

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0218-03

数字式摄影验光仪中的眼瞳图像分析与处理

李湘宁, 邹林儿, 陈家璧, 许陇云

(上海理工大学光学与电子信息工程学院, 上海 200093)

摘要 数字式摄影验光仪是一种通过摄影来自动测量人眼屈光度的客观验光系统。介绍了摄影验光原理,用光强的观点描述了眼瞳新月图的形成,分析了眼瞳图像的光强分布,为此建立了眼瞳图像的计算机处理方案,有利于提高自动检测人眼屈光度差的精度。

关键词 图像处理; 摄影验光; 光强分布

中图分类号 TH786 文献标识码 A

Crescent Image Analysing and Processing in Digital Photorefractor

LI Xiang-ning, ZOU Lin-er, CHEN Jia-bi, XU Long-yun

(College of Optics and Electronics, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract Digital photorefractor is an objective measuring system to measure the refractive error of eyes automatically by taking a photo of the pupil. The working principle of the system is described. The formation of pupil crescent image based on the light intensity is analyzed, which can give an outline of the intensity distribution of the pupil. The crescent image is then processed by computer according to the light distribution, which can increase the precision of the measuring system.

Key words image processing; photorefractor; light intensity distribution

1 引言

数字式摄影验光仪是一种可以自动检测人眼屈光度的客观验光仪。它采用的静态检验验光法由Kaakinen于1978年提出^[1]。该方法通过用一光束照射眼瞳并拍摄眼瞳图像,对人眼的屈光度进行检测,其最大优点是快速、远距离、无需被检者的特别配合,这些优点使该方法尤其适合于合作能力差的幼小儿童的视力检测。此方法在实际应用中的主要问题是精度低,关键在于眼瞳图像的信息复杂,受主客观因素的影响较大。因此,自动化处理必须要有针对性。

本文分析了数字式摄影验光仪的双裂隙结构所拍摄的眼瞳图像的光强分布,根据其特点设计了图像数字处理方案,实验证明可以有效替代人工测量及避免人为因素的影响,有利于提高仪器的测量精度。

2 摄影验光的原理^[2]

图1所示是双裂隙偏心摄影验光法测量近视眼的光路图。闪光灯经一狭缝照射眼瞳,在被测眼的视网膜前聚焦并在视网膜上形成光源的离焦像。被照亮的视网膜(漫反射体)如同一发光物体被人眼成像在被测眼的远点面上。像的大小与形状即为狭缝光源照射眼瞳时与远点面相交的轮廓。在此成像过程中,眼瞳是传输光能的唯一通道。当用摄像机拍摄眼瞳时,由于前者照明光路与摄像光路偏心,眼瞳出射的光束中只有一部分进入摄像机前的狭缝光阑,并在CCD上成像,因此,拍摄到的眼瞳部分是亮的而其余部分则是暗的,形成所谓的眼瞳新月形图案。如果忽略光源狭缝和光阑狭缝的缝宽大小,按照光路的几何关系,被测眼的屈光度 $R(r^{-1})$ 与眼瞳暗区的高度 b 有如下关系

$$R = -(b+h)/bl \quad (1)$$

基金资助: 上海市高等学校科学技术发展基金(2000H11)资助课题。

作者简介: 李湘宁(1956-),女,硕士,上海理工大学光学与电子信息工程学院副教授,主要从事光学设计。

E-mail: lxning@usst.edu.cn

其中, h 为照明狭缝与接受狭缝的间距, 单位为毫米; l 为双裂隙面到瞳面的距离, 单位为米。

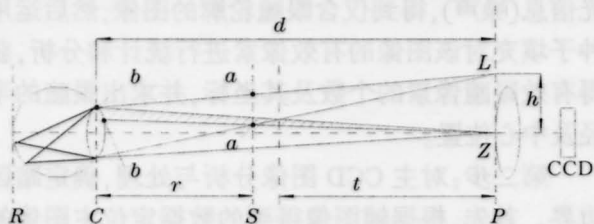


图1 双裂隙摄影验光的光路图

Fig.1 Optical geometry of two-slit photorefractive system

3 眼瞳新月图的光强分析

新月图的形成是因为眼瞳上各点进入摄像机的光能不同所致。图2为点光源工作时的照明光路和摄像光路。视网膜光斑经眼瞳上任一参考点的出射光束相当于从该点将远点面的像投射到摄像机平面上, 该点成像的光强正比于投影光斑中进入摄像机的那部分能量, 如果投射光斑是均匀的, 则该点的光强正比于投影光斑与摄像机光阑相交的面积。

