

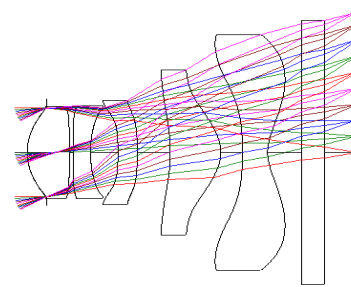


DOI: 10.12086/oe.2018.170575

1300万像素手机镜头设计

耿雨晴¹, 赵烈烽², 张向东¹, 葛鹏^{1*}¹华南理工大学物理与光电学院, 广东省光电工程技术研究开发中心, 广东 广州 510640;²广东烨嘉光电科技股份有限公司, 广东 东莞 523000

摘要: 为满足高像素手机的要求, 本文根据光学成像理论, 利用 code V 软件设计出一种 1300 万像素手机镜头。为了增加自由度, 减小像差, 得到更好的像质, 本文采用非球面表面进行光学设计。该镜头由五片非球面镜片、一片滤光镜组成。设计得到光圈值 2.2, 半视场角 35°, 有效焦距 3.6 mm, 镜头总长 3.6 mm 的轻薄型手机镜头。最终中心视场在中间频率处(即 223 lp/mm)的 MTF 值大于 0.6, 在高频处大于 0.2, 在 0.8 视场中频 MTF 值大于 0.4, 可见优化完后成像效果可满足使用要求。

关键词: 光学设计; 非球面; 手机镜头; 1300 万像素**中图分类号:** TN929.53**文献标志码:** A**引用格式:** 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

Design of 13 mega-pixel mobile phone lens based on code V

Geng Yuqing¹, Zhao Liefeng², Zhang Xiangdong¹, Ge Peng^{1*}¹Engineering Research Center for Optoelectronics of Guangdong Province, School of Physics and Optoelectronics, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China;²Guangdong Yejia Opto-electronic Corporation, Dongguan, Guangdong 523000, China

Abstract: In order to meet the unmet commerce needs of high pixel mobile phone, more and more designs come into being. According to the theory of ray optics, a 13 mega-pixel mobile phone lens was designed based on code V, an optical design software. It consists of five aspherical lenses and a filter. The F-number of the lens is 2.2, the half field of view is 35 degrees, the effective focal length is 3.6, and the total length of the lens is 3.6 mm. The MTF(modulation transfer function) of central field of view is greater than 0.6, the high frequency is greater than 0.2 and in the 0.8 field of view the middle frequency is greater than 0.4. In a word, the lens can meet the requirement of the high imaging quality camera.

Keywords: optical design; aspheric lens; mobile phone; 13 mega-pixels**Citation:** Geng Y Q, Zhao L F, Zhang X D, et al. Design of 13 mega-pixel mobile phone lens based on code V[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(2): 170575

收稿日期: 2017-10-28; 收到修改稿日期: 2017-11-25

基金项目: 广东省自然科学基金项目(2016A030313473, 2015A030310278); 广东省科技厅产学研重大专项(2016B090918057); 广州市科创委产学研重大专项(201704020038, 201704020182); 图像测量与视觉导航湖南省重点实验室开放基金资助项目

作者简介: 耿雨晴(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事光学设计的研究。E-mail: phgengyuqing@mail.scut.edu.cn

通信作者: 葛鹏(1983-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事光学设计、图像处理的研究。E-mail: scpge@scut.edu.cn

