

文章编号: 1005-5630(2014)05-0380-05

光纤面板透光图像暗影缺陷全景检测

王明吉, 赵艳艳, 吴云

(东北石油大学 电子科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要: 通过对暗影定义、图像处理方法的分析以及相关理论的研究, 利用图像自动采集系统采集有重叠部分的光纤面板透光图像, 拼接出透光图像全景图, 并利用暗影缺陷自动检测软件对全景图进行检测, 检测出光纤面板透光图像所有暗影缺陷。利用图像拼接技术实现了对光纤面板缺陷的检测。

关键词: 光纤面板; 图像拼接; 暗影缺陷; 全景图

中图分类号: TN 247 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2014.05.002

Shadow defects of transparent image on the optical fiber panel

WANG Mingji, ZHAO Yanyan, WU Yun

(College of Electronic Science, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: According to the study on the definition of the shadow and the analysis of image processing method and related theory, many images which have overlap region between them were collected by image collection system. We splice the transparent image panorama by using image stitching technology. Then, we find out all the shadow defects of these images. Finally, the experiment realizes the detection of the optical fiber panel defects by using image stitching technology.

Key words: optical fiber panel; image stitching technology; shadow; panoramic image

引言

光学纤维面板^[1], 简称光纤面板, 是近些年提出的一个重要的光子元件。由于其具有很高的分辨率和集光能力等特点, 已成为光电成像器件及系统不可缺少的重要组成部分。然而由于在光纤面板的制造过程中受各种不可控因素的影响, 使得光纤面板存在各种缺陷^[2], 由此严重影响传像质量, 因此对这些缺陷的检测就具有很高的现实意义。本文利用先进的图像处理技术, 实现了对光纤面板的暗影缺陷的全检测。

1 图像采集

利用数字图像处理技术^[3]实现对光纤面板(OFP)透光图像暗影全景检测的流程, 如图1所示。

收稿日期: 2013-03-23

作者简介: 王明吉(1963-), 男, 教授, 博士, 主要从事光电检测及信息处理技术的研究。E-mail: wmjglj@163.com

通讯作者: 赵艳艳(1981-), 女, 硕士, 主要从事光电检测及信息处理技术的研究。E-mail: 4427100@qq.com

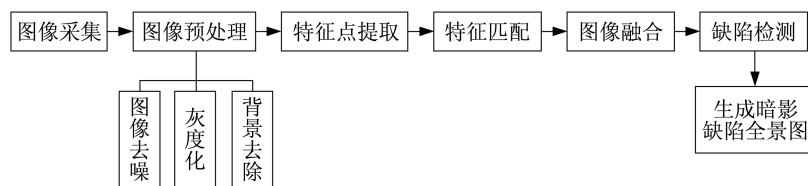


图 1 暗影全检测流程图

Fig. 1 The flow chart of shadow detection

图像采集是通过光纤面板透光图像采集系统^[4]采集多张具有共有部分的图片作为预拼接图像。图像采集时,按镜头垂直光纤面板面并平行移动的方法进行取图,取图方式如图 2 所示。在移动过程中,若移动距离过大会导致图像间重叠区域过少而无法进行准确的匹配;而移动距离过小则重叠区域过大,匹配特征点过多,计算量过大。经多次实验,相对于实验型号为 $\Phi 35.56 \text{ mm} \times 9.8 \text{ mm}$ 的台阶式纤维面板,最理想的平移距离是 9 mm 左右。

2 图像预处理

图像去噪在整个图像预处理中占据重要的位置,是图像处理的初始步骤,有效提高了图像的质量,使得高层处理更加准确,决定了图像配准和图像融合的可行性和准确性。本文利用线性滤波^[5]处理方法对 CCD 噪声和光源不均匀产生的干扰进行了去噪处理。在完成降噪之后,再对取出图像进行灰度化、背景扣除^[6]等预处理,经过上述处理后有效地校正了光纤面板透光图像的灰度失真和几何失真,如图 3 所示。

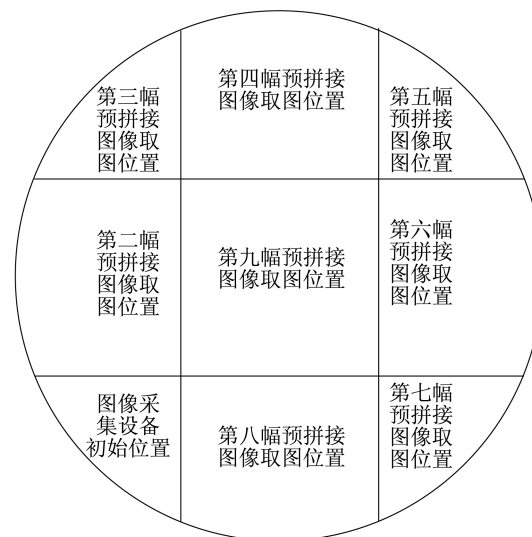


图 2 透光图像取图装置移动方式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the movement of the transparent image

