

文章编号: 1002-2082 (2020) 01-0037-06

# 手机虹膜识别镜头设计

黄 峰, 邓玉澎

(广州大学 物理与电子工程学院, 广东 广州 510006)

**摘 要:** 随着近年来图像传感器的快速商用化以及生物识别算法的发展, 虹膜识别功能得以应用于移动终端设备。获取虹膜图像是虹膜识别的关键一步, 运用 ZEMAX 光学设计软件设计了一款适用于手机的虹膜识别镜头。该镜头采用豪威科技公司 OmniVision\_OV2281 传感器, 采用三片式非球面光学塑料设计, F 数为 2.3, 全视场角为  $34^\circ$ , 在  $1/2$  奈奎斯特频率 220 lp/mm 处 MTF 值均大于 0.39, 且系统总长仅 3 mm。根据 ZEMAX 像质评价方法以及公差分析结果可知, 该镜头各项光学指标优良, 具有像质好、体积小、质量轻、价格低、容易加工等特点。

**关键词:** 光学设计; 虹膜识别; ZEMAX; 光学塑料; 非球面镜头

中图分类号: TN942.2

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202041.0101006

## Design of iris recognition lens of mobile phone

HUANG Feng, DENG Yupeng

(School of Physics and Electronic Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** With the rapid commercialization of image sensors and the development of biometric recognition algorithms in recent years, iris recognition function has been applied to mobile terminal devices. The iris image acquisition is the first and the key step in iris recognition. Here one group of iris recognition lens was designed for mobile phones by the ZEMAX optical design software. This design is composed of three chip aspherical lenses of optical plastic, with OmniVision\_OV2281 sensor of Howe technologies. With designed F parameter of 2.3 and a viewing angle of  $34^\circ$ , the MTF values can all be greater than 0.39 at  $1/2$  Nyquist frequency 220 lp/mm. And the length of the whole system is only 3 mm. According to the ZEMAX image quality evaluation method and tolerance analysis, the optimized results show that the designed lens can match well with all the optical requirements, and has the characters of good image quality, small volume, light weight, low cost and easy processing.

**Key words:** optical design; iris recognition; ZEMAX; optical plastic; aspheric lens

## 引言

在当今信息交互频繁的时代中, 相较于纯密码、PIN 码等保护方式, 生物识别技术因其特有的优越性已然成为主流, 其中虹膜识别技术因人体虹膜的特征具有唯一性、高防伪、长期稳定、非接触、极高的可靠性<sup>[1]</sup>等优点。早期, 虹膜识别存在识别精度低、采集设备体积大等弊端, 随着近年来

CMOS 图像传感器集成能力的提高以及制造成本的下降, 虹膜识别技术得以应用于移动设备终端。在 1993 年, 英国剑桥大学的 John Daugman 教授实现了一个性能较好的虹膜识别系统, 并且创立了至今在虹膜识别算法中仍在使用的 DAUGMAN 核心算法<sup>[2-3]</sup>, 其基本原理是利用微积分法找到梯度变化最大处确定虹膜边界。加拿大约克大学的 Richard Wildes 在 1996 年设计出基于 Wildes 算法

收稿日期: 2018-12-18; 修回日期: 2019-01-22

基金项目: 广州大学教育教学研究项目 (JY201842)

作者简介: 黄峰 (1980-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事光学工程方面的研究。E-mail: huangfeng@gzhu.edu.cn

通信作者: 邓玉澎 (1996-), 男, 光电信息科学与工程学院本科生, 从事光学设计研究工作。E-mail: 18826057613@163.com

的虹膜识别系统<sup>[4]</sup>。在国内,2009年中科院自动化研究所设计了虹膜分割定位算法以及虹膜特征提取算法,并且算法在精度和速度上都优于先前的方法<sup>[5]</sup>,基于这两种算法,设计出远距离的虹膜识别系统,在精度上与近距离识别系统相近<sup>[6]</sup>。

近几年,虹膜识别功能逐步成为手机安全的标准配置,国内主流为中科虹霸。主要参数为:支持 2 M、5 M、8 M 传感器,识别距离 20 cm~40 cm,自主研发的算法错误接受率小于百万分之一,典型产品为国美 K1、U1。国外主流为三星手机,实际应用镜头像素为 200 万或 300 万,典型产品为三星 S8、S9。虹膜识别技术的重要技术之一是虹膜图像的获取,而虹膜图像的质量由成像系统的成像质量决定,从而影响识别的准确率和算法。