1 引言

2000年夏普联合 J-phone 推出首款照相手机以来,手机镜头已成为不可或缺的一部分^[1]。2004年,卡西欧公司推出了首款 200 万像素镜头 A5403CA。之后,夏普公司发明了具有变焦、自动对焦功能的镜头。同年,三星发布 320 万像素 3 倍光学变焦设计,焦距可从 5.88 mm 到 17.4 mm。随后几年中,三星公司几乎包揽了各镜头的首发。2005年,三星推出搭载 500 万像素镜头的手机 SCH-M509。2006年,三星公司研发出首款支持千万像素的手机 SCH-B600。2009年,1200 万像素手机 M8910 诞生^[2]。高成像质量、低成本、紧凑结构的手机镜头逐渐成为当下研究热点。随着非球面加工方法的完善和成熟、加工精度的提高,制造材料的不断研发和更新,以及 CMOS(complementary metal oxide semiconductor)感光元件应用的发展,均为高像素、高画质手机镜头的完善创造了条件。在国内,2008年,刘茂超设计了 F 数为 2.85 的 300 万像素镜头,镜头总长度为 5.26 mm^[3]。2011年,李广等设计了 F 数为 2.45、视场角 68°,总长 7 mm 的 800 万手机镜头^[4]。2013年,F 数 2.8 的 1000 万像素手机镜头设计完成^[5]。截至 2017年,1300 万像素手机镜头已成为市面上的主流。本设计采用非球面表面,增加了自由度,可改善系统结构及成像性能。最终得到一个光圈数为 2.2,镜头总长为 3.6 mm 的 1300 万手机镜头。

2 设计要点

CMOS 具有功耗低、体积小、质量轻、集成度高等特点,许多手机镜头选择 CMOS 作为传感器。随着 COMS 灵敏度、感光度和分辨率的提高,像元尺寸从 5 μm 降为 1.1 μm,有利于手机镜头的轻薄化发展。

本设计采用 Omnivision 公司研发的型号为 OV16880 的传感器。其规格尺寸为 8.3 mm,最小像元为 1.12 μm×1.12 μm,有效像素为 4224×3136,像面大小为 4730 μm×3512 μm。该 CMOS 芯片可用于支持处理高清画面,满足 1300 万镜头的要求。

CMOS 的解析度影响镜头的分辨能力。根据 CMOS 的规格以及采样原理,可以计算出该镜头的分辨率:

$$R = \frac{1000}{2 \times p}, \quad (1)$$

式中 p 为像元大小。可得镜头最大分辨率为 446 lp/mm。因此,中心视场处 MTF 大于 0.5,所有视场

在 446 lp/mm 处大于 0.2,即可满足要求。

镜片的加工、装配误差使得系统的周边成像难以达到要求,所以设计的半像高要尽量大于或者接近理论值^[6]。实际计算的半像高为 2.945。由公式 $y = \tan \theta \times f$ 可知,视场角或者焦距越大,像高越大。因受到手机结构限制,手机镜头的光学总长不宜超过 5 mm,这需要视场角达到 35°以上。

目前,通过像面照度均匀性校正等图像处理算法,相对照度达到 35%以上即可满足使用要求。

此外,要求镜头光学畸变小于 2%,TV 畸变小于 1%^[7],默认温度为 25°C,波长为可见光波段。

表 1 设计参数

Table 1 Design parameters

Parameter	Value
Angle of view/(°)	71
Distortion/%	2.5
F-number	2.2
Effective focal length/mm	3.58
Back focal length/mm	0.45
Relative illumination/%	50
Overall length/mm	3.6
Total pixels/mega-pixels	13

3 初始结构的选择

手机镜头从 10 万像素的一片、30 万像素的两片,到 500 万像素、800 万像素的四片,已逐渐趋于成熟,选择较合理的初始结构,可以减少优化步骤,获得较好效果。使用 PW 法求解,以及从文献和专利中查找初始结构是两种最常用的方法。方法一即在初级像差系数的公式组中引入参量 P, W :

$$\begin{aligned} P &= ni(i-i')(i'-u), \\ W &= (i-i')(i'-u), \end{aligned} \quad (2)$$

进行初始结构的计算。但是 PW 法计算量较大,对设计者的像差理论知识要求较高,本文选择第二种方法。选择合理结构,根据设计要求对其焦距进行缩放,优化使其符合设计要求。将 F 数定为 2.2,保证系统的进光量。

本文选择中国专利镜头 CN106125256A^[8]作为优化起点。在 Code V 中输入初始结构,如图 1 所示。图 2 为初始结构的光学传递函数。观察图像可知,全视场下,高频的 MTF 值已为 0,成像质量较差,此结构有很大的提升空间。