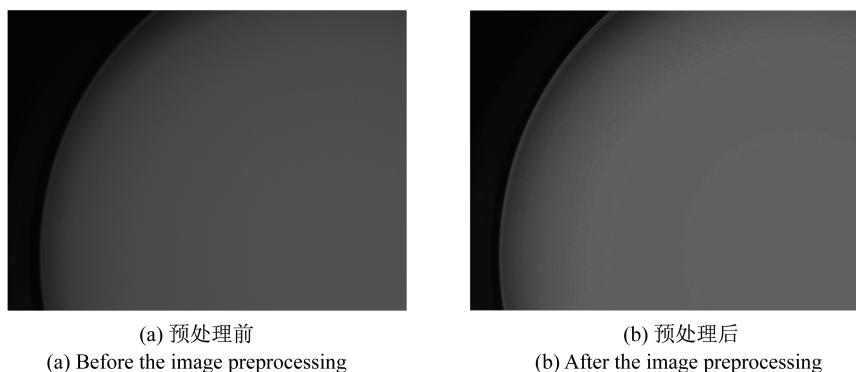


图 3 经预处理前后的效果对比图

Fig. 3 Comparison of the images before and after preprocessing

3 特征匹配

本研究匹配步骤需要实现在不同时刻、同视觉角度下拍摄的图片进行空间上的对齐与灰度上的融合。由图像获取方式的特殊性,即对单筒显微镜在计算机视觉中的成像结果进行匹配,算法特点需要容忍图像灰度变化对配准造成的影响,所以选取了适用性强的基于特征点的图像匹配算法。

3.1 利用 Harris^[7]算子提取特征点

Harris 是一种对 Morvaec 算法改进的算子,它利用一阶偏导函数来描述亮度的变化。Harris 角检测的主体思想是利用自相关函数来寻找图像信息发生二维变化的位置:

$$M = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{I}_x^2 & \hat{I}_x \hat{I}_y \\ \hat{I}_x \hat{I}_y & \hat{I}_y^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, \otimes 是卷积操作符, \hat{I} 表示对 I 进行高斯滤波, I_x 和 I_y 分别是图像灰度 I 在点 (x, y) 处的梯度, $I_x = I \otimes (-1, 0, 1)$, $I_y = I \otimes (-1, 0, 1)^T$ 。 M 的两个特征量 λ_1, λ_2 是自相关函数的中心曲率,即若点 (x, y) 的两个特征量都是正值,那么该点便是一特征点,特征点可用如下评价函数表示:

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \quad (2)$$

式中, $\det(M) = \hat{I}_x^2 \cdot \hat{I}_y^2 - (\hat{I}_x \cdot \hat{I}_y)^2$, $\text{trace}(M) = \hat{I}_x^2 + \hat{I}_y^2$, 分别表示矩阵 M 的行列式和直迹。当点 (x, y) 的 R 值大于某一个阈值 T 时,该点所对应的位置点就是所追求的特征点,其中 k 一般取 $0.04 \sim 0.06$, 是实验值。

为了使特征点具备旋转不变的特性,还利用 MBR^[8]的理论建立了每个特征点的指向方向。

3.2 将特征点匹配

对两幅光纤面板透光图像提取了特征点及其指向方向后,接着便要对其进行匹配,即寻找相互对应的特征点对。为了去除无效的特征点,本文采用了双向最大相关系数法和相邻特征点之间的空间关系相结合的匹配方式。该方法可以去除无效特征点并能准确地提取出相匹配的特征对。

采用相关窗的办法匹配特征点,设 $P_{1i} = M_{1i}(x_i, y_i)$ 是第一幅图像 M_1 的第 i 个兴趣点,其主方向为 α_1 ; $P_{2j} = M_{2j}(x_j, y_j)$ 是第二幅图像 M_2 的第 j 个兴趣点,其主方向为 α_2 ; $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ 是旋转角度。分别以特征点 P_{1i} 和 P_{2j} 为中心取一个 $(2n+1) \times (2n+1)$ 大小的相关窗 N_1 和 N_2 , 将 N_1 以 P_{1i} 为中心旋 $|\alpha|$ 度, $\alpha < 0$ 时顺时针旋转,当 $\alpha > 0$ 时逆时针旋转。然后以第一幅图像中每个特征点为参照点,在第二幅图像中寻找对应匹配的特征点,匹配的依据是计算两个特征点之间的相关系数:

$$c = \frac{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-n}^n [A_{uw} - \bar{A}] \cdot [B_{vw} - \bar{B}]}{\sqrt{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-n}^n [A_{uw} - \bar{A}]^2} * \sqrt{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-n}^n [B_{vw} - \bar{B}]^2}} \quad (3)$$

