

渗透性纸张上潜在指印检测技术研究

赵成^{1,2}, 黄立华^{1,2}, 凌丽青¹, 郭凯¹, 屈建峰¹, 张善华¹, 李红霞³, 庄锡峰³, 黄惠杰^{1,2}

¹中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学与光电技术实验室, 上海 201800;

²中国科学院大学, 北京 100049;

³上海海潮新技术研究所, 上海 200070

摘要 潜在指印的检测是物证检测中关键的一步。针对多种渗透性纸张上遗留的潜在指印, 基于潜在指印残留物中有机物成分在紫外光激发下会产生荧光的特性, 采用 266 nm 紫外激光器作为激发光源, 通过二维激光扫描系统对潜在指印区域进行快速扫描, 采用窄带滤光片滤除干扰光, 以指印条纹对比度作为依据优化实验参数, 采用剔除奇异亮点和提高对比度的方法复原指印荧光图像。通过对复印纸、书写纸、学生作业纸、便利贴和报纸这 5 种渗透性纸张上的汗指印和油指印进行检测, 获得了汗指印和油指印的清晰图像。该方法可实现渗透性纸张上潜在指印的无损检测, 在刑事侦查、痕迹检测等多个领域具有重要应用。

关键词 光电子学; 本征荧光; 指印检测; 渗透性纸张; 潜在指印; 紫外激光; 二维激光扫描系统

中图分类号 TN23

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201845.0704003

Detection of Latent Fingerprints on Porous Paper

Zhao Cheng^{1,2}, Huang Lihua^{1,2}, Ling Liqing¹, Guo Kai¹, Qu Jianfeng¹,
Zhang Shanhua¹, Li Hongxia³, Zhuang Xifeng³, Huang Huijie^{1,2}

¹Laboratory of Information Optics and Opto-Electronic Technology, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³Shanghai Haichao Institute for New Technologies, Shanghai 200070, China

Abstract Detection of latent fingerprints is one of the key steps in material evidence detection. On the basis of the characteristic that the organic components of latent fingerprints will produce fluorescence under ultraviolet excitation, the two-dimensional laser scanning system is adopted to scan the latent fingerprints left on the surface of porous paper with high speed (the 266 nm ultraviolet laser is used as excitation light source). Interference light is filtered by narrow band filter. The experimental parameters are optimized according to the fingerprint stripe contrast, the latent fingerprint fluorescence images is reconstructed by the methods of removing the singular highlights and enhancing the fingerprint stripe contrast. By above methods, clear images of the sweat fingerprints and sebaceous fingerprints left on the surface of five types of porous paper (copy paper, writing paper, student work paper, sticky note and newspaper) can be obtained. The method can realize the non-destructive detection of latent fingerprints on the porous paper. It has important applications in many fields such as criminal investigation and trace detection.

Key words optoelectronics; intrinsic fluorescence; fingerprint detection; porous paper; latent fingerprint; ultraviolet laser; two-dimensional laser scanning system

OCIS codes 250.5230; 300.2530; 140.3610; 040.5250

收稿日期: 2018-01-22; 收到修改稿日期: 2018-02-11

作者简介: 赵成(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事精密光电测控方面的研究。E-mail: zhaocheng523@foxmail.com

导师简介: 黄立华(1977—), 女, 研究员, 主要从事光学生物传感技术、光学痕迹探测技术等方面的研究。

E-mail: hlh@siom.ac.cn(通信联系人)

1 引言

自“指纹终身不变”理论提出以来,指印检测作为一种传统而基础的人身识别方式在刑事案件侦查中发挥着重要作用^[1-2]。

根据手指接触的检材和遗留方式的差异,一般可将指印分为三类:可见指印、潜在指印和可塑指印^[3]。作为信息载体的纸张被广泛应用于生活的各个方面,同时也是各种案件现场的常见物品,成为手指最常接触和遗留指印的检材。这类经接触并遗留在纸张上的指印绝大部分为潜在指印,无法通过肉眼直接观察,所以采取有效措施将纸张上的潜在指印显现或增强成清晰的可见指印,直接关系到指纹的获取、分析和鉴定等。

传统的指印显现方法主要包括物理吸附法、化学显现法和光学显现法。常用的方法有烟熏法^[3]、粉末法^[4]、碘熏法^[5]、硝酸银法^[6]、茛三酮法^[7-8]、1,8-二氮芴-9-酮(DFO)法^[2]、光谱成像法^[9-10]和各种相干成像法^[11-13]等。上述方法中,粉末刷显、烟熏、使用有机溶剂等操作可能会破坏纸张及其上的潜在指印,并且对复印纸、书写纸和报纸等渗透性纸张上潜在手印的检测效果不佳。为实现渗透性纸张上潜在指印的无损检测,热显法^[14-16]、紫外反射成像法^[17]和紫外激发荧光检测法^[18-20]等被相继应用于潜在指印的检测。热显法对汗指印的显现效果较好,对油指印显现效果不佳,若加热过程的温度和时间控制不当,就会影响显现效果和造成纸张泛黄;紫外反射成像法对玻璃、照片等非渗透性检材上的潜在指印显现效果较好,但对渗透性纸张上的潜在指印显现效果不佳;紫外激发荧光检测法利用潜在指印残留物中的有机物成分在紫外光激发下发出荧光的特性开展检测,以 266 nm 紫外激光器作为激发光源,激光器出射光束经高倍率扩束后以面光斑的形式照射留有潜在指印的渗透性纸张,光斑尺寸一般为完整指印大小^[20],此时,指印上获得的光功率密度低,指印中的有机物无法被有效激发,导致指印检测效果不佳。