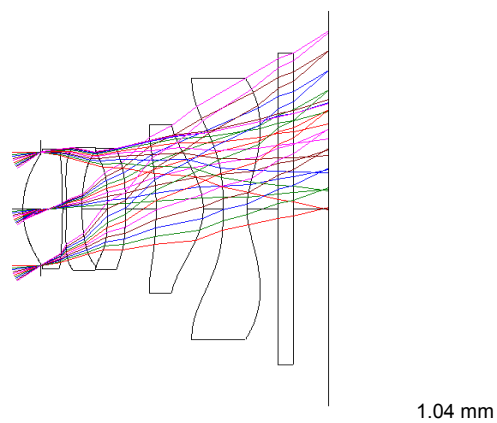


图 1 初始结构
Fig. 1 Initial structure

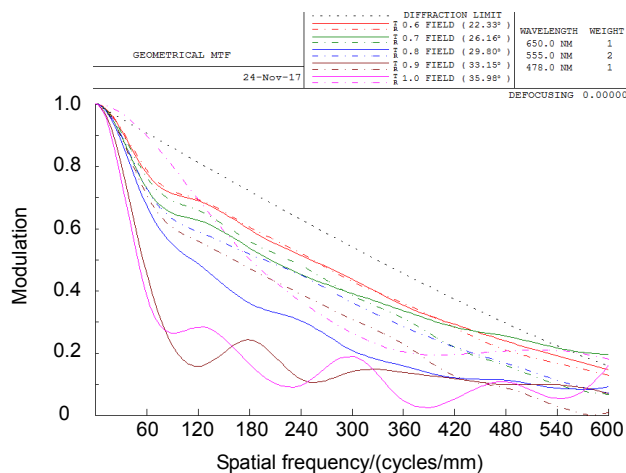


图 2 初始结构的 MTF 曲线
Fig. 2 MTF curve of initial structure

输入初始结构, 首先将焦距缩放为 3.6 mm, 再将 F 数设为 2.2, 增添像方像高改变视场。为了满足实际加工的要求, 包括塑料镜片的成型工艺及模具制造等要求, 如过薄的镜片注塑困难较大, 镜片内部应力过大会导致变形。要保证镜片的中心厚度大于 0.35 mm, 边缘厚度大于 0.3 mm。

为了缩短镜头长度, 有效控制像差, 得到较好像质, 镜头各表面均采用非球面^[9]。

为了安全和节约成本, 选取光学塑料进行设计。光学塑料透射性好、可塑性强, 加工成本低, 是一类较为理想的材料。

运行 glassfit 宏函数可以自动选择玻璃材料, 将虚拟玻璃转化为实际材料, 但效果不佳。根据专利中各镜片的折射率和阿贝数选择最接近的塑料材质。第 1、4、5 片透镜采用 APL5514 的塑料材质, 透光率高、流动性好、低双折射, 并且价格低廉, 可降低生产成本。第 2、3 片透镜采用 OKP4HT 材质, 拥有折射率高、

成型效果好等特点。第 6 片滤光片选择 NBK7, 可滤掉 700 nm~1000 nm 的近红外光。

4 优化过程

将初始结构的焦距缩放为 3.6 mm, 调整 F 数为 2.2, 将各透镜的曲率、偶次非球面系数设置为变量。Code V 可通过加速阻尼二乘法改变这些变量从而提高像质。考虑到实际加工, 谨防凹透镜中心过薄、凸透镜边缘过薄等现象发生。在自动优化的结构限制中添加边界条件, 使透镜中心厚度大于 0.35 mm, 边缘厚度大于 0.3 mm。

增加视场, 修改渐晕系数。特殊控制中限制焦距为 3.6 mm, 限制总长小于 5 mm, 限制畸变小于 2%, 为了便于装配, 控制后工作距大于 0.2 mm。通过对约束和权重的修改, 利用 Code V 中的自动优化及全局优化, 并将像差的平衡和加工工艺考虑在内, 得到符合设计要求的一组镜头, 如图 3 所示。