基于对目前市场上已有的虹膜识别镜头的性能、优缺点等情况的了解,使用 ZEMAX 软件设计一款成像优良的手机虹膜识别镜头。该设计镜头分辨率等性能可满足市场商用镜头要求,且具有体积小、质量轻、成本低等优势。

## 1 设计要求

### 1.1 传感芯片匹配

现阶段使用的图像传感器,一种是广泛使用的 CCD(charge couple device)电荷耦合元件;另一种是 CMOS(complementary metal oxide semiconductor)互补金属氧化物半导体器件。由于 CMOS 有着集成性好、体积小、功耗低且价格低廉等特点<sup>[7]</sup>,能够大规模量产,并且在图像质量上已接近 CCD 传感器。综合考虑,本设计应用豪威科技公司的 OmniVision\_OV2281 型号 COMS 传感器,该芯片是 OmniVision 公司专为虹膜识别镜头设计,有效分辨率为 1 920×1 080 pixel,像素尺寸为 1.12  $\mu\text{m}$ ,经计算其奈奎斯特频率为 446 lp/mm。

### 1.2 设计参数

根据实际要求和优化方向综合考虑,设计参数如表 1 所示。

### 1.3 镜片材料的选择

虹膜识别镜头工作在红外光区域,需要对 850 nm 波段左右的红外光有良好的透光率。作为手机前置镜头,要求体积足够小,质量轻。光学塑料拥有质量轻、成本低、量产型好等特点,因而经过参数筛选本设计使用 ZEONEX 480R 光学塑料,该材料对 400 nm~900 nm 波段具有优良的透过率,折射

率与阿贝数较为合理,制造成本较低,适合大批量生产应用。

表 1 主要参数指标

Table 1 Main parameter requirements

参数名称	指标
镜头总长/mm	<3.5
F数	<2.5
焦距/mm	<4
镜头结构	三片式
光源/nm	832~872
视场角/(°)	>32
光学畸变/%	<2
相对照度/%	>85
工作距离/mm	280~400

## 2 初始结构的选择及优化

### 2.1 选择初始结构

对于光学设计而言,初始结构的选择尤为重要,理想的初始结构是光学设计成功的一半。选择初始结构一般有两种方法:一是基于像差理论求出光学参数;二是选取专利库中结构相近的设计,利用缩放功能得到初步的结构<sup>[8]</sup>。本设计选择了后者,采用专利结构缩放法。通过查阅文献,选取专利号为 US 9134508B2 中一个结构作为初始结构,如图 1 所示。其中 F 数为 2.8,镜头总长为 3.45 mm。

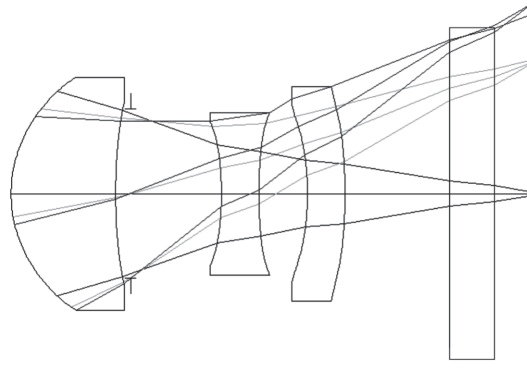


图 1 初始结构

Fig. 1 Initial structure

### 2.2 优化过程

首先使用默认评价函数对初始结构的镜片厚度比以及像差进行修正,针对大小像差不同情况,应用不同的默认函数进行设置。本设计使用了各种操作数进行具体的限制优化,主要优化条件如下:

1) 使用 EFFL 限制焦距,使用 TOTR 操作数限制总长小于 4 mm。

2) FCGS、FCGT 以及 DIMX 操作数限制场曲和畸变至适当值。

3) 针对球差,使用多组 LONA 操作数对不同光线优化。

4) 由于 ZEMAX 中并没有针对彗差直接优化的操作数,加入 TRAY、SUMM 操作数对成像光线进行追迹限制,实现优化。

在优化过程中,需要不断地调整具体的操作数,确定视场以及位置等。通过反复调整权重因子,改变每一个操作数对系统的贡献值,最终使得系统的像差达到平衡。根据具体设计要求,需要控制权重不断优化,使某一部分参数达到设计要求,同时也不可避免地对其他参数作出一些适当的让步。