为了解决现有技术存在的问题,实现渗透性纸张上潜在指印的有效检测,本文将二维扫描振镜和 F-theta 透镜组成的二维激光扫描系统运用于紫外激发荧光检测法,搭建潜在指印检测装置,并在多种纸张上开展实验研究,通过滤除干扰荧光、优化实验

参数和采用有效的数据处理算法等,获得了良好的指印检测效果。

2 潜在指印的检测原理及装置

2.1 指印荧光光谱测量

为了获得 266 nm 紫外光激发下潜在指印的荧光光谱和具有较强背景荧光的渗透性纸张上潜在指印的荧光光谱,为后续荧光探测提供依据,搭建指印荧光光谱测量装置。使用 Photonics 公司的 266 nm Nd:YAG 固态激光器作为激发光源,使用 FLS 920 型稳态/瞬态荧光光谱仪测量指印荧光光谱,并分别选取石英和学生作业纸作为按压指印的基底。

测量时,为消除 266 nm 紫外光激发的其他波段荧光的干扰,在光谱仪接收光路中加入了在 300~400 nm 波段具有较高透过率的带通滤光片,其谱线如图 1 所示。

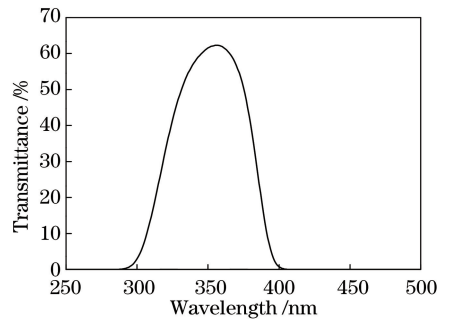


图 1 带通滤光片的谱线图

Fig. 1 Spectrum of bandpass filter

分别测量不同电流下石英基底和学生作业纸基底上指印的荧光光谱,测量结果如图 2 和图 3 所示。可看出:1)干净的石英与按有指印的石英的荧光光谱在 320~370 nm 处有较大差异,随着激发光功率增加,指印在 320~370 nm 范围内的荧光强度有较明显的增大;2)当激发光功率较低时,干净的学生作业纸及按有指印的学生作业纸的荧光光谱基本重合,随着激发光功率增大,在 320~370 nm 范围内,按有指印的纸张的荧光强度与纸张本身荧光强度的差异变大。因此可利用潜在指印与纸张本底在 320~370 nm 波段的荧光强度存在差异的特点实现潜在指印的检测。

在检测指印时,为了提高检测的信噪比,需要在荧光接收光路中加入窄带滤光片,以滤除激发光和纸张其他波段背景荧光的干扰,获得高对比度的指印荧光图像。

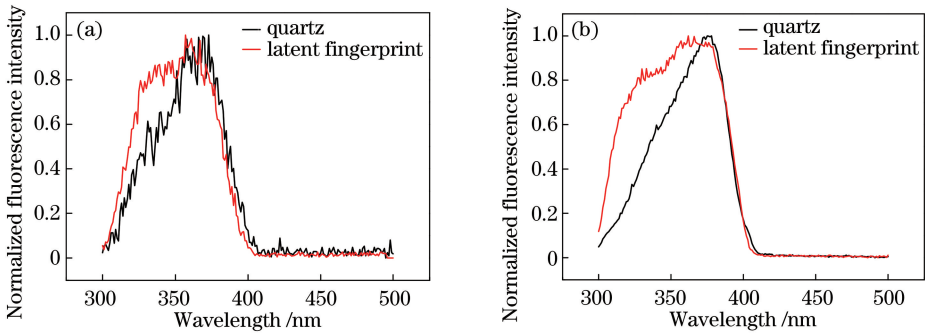


图 2 不同电流下石英基底和潜在指印的荧光光谱。(a) 18 A;(b) 23 A

Fig. 2 Fluorescence spectra of quartz substrate and latent fingerprint at different currents. (a) 18 A; (b) 23 A

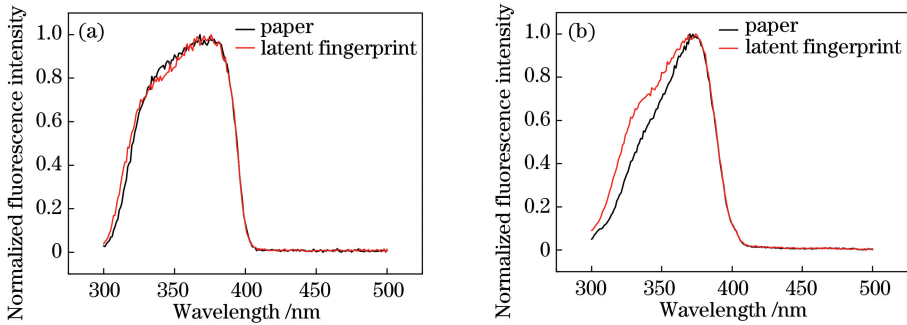


图 3 不同电流下纸张基底和潜在指印的荧光光谱。(a) 18 A;(b) 23 A

Fig. 3 Fluorescence spectra of paper substrate and latent fingerprint at different currents. (a) 18 A; (b) 23 A