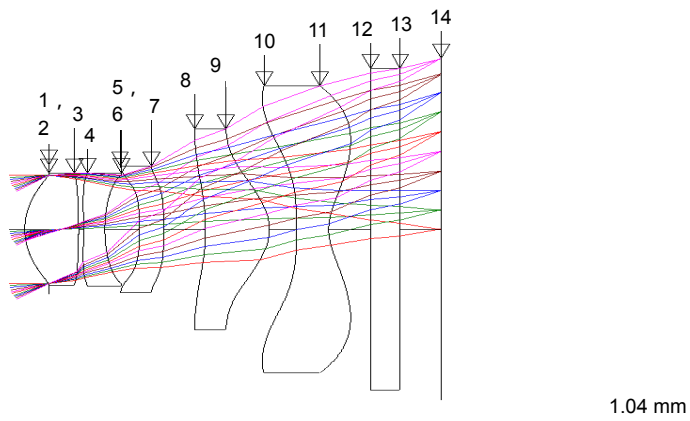


图 3 优化后的镜头结构
Fig. 3 Optimized lens structure

本设计中参考波长为 656.3 nm、587.6 nm、546.0 nm、486.1 nm、435.8 nm，光圈值 F 为 2.2，半视场角 $\omega=35.6^\circ$ ，光学总长为 3.6 mm，有效焦距为 3.6 mm。

此手机镜头总长短于市面上的设计，节省空间，可用于超薄手机；MTF 设计值高，与 1300 万像素芯片主光线入射角匹配良好；F 数较小，在低照度条件下，无需借助外部光源，也有良好的成像效果。

5 成像质量分析

优化后，成像质量有了较大提升。图 4 为不同视场下光学传递函数曲线。MTF 值越大、曲线越平稳，则成像质量越好^[10]。由图 4 可知，空间频率为 224 lp/mm 时，中心视场 MTF 值大于 0.5，空间频率为 446

lp/mm 时，中心视场值大于 0.15。另外，在 446 lp/mm 的高频，除边缘视场外，其他视场的 MTF 均大于 0.25，表明该镜头成像质量较好，符合成像要求。

图 5 为镜头的场曲和畸变曲线。由图可知此手机镜头的子午场曲和弧矢场曲均小于 0.025 mm，右侧为畸变图，在畸变小于 3% 时，看不出成像的变形，基本满足设计要求。