### 2.3 设计结果

多次优化后,光学系统结构如图 2 所示。

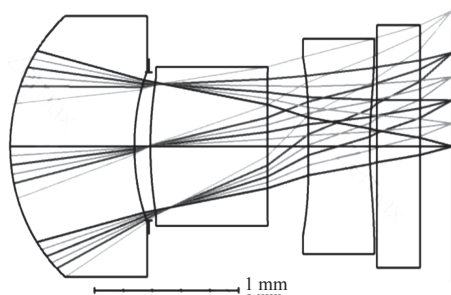


图 2 优化后系统结构

Fig. 2 Optimized system structure

该系统为 3P 结构,选择 830 nm, 850 nm 及 870 nm 这 3 种波长作为红外系统的参考波长。采用正-负-负的结构形式,3 片透镜均使用了非球面设计,并且透镜的中心厚度与边缘厚度比较接近,可有效地减小因透镜厚度不均引起的加工变形<sup>[9]</sup>。透镜材料为常见的 480R 以及 BK7HT,总长仅 3 mm, F 数为 2.3,视场角为 34°,很好地降低了系统总长,并且减少了系统整体质量,节约了成本。

## 3 像质评价

### 3.1 调制传递函数 MTF 图

MTF 值表征系统的像解析能力,曲线越接近极限,成像质量越好,图像对比度也越高<sup>[10]</sup>。对于虹膜识别镜头,中频位置的 MTF 值表征图像层次传递的好坏,而图像层次的传递影响虹膜算法的精度,因此本设计对 1/2 奈奎斯特频率的 MTF 值极其关注。对于大部分手机镜头设计,要求在 1/2

奈奎斯特频率处,0.8 视场大于 0.4,全视场均大于 0.3。在最佳工作距离 320 mm 时,本镜头的调制传递函数如图 3 所示。从图 3 可以看出,220 lp/mm 处,0.8 视场 MTF 值均大于 0.4,全视场 MTF 值均大于 0.39。在工作距离 280 mm~350 mm 时,0.8 视场 MTF 值均大于 0.37,全视场 MTF 值大于 0.35。工作距离为 280 mm 和 350 mm 时该镜头的 MTF 如图 4 和图 5 所示。

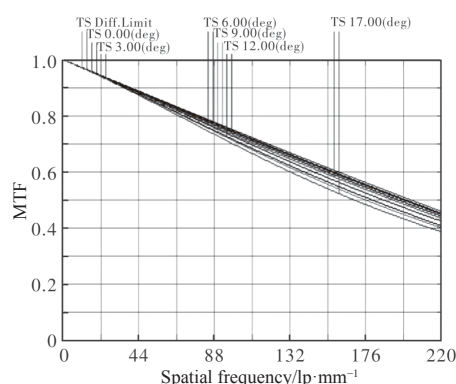


图 3 工作距离 320 mm, 220 lp/mm 处的 MTF 曲线

Fig. 3 MTF curve at 220 lp/mm of 320 mm

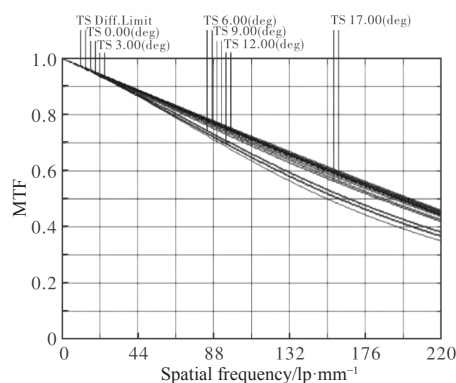


图 4 工作距离 280 mm, 220 lp/mm 处的 MTF 曲线

Fig. 4 MTF curve at 220 lp/mm of 280 mm

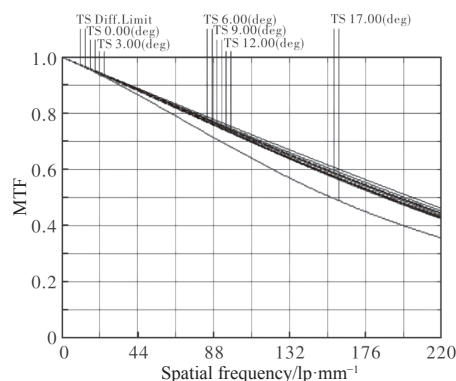


图 5 工作距离 350 mm, 220 lp/mm 处的 MTF 曲线

Fig. 5 MTF curve at 220 lp/mm of 350 mm

### 3.2 点列图

在点列图视图中,弥散斑有几何半径值和RMS(均方根)半径值,前者表征系统各个视场的像差最大值,后者表征系统对光线能量的集中程度。对于本设计,虹膜识别镜头更加关注0.7视场以内的均方根半径,均方根半径越小,光线能量越集中,说明该系统成像像质越好<sup>[11]</sup>。

