

文章编号: 1672-8785(2014)08-0005-05

基于主动偏振光的潜指纹偏振成像检测方法研究

韩裕生 毛宝平 周远

(偏振光成像探测技术安徽省重点实验室, 安徽合肥 230031)

摘要: 作为一种无损检测方法, 光学检验法是多种潜指纹检测方法中的首选。在面对越来越复杂的应用场景时, 传统光学检验法往往效果不佳。然而偏振成像探测技术不仅能够获得目标的强度和光谱等信息, 而且还能够得到偏振度和偏振角等反映目标表面细节特征的偏振信息, 因此可以提高潜指纹检测效果。利用偏振成像技术的优势, 开展了基于主动偏振光的潜指纹偏振成像检测实验研究, 获取了指纹图像数据并对其进行了分析。结果表明, 与一般的强度成像相比, 本文方法所得到的潜指纹偏振参量图像质量更高, 获取的图像更清晰, 细节信息更丰富。

关键词: 偏振成像; 潜指纹; 指纹检测; 质量评价

中图分类号: TN911.73 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.08.002

Research on Polarization Imaging Detection Method of Latent Fingerprints Based on Active Polarized Light

HAN Yu-sheng, MAO Bao-ping, ZHOU Yuan

(Key Laboratory of Polarization Imaging Detection Technology in Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: As a nondestructive method, optical inspection is the preferred method in several latent fingerprint detection methods. In the face of increasingly complex application scenes, the traditional optical inspection method is often ineffective. However, the polarization imaging detection not only can obtain the intensity and spectral information of a target, but also can obtain the polarization information such as polarization degree and polarization angle etc reflecting the surface details of the target. By use of the advantages of polarization imaging, the research on polarization imaging detection of latent fingerprints based on active polarized light is carried out. The fingerprint image data is obtained and analyzed. The result shows that compared with the common light intensity imaging, the method can obtain higher quality latent fingerprint images. The images are clearer and have more detail information.

Key words: polarization imaging; latent fingerprint; fingerprint testing; quality evaluation

0 引言

潜指纹是生活中最常见的一类指纹, 其显

现方法可以分为物理显现法、化学显现法和光学检验法。其中, 光学检验法符合物证技术工作中无损检验方法优先的原则, 因此是多种方法

收稿日期: 2014-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41176158)

作者简介: 毛宝平(1989-), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事偏振成像和图像处理方面的研究。

E-mail: 632255862@qq.com

中的首选。但在光学检验法中，紫外激光照射会对指印和脱落细胞的DNA检验结果产生严重影响。有的仪器设备较为庞大、结构复杂，不适合在犯罪现场进行指纹提取；有的对指纹的增强显现能力有限，难以独立解决实践中遇到的问题^[1]。因此，在面对越来越复杂的社会应用场景时，如何充分发挥光学检验法的优势，有效提高潜指纹无损检测技术，已经成为一个亟待解决的现实问题。

偏振是光的一个重要属性。在自然光或线偏振光的照射下，物质表面上的反射光可能会出现不同程度的偏振现象。偏振光照相是利用数码相机记录因光的偏振性质调整和改变而产生的物体反射光的相对亮度分布的照相方法。利用偏振光照相技术能够消除由镜面定向反射光形成的反光和背景干扰，降低背景亮度，增强反差，突出指纹特征。这种方法已经得到了广泛运用。文献[2]作者尝试用金、银粉末对遗留在机箱上的汗液潜指纹进行刷显，然后利用偏振照相技术对其进行显现提取，取得了良好的效果。文献[3]作者利用偏振照相技术分别对两种常见的镜面物体——玻璃镜面和光盘上的油指纹与灰尘指纹进行光学显现，有效消除了反射光的影响，达到了很好的显现效果。然而偏振照相技术也会导致背景区域对指纹产生较大干扰。文献[4]作者设计了一种基于光的偏振特性和镜面反射原理的装置。由于采用主动光源照射方法，较好地显现了潜指纹，获得了0°、45°、90°三个单方向上的偏振图像，并通过合成得到了偏振参量图，有效抑制了普通镜面反射成像强度图中背景对指纹区域的干扰。但文献[4]作者并没有深层次地挖掘偏振成像在潜指纹检测中相对于强度成像的优势，缺少系统的实验研究，并且没有对所获指纹图像的质量进行量化评价。