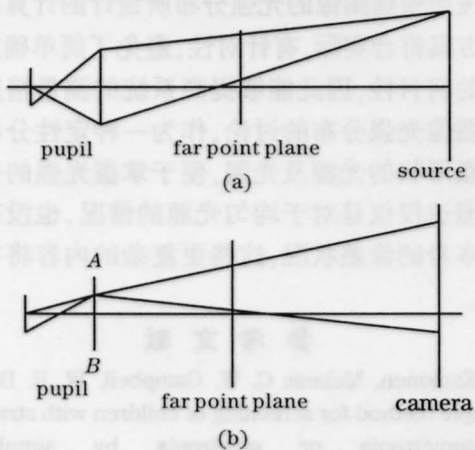


图2 (a) 照明光路; (b) 摄像光路

Fig.2 (a) Illuminating path; (b) Imaging path

随着眼瞳参考点的移动, 投影光斑也相应移动, 与摄像机光阑相交的情况也随之变化, 即参考点的光强也在变化, 直至投影光斑完全移至光阑以外, 此时参考点完全变暗。光强由强变弱直至为零的衰减情况因光源形状及光阑形状而异。由于实际狭缝总有一定的大小, 光源上每一点在照射眼瞳时, 都在远点面上投下各自的照明圆区域。在本文的双裂隙结构中, 当狭缝光源照射眼瞳时, 在远点面上形成受照区域是由光源上每一点照射眼瞳时照射的圆区域全部叠加所形成, 如图3(a), 叠加的结果使得该区域的光强分布在边缘区域逐渐减弱, 如图3(b)。

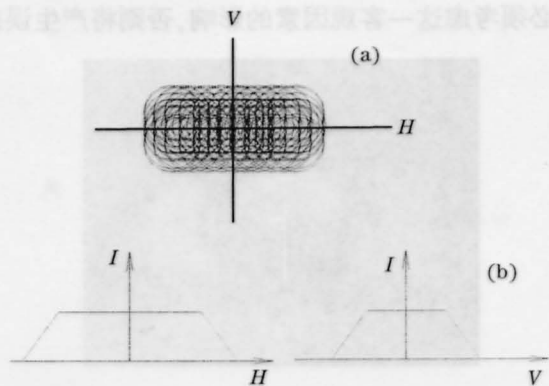


图3 (a) 狭缝光源照明的远点面上的受照区域; (b) 光强分布
Fig.3 (a) Illuminating area on far point plane when a slit source illuminates the pupil; (b) Light intensity distribution

眼瞳上的任一点将这一不均匀的光斑图形投影到摄像机平面上, 通过狭缝光阑的能量正比于眼瞳上该点的光强。为简便起见, 只分析子午面上各点的光强分布, 不难看出, 在光源狭缝足够长的情况下, 眼瞳中心子午面上逐点投射光斑至摄影平面的情形及相对强度分布如图4所示。当光斑均匀区移过狭缝时, 相对光强为一常数, 当光斑非均匀区移过狭缝时, 光强呈非线性下降, 直至光斑尾部移过时, 光强逐渐趋于零。图5是实验所拍摄的眼瞳图及其计算机显示的灰度图, 其结果与上述分析十分吻合(忽略坐标的方向), 验证了分析结果的正确性。

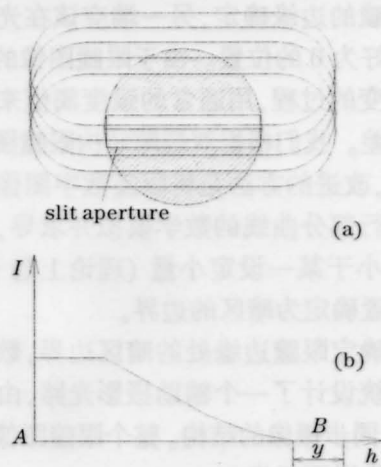


图4 (a) 投影光斑逐点通过狭缝光阑; (b) 眼瞳中心子午面上各点的光强分布

Fig.4 (a) Projecting area shifting through the slit stop; (b) Light intensity distribution on the meridian through the center point of pupil