本设计镜头点列图如图6所示。从图6可以看出,0.4视场内RMS直径小于像素单元,0.5~0.7视场RMS直径在像素单元1.15倍范围内,符合虹膜识别镜头的要求。0.8~1视场基本在虹膜图像外,因此要求在衍射极限内或者2倍像素单元内即可。

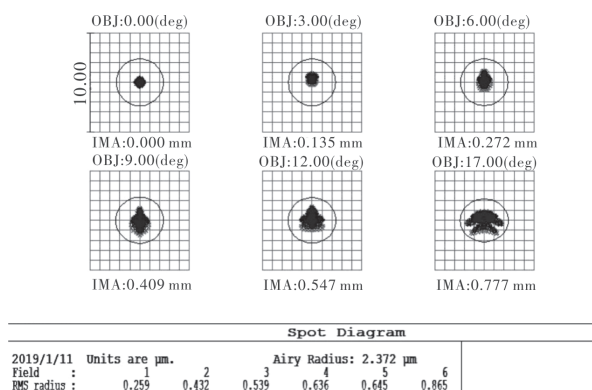


图6 点列图

Fig. 6 Spot diagram

### 3.3 场曲和畸变

畸变是当像方主光线和物方主光线不平行时,以像方主光线实际像高 $H_R$ 与理想像面的像高 $H_I$ 相对值 $q$ 所表征,但其不影响像的清晰程度<sup>[12]</sup>。一方面,关于畸变值的函数并非线性函数,畸变会随着视场的变化而变化,且相对畸变的变化率也随着视场的变化而变化<sup>[13]</sup>。另一方面,由于使用非球面透镜,畸变的最大值往往不会出现在最大视场处<sup>[14]</sup>。因此在应用非球面镜面的设计中,畸变会出现不是单值的情况。参照部分手机镜头方面的文献,基本上畸变控制在10%以内,场曲控制在0.3 mm以内。本设计的场曲与畸变如图7所示。从图7可以看出,场曲在0.03 mm以内,畸变不超过2%,整体来说像的变形很小,小于3%的畸变人眼不会感受出来<sup>[15]</sup>。以852 nm光线为例,在归一化视场中,0.3视场畸变值为-0.07%,0.5视场为-0.03%,0.7视场为-0.35%,最大视场为-1.68%。

### 3.4 相对照度

亚洲人人眼虹膜大多呈棕色,与瞳孔颜色相

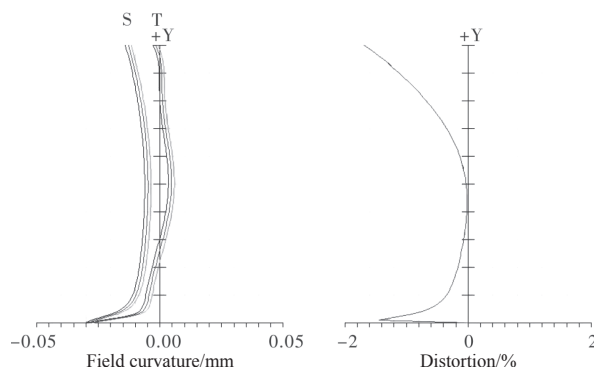


图7 场曲和畸变

Fig. 7 Field curvature and distortion

近,因此对于虹膜识别镜头而言相对照度必须要足够高,参照部分虹膜镜头的文献,最低值要求在66%以上。本设计镜头的相对照度如图8所示,可以看出,系统相对照度在92%以上。