式中, $A_{uw} = M_1(x_i + u \cos \alpha + v \sin \alpha, y_i + v \cos \alpha - u \sin \alpha)$, $B_{vw} = M_2(x_j + u, y_j + v)$, $u, v \in (-n, +n)$ 。

当 P_{1i} 和 P_{2j} 满足以下关系时,就认为 $\{p_{1i}, p_{2j}\}$ 为一对预备匹配点。

$$C_{p_{1i} p_{2j}} = \max_{l \in L_2} C_{p_{1i} p_{2l}}, L_2 \text{ 是 } M_2 \text{ 的特征点集合。}$$

$$C_{p_{1i} p_{2j}} = \max_{l \in L_1} C_{p_{1l} p_{2j}}, L_1 \text{ 是 } M_1 \text{ 的特征点集合。}$$

$$C_{p_{1i} p_{2j}} > \lambda, \{B_j, A_j\}, \lambda \text{ 是系统所设置的特定值。}$$

由于图像区域某处存在着相似的特征或者无明显特征等因素,会产生一定的错误匹配。通过相邻特征点之间的关系剔除错误匹配点。若 $\{A_i, B_i\}$ 和 $\{A_j, B_j\}$ 是两对正确的匹配对,那么 A_i 和 A_j 之间的距离 d_1 应该与 B_i 和 B_j 之间的距离 d_2 近似。其中 $d(u_i, u_j) = \|u_i - u_j\|$ 是 u_i 与 u_j 之间的欧氏距离。应用 A_i 与第一幅图像中所有特征点 A_j 的关系和 B_i 与第二幅图像中所有特征点 B_j 的关系的相似性,来评定两点之间的对应关系,则 A_i 和 B_i 的整体匹配度可用如下评价函数表示:

$$U(i) = \sum_j \frac{R(i, j)}{1 + d(i, j)} \quad (4)$$

式中, $R(i, j) = \exp(-u_{ij})$, $u_{ij} = |d(A_i, A_j) - d(B_i, B_j)| / d(i, j)$, $d(i, j) = [d(A_i, A_j) + d(B_i, B_j)] / 2$, 是 A_i 与 B_i 与每对特征点的平均距离。

\bar{U} 是 A_i 与 B_i 和每对特征点的相对差异,若 $u_{ij}=0$,则取 $\frac{R(i,j)}{1+d(i,j)}=1$,计算出所有 $U(i)$ 的均值 \bar{U} ,如果 $U(i)>0.75\bar{U}$,则 A_i 和 B_i 作为正确的特征点被保留,否则删除。

4 图像融合

对于匹配成功所得到的对齐的图像,采用采样权重函数法的融合办法来进一步消除图像接缝。对于组成结果的每个图像采用权重分布的理念,即离图像分布中心越近的像素对合成结果的贡献越大,也就是图像中心的权重大,边缘小。权重分布函数表现像一顶帽子,又称帽子函数。

定义 $\psi_k(x,y,k)$ 为帽子函数,即在第 k 个图像权值分配函数:

$$\psi_k(x,y,k) = \left(1 - \left|\frac{x}{w} - \frac{1}{2}\right|\right) \times \left(1 - \left|\frac{y}{h} - \frac{1}{2}\right|\right) \quad (5)$$

w 是第 k 个局部图像的宽度, h 是第 k 个局部图像的高度,利用帽子函数的加权平均算法,多幅图像融合共同构成的重叠区域表达式如下:

$$f(x,y) = \sum_{k=1}^n \psi_k(x,y,k) f_k(x,y) \quad (x,y) \in (f_1 \cap f_2 \cap \dots \cap f_n) \quad (6)$$

式中, $f(x,y)$ 是融合后的图像, n 是重叠区域融合图像的总数, f_k 是第 k 幅预拼接图像。

经融合处理后有效地减少了合成图像时光强颜色的不连续性,但还是未能完全消除手工边缘的痕迹,如图4所示。

5 暗影缺陷全检测

经图像拼接程序处理后由9幅图像拼接得出了完整的光纤面板透光图像,利用暗影缺陷检测系统,对光纤面板透光全景图进行暗影全检测,检测暗影的分布结果如图5所示。按照光纤面板制作的传统工艺,其边缘部分并不是由光纤融压而成,不能作为光纤面板的有效部分使用。其透过率分布十分不均匀的特性,在通过暗影缺陷检测系统成像时形成了一个形似暗影的闭合曲线紧密堆砌的圆环。这种圆环的形成对暗影统计结果造成很大影响,因此要在程序中去除后才能对暗影检测结果做精确统计。经处理,最为精确的数据结果如表1所示。

