

基于偏振透射结构光的透明物体表面缺陷检测方法

王维, 王杰, 黄易杨, 岳慧敏*, 刘永

电子科技大学光电科学与工程学院, 四川 成都 611731

摘要 玻璃、透镜等透明物体在光学系统中有广泛的应用, 表面质量优劣对系统性能有较大的影响。利用光的偏振特性, 提出一种基于偏振透射结构光的表面缺陷检测方法。利用所搭建的透射系统产生偏振透射条纹结构光, 该结构光投射到被测物体表面, 经被测物体后发生变形; 然后采集变形条纹, 提取相位信息, 解出调制度, 得到被测物体的表面缺陷信息。实验结果表明: 所提方法能够消除灰尘的影响, 并可以有效提高系统信噪比, 有望用于平板厚透镜、大曲率光学透镜等透明物体的缺陷检测。

关键词 测量; 表面缺陷检测; 透射光学元件; 偏振透射结构光; 条纹调制度

中图分类号 O436

文献标志码 A

doi: 10.3788/AOS202141.1812002

Surface Defect Detection in Transparent Objects Using Polarized Transmission Structured Light

Wang Wei, Wang Jie, Huang Yiyang, Yue Huimin*, Liu Yong

School of OptoElectronic Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 611731, China

Abstract Transparent objects such as glass and lenses are commonly used in optical systems, and their surface quality greatly affects the performance of the host systems. Considering polarization characteristics of light, surface defect detection method using polarized transmission structured light is proposed. The constructed transmission system generates fringe-encoded polarized structured light for projection onto the surface of the measured object. The structured light deforms after passing through the object. Then, the deformation fringes are collected, phase information is extracted, modulation is solved, and surface defect information is obtained from the measured object. Experimental results show that the proposed method can eliminate the effect of dust and improve the signal-to-noise ratio for detection. Therefore, the proposed method can be suitable for surface defect detection in transparent objects such as flat thick lenses and high-curvature optical lenses.

Key words measurement; surface defect detection; transmission optical element; polarized transmission structured light; fringe modulation

OCIS codes 120.2650; 120.4630; 120.5060; 100.2650

1 引言

精密光学元件是各种光学仪器、图像显示产品等的重要组成部分。大部分透明光学元件在系统中起成像作用, 如各类透镜、棱镜; 还有一些发挥特殊作用, 如分划板、滤光片、激光晶体等。它们按材料

组成可分为普通光学玻璃、光学晶体、光学塑料等; 按外形和加工工艺的不同可分为平板、非球面靶镜、球面透镜、柱面透镜等^[1]。面对种类繁多、外形不一、功能各不相同的光学元件, 找到一个标准化的检测方式是比较困难的, 因此对环境、检测技术都有更多多样性的要求。由于加工制造引起的元件表面缺陷

收稿日期: 2021-02-05; 修回日期: 2021-03-26; 录用日期: 2021-04-13

基金项目: 国家自然科学基金(62075032)

通信作者: *yuehuimin@uestc.edu.cn

或设计参数不均匀等原因,光线会偏离主光线发生非理想散射,主要会产生能量损耗、破坏光束质量等影响,不可避免会降低系统的性能。因此想要使光学仪器设备能更高效地工作,加工工艺和对成品元件的检测工作都不能忽视^[2]。

光学元件表面缺陷,主要指表面疵病和表面污染物。表面疵病主要包括抛光加工后依然存在的麻点、划痕、崩边等;表面污染物主要为落尘、纤维、指纹等^[3]。目前对于透明元件的表面缺陷检测,主要使用的依然是目视法,该方法耗时耗力且受主观因素影响较大。机器视觉技术结合了计算机科学、信息处理等学科,利用图像采集设备获得缺陷检测对象的图像,从中提取有用的信息^[4]。2007年,余文勇等^[5]对浮法玻璃的缺陷检测进行了研究;2017年,刘钦晓等^[6]设计了长景深的缺陷检测系统。利用结构光进行缺陷检测是新兴的检测技术^[7],获得变形条纹然后通过相位测量偏折术来提取表面的缺陷信息^[8]。Huang等^[9-11]提出结构光调制分析技术(SMAT)检测光学元件表面缺陷,该方法是利用反射结构光技术实现的,在检测厚透镜表面时不可避免地会出现寄生条纹。Tao等^[12]提出多频逼近的包络曲线算法来消除透明物体后表面产生的寄生反射,提高相位测量偏折术的精度。但是利用反射系统检测大曲率镜片时,会有虚像被反射,从而干扰检测。