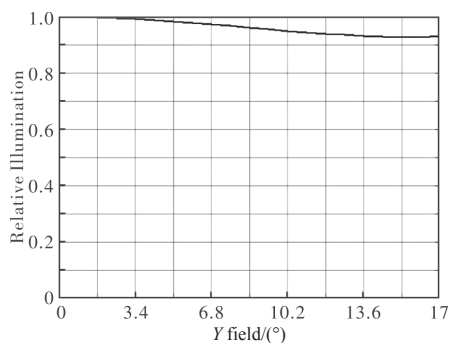


图8 相对照度图

Fig. 8 Relative illumination diagram

### 3.5 公差分析

光学设计通常要达到要求的设计指标之外,还需进行公差分析,以便于进行实际生产制造。公差分析一般是,模拟实际生产制造过程中出现的各种误差对系统最终结果的影响,通过对误差的评价,得到实际加工的公差范围。本设计中,ZEMAX公差模拟主要关注3个部分:制造误差、材料误差以及装配误差<sup>[16]</sup>。得益于非球面加工工艺的日益成熟,实际制造中面型精度误差可在2  $\mu\text{m}$ 以内,因此设置曲率半径偏差值为2  $\mu\text{m}$ ,厚度偏差为5  $\mu\text{m}$ ,偏心变化为2  $\mu\text{m}$ ,公差设置如图9所示<sup>[17]</sup>。进行220 lp/mm处的MTF敏感度分析以及20个样本的蒙特卡罗分析,结果如图10和表2所示。结果显示,敏感度分析中MTF波动值为0.054,最低MTF值0.375,蒙特卡罗分析中90%的样品在0.39以上,80%以上的样品MTF值达到0.4以上,表明该设计具备实际制造的可行性。



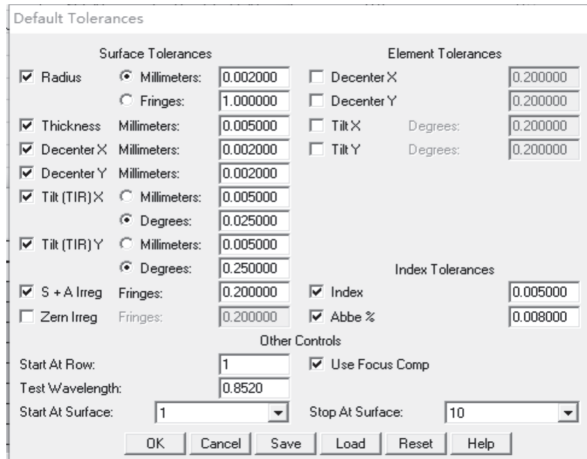


图9 公差设置

Fig. 9 Tolerance settings

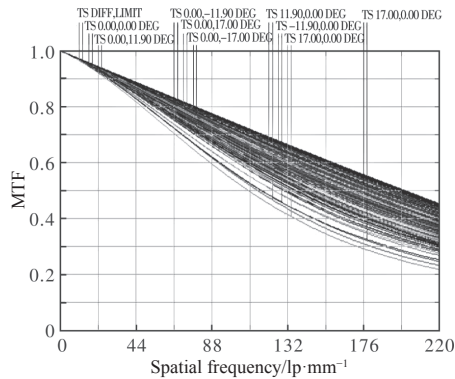


图10 公差分析 MTF 曲线图

Fig. 10 MTF curve of tolerance analysis

表2 蒙特卡罗良性率

Table 2 Benign rate of Monte Carlo

样品数量百分比/%	MTF值
90	>0.398 9
80	>0.402 3
50	>0.412 8
20	>0.420 7
10	>0.426 4

## 4 结论

基于 ZEMAX 软件,设计了一款手机虹膜识别镜头。该镜头采用豪威科技公司 OmniVision\_OV2281 传感器,由 3 片非球面光学塑料镜片组成,具体设计参数包括:F 数为 2.3,全视场角为  $34^\circ$ ,工作距离在 280 mm~350 mm 等,镜头总长仅 3 mm。ZEMAX 软件对像质评价结果显示,在 1/2 奈奎斯特频率 220 lp/mm 处 MTF 值均大于 0.39,光学畸变小于

2%,相对照度高达 92%,达到了虹膜识别镜头的各项光学性能指标。公差分析结果显示,MTF 值稳定、波动小,表明该设计镜头可进行实际加工制造。本设计镜头性能指标可达到视场商用镜头的各项性能,且具有长度短、质量轻,易于加工、成本低等优点。

