

# 800万像素超薄广角手机镜头设计

薛雷涛 林峰

福建师范大学光电与信息工程学院, 医学光电科学与技术教育部重点实验室,  
福建省光子技术重点实验室, 福建 福州 350007

**摘要** 为满足市场对超薄广角手机镜头的需求,用光学设计软件 Zemax 设计了一款 800 万像素超薄广角手机镜头。该手机镜头由 4 片非球面塑料透镜和 1 片红外滤波片组成。它的总长为 3.6 mm、最大视场角为 82°、 $F$  数为 2.1、畸变小于 2%。图像采集元件采用的是美国 Omni Vision 公司生产的一款型号为 OV8858 的互补金属氧化物半导体 (CMOS), 每个像素大小为 1.12  $\mu\text{m}$ , 奈奎斯特频率为 446 lp/mm, 最大像素为 800 万, 最大像高为 4.57 mm。设计结果显示, 在 1/2 奈奎斯特频率处的调制传递函数 (MTF) 均大于 0.25, TV 畸变小于 1%, 成像质量好。公差分析结果较松, 易于生产加工。并用光学系统分析软件 ASAP 分析杂散光, 其结果可被接受。

**关键词** 光学设计; 手机镜头; 广角; 超薄; 800 万像素

中图分类号 TN942.2

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.102204

## Design of Thin and Wide-Angle Lens for 8 Mega-Pixel Mobile Phone Camera

Xue Leitao Lin Feng

*Fujian Provincial Key Lab of Photonic Technology, Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China*

**Abstract** In order to meet the demand of mobile phone market for the thin and wide-angle mobile phone camera, a thin and wide-angle for 8 mega-pixel mobile phone lens is designed by Zemax. The mobile phone lens is composed of 4 plastic aspheric lenses and a infrared filter, which has a total length of 3.6 mm, a field of view of 82°, a  $F$ -number of 2.1, the distortion is less than 2%. It can be used in OV8858 which is a 8 mega-pixel sensor with 1.12  $\mu\text{m}$  pixel size made by Omni Vision, Nyquist frequency is 446 lp/mm, the maximum pixel is 8 million and the maximum image height is 4.57 mm. The design result shows that modulation transfer function (MTF) value at frequency of 224 lp/mm is larger than 0.25, and the maximum TV distortion is lower than 1%. After tolerance analyze, the lens has the high quality of image and good performance. The simulation by ASAP shows that the flare of the lens is slight and acceptable.

**Key words** optical design; mobile phone camera; wide-angle; thin; 8 mega-pixel

**OCIS codes** 080.4225; 110.4100; 220.3620; 230.0040

## 1 引言

2009年9月,日本夏普公司首次推出型号为J-SH04的拍照手机,虽然该手机镜头只有11万像素。事实证明具有照相功能的手机日益受到市场的青睐。在接下来的几年里,诺基亚、三星、HTC等手机生产厂商都不断推出高像素拍照型的手机,目前300万、500万、800万甚至千万像素的拍照手机已是很常见。拍照手机有携带方便、高像素、实时分享等众多优点,使其不断取代低端数码相机<sup>[1]</sup>。随着广大光学设计者的不断探

收稿日期: 2015-04-27; 收到修改稿日期: 2015-05-26; 网络出版日期: 2015-09-23

基金项目: 福建省科技厅重点项目(2013H0022)、福州市科技计划项目(2014-G-68)

作者简介: 薛雷涛(1990—),男,硕士研究生,主要从事光学设计方面的研究。E-mail:1163238060@qq.com。

导师简介: 林峰(1968—),男,高级工程师,主要从事光学设计方面的研究。

E-mail: lfeng127@163.com(通信联系人)

索与实践,超薄广角手机镜头设计不断涌现。如李航等<sup>[2]</sup>的800万像素手机广角镜头设计,视场角(FOV)80°、总长6.8 mm;丛海芳等<sup>[3]</sup>的4P超薄800万像素镜头设计,视场角65.5°、总长4.49 mm;杨周等<sup>[4]</sup>的一款超薄800万像素手机镜头的设计,视场角65.5°、总长4.6 mm。然而,在追求超薄拍照手机时,手机的镜头总长往往成为其主要限制因素,且广角的手镜头已慢慢成为自拍爱好者的追求。鉴于以上种种需求,本文设计了一款800万像素超薄广角手机镜头,并对其设计结果、公差、鬼像进行分析。

## 2 图像采集器件的选取

目前电荷耦合器件(CCD)和互补金属氧化物半导体(CMOS)传感器是被广泛采用的两种图像传感元件。相对于CCD,CMOS图像传感元件具有集成度高、功耗小、结构简单、寿命长、性能稳定等优点<sup>[5]</sup>。再加上近年来集成工艺的提高,小尺寸、高像素的CMOS很广泛。鉴于此,采用美国OmniVision公司生产的一款型号为OV8858的CMOS,在30 frame/s下可支持8 MP的全分辨率。其规格如表1所示。