本文在文献[4]的基础上进行了更为详细的实验研究与分析。我们在实验中从更多的角度获取了多幅图像，比较了主动偏振光条件下的强度图和偏振参量图，并对图像数据进行了量

化评价，最后阐述了偏振成像在潜指纹检测中的优势。

1 实验原理

1.1 潜指纹的偏振特性分析

在主动偏振光源的照射下，客体表面保偏能力强，其反射的偏振光的偏振度大；皮肤表层保偏能力弱，其反射的偏振光的偏振度小，如图1所示。因此，两者的偏振特性之间存在差异，便于形成指纹偏振图像，为利用偏振成像技术检测潜在指纹提供了有利条件。

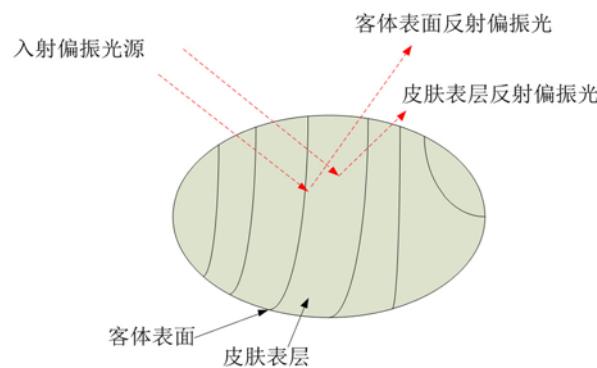


图1 潜指纹的偏振特性分析

1.2 指纹图像的质量评价

在得到指纹图像之后，还需要有一个能对其质量优劣进行评价的统一标准。普通光学图像的评价指标包括信息熵、信噪比和清晰度等，而指纹图像的评价指标则包括有效区域比重、偏移度和干湿度等。本文采用两种评价相结合的方法，选取反映图像纹理和细节信息的清晰度和有效区域作为本文所获图像的评价指标。

1.2.1 平均梯度

平均梯度又称清晰度，反映了图像中的微小细节反差与纹理变化特征，同时也反映了图像的清晰度，其定义为

$$\nabla \bar{g} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sqrt{\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2} \quad (1)$$

1.2.2 有效区域比重

有效区域比重又称前景比重，是指图像中指纹区域与背景区域的面积比重。指纹图像的

质量好坏可以用其所包含的有效特征点的数量来衡量, 而特征点的数量又与指纹有效区域的大小直接相关, 因此使用指纹图像中有效区域所占的面积比重可以在一定程度上反映出一幅指纹图像的质量好坏。有效区域的定义如下: 把指纹图像分成若干个 $\omega \times \omega$ 小块, 并计算每一小块的灰度方差 G_v :

$$G_v = \sum_{i=1}^{\omega \times \omega} [G(i) - G_m]^2 \quad (2)$$

式中, $G(i)$ 为各像素点的灰度值; G_m 为图像的灰度均值。若 G_v 大于预定阈值, 则该图块被判定为有效区域, 否则即为无效区域^[5]。

2 潜指纹偏振成像检测系统及实验

2.1 实验系统

潜指纹偏振成像检测系统由主动光源模块、载物台和偏振成像模块三部分组成(见图 2)。其中, 光源采用的是警用多功能勘察灯, 其光谱范围为 400~700 nm, 并具有亮度高和均匀性好等特点。光源前加上一个线偏振片, 使得照射到目标上的光线为线偏振光。偏振成像探测器为美国制造的 FD-1665P 型偏振成像仪。该相机采用面阵 CCD 探测器进行画幅式成像, 其量化精度达到 16 bit, 分辨率为 1024×1024 , 镜头为腾龙 28~105 mm 变焦镜头。这种成像仪能够同时得到 3 个不同方向上的单方向偏振图像。使用时, 可以将光源和偏振成像探测仪分别固定在旋转支架的两端, 使它们以不同的角度旋转, 以满足试验中不同光源入射角和探测角的要求; 也可以将它们前后上下移动, 在一定范围