2.2 潜在指印检测装置

由于较高的激发光功率可以获得较强的指印荧光,所以可将激光束聚焦在纸张上,以获得较高的激发光功率密度,进而获得较强的指印荧光。为了实现聚焦光斑在指印区域的快速扫描,将二维扫描振镜和 F-theta 透镜组成的二维激光扫描系统组装进潜在指印检测装置。

潜在指印检测装置原理如图 4 所示。激光器输出光束经扩束后入射至分色镜,经分色镜反射后到达二维扫描振镜;光束经二维扫描振镜反射后入射至 F-theta 透镜,并由 F-theta 透镜聚焦于纸张上;纸张上的潜在指印受激发射的荧光经 F-theta 透镜收集后由二维扫描振镜反射至分色镜,并透过分色镜入射至荧光接收光路,经滤光片滤除干扰光后由光电倍增管进行探测。

潜在指印检测装置如图 5 所示,装置包括光源和传输光路模块、激光扫描光学转换模块、三维电动样品台、荧光探测模块和控制系统。

光源和传输光路模块主要由激光器、反射镜、扩束镜和分色镜组成,用于将光束导入至激光扫描光学转换模块。由于潜在指印残留物中的有机物成分的吸收峰集中在 266 nm,故而使用 Photonics 公司的 266 nm Nd:YAG 固态激光器作为本装置的激发

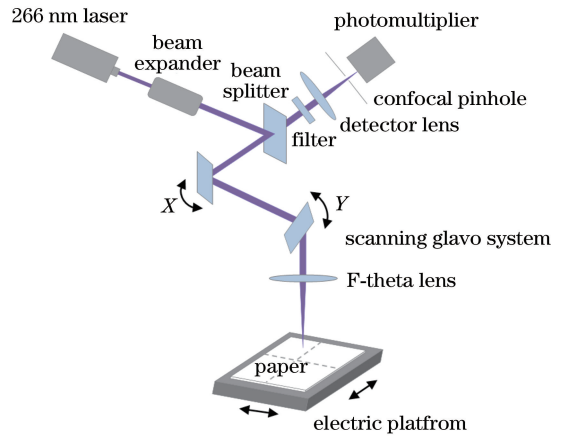


图 4 潜在指印检测装置原理

Fig. 4 Schematic of latent fingerprint detection device

光源。激光扫描光学转换模块由二维扫描振镜和 F-theta 透镜组成。F-theta 透镜的焦距为 235 mm,对 266 nm 和荧光波段的透过率均大于 90%。

采用 Thorlabs 公司的 GVS412 大光束直径双轴扫描振镜系统作为潜在指印检测装置的扫描器件,其主要技术指标如表 1 所示,可以实现 20 mm × 30 mm 指印区域的快速扫描和 50 μm 的检测分辨率。该系统中的反射镜表面镀有紫外增强铝膜,对 266 nm 和荧光波段的反射率均大于 85%。

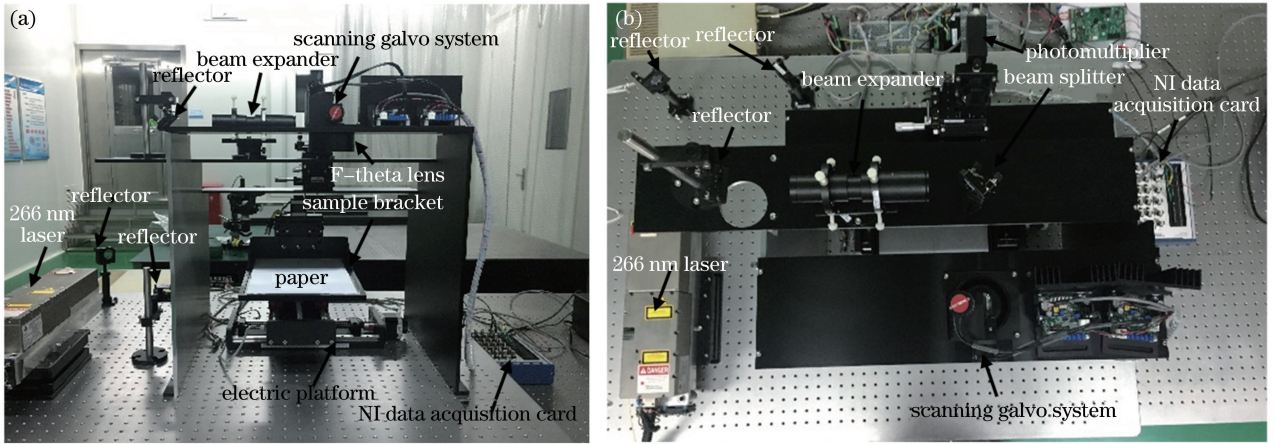


图 5 潜在指纹检测装置。(a)正视图;(b)俯视图

Fig. 5 Latent fingerprint detection device. (a) Front view; (b) top view

表 1 GVS412 大光束直径双轴扫描振镜系统的主要技术指标

Table 1 Key specifications of GVS412 large beam diameter biaxial scanning galvanometer system