表1 CMOS规格  
Table 1 CMOS parameters

Items	Parameters
Effective pixel number	3264 pixel×2448 pixel
Optical size	1/4"
Max image circle	4.57 mm
Chief ray angle	32.9° (max)
Pixel size	1.12 μm×1.12 μm
Diffraction limit of MTF	446 lp/mm

## 3 设计思路

### 3.1 材料的选取

光学塑料具有透射率高、质量轻、双折射率低、成本低等众多优点。手机镜头通常采用非球面的光学塑料。常用的光学塑料有E48R、48R、APEL系列、OKP系列等等,本设计第一、三、四片采用日本大阪燃气化学公司OKP系列的OKP1,第二片采用三井化工开发的APL5514。OKP1的折射率为1.64283,阿贝数为22.4373,具有高折射率、脱模效果好、流动性强等优点。APL5514的折射率为1.544102,阿贝数为56.1143,具有优秀的透射率、流动性和低双折射。

采用非球面的原因是:与球面镜相比非球面可以有效减少镜片个数、减轻镜头重量,节省成本,提高视场角、提升成像质量。

### 3.2 设计指标

根据市场需求和设计要求将列出设计指标如表2所示。

表2 镜头设计参数  
Table 2 Design parameters of lens

Total length	Effective focus length	F#	FOV	Relative illumination	Chief ray angle	Optical distortion	TV distortion	MTF /(lp/mm)	
								122	224
<3.6 mm	2.6 mm	2.1	>80°	>30	<32°	<2%	<1%	>0.5	>0.2

### 3.3 初始结构的设计

初始结构的建立对镜头的设计比较重要。一般有两种方法建立初始结构:1)用P、W法,通过合理的光焦度分配,再根据对各个薄透镜组的象差要求,按薄透镜系统象差公式求出各薄透镜组的象差参量P、W进而计算出初始结构<sup>[6]</sup>。这种方法创新性强,但是需要较大的耐心、扎实的理论基础和丰富的经验。2)从已有的专利或者镜头数据中搜索出与设计较为接近的初始结构,然后通过优化使之达到所要求的设计指标。本设计采用一个四片球面镜作为设计起点,其结构图和调制传递函数(MTF)曲线如图1、图2所示。

### 3.4 优化

根据偶次非球面表达式:

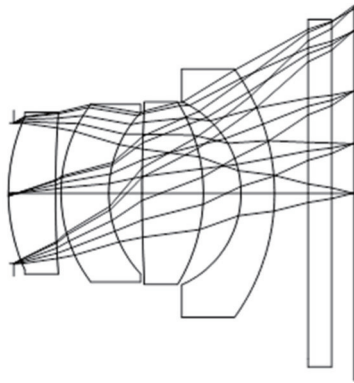


图1 初始结构  
Fig.1 Initial structure

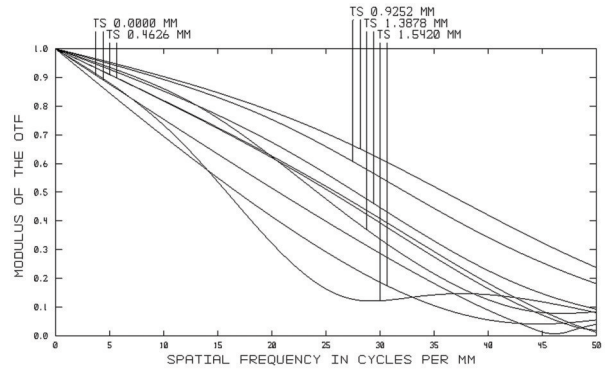


图2 MTF曲线  
Fig.2 MTF curves

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_4 r^4 + \alpha_6 r^6 + \alpha_8 r^8 + \dots, \quad (1)$$

式中  $k$  为二次曲面圆锥系数,  $r$  为非球面上任意一点到光轴的距离,  $c$  为非球面顶点处的曲率,  $\alpha_4$ 、 $\alpha_6$ 、 $\alpha_8$  为非球面的高阶量系数。因此、需将镜片类型设置为偶次非球面、将光阑设置在第一个面。用操作数和默认评价函数,来规范镜头结构使其不至于变化的太离谱,进而进行初步优化操作,直到获得一个“看得过去”的非球面结构。添加操作数限定 CRA、相对照度、畸变场区和色差,并给与适当的权重,使其在一定范围内变化或使其小于目标值。添加操作数提高 MTFT、MTFS 值接近与之对应的衍射极限。

### 4 像质分析

经过优化,其成像质量有了较大的改善,优化后的结构如图2所示,结构更加合理。图中 MTF 曲线是光学系统成像质量的重要评价指标,它反映了镜头对物体不同频率时对比度的传递能力,MTF 越高、成像质量