图 6 是点列图。点列图忽略了衍射效应，点的密集程度可以判断成像质量的优劣。观察各视场的均方根点直径均小于爱里斑半径，接近衍射极限，满足成像要求。

图 7 是相对照度曲线，反映成像画面的亮度。由图可知，边缘视场的相对照度值约为 0.5，满足镜头的

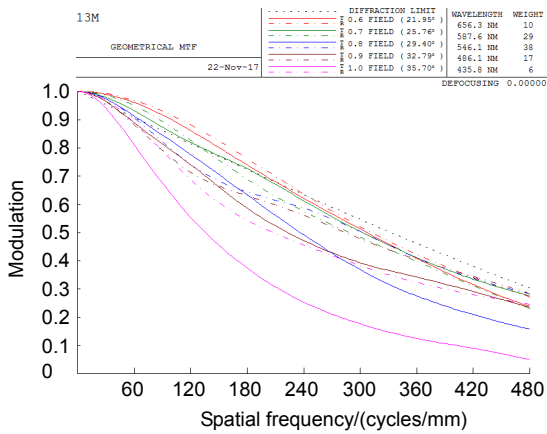


图 4 优化后各视场 MTF 曲线

Fig. 4 MTF curve of each field of view after optimization

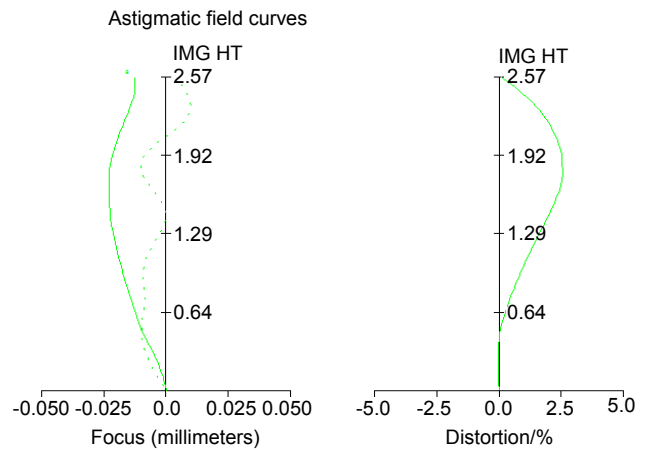


图 5 优化后的场曲、畸变图

Fig. 5 Field curvature and distortion plots after optimization

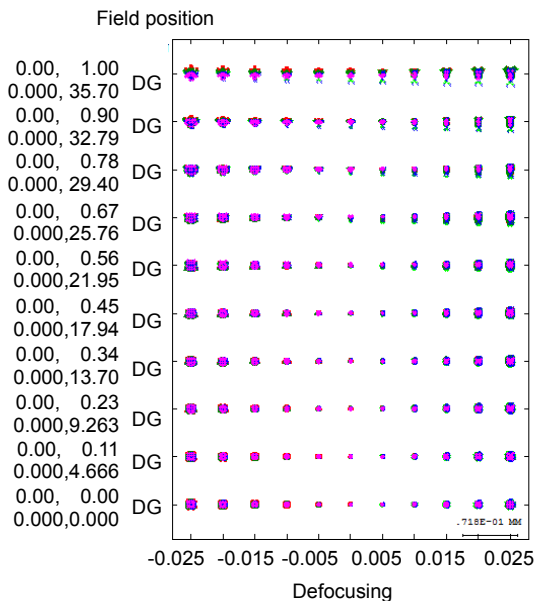


图 6 点列图

Fig. 6 Spot diagram

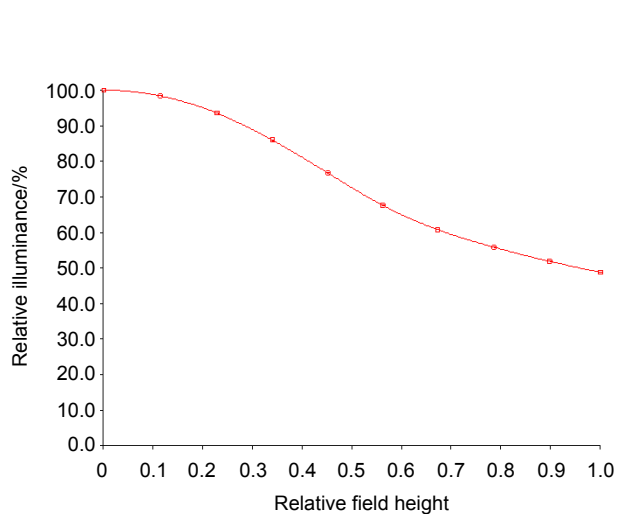


图 7 相对照度曲线

Fig. 7 Relative illuminance curve

照度要求。

6 公差分析

除了具有良好的成像质量外，镜头还应满足现有的加工能力。如果系统公差过小，则会使加工装调成本提高，甚至难以满足设计要求^[11]。选择 RMS 波前误差的公差分析。默认情况下，检查计算控制选项卡，code V 将以反灵敏度模式运行，目标为 0.01λ 波的性能变化^[12]。如图 8 所示，在 F1 视场，有 90% 用这些公差构成的系统的 RMS 波前误差为 0.597λ 波或更少。在输出文本中，可以得到所有类型的公差。根据非球面透镜的厚度公差、表面曲率公差、偏心公差、倾斜度公差等参数，可以满足现有的加工能力。