## 参考文献:

- [1] CHEN Hongxu LI Xiaokun ZHENG Yongliang, et al. Research on iris recognition based on depth learning[J]. Intelligent Computer and Applications, 2018(2): 108-111. 陈虹旭,李晓坤,郑永亮,等.基于深度学习的虹膜识别方法研究[J].智能计算机与应用,2018(2): 108-111.
- [2] DAUGMAN J. High confidence recognition of persons by iris patterns[C]//IEEE International Carnahan Conference on Security Technology. USA: IEEE, 2001: 254-263.
- [3] DAUGMAN J. How iris recognition works[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 21-30.
- [4] WILDES R P, ASMUTH J C, HANNA K J, et al. Automated, non-invasive iris recognition system and method: US, US5572596[P]. 1996-01-01.
- [5] HE Z, TAN T, SUN Z, et al. Toward accurate and fast iris segmentation for iris biometrics[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2009, 31(9): 1670-1684.
- [6] DONG Wenbo, SUN Zhenan, TAN Tieniu. Iris recognition system at a distance based on stereo vision and pan-tilt-zoom camera[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(5): 34-39. 董文博,孙哲南,谭铁牛.基于双目视觉和旋转云台的远距离虹膜识别系统[J].科技导报,2010,28(5): 34-39.
- [7] WU Jinsheng, LIN Feng. Design of 5 mega-pixel imaging lens for iris recognition[J]. Journal of Applied Optics, 2017, 38(2): 292-297. 吴锦昇,林峰.500万像素虹膜识别镜头设计[J].应用光学,2017,38(2): 292-297.
- [8] GAO Yongfeng, ZHANG Bian, SONG Guanghui, et al. Optical design of iris recognition lens[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(1): 232-239. 高永峰,张变,宋光辉,等.虹膜识别镜头的光学设计[J].激光与光电子学进展,2017,54(1): 232-239.
- [9] CHEN Jianyong. Aspherical plastic lens injection compression mold and molding process simulation[D]. Dali-

- an: Dalian University of Technology, 2013: 22-23.
- 陈建勇, 非球面塑料透镜注射压缩模具与成型工艺仿真[D]. 大连: 大连理工大学, 2013: 22-23.
- [ 10 ] LIU Yali, WANG Min, HUANG Muwang. Iris identification optical lens with high precision[J]. Journal of Applied Optics, 2012, 33(3): 575-579.
- 刘雅丽, 王敏, 黄木旺. 高精度虹膜识别光学镜头的研制[J]. 应用光学, 2012, 33(3): 575-579.
- [ 11 ] GENG Yuqing, ZHAO Liefeng, ZHANG Xiangdong, et al. Design of 13 mega-pixel mobile phone lens based on code V[J]. Opto-Electronic Engineering, 2018, 45(2): 170575.
- 耿雨晴, 赵烈烽, 张向东, 等. 1300万像素手机镜头设计[J]. 光电工程, 2018, 45(2): 170575.
- [ 12 ] CONG Shashan, WANG Zhi-jian, ZHANG Jiaxin, et al. Methods of distortion measurement of panoramic camera lens[J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(Sup.): 64-66.
- 丛杉珊, 王志坚, 张佳欣, 等. 全景相机镜头畸变测量方法[J]. 应用光学, 2008, 29(增刊): 64-66.
- [ 13 ] ZHOU Hao, DENG Loulou, LU Zhengxin, et al. Design of optical system of wide angle infrared earth sensor and study on distortion correction[J]. Journal of Applied Optics, 2018, 39(2): 257-261.
- 周昊, 邓楼楼, 吕政欣, 等. 广角红外地球敏感器光学系统设计及畸变校正[J]. 应用光学, 2018, 39(2): 257-261.
- [ 14 ] ZHANG Jiyan, HUANG Yuanqing, XIONG Feibing, et al. Design of compact and light thin mobile phone lens[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2016, 11(5): 79-82.
- 张继艳, 黄元庆, 熊飞兵, 等. 简洁轻薄手机镜头的光学设计[J]. 光学与光电技术, 2016, 11(5): 79-82.
- [ 15 ] LI Xiaotong. Geometry optics · aberration · optical design [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2014.
- 李晓彤. 几何光学·像差·光学设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2014.
- [ 16 ] ZHANG Bian. Optical design and manufacture technique of iris recognition lens[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2017: 18-29.
- 张变. 虹膜识别镜头的光学设计及生产工艺研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017: 28-29.
- [ 17 ] WANG Sicong, WANG Qifei, CHEN Xiaoxi, et al. Optical design of 13-megapixel mobile phone lens with large aperture based on curved sensor[J]. Journal of Applied Optics, 2018, 39(6): 905-906.
- 王思聪, 王起飞, 陈晓西, 等. 基于曲面传感器的大孔径1300万像素手机镜头设计[J]. 应用光学, 2018, 39(6): 905-906.