Max mechanical scan angle / (°)	Repeatability / μrad	Linearity / %	Small angle step response / μs
± 20	15	99.9	400

荧光探测模块主要由窄带滤光片、聚焦透镜、小孔光阑和光电倍增管组成。选用中心波长为 355 nm,半高宽为 50 nm 的窄带滤光片,以滤除干扰光,提高检测信噪比。窄带滤光片的谱线如图 6 所示。采用滨松公司的 H7827-011 型光电倍增管,其在指纹荧光波段具有较高的量子效率。

动电流)、光电倍增管的控制电压有关,为优化这两个参数,选择了表 2 所示的三组实验参数开展实验。

表 2 三组实验参数

Table 2 Three groups of experimental parameters

No.	Current of laser / A	Control voltage of photomultiplier / V
1	18	1.01
2	19	0.85
3	20	0.76

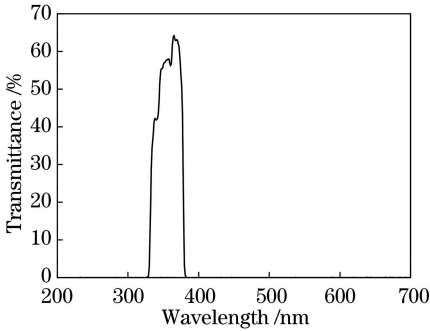


图 6 窄带滤光片的谱线

Fig. 6 Spectrum of narrow bandpass filter

3 实验研究

3.1 实验参数优化

分别针对渗透性纸张上两种潜在指纹——以汗液为主的汗指纹和以油脂为主的油指纹进行检测。汗指纹是通过将手洗净擦干,带上乳胶手套等待 30 min 后,手指在纸张表面适度按压形成的;油指纹是通过将手洗净擦干,手指触摸额头或鼻翼后在纸张表面适度按压形成的。

将指纹图像的指纹条纹对比度定义为指纹图像中脊线灰度值与背景灰度值的差值,并以此作为检测效果优劣的评价标准。在表 2 所示的三组实验参数下检测学生作业纸和复印纸上的 20 枚汗指纹和 20 枚油指纹,并根据指纹条纹对比度分析检测效果。

图 7 为三组实验参数下学生作业纸上汗指纹的检测结果,图 8 为图 7 检测结果中红色线条区域灰度值的变化曲线。可以看出,随着激光器电流从 18 A 升高到 19 A,指纹条纹对比度从 23 增大到 40,但当激光器电流继续升高至 20 A 时,指纹条纹对比度下降到 18,说明第二组实验参数下的检测效果最好。从图 7 和图 8 中也可以看出,图像中红线右端没有指纹处的对比度为 10 左右,明显小于指纹条纹的对比度。

图 9 为三组实验参数下学生作业纸上油指纹的检测结果,图 10 为图 9 中红色线条区域灰度值的变化曲线。从图 10 可得三组实验参数下的指纹条纹对比度分别为 28、45 和 20,说明第二组实验参数条

指纹荧光的信号强度与激发光功率(即激光器驱

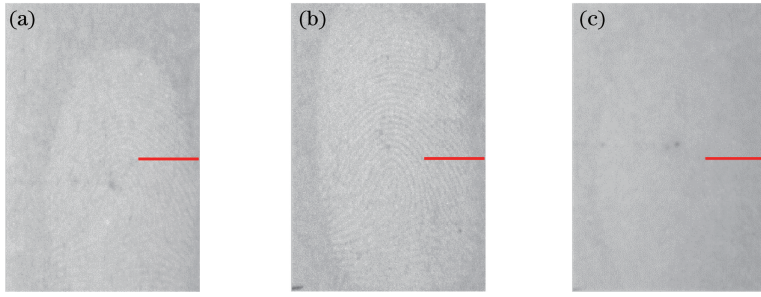


图 7 三组实验参数下学生作业纸上汗指印的检测结果。(a)第一组;(b)第二组;(c)第三组

Fig. 7 Detection results of sweat fingerprints on student work paper at three groups of experimental parameters.

(a) The first group; (b) the second group; (c) the third group

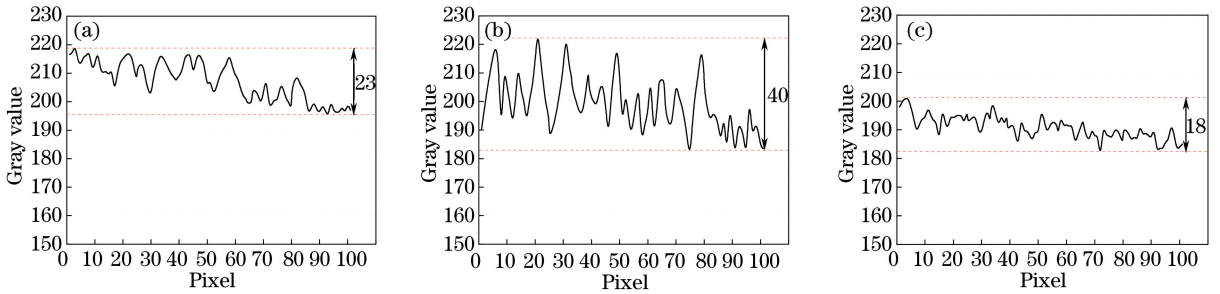


图 8 三组实验参数下学生作业纸上汗指印检测结果的灰度值曲线。(a)第一组;(b)第二组;(c)第三组

Fig. 8 Gray curves of detection results of sweat fingerprints on student work paper at three groups of experimental parameters. (a) The first group; (b) the second group; (c) the third group