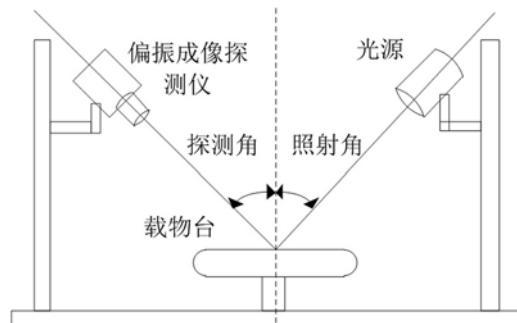


图 2 实验平台的示意图

内任意调节其与载物台之间的距离。由于载物台能够围绕其底轴任意旋转和上下移动, 各器件在角度和距离上的调节都具有较大的自由度。

2.2 潜指纹偏振成像检测实验

利用以上系统进行了潜指纹偏振成像检测实验。实验中, 潜指纹为汗潜指纹, 指纹载体为 CD 光盘、玻璃镜面和手机屏幕。本文获取了探测角和照射角分别为 0° 、 10° 、 20° 、 30° 和 40° 时的成像结果。为了得到更好的成像结果, 我们采取了以下两点措施:

(1) 采用暗室拍摄。整个实验过程均在暗室中进行, 这样能够最大限度地减少除主动光源以外的非偏振光源的杂光干扰。

(2) 由于实验仪器本身存在系统误差, 在计算偏振参量图像之前需要对 3 个不同方向上的单方向偏振图像进行精确度较高的亚元素配准, 以尽量将误差降至最小。

2.3 实验数据分析

为了评估实验效果, 我们采用图像清晰度和有效区域比重两个指标对解析所得的潜指纹强度图像和偏振参量图像进行了量化比较。表 1 列出了不同角度下 3 种实验样本的强度图像和偏振图像在清晰度和指纹有效区域比重方面的对比情况。图 3 和图 4 分别为清晰度和有效区域比重的对比曲线图。

通过对以上数据进行分析, 可以得出以下结论:

(1) 潜指纹偏振图像的清晰度比强度图像的高, 说明采取偏振成像方式能够更好地获取图像的细节信息和纹理信息, 从而更好地显现出潜指纹。

(2) 潜指纹偏振图像的有效区域比重比强度图像的大, 说明采取偏振成像方式能够使潜指纹更容易显现, 从而更好地检测出潜指纹。

(3) 当角度为 $10^\circ \sim 20^\circ$ 时, 指纹的显现效果最好, 其图像具有较好的清晰度和较高的有效区域比重。图 5 为角度为 10° 时的强度图像和偏振图像。

表1 不同角度下3种实验样本的强度图和偏振图在清晰度和有效区域比重方面的对比

角 度	光盘				镜子				手机屏幕			
	清晰度		前景比重		清晰度		前景比重		清晰度		前景比重	
	强度图	偏振图										
0	7.4195	14.780	0.6744	0.9761	4.1862	8.8974	0.9241	0.9306	11.187	13.887	0.627	0.8543
10	13.567	14.086	0.8599	0.9246	6.0482	11.065	0.7522	0.8555	11.695	16.259	0.5858	0.9329
20	13.822	14.789	0.8937	0.9046	13.092	16.300	0.6465	0.8298	12.372	16.615	0.4966	0.9112
30	11.154	15.058	0.8008	0.8732	7.2773	11.72	0.6465	0.762	5.4505	13.927	0.4745	0.908
40	9.4004	12.271	0.7837	0.8729	5.5568	11.329	0.6818	0.868	7.249	13.556	0.4185	0.8005