针对透明的被测物体在缺陷检测识别时存在的寄生反射现象、落尘影响大、难以准确检测等不足之处,本文提出一种基于偏振透射结构光的缺陷检测方法。该方法能够简单、快速检测出宽度为 5 μm,深度为 2 μm 的缺陷,尤其适用于检测大曲率的光学透镜、平板厚透镜等。

2 基本原理

2.1 偏振透射结构光检测缺陷基本原理

通常情况下,液晶显示屏(LCD)内部由背光源、滤光片、偏振片和液晶等器件组成,如图 1 所示。背光源发出白光,到达第 1 个偏振片,与透光轴平行的光通过,接着利用液晶的旋光性和合适的排列改变偏振光的方向,最终通过滤光片和第 2 个偏振片,因此从 LCD 出射的光为偏振光。大多数 LCD 产生线偏振光,而一部分 LCD 产生椭圆偏振光。选用产生线偏振光的 LCD,利用计算机来编码相移条纹结构光,通过 LCD 来显示并投射偏振条纹结构光到被测物体表面,如图 2 所示。相移条纹结构光的光强为

$$I_n(x, y) = A(x, y) + B(x, y) \cdot$$

$$\cos[\varphi(x, y) + \delta_n], \quad (1)$$

式中: δ_n 为相移大小; $\varphi(x, y)$ 为初始相位分布; $A(x, y)$ 为背景光强; $B(x, y)$ 与条纹对比度相关。

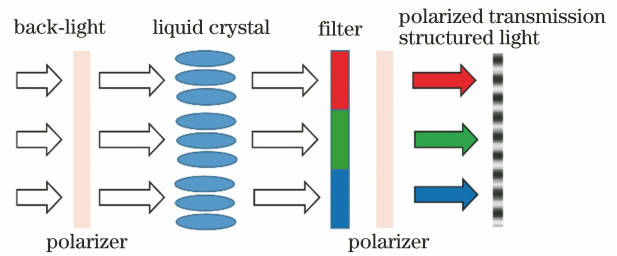


图 1 偏振透射结构光产生原理示意图

Fig. 1 Schematic of generation principle for polarized transmission structured light

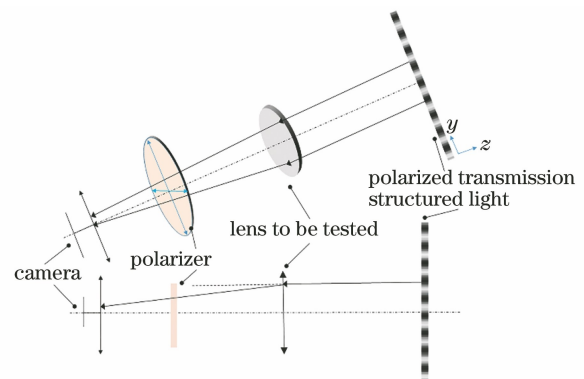


图 2 偏振透射结构光检测原理示意图

Fig. 2 Schematic of detection principle for polarized transmission structured light

当被测表面有缺陷时,光线发生偏折,如图 3 所示,条纹结构光透射被测物体后,会产生变形条纹结构光,图 2 中的偏振片则相当于检偏器,控制它的透光轴与偏振透射结构光的偏振方向之间的夹角,让变形条纹结构光通过,再利用 CCD 采集变形条纹结构光,光强可表示为

$$I'_n(x, y) = A(x, y) + B(x, y) \cdot \cos[\varphi(x, y) + \varphi'(x, y) + \delta_n], \quad (2)$$

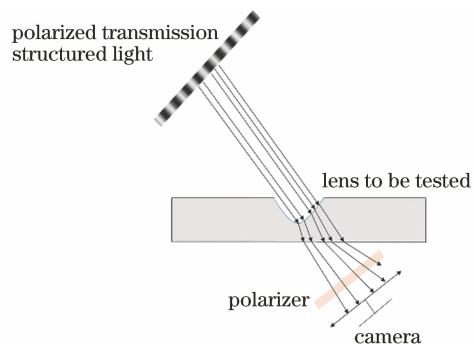


图 3 缺陷检测光线偏折示意图

Fig. 3 Schematic diagram of ray deflect for defect detection

式中: $\varphi'(x, y)$ 为被测物体折射引入的附加相位。

对于单帧调制度图计算,至少需要 3 步相移,但是在实际检测中,通常采用 4 步或更高步数的相移

来减小非线性二次谐波的影响,提高检测精度。利用 N 步相移算法将采集到的变形条纹结构光的光强结果转换为调制度结果,调制度^[13]可表示为

$$M(x, y) = \sqrt{\left[\sum_{n=0}^{N-1} I'_n(x, y) \cdot \cos \delta_n \right]^2 + \left[\sum_{n=0}^{N-1} I'_n(x, y) \cdot \sin \delta_n \right]^2} \quad (3)$$

