在风格上又有明显差异, 维数也有明显不同。结合表 1 也可看出, 起绉纹理与织物规格, 尤其是纬丝捻度有很大关系。

### 3 结 论

1. 织物表面图像的灰度分布具有分形特征。
2. 织物的起绉纹理具有分形特征, 且起绉维数与织物表面视觉风格有关: 起绉程度相似或纹理粗糙程度相似的织物, 其维数较接近; 起绉程度小的织物其起绉维数与起绉程度大的织物起绉维数有明显差异; 纹理粗犷的起绉维数与纹理细密的起绉维数有明显差异。

### 参 考 文 献

- 1 张济忠. 分形. 北京: 清华大学出版社, 1995: 111 ~ 140.
- 2 胡瑞安等. 分形的计算机图像及其应用. 北京: 中国铁道出版社, 1995: 8 ~ 14.
- 3 Hou Zhende et al. The Study of Fractal Correlation Method in the Displacement Measurement and its Application, Optics and Lasers in Engineering.
- 4 李后强等. 分形理论及其在分子科学中的应用. 北京: 科学出版社, 1997: 1 ~ 52.