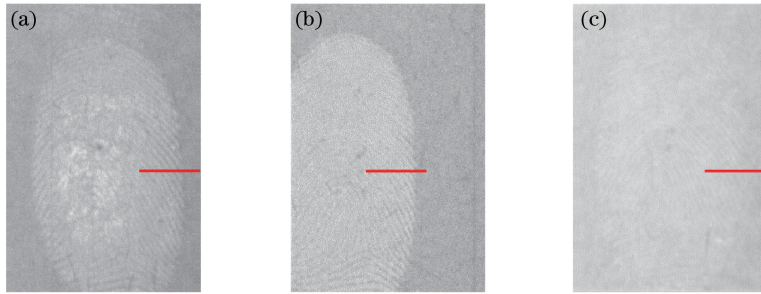


图 9 三组实验参数下学生作业纸上油指印的检测结果。(a)第一组;(b)第二组;(c)第三组

Fig. 9 Detection results of sebaceous fingerprints on student work paper at three groups of experimental parameters. (a) The first group; (b) the second group; (c) the third group

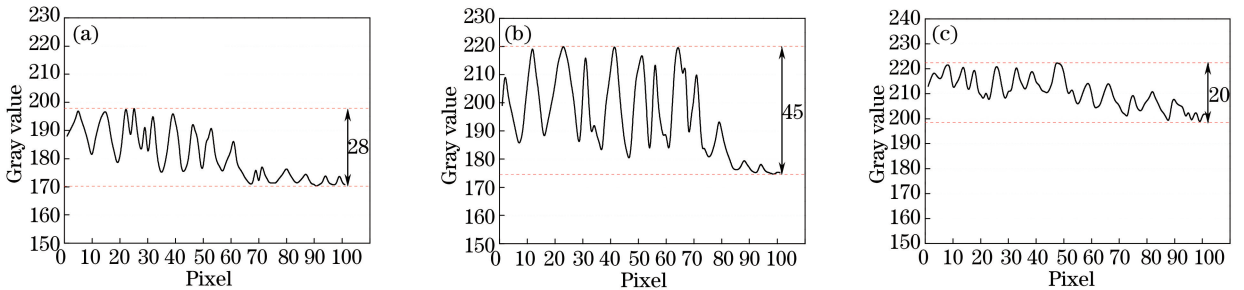


图 10 三组实验参数下学生作业纸上油指印检测结果的灰度值曲线。(a)第一组;(b)第二组;(c)第三组

Fig. 10 Gray curves of detection results of sebaceous fingerprints on student work paper at three groups of experimental parameters. (a) The first group; (b) the second group; (c) the third group

件下的检测效果最好。从图 9 和图 10 中也可以看出,图像中红线右端没有指印处的对比度为 10 左右,明显小于指印条纹的对比度。

表 3 三组实验参数下复印纸上指印检测结果的指印条纹对比度

Table 3 Fingerprint stripe contrast of detection results of fingerprints on copy paper at three groups of experimental parameters

No.	Current of laser /A	Control voltage of photomultiplier /V	Fingerprint stripe contrast of sweat fingerprint	Fingerprint stripe contrast of sebaceous fingerprint
1	18	1.01	20	20
2	19	0.85	40	35
3	20	0.76	20	20

由学生作业纸和复印纸上指印的检测结果可知,在第二组实验参数下,指印图像的指印条纹对比度最高,可认为在此组实验参数下进行指印检测效果最佳。

选取 19 A 激光器电流和 0.85 V 光电倍增管控

制电压作为实验参数,检测复印纸、书写纸、学生作业纸、便利贴和报纸这 5 种纸张上的 20 枚汗指印和 20 枚油指印。5 种纸张上汗指印的实验结果如图 11 所示,5 种纸张上油指印的实验结果如图 12 所示。

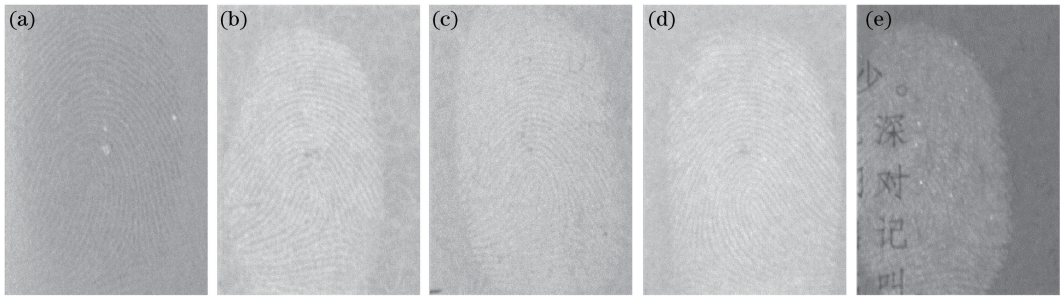


图 11 不同渗透性纸张上汗指印的检测结果。(a)复印纸;(b)书写纸;(c)学生作业纸;(d)便利贴;(e)报纸
Fig. 11 Detection results of sweat fingerprints on different porous paper. (a) Copy paper; (b) writing paper; (c) student work paper; (d) sticky note; (e) newspaper