2.2 偏振透射结构光消除灰尘影响的原理

根据马吕斯定律,有

$$I = I_0 \cos^2 \theta, \quad (4)$$

式中: I 为出射光强; I_0 为入射光强; θ 为偏振角,取值范围为 $0 \sim 360^\circ$ 。

当 LCD 产生的线偏振光与偏振片夹角 θ 为 0 时,透过率最大,因此在转动偏振片的过程中会出现 2 次光强最大和 2 次消光。所提方法实现消除灰尘的缺陷检测步骤如下。首先投射偏振条纹结构光,并调整偏振片透光轴与偏振条纹结构光的振动方向平行,根据缺陷检测原理可以同时检测到缺陷和灰尘的分布,得到灰尘和缺陷共同分布结果。然后投射均匀线偏振光,并调整透光轴与均匀线偏振光的振动方向垂直,如果待测物表面不存在灰尘,均匀线偏振光经过偏振片后,将全部损耗,不能到达 CCD 靶面,光强则为 0 。然而,实际检测中待测物体表面有落尘,根据米氏散射,散射光强度为

$$I(\alpha) \propto \frac{1}{\lambda^n}, \quad (5)$$

式中: α 是散射角; λ 是入射光线的波长; $n < 4$, n 的取值取决于散射粒子的尺寸。散射光的偏振度随着 d/λ 增长而下降, d 是散射粒子的直径,并且散射光强度与波长的 n 次方成反比。根据经典散射理论,当线偏振光入射到单个粒子上时,线偏振光的一部分偏振方向会发生变化,这部分光线可以通过偏振片到达 CCD。在米氏散射的基础上,光线会被灰尘散射,使光线的偏振态发生改变,灰尘处的透射光线可以通过偏振片到达 CCD 靶面,在有灰尘的位置将是一个亮点,这样就能得到灰尘单独的分布结果。因此,将两个结果结合起来可以实现消除灰尘影响的缺陷检测。

2.3 偏振透射结构光提升信噪比的原理

通常将信噪比定义为信号均值和背景标准偏差的比值,计算公式为

$$R_{SN} = \frac{\mu_{sig}}{\sigma_{bg}}, \quad (6)$$

式中: μ_{sig} 为信号均值; σ_{bg} 为背景标准偏差。在实际检测环境中,白炽灯发出的光、外界自然光、其他表面散射的光会引入噪声,对检测结果产生干扰,降低信号质量。而具备选择性通过功能的偏振片可以过滤掉偏振状态与其透光轴垂直的光,衰减大部分自然光和其他类型的偏振光,相当于降低了(6)式中的 σ_{bg} 。同时,对于 LCD 发出的偏振透射结构光而言,图 2 中的偏振片相当于线性检偏器,在不考虑吸收的情况下可以无衰减地通过,不仅保留了 LCD 发出的偏振光,还增加了衰减后环境光中的偏振方向与偏振片的透射方向平行的偏振光,相当于增加了(6)式中的 μ_{sig} ,从而提高了信噪比。对于图像而言,信号值往往指灰度值。在本研究中, μ_{sig} 是缺陷处信号的平均灰度, σ_{bg} 则为背景噪声灰度的方差。其中,缺陷的存在会导致折射光线的偏折,若按原有的方向采集光线,整体光强度则会降低,反映到调制度结果上的现象是,缺陷处的调制度值会低于周边完好部分的调制度值,因此缺陷信号的灰度值比背景的灰度值更低。故系统信噪比的提升可以直观体现在缺陷的灰度值和背景灰度值之间的跃变幅值上。

3 实验结果与分析

3.1 去灰尘实验结果与分析

偏振透射结构光缺陷检测系统由产生条纹结构光的结构光照明模块(计算机和 LCD)、被测物体、线偏振片和图像采集模块组成。实验中,选用的结构光照明系统为 LCD(亮度 250 cd/m^2),图像采集模块为 CCD 相机(MG-505B, Allied Vision Technologies),相机镜头为焦距是 25 mm 的定焦镜头(M2514-MP2, Computar),待测物体为有 10 个划痕的分划板(平板玻璃)和光学透镜(弯曲透镜)。装置结构如图 4 所示。

为了验证所提方法对系统信噪比的提升,对平板玻璃进行实验。图 5(a)为在系统中加入偏振片时得到的结果,图 5(b)为不加偏振片时得到的结果。图 5(c)为两种情况的对比(其中 y 表示图 5(a)