暗影缺陷局部缺陷检测的数据结果显示:在总面积为 170.38837 mm^2 的被检测总面积中存在18个暗影,目标区域一暗影的总面积为 0.01640 mm^2 ,目标区占图像总面积的 0.0102% ;而经本系统完成的检测结果显示:光纤面板的总面积为 2430.81216 mm^2 ,存在暗影227个,目标区为 0.97433 mm^2 ,目标区占总面积的 0.0401% 。对比两种实验的检测结果,检测面积之比约为 $1:14$,而暗影个数之比约为 $1:13$ 。在暗影个数上,两者检测结果接近,但暗影所占检测面积的百分数相差很多,所以暗影在光纤面板上的分布个数较均匀。但是,分布面积具有不均匀性,局部的暗



图4 光纤面板透光图像全景图
Fig. 4 Panoramic image of OFP

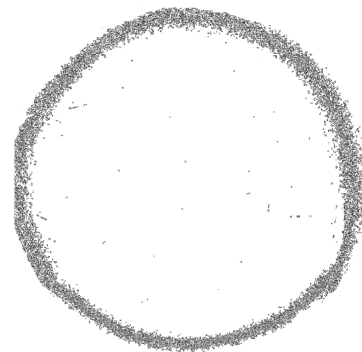


图5 暗影全景图
Fig. 5 Panoramic image of shadow

影检测不能代表整个光纤面板暗影检测的最终结果,在实际应用中,为保证检测精度,需对整张面板的暗影进行检测。

表 1 检测数据生成

Tab. 1 The generation of measured data

序号	面积/ mm ²	周长/ mm	宽度/ mm	高度/ mm	外接圆 半径/mm	等面积 圆半径/mm	圆相 似度/%	灰度 最大值	灰度 最小值	灰度 平均值	灰度 总和
1	0.000 02	0.033 12	0.016 07	0.012 05	0.007 46	0.002 78	0.138 48	159	33	105	634
2	0.000 13	0.140 51	0.044 20	0.024 11	0.023 13	0.006 41	0.076 81	162	2	92	2 209
3	0.000 06	0.161 86	0.040 18	0.028 13	0.018 74	0.004 53	0.058 54	159	12	79	1 663
4	0.000 35	0.128 17	0.044 20	0.031 24	0.025 26	0.010 51	0.173 18	163	6	89	2 678
5	0.000 08	0.179 88	0.072 32	0.056 25	0.044 28	0.005 07	0.013 10	158	0	65	1 506
6	0.000 02	0.051 54	0.028 13	0.008 04	0.012 42	0.002 27	0.033 34	143	0	97	779
7	0.000 07	0.310 00	0.116 52	0.092 41	0.073 68	0.004 81	0.004 26	162	0	74	2 685
8	0.000 04	0.201 06	0.060 27	0.048 21	0.033 68	0.003 58	0.011 32	151	2	74	1 868

6 结 论

从暗影检测结果可见,本文在光纤面板缺陷检测中应用了图像拼接技术,能够准确、有效地检测出光纤面板中所存在的全部暗影,且检测结果更具有代表性,更具备实用价值。但因受图像拼接时的边缘特征影响,拼接完成后的全景图产生了一定的形变,对暗影缺陷的精度有一定的影响,系统自动化程度有待提高。

参考文献:

- [1] TOKANAI F, SAKURAI H, GUNJI S, *et al.* Characteristics of optical imaging capillary plate gas detector with fiber optic plate[J]. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A*, 2007, 571(1-2): 289-293.
- [2] 顾肇业, 林树范, 朱瑞明, 等. GB 11447—89 光纤面板测试方法[S]. 北京: 机械电子工业部, 1989.
- [3] 李志伟, 苏志勋. 图像拼接技术中若干问题的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [4] 王明吉, 吴 云, 付东华. 基于小波域维纳滤波的光纤面板暗影检测[J]. *光学仪器*, 2011, 33(5): 5-9.
- [5] 徐美芳, 韩 焱, 董剑龙. 数字射线图像降噪中的线性滤波方法[J]. *无损检测*, 2005, 36(4): 32-35.
- [6] 胡耀垓, 赵正予, 王 刚. 基于小波的光谱信号基线校正和背景扣除[J]. *华中科技大学学报*, 2011, 88(6): 36-40.
- [7] 黄 帅, 吴克伟, 苏 菱. 基于 Harris 尺度不变特征的图像匹配方法[J]. *合肥工业大学学报*, 2011, 34(3): 65-68.
- [8] 王 森, 何 莉, 李 松. 基本主方向关系的反关系推理[J]. *计算机应用研究*, 2013, 30(1): 144-147.