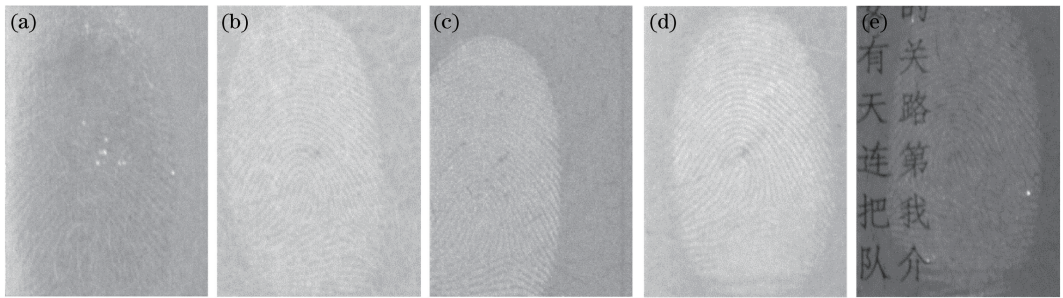


图 12 不同渗透性纸张上油指印的检测结果。(a)复印纸;(b)书写纸;(c)学生作业纸;(d)便利贴;(e)报纸
Fig. 12 Detection results of sebaceous fingerprints on different porous paper. (a) Copy paper; (b) writing paper; (c) student work paper; (d) sticky note; (e) newspaper

3.2 图像处理

观察 5 种纸张上 20 枚汗指印和 20 枚油指印的检测结果可知,复印纸和报纸上的指印检测图像中均存在一些奇异亮点,这可能是由纸张本身存在荧光剂累积或其他污染物导致的。为了剔除奇异亮点,提出一种奇异亮点剔除算法。首先对图像进行高斯滤波平滑处理,去除图像的高斯噪声,接着使用圆盘形结构元对图像进行闭运算操作,去除比结构

元小的黑暗细节,再使用 Canny 检测算子寻找奇异亮点的边缘,并记录边缘坐标,对边缘坐标形成的封闭区域内的像素点进行线性插值,从而剔除奇异亮点。图 13 展示了该算法分步处理图 11(a)的结果。对比图 13(a)和图 13(e)可以看出,奇异亮点基本被剔除。

为了增强指印图像中的指印条纹显现效果,需要进一步提高指印图像的指印条纹对比度,采用对比度拉伸算法对指印图像进行处理。首先寻找图像

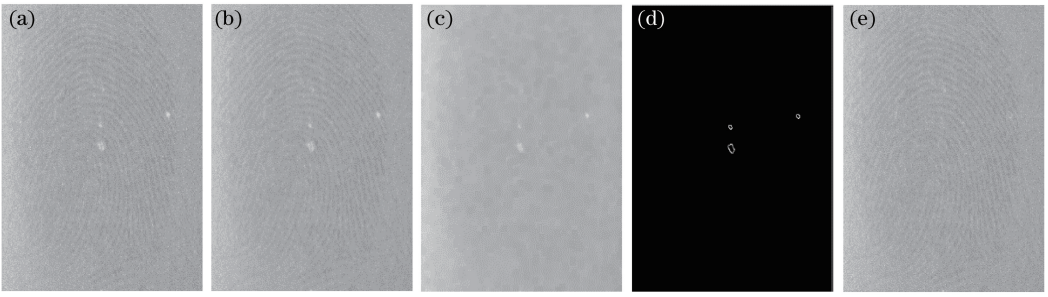


图 13 奇异亮点剔除算法分步处理结果。(a)原图;(b)高斯滤波平滑处理结果;
(c)闭运算处理结果;(d) Canny 算子边缘检测结果;(e)最终结果图

Fig. 13 Images of singular highlights elimination algorithm sub-step processing. (a) Original image;
(b) result of smooth processing by Gaussian filter; (c) result of closed operation; (d) result of edge
detection by Canny operator; (e) final image

灰度的最大值和最小值,分别记为 I_{\max} 和 I_{\min} ,接着对图像上每一个像素点进行如下操作:

$$G_i = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}, \quad (1)$$

式中: I_i 为图像单像素的灰度值; G_i 为图像单像素对比度拉伸后的灰度值, $i = 1, 2, \dots, N$, N 为图像的总像素数。

采用对比度拉伸算法对图 7(b)和图 9(b)进行处理,结果如图 14 所示。图 15 为图 14 中红色线条区域灰度值的变化曲线。可看出,经对比度拉伸算法处理后,汗指印的指印条纹对比度从 40 升至 65,油指印的指印条纹对比度从 45 升至 75。随着指印条纹对比度增大,指印图像中的纹线变得更加分明。

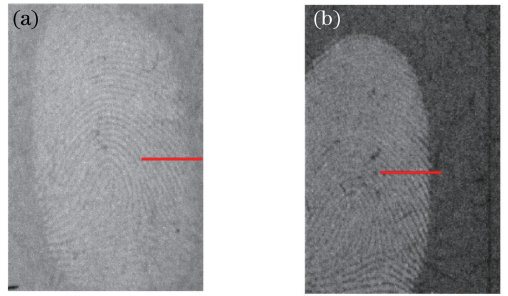


图 14 学生作业纸上汗指印和油指印经对比度拉伸算法处理后的结果。(a)汗指印;(b)油指印

Fig. 14 Contrast stretching algorithm processing results of sweat fingerprint and sebaceous fingerprint on student work paper. (a) Sweat fingerprint; (b) sebaceous fingerprint