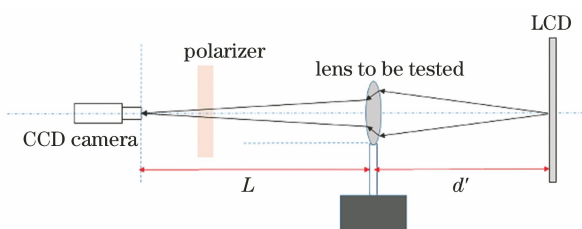


图 4 系统装置图

Fig. 4 System installation diagram

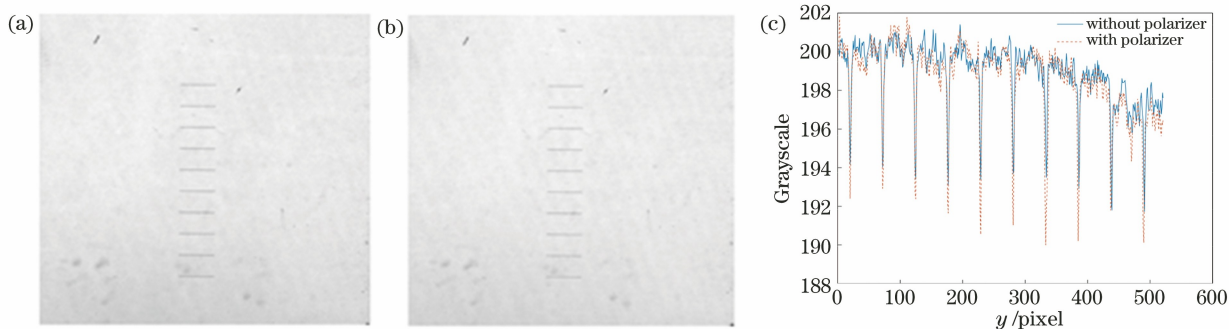


图 5 偏振片和原始结果的关系。(a)加入偏振片时的结果；(b)没有偏振片时的结果；(c)两种情况的对比

Fig. 5 Relationships between polarizer and original result. (a) Result with polarizer; (b) result without polarizer; (c) comparison of the two results

光轴垂直于线偏振光, CCD 相机捕获光强结果, 获得灰尘的分布图。紧接着, LCD 投射偏振条纹结构光, 调整偏振片的透光轴平行于结构光的偏振方向, CCD 相机捕获变形条纹图, 检测出缺陷和灰尘的共同分布。后续通过二值化、取交集、加减等运算获得缺陷分布结果。

图 6(a)为使用 Canny 边缘检测算法对灰尘进

和(b)中沿划痕分布方向从上至下的像素), 可以看出, 与不加偏振片的情况相比, 加入偏振片抑制了环境噪声, 缺陷处的信号灰度值相较于非缺陷部分的跃变更加明显, 因此加入偏振片能提高信噪比。

为了验证所提方法在去除灰尘影响检测缺陷方面的性能, 仍在具有 10 个划痕的玻璃板上进行实验。首先 LCD 投射均匀线偏振光, 调整偏振片的透

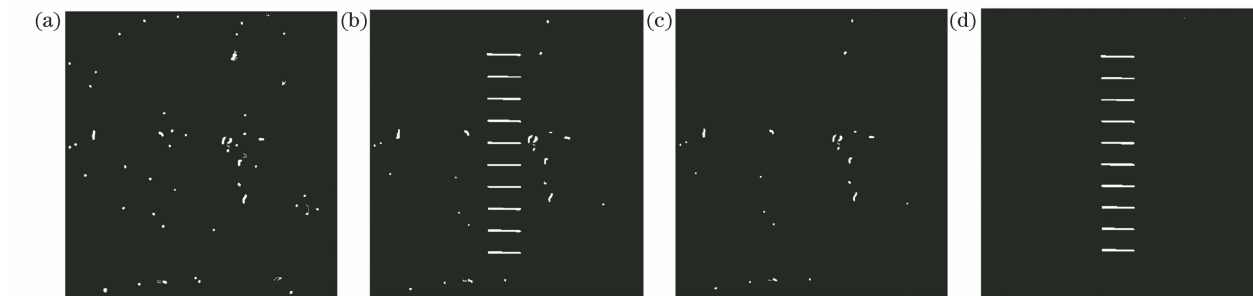


图 6 实验结果。(a)灰尘的二值化;(b)调制结构的二值化;(c)图 6(a)、(b)的交集数据;(d)去除灰尘的缺陷分布结果

Fig. 6 Experimental results. (a) Binarization of dusts; (b) binarization of modulation result; (c) overlap data of Fig. 6(a) and Fig. 6(b); (d) defect distribution result after dust removal

参考文献[14]提出了一种基于显微暗场散射的模式识别算法来进行灰尘划痕区分, 该算法首先采集大量灰尘和缺陷图像; 其次对图像进行预处理, 包括对每一幅图像进行校正畸变, 进行灰度、纹理和形态上的分类; 最后利用机器学习来训练特征数据。与其相比, 所提方法利用光的偏振特性和结构光调制分析技术对缺陷和灰尘进行区分检测, 方法简单