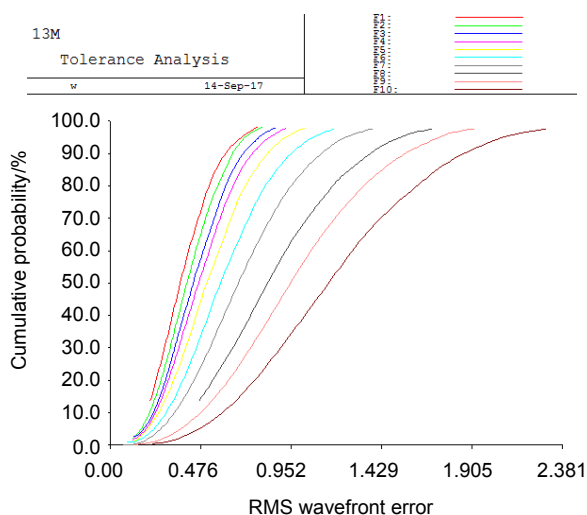


图 8 RMS 波前误差
Fig. 8 RMS wavefront error

7 结论

本文利用 Code V 软件，以一个专利镜头为起点，设计了一款 1300 万像素镜头。该镜头由五片非球面镜片组成，系统总长为 3.6 mm，F 数为 2.2，各像差得到了较好矫正。各视场的 MTF 曲线均满足高像素手机镜头要求。后续研究将进一步将该手机镜头进行优化，以期得到更好的成像效果。

参考文献

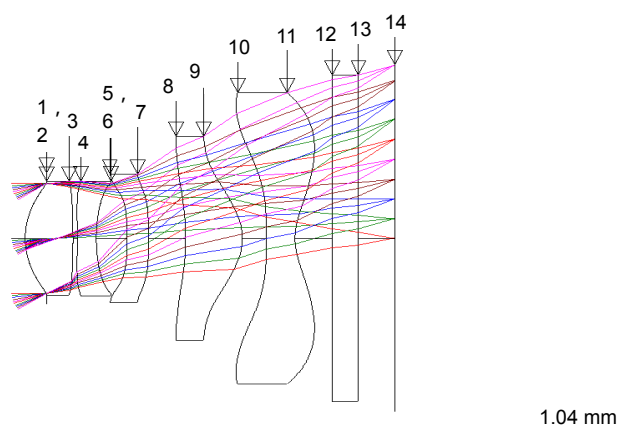
- [1] Chen P B, Gao X Y. Optical design of the 13 mega-pixels mobile phone camera[C]//*Proceedings of the 2016 3rd International Conference on Materials Engineering, Manufacturing Technology and Control*, 2016.
- [2] Wang X Y. Optical design of built-in high-pixel mobile phone lens[D]. Suzhou: Soochow University, 2012.
王小羊. 内置式高像素手机镜头的设计[D]. 苏州: 苏州大学, 2012.
- [3] Liu M C, Zhang L, Liu P P, et al. Design of lens for 3 mega-pixel mobile phone camera[J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, **29**(6): 944–948.
刘茂超, 张雷, 刘沛沛, 等. 300 万像素手机镜头设计[J]. *应用光学*, 2008, **29**(6): 944–948.
- [4] Li G, Wang J Y, Zhang Y. Design of 8 mega-pixel mobile phone camera[J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, **32**(3): 420–425.
李广, 汪建业, 张燕. 800 万像素手机镜头的设计[J]. *应用光学*, 2011, **32**(3): 420–425.
- [5] Zhang J Y, Huang Y Q, Xiong F B, et al. Design of 10 mega-pixel mobile phone lens[C]//*Proceedings of Third International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*, 2013: 569–573.
- [6] Yu T, Chi M C, Li Y H, et al. The design of hybrid diffraction-refraction 13 mega-pixel mobile phone lens[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2015, **38**(6): 5–11.
于艇, 迟名辰, 李艳红, 等. 1300 万像素折衍混合式手机镜头设计[J]. *长春理工大学学报(自然科学版)*, 2015, **38**(6): 5–11.
- [7] Sun W S, Chu P Y, Tien C L, et al. Zoom lens design for 10.2-megapixel APS-C digital SLR cameras[J]. *Applied Optics*, 2017, **56**(3): 446–456.
- [8] Qiu X X. Large-aperture cellphone lens with pixels at ten-million level: CN106125256A[P]. 2016-11-16.
邱小雄. 一种大光圈千万像素的手机镜头: CN106125256A[P]. 2016-11-16.
- [9] Guo W K, Wang M, Xu M, et al. Camera design of 3P slim 5 mega-pixel lens[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, **43**(9): 67–71.
郭王凯, 王敏, 徐苗, 等. 3P 超薄 500 万像素手机镜头设计[J]. *光电工程*, 2016, **43**(9): 67–71.
- [10] Yang Z, Yang H M, Ding G L. An ultra-thin eight-mega-pixel mobile phone lens[J]. *Journal of Applied Optics*, 2013, **34**(3): 413–419.
杨周, 阳慧明, 丁桂林. 一款超薄 800 万像素手机镜头的设计[J]. *应用光学*, 2013, **34**(3): 413–419.
- [11] Song D F, Zhang P, Wang C, et al. Design of mobile phone camera lens based on ZEMAX[J]. *Journal of Applied Optics*, 2010, **31**(1): 34–38.
宋东璠, 张萍, 王诚, 等. 基于 ZEMAX 的手机摄像镜头设计[J]. *应用光学*, 2010, **31**(1): 34–38.
- [12] CODE V 10.5, Optical Research Associates, East Foothill Boulevard, Pasadena, CA 91107.