由于光源大小造成的光斑不均匀, 同时也由于光阑狭缝引入的渐晕, 使得眼瞳新月图从亮到暗是一个渐变的过程, 计算机自动确定图案的暗区高度

时必须考虑这一客观因素的影响,否则将产生误差。

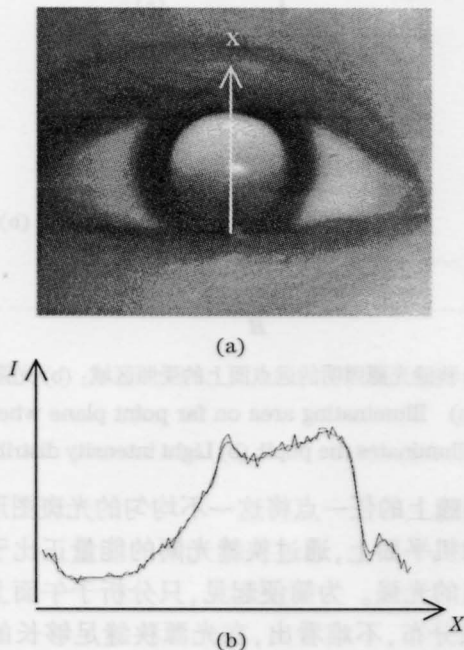


图5 (a) 眼瞳图像; (b) 眼瞳图像对应的灰度图
Fig.5 (a) Picture of pupil; (b) Gray histogram
corresponding to the pupil image

4 眼瞳图像的计算机处理

眼瞳图像处理以主要获得眼瞳暗区的相对高度为目的。根据验光原理对暗区的定义,暗区的边界一端由眼瞳的边缘确定,另一端应该在光强分布图中光强恰好为0的位置。由于眼瞳图像的光强分布是一个渐变的过程,用通常的强度阈值来取边界有很大的误差。我们根据双裂隙结构眼瞳图像的光强分布特点,改进的方法是将眼瞳数字图像的中轴线灰度图进行部分曲线的数学模拟并求导,将数值较小且导数小于某一设定小量(理论上趋于0)时所对应的位置确定为暗区的边界。

为了确定眼瞳边缘处的暗区边界,数字式摄影验光仪系统设计了一个辅助摄影光路,由主辅两个 CCD 进行同步摄像的结构。整个眼瞳图像处理的主要过程分为以下三步:

第一步:对辅 CCD 眼瞳图像处理,获取眼瞳的中心坐标和眼瞳半径。具体做法是首先将辅 CCD 输入的图像自动剪切和亮度归一化,保留含有有效图像信息的局部图像,根据图像统计规律^[3],在过渡带中找到阈值,根据阈值进行二值化,获得带有眼瞳

的轮廓图。采用模板运算或数字滤波^[4]来去除该图像中所含有闪光灯在眼角膜表面的反射像和其他杂光信息(噪声),得到仅含眼瞳轮廓的图像,然后运用种子填充对该图像的有效像素进行统计和分析,获得有效眼瞳像素的个数及其坐标,并求出眼瞳的半径及中心位置。

第二步:对主 CCD 图像分析与处理,确定暗区边界。首先,根据辅图像得到的数据定位主图像的眼瞳中心,利用其半径对主图像自动剪切,得到眼瞳边缘的暗区边界。然后,取主图像的中轴的灰度图进行滤波平滑去噪声,模拟曲线并求导,在比较数值及其导数值后,按前述方案确定亮暗区交界的边界。再进行二值化和模板运算,得到无干扰信息的带有暗区分界的及二值化了的的眼瞳新月图像。自动采用相应的扫描方式获取暗区的上下坐标。

第三步:将获得的暗区高度数据及光路系统的其他参数代入公式中计算得到眼睛的屈光度。

5 结 论

按照眼瞳图像的光强分布所设计的计算机图像处理方案符合实际,有针对性,避免了简单确定亮暗分界的盲目性,因此能够提高系统的测量精度。对眼瞳图像光强分布的讨论,作为一种定性分析适用于任意形状的光源及光阑,便于掌握光强的变化趋势。但这仅仅是对于均匀光源的情况,也没有涉及人眼本身的像差状况,这些更复杂的内容将在以后讨论。

参 考 文 献

- 1 K. Kaakinen, Melanie C. W. Campbell, W. R. Borier. A simple method for screening of children with strabismus, anisometropia or ametropia by simultaneous photography of the corneal and the fundus reflexes [J]. *Acta Ophthalmol (kbb)*, 1978, 57:161~171
- 2 瞿佳,王光霁. 双裂隙偏心摄影验光仪及其光学原理[J]. *中国医疗器械杂志*, 1990, 14(1):14~17
- 3 Austin Roorda, Melanie C. W. Campbell, W. R. Borier. Geometrical theory to predict eccentric photorefractive intensity profile in the human eye[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1995, 12(8):1647~1655
- 4 Austin Roorda, Melanie C. W. Campbell, W. R. Borier. Slope-based eccentric photo-refraction: theoretical analysis of different light source configurations and effects of ocular aberrations[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1997, 14(10), 2547~2555