行二值化的结果, 选择合适的阈值后, 可以显示出大多数的灰尘。图 6(b)为调制结构的二值化结果, 可以显示出所有缺陷和部分灰尘。图 6(c)为图 6(a)和图 6(b)的交集数据, 可以仅显示出灰尘。图 6(d)为在图 6(b)中减去图 6(c)中灰尘后的结果, 可以仅显示出缺陷。实验检测到所有的 10 个划痕, 验证了所提方法的良好性能。

快速, 流程易实现, 不必使用数据集来建立灰尘划痕分类器, 既能应用在反射表面, 也能应用在透射表面, 实现快速检测。

3.2 透射式和反射式实验结果与分析

光线经过前表面折射后, 再经过后表面反射, 形成跟前表面反射类似的反射光, 在反射结构光系统中, 称为寄生条纹。这种前后表面反射特性会导致

反射系统中采集到的图像发生一定程度的条纹混叠。而寄生条纹的出现也会导致前表面缺陷在最终的调制结果中呈现双重像,在大曲率透镜检测时该现象更为严重,影响检测效果。为了验证所提方法能够避免反射系统检测时面临的寄生条纹困扰,利用偏振透射结构光方法和反射结构光方法对有 10 个划痕的玻璃板进行检测和对比。

图 7(a)中的 10 个划痕清晰可见,图 7(b)中出现了多余的划痕,正是图 7(d)中的圈所代表的跳

变,这样的跳变总共有 10 个,是后表面的寄生反射引起的,从而出现了 10 个清晰的划痕,10 个寄生的划痕。从图 7(d)[(其中 y 表示图 7(a)、(b)中沿划线方向的像素)]可以看出,偏振透射结构光的结果中只存在 10 个正常的跳变,即对应 10 个划痕,而反射结果中有 20 个跳变,出现了不正确的检测。另外,从图 7(c)可以分析出,在检测平板玻璃时偏振透射式的条纹质量比反射式的条纹质量更好。

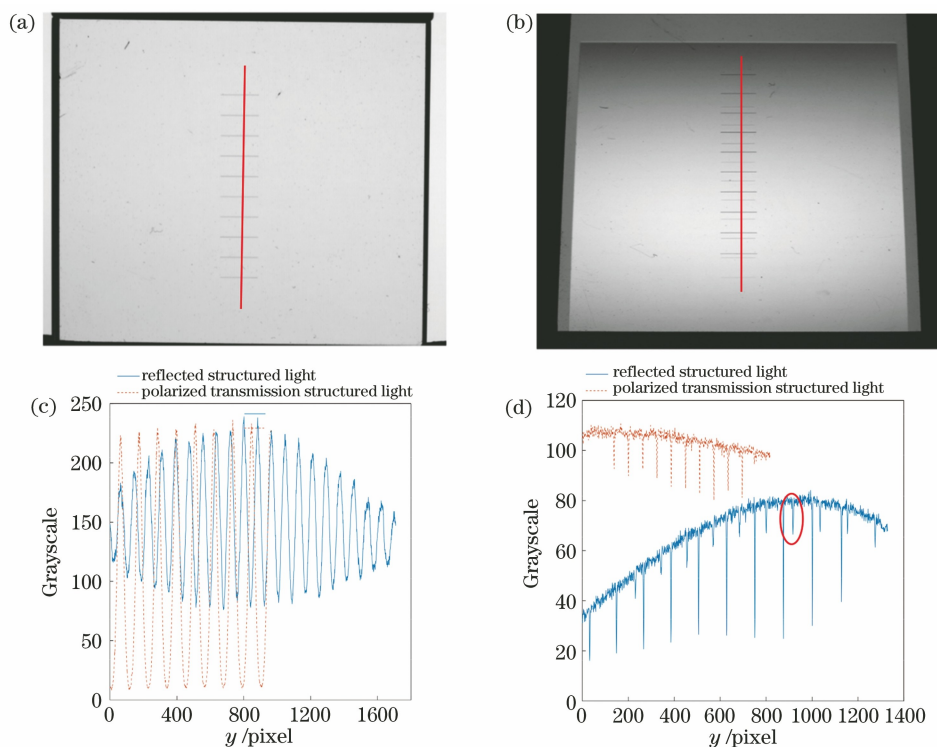


图 7 平板玻璃在反射结构光和偏振透射结构光中的实验结果。(a)偏振透射结构光;(b)反射结构光;(c)条纹质量对比;(d)图 7(a)和图 7(b)中竖直线部分结果对比