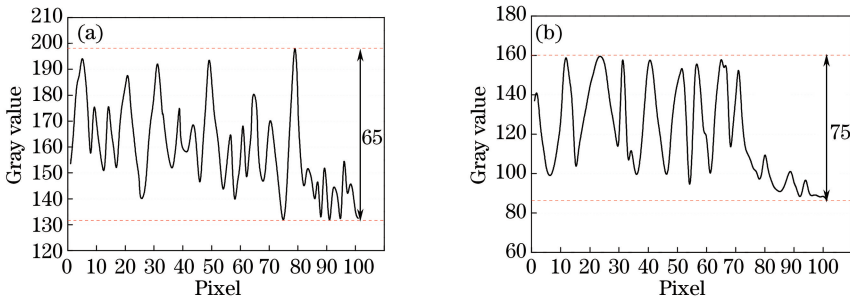


图 15 学生作业纸上汗指印和油指印的灰度值曲线。(a)汗指印;(b)油指印

Fig. 15 Gray curves of sweat fingerprint and sebaceous fingerprint on student work paper.

(a) Sweat fingerprint; (b) sebaceous fingerprint

结合奇异亮点剔除算法和对比度拉伸算法处理图 11 和图 12(不同渗透性纸张上汗指印、油指印的检测结果),结果如图 16 和图 17 所示。

与李红霞等^[17,20]的检测结果比较后可知:本研究提方法检测到的复写纸和书写纸上汗指印的纹线更加完整,可以提取更多的指纹特征信息用于后期指纹鉴定;油指印纹线更加清晰,可使得提取到的指纹特征信息具有更高的准确性。

4 结 论

为了获得渗透性纸张上高对比度的潜在指印图像,基于紫外激发荧光检测法开展了潜在指印检测技术研究。搭建了一套潜在指印检测装置,采用 266 nm 紫外激光器作为激发光源,由二维扫描振镜和 F-theta 透镜组成二维激光扫描系统,用以实现紫外光斑在纸张上的快速扫描,被激发出的指印荧

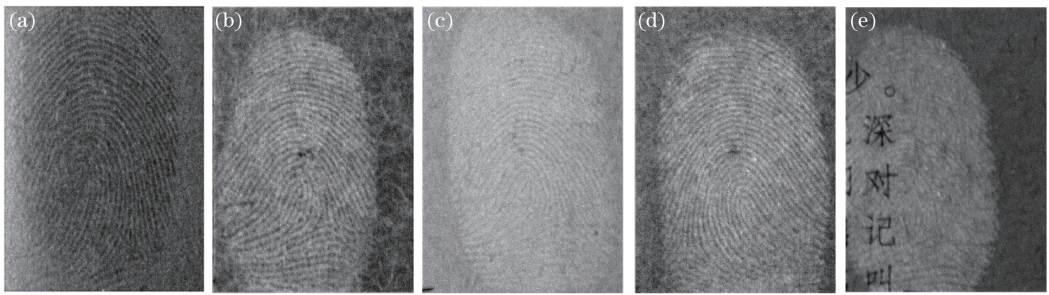


图 16 汗指纹检测结果的算法处理图。(a)复印纸;(b)书写纸;(c)学生作业纸;(d)便利贴;(e)报纸
Fig. 16 Algorithm processing results of sweat fingerprints. (a) Copy paper; (b) writing paper; (c) student work paper; (d) sticky note; (e) newspaper

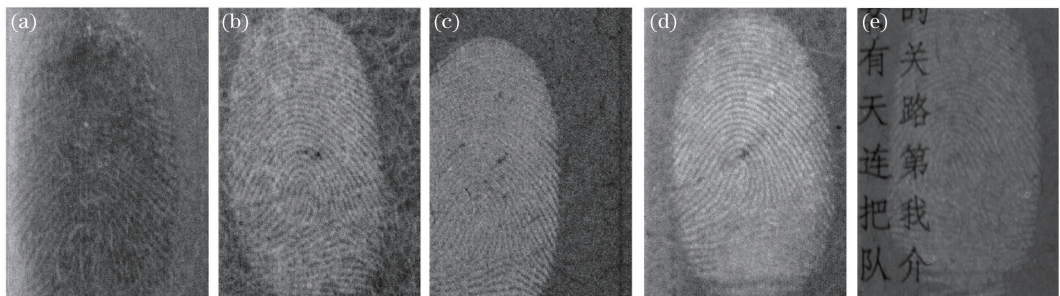


图 17 油指纹检测结果算法处理图。(a)复印纸;(b)书写纸;(c)学生作业纸;(d)便利贴;(e)报纸
Fig. 17 Algorithm processing results of sebaceous fingerprints. (a) Copy paper; (b) writing paper; (c) student work paper; (d) sticky note; (e) newspaper