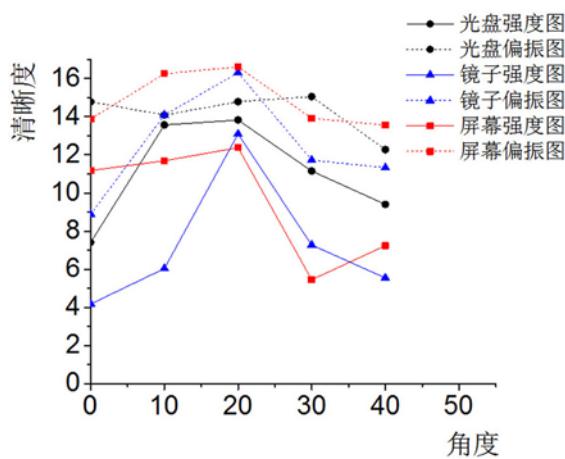


图3 不同角度下3种实验样品的强度图和偏振图的清晰度对比

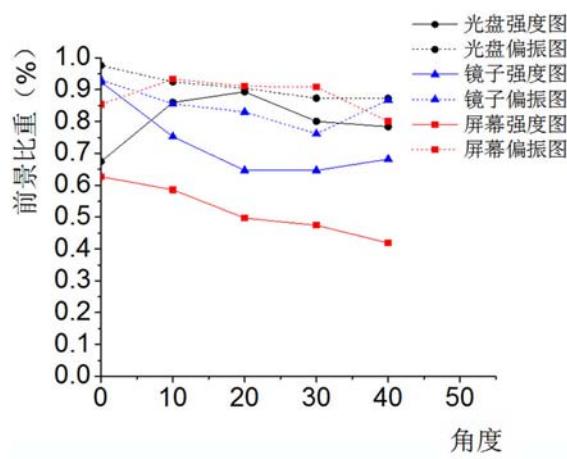


图4 不同角度下3种实验样品的强度图和偏振图的前景比重对比

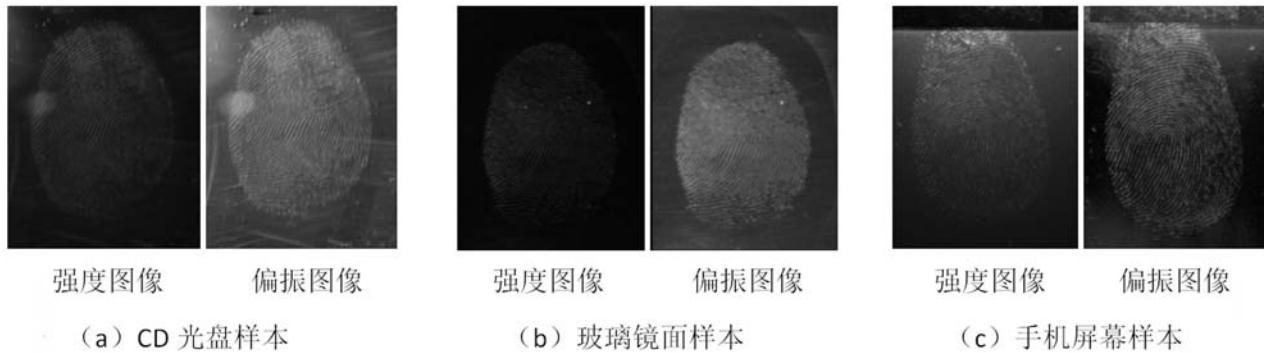


图5 角度为10°时的强度图像和偏振图像

综上所述，与普通的强度成像检测方法相比，本文提出的基于主动偏振光的潜指纹偏振成像检测方法能够获得更为清晰的图像，并能更好地显现潜指纹的细节信息和纹理信息，从而更有效地显现出潜指纹。