Fig. 7 Experimental results of the plate glass in the reflected structured light and the polarized transmission structured light. (a) Polarized transmission structured light; (b) reflected structured light; (c) comparison of fringe quality; (d) comparison of results for the vertical line part in Fig. 7(a) and Fig. 7(b)

为了探索所提方法的应用优点,对有一定曲率的光学透镜进行了检测。图 8(a)表明在反射结构光下的透镜检测实验中,人眼已经能看到条纹经过透镜成像再反射回来的像,非常影响后续检测。图 8(b)为在偏振透射结构光条件下的透镜检测条纹图。在图 8(c)(其中 y 表示图 8(a)、(b)中沿划线方向从上至下的像素)中,可以直观看出偏振透射式的条纹质量明显优于反射式的条纹质量,更有利于缺陷检测。

图 9 为图 8 表面检测实验的调制原始结果。透镜的多面成像反射导致检测结果中仍然还有条纹图像,影响缺陷识别,如图 9(a)所示。而图 9(b)的检

测结果则没有这种影响,是因为在大曲率的光学透镜中,偏振透射式检测中不存在多面成像反射现象,很好地避免反射结构光检测中出现的寄生条纹问题。

为了验证所提方法能够在去灰尘的同时避免寄生条纹的产生,对有麻点缺陷的透镜进行检测。原始结果图像如图 10(a)所示,没有寄生条纹影响。二值化后的结果如图 10(c)所示,中间亮点为表面麻点缺陷,周边亮点为灰尘,外圈的白色线条是透镜边缘。图 10(b)显示了透镜表面灰尘分布的二值化结果。图 10(d)为图 10(b)和图 10(c)的交集数据。最后图 10(c)减去图 10(d),得到最终的麻点缺陷分布,如图 10(e)所示。

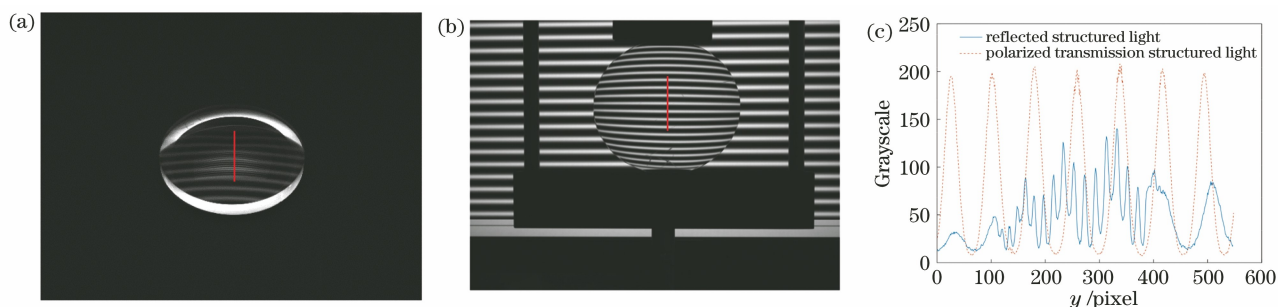


图 8 反射结构光和偏振透射结构光的光学透镜检测实验。(a)反射结构光中的条纹图;(b)偏振透射结构光中的条纹图;
(c)两种方法条纹质量的对比

Fig. 8 Test experiment of optical lens for reflected structured light and polarized transmission structured light. (a) Fringe pattern of reflected structured light; (b) fringe pattern of polarized transmission structured light; (c) comparison of fringe quality for two methods

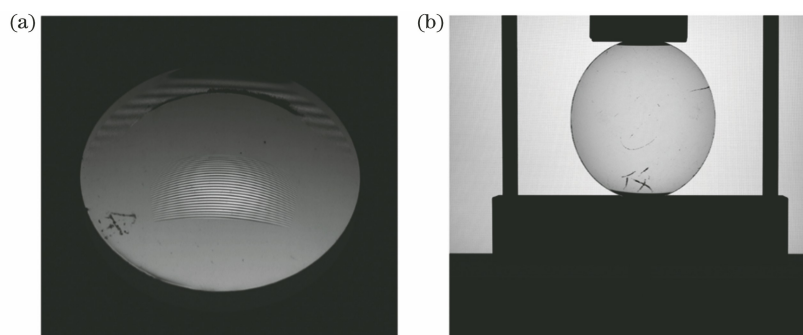


图 9 反射结构光和偏振透射结构光的光学透镜检测实验的调制结果。(a)反射结构光;(b)偏振透射结构光
Fig. 9 Modulation results of optical lens detection experiment for reflected structured light and polarized transmission structured light. (a) Reflected structured light; (b) polarized transmission structured light