Design of 13 mega-pixel mobile phone lens based on code V

Geng Yuqing¹, Zhao Liefeng², Zhang Xiangdong¹, Ge Peng^{1*}

¹Engineering Research Center for Optoelectronics of Guangdong Province, School of Physics and Optoelectronics, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

²Guangdong Yejia Opto-electronic Corporation, Dongguan, Guangdong 523000, China



Optimized lens structure

Overview: To meet the unmet commerce needs of high pixel mobile phone, more and more designs come into being. With the maturity of the processing method of the aspheric surface, the improvement of the machining accuracy and applications of the manufacturing materials and CMOS sensor, both benefit the development of the high-quality lens. According to the theory of ray optics, a 13 mega-pixel mobile phone lens was designed based on code V, an optical design software. The sensor OV16880 has 5 mega-pixel which is made by Omnivision Company, whose pixel size is $1.12\ \mu\text{m} \times 1.12\ \mu\text{m}$, so the limiting resolution is 446 lp/mm. In order to shorten the total lens length, effectively control the aberration and obtain better image quality, aspheric surfaces were used on each lens surface. For the sake of safety and cost saving, optical plastics were selected for design. Optical plastic is a kind of ideal material because of its good transmittance, well plasticity and low processing cost. The curvature and even non-spherical coefficients of each lens were set as variables. Code V can change these variables by accelerating the damping two multiplication to improve image quality. We should consider the actual processing, preventing that the concave lens center was too thin, convex lens edge was thin and so on. In the automatic optimization of the structural constraints, boundary conditions were added, so that the lens center thickness was greater than 0.35 mm and the edge thickness was greater than 0.3 mm. The design in this article consisted of five aspherical lenses and a filter. The F-number of the lens is 2.2, the half field angle is 35 degrees, the effective focal length is 3.6, and the total length of the lens is 3.6 mm. The MTF at central field of view is greater than 0.6, at the high frequency is greater than 0.2. In the 0.8 field of view the middle frequency is greater than 0.4. In a word, the lens can meet the requirement of the high imaging quality camera. This mobile phone camera's overall length is shorter than the common design. It can be used to design ultra-thin mobile phone; MTF value is high and well match with the 13 mega-pixel chip. The F number is small under low illumination conditions. Without the help of external light, could also has good imaging quality.

Citation: Geng Y Q, Zhao L F, Zhang X D, *et al.* Design of 13 mega-pixel mobile phone lens based on code V[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(2): 170575

Supported by Natural Science Foundation of Guangdong Province (2016A030313473, 2015A030310278), the Key Technologies R&D Program of Guangdong Province (2016B090918057) and the Key Technologies R&D Program of Guangzhou City (201704020038, 201704020182)

* E-mail: scpge@scut.edu.cn