光由荧光探测模块收集。在实验装置中,分别采用窄带滤光片滤除干扰光,以指纹图像的指纹条纹对比度作为依据优化实验参数,采用奇异亮点剔除及对比度拉伸算法进行数据处理,以提高检测信噪比,增强指纹条纹的显现效果。使用潜在指纹检测装置分别对 5 种不同渗透性纸张上的 20 枚汗指纹和 20 枚油指纹进行检测,实现了渗透性纸张上潜在指纹的清晰显现,为后期指纹鉴定提供了重要的参考信息,在刑事侦查、物证鉴定和痕迹检测等领域具有重要应用。

参 考 文 献

- [1] Faulds H. On the skin-furrows of the hand [J]. Nature, 1880, 22(574): 605.
- [2] Lee H C, Gaensslen R E. Advances in fingerprint technology[M]. [S.l.]: Elsevier, 2001.
- [3] Xu L R. Development and component recognition of latent fingerprints by electrochemi-luminescence imaging[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. 许林茹. 电化学发光成像技术在潜在指纹显现与成分识别中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [4] Sodhi G S, Kaur J. Powder method for detecting latent fingerprints: a review [J]. Forensic Science International, 2001, 120(3): 172-176.
- [5] Wang Y, Li Z H, Yang L. Development of latent sweat-fingerprints on thermal paper with iodine fume [J]. Forensic Science and Technology, 2004(3): 45. 王跃, 李志洪, 杨蕾. 碘熏显现热敏纸上的汗潜手印 [J]. 刑事技术, 2004(3): 45.
- [6] Chen Y, Zhang C J, Gao D M, *et al.* Development of visualization of latent fingerprints [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2011, 28(10): 1099-1107. 陈艳, 张春静, 高东梅, 等. 潜指纹显现方法研究进展 [J]. 应用化学, 2011, 28(10): 1099-1107.
- [7] Odén S, von Hofsten B. Detection of fingerprints by the ninhydrin reaction [J]. Nature, 1954, 173 (4401): 449-450.
- [8] Liberti A, Calabrò G, Chiarotti M. Storage effects on ninhydrin-developed fingerprints enhanced by zinc complexation [J]. Forensic Science International, 1995, 72(3): 161-169.
- [9] Crane N J, Bartick E G, Perlman R S, *et al.* Infrared spectroscopic imaging for noninvasive detection of latent fingerprints [J]. Journal of Forensic Sciences, 2007, 52(1): 48-53.
- [10] Tahtouh M, Despland P, Shimmon R, *et al.* The application of infrared chemical imaging to the detection and enhancement of latent fingerprints: method optimization and further findings [J]. Journal

- of Forensic Sciences, 2007, 52(5): 1089-1096.
- [11] Wang L, Zhu H L, Tu P, *et al.* High-speed three-dimensional swept source optical coherence tomography system based on LabVIEW[J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(7): 0704001.
王玲, 朱海龙, 涂沛, 等. 基于 LabVIEW 的高速三维扫频光学相干层析成像系统[J]. 中国激光, 2014, 41(7): 0704001.
- [12] Nan N, Bu P, Li Z L, *et al.* Full-range fourier domain doppler optical coherence tomography based on sinusoidal phase modulation[J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(2): 0204001.
南楠, 步鹏, 李中梁, 等. 正弦相位调制全深度频域多普勒光学相干层析成像技术[J]. 中国激光, 2014, 41(2): 0204001.
- [13] Zhang X L, Gao W R, Chen C L, *et al.* Extraction and compensation for depth-resolved phase error in spectral domain optical coherence tomography [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(2): 0204002.
张仙玲, 高万荣, 陈朝良, 等. 谱域光学相干层析成像中深度分辨相位误差提取及补偿[J]. 中国激光, 2014, 41(2): 0204002.
- [14] Dominick A J, Daeid N N, Bley S M. The recoverability of fingerprints on nonporous surfaces exposed to elevated temperatures [J]. Journal of Forensic Identification, 2011, 61(5): 520-536.
- [15] Dominick A J, Daeid N N, Bley S M, *et al.* The recoverability of fingerprints on paper exposed to elevated temperatures-Part 2: natural fluorescence [J]. Journal of Forensic Identification, 2009 59(3): 340-355.
- [16] Qi Y S, Luo D, Peng Y. Study of the detection of latent fingerprint on papers using thermal development method[J]. Journal of People's Public Security University of China (Science and Technology), 2013(3): 1-5.
齐宇颂, 罗顿, 彭颖. 纸张上汗潜手印的热显法研究[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2013(3): 1-5.
- [17] Li H X, Niu J Q, Huang Y G, *et al.* Noninvasive detection of latent fingerprints using ultraviolet laser [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48(9): 092501.
李红霞, 钮洁青, 黄云刚, 等. 紫外激光无损检测潜在指印技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(9): 092501.
- [18] Zhang T T. Research on with ultraviolet laser fingerprint identification system [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2008.
张婷婷. 紫外激光指纹识别系统研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2008.
- [19] Yan X Y. Research on 266 nm ultraviolet laser[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2008.
闫晓媛. 266 nm 紫外激光器研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2008.
- [20] Li H X, Niu J Q, Chen J R, *et al.* Noninvasive detection of latent fingerprints on papers using fluorescence imaging technique [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(2): 023002.
李红霞, 钮洁青, 陈敬蓉, 等. 荧光成像无损显现纸张潜指印研究[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(2): 023002.