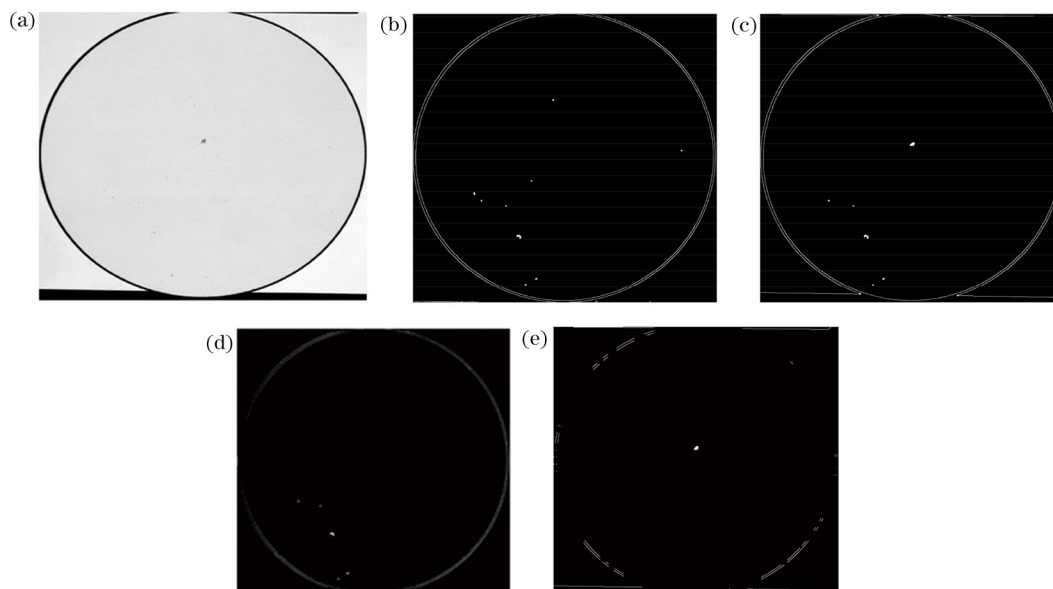


图 10 透镜表面的麻点缺陷检测实验结果。(a)调制度检测的原始结果;(b)灰尘分布的二值化;(c)原始结果的二值化;
(d)图 10(b)和图 10(c)的交集数据;(e)去除灰尘的缺陷分布结果

Fig. 10 Experimental results of pitting defect detection on lens surface. (a) Original result of modulation detection; (b) binarization of dust distribution; (c) binarization of original result; (d) overlap data of Fig. 10(b) and Fig. 10(c); (e) defect distribution results after dust removal

最后,对定制的玻璃表面划痕标准对比板进行实验来确定所提方法的分辨能力,标准对比板如图 11 所示,该对比板的划痕最小宽度为 $(5 \pm 3) \mu\text{m}$ 。在偏振透射结构光系统下的检测结果如图 12 所示,清晰显示了所有划痕,因此该系统可以检测出宽度为 $5 \mu\text{m}$ 的划痕。偏振透射结构光系统的缺陷分辨能力与相机分辨率和视场大小相关,结合更高分辨率的相机或者减小视场可以提高系统检测划痕的能力,因此如果需要分辨更小尺寸的划痕,可以更换相机或者调整视场来满足检测需求。

综上所述,一方面,所提方法主要利用灰尘的散射特性和光的偏振特性,再结合结构光缺陷检测方法和二值化,实现从灰尘缺陷分布图中滤除灰尘。另一方面,偏振透射结构光系统主要利用透射结构光成像,因此在大曲率透镜检测中获得了较好的条纹质量,并且避免了厚透镜的二次反射和大曲率透镜的多面成像反射等问题。

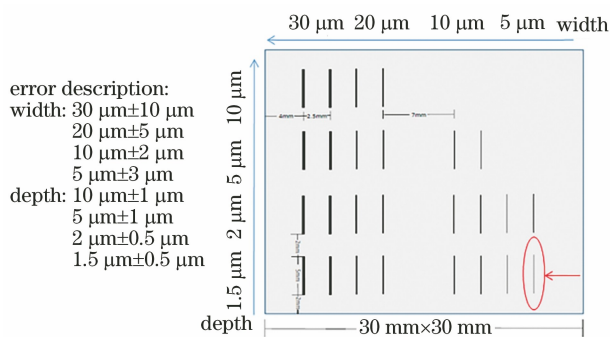


图 11 表面划痕标准对比板

Fig. 11 Standard comparison board for surface scratches

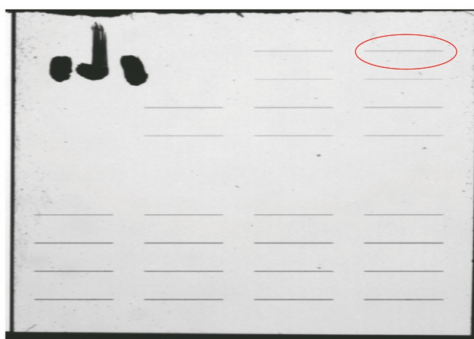


图 12 偏振透射结构光系统对表面划痕标准对比板的检测结果

Fig. 12 Detection result of the standard comparison board for surface scratches using the polarized transmission structured light system