3 结束语

本文利用偏振成像技术的优势搭建了一种基于主动偏振光的潜指纹偏振成像检测系统，并对其进行了实验研究。通过解析得到了不同角度下3个实验样本的强度图像和偏振图像，并

选取图像清晰度和有效区域比重两个指标对指纹图像进行了质量评价。结果表明,与普通的强度成像检测方法相比,本文方法能够得到更为清晰的图像,并能更好地显现潜指纹的细节信息和纹理信息,从而更有效地显现出潜指纹。这项工作不仅丰富了潜指纹光学无损检测方法的研究内容,而且还具有一定的科研学术价值和实践价值。

参考文献

(上接第 4 页)

频形式存在,经过重建滤波器后,可以把这些噪声减小,使输出的图像变得更加清晰。

5 结论

分析了红外成像系统中探测器扫描成像的过程,并对这个过程进行了系统建模。通过对单点校正法和两点校正方法,分析了增益/电平的归一化过程。归一化的数字图像经过图像格式化、伽马校正等图像处理后被转换为模拟信号。模拟信号通过巴特沃斯滤波器消除噪声后,可以在显示器上形成一幅清晰的图像。

参考文献

- [1] Ou Y, Li Z G, Dong F L, et al. Design, Fabrication, and Characterization of a 240×240 MEMS Uncooled Infrared Focal Plane Array with $42 \mu\text{m}$ Pitch Pixels [J]. *Microelectromechanical Systems*, 2013, **22**(2): 452–460.
- [2] 陈治宣, 周晓东, 娄树理, 等. 红外焦平面阵列非均匀性校正研究 [J]. *海军航空工程学院学报*, 2006, **21**(4): 445–447.
- [3] Rossi A, Diani M, Corsini G. Temporal Statistics De-ghosting for Adaptive Non-uniformity Correction in Infrared Focal Plane Arrays [J]. *Electronics Letters*, 2010, **46**(5): 348–349.
- [1] 李重阳, 李波阳, 李敏刚, 等. 指纹显现技术发展综述 [J]. *公安大学学报*, 2003, **35**(3): 22–26.
- [2] 宁平, 何旺. 运用偏振光照相技术提取指纹尝试 [J]. *刑事技术*, 2004, **16**(6): 31–33.
- [3] 孙晓兵, 乔延利, 洪津, 等. 人工目标偏振特征实验研究 [J]. *高技术通讯*, 2003, **8**: 23–27.
- [4] Hong L, Wan Y, Jain A K. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, **20**(8): 777–789.
- [5] 郭雷, 李晖晖, 鲍永生. *图像融合* [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [4] 段东, 沙晟春, 张双垒, 等. 红外焦平面探测器辐射非均匀性校正方法 [J]. *红外与激光工程*, 2012, **41**(10): 2622–2644.
- [5] Redlich R, Carvajal G, Figueroa M. An FPGA-based Real-time Nonuniformity Correction System for Infrared Focal Plane Arrays [C]. Santa Monica: IEEE International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors (ASAP), 2011.
- [6] Norton M, Webb C. System Measurement and Performance Review of InSb Medium Format Imaging Systems [C]. Michigan: IRIS Specialty Group on Passive Sensors, 1995.
- [7] Broekaert M, Payrat B N D. Nonlinearity and Nonuniformity Corrections for the IRIS Family of IR-CCD Thermal Imagers [C]. *SPIE*, 1995, **2269**: 507–523.
- [8] Holst G C. *CCD Array, Cameras, and Displays* [M]. Oviedo: JCD Publishing, 1998.
- [9] Shunmuga B, Suruliandi A. Empirical Evaluation of Image Reconstruction Techniques [C]. Tamilnadu: Third International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICC-CNT), 2012.
- [10] 乔国垒. 一种视频重建滤波器及放大电路的设计 [J]. *科技广场*, 2009, **12**(9): 194–195.