4 结 论

提出一种基于偏振透射结构光的缺陷检测方

法,分析了该方法消除灰尘影响实现缺陷检测和提高系统信噪比的原理。实验结果表明:所提方法能够消除灰尘的影响,提高系统信噪比,并有效避免了寄生条纹的产生。在整个检测流程中,所提方法不需要积分重建出物体的高度信息,也不需要复杂的标定过程,具有快速、易操作、简单实用的特点,有望用于平板或大曲率光学透镜中的缺陷检测。

参 考 文 献

- [1] Xiang Y C, Lin Y X, Ren Z Y. Study on surface defect detection method of optical element [J]. Optical Instruments, 2018, 40(1): 78-87.
向弋川, 林有希, 任志英. 光学元件表面缺陷检测方法研究现状[J]. 光学仪器, 2018, 40(1): 78-87.
- [2] Huang C, Zhang K P, Wang X, et al. Method for surface quality inspection based on total scattering measurement[J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(7): 0712005.
黄聪, 张科鹏, 王翔, 等. 基于总散射测量的表面质量检测新方法[J]. 光学学报, 2019, 39(7): 0712005.
- [3] Chu H Y. Research on surface defect detection technology of high power laser device optical components based on machine vision[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011: 2-12.
楚红雨. 基于机器视觉的高功率激光装置光学元件表面缺陷检测技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011: 2-12.
- [4] Lu R S, Wu A, Zhang T D, et al. Review on automated optical (visual) inspection and its applications in defect detection [J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(8): 0815002.
卢荣胜, 吴昂, 张腾达, 等. 自动光学(视觉)检测技术及其在缺陷检测中的应用综述[J]. 光学学报, 2018, 38(8): 0815002.
- [5] Yu W Y, Zhou Z D, Chen Y P. Machine vision system for on-line defect detection of float glass[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition), 2007, 35(8): 1-4.
余文勇, 周祖德, 陈幼平. 一种浮法玻璃全面缺陷在线检测系统[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(8): 1-4.
- [6] Liu Q X, Wang F, Wang Y C. Design of long depth of field array optical components defect detection system [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(3): 0322002.
刘钦晓, 王方, 王渊承. 长景深阵列光学组件缺陷检测系统设计[J]. 光学学报, 2017, 37(3): 0322002.
- [7] Jin Y, Wang Z, Chen Y X, et al. The online

- measurement of optical distortion for glass defect based on the grating projection method [J]. *Optik*, 2016, 127(4): 2240-2245.
- [8] Jiang S, Yang L H, Ren Y J, et al. Defect detection in mirror-like object surface based on phase deflection [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(3): 031201.
姜硕, 杨凌辉, 任永杰, 等. 基于相位偏折的类镜面物体表面缺陷检测 [J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(3): 031201.
- [9] Huang Y Y, Yue H M, Fang Y Y, et al. Structured-light modulation analysis technique for contamination and defect detection of specular surfaces and transparent objects [J]. *Optics Express*, 2019, 27(26): 37721-37735.
- [10] Song Y P, Yue H M, Zhou Z, et al. Detection of specular surface defects with eliminating dusts based on polarized structured-light illumination [J]. *Proceedings of SPIE*, 2019, 10839: 108391L.
- [11] Yue H M, Huang Y Y, Fang Y Y, et al. A defect detection method based on transmission structural light: CN110057841A [P]. 2019-07-26.
岳慧敏, 黄易杨, 方宇耀, 等. 一种基于透射结构光的缺陷检测方法: CN110057841A [P]. 2019-07-26.
- [12] Tao S W, Yue H M, Chen H L, et al. Elimination of parasitic reflections for objects with high transparency in phase measuring deflectometry [J]. *Results in Physics*, 2019, 15: 102734.
- [13] Su L K, Su X Y, Li W S, et al. Application of modulation measurement profilometry to objects with surface holes [J]. *Applied Optics*, 1999, 38(7): 1153-1158.
- [14] Li L, Liu D, Cao P, et al. Automated discrimination between digs and dust particles on optical surfaces with dark-field scattering microscopy [J]. *Applied Optics*, 2014, 53(23): 5131-5140.