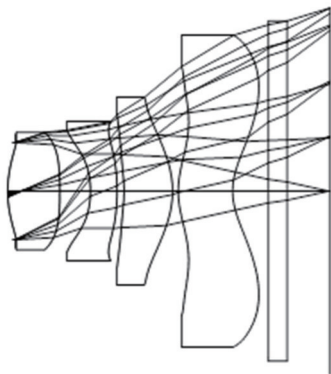


图3 优化后的系统结构图  
Fig.3 System structure after optimization

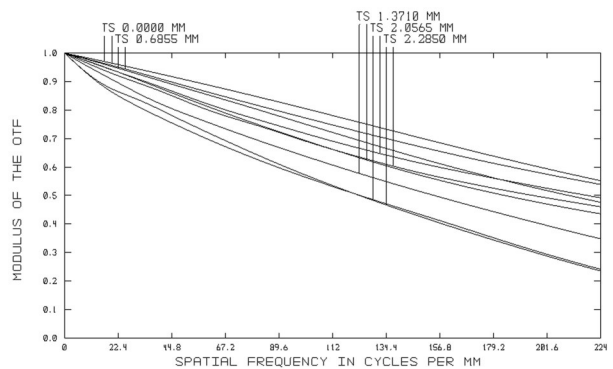


图4 不同像高下的 MTF 曲线  
Fig.4 MTF curves of different image height

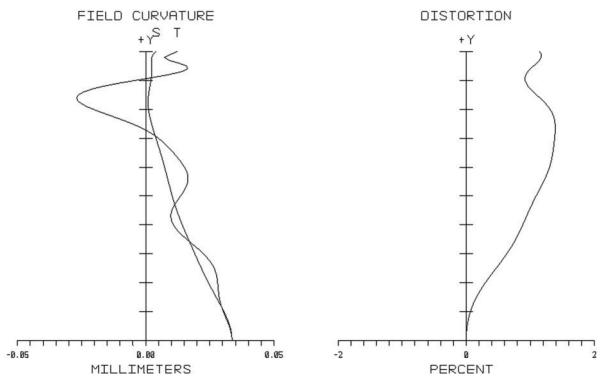


图5 场区畸变  
Fig.5 Curvature and distortion

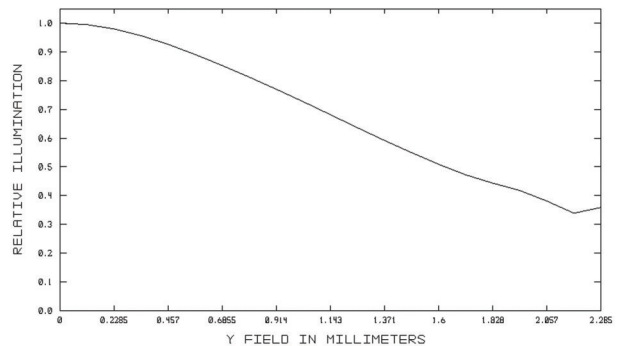


图6 相对照度  
Fig.6 Relative illumination

越好。通常 0.7 视场内是镜头成像质量的主要保证区域,决定成像质量的好坏,在边缘视场,镜头成像质量允许一定程度下降<sup>[7]</sup>。如图 4 所示的不同像高下的 MTF 曲线,可以看出在频率为 224 lp/mm 时,MTF 值均大于 0.2,0.7 视场的 MTF 值均大于 0.32。

由于最大像高对应的视场角大于 82°,因此场区和畸变不能太大,相对照度也不能太低,分别如图 5、图 6 所示。

## 5 公差分析

一款设计好的镜头能否拿来生产加工,其中另外一个重要的因素是镜头的敏感度。若太敏感,会给生产、装配带来很大的麻烦,因此有必要进行公差分析。

基于数控技术的进步,磨具的开发精度已经是非常高,如部分台湾企业加工非球面镜片的面型精度可达 2  $\mu\text{m}$ ,日本在非球面的加工方面遥遥领先,如 HOYA、Olympus 等公司生产非球面的面型精度在 1.5  $\mu\text{m}$  以内。因此在计算公差时,设玻璃厚度和空气厚度变化 5  $\mu\text{m}$ ,倾斜变化 0.25°,偏心变化 3  $\mu\text{m}$ 。运用 Zemax 光学设计软件,通过计算分析 112 lp/mm 处的 MTF 变化情况。用灵敏度分析及蒙特卡罗分析得到手机镜头的敏感度数据。灵敏度公差分析结果、蒙特卡罗公差分析结果分别如表 3、表 4 所示。蒙特卡罗公差分析结果显示在 Nominal MTF: 0.37592 下,该手机镜头 90% 以上的蒙特卡罗样本 MTF 大于等于 0.23662。从中可以看出这颗镜头不太敏感。由公差分析可知,第一、二片透镜的偏心,第一片透镜的两个面的倾斜,第一、二片透镜的厚度公差等相对敏感在加工生产时需特别管控。

表 3 最敏感的公差分析结果

Table 3 Most sensitive tolerance analysis

Type	Surface	Tolerance	MTF variation
Element decenter	2~3	3 $\mu\text{m}$	-0.06190887
Element decenter	4~5	3 $\mu\text{m}$	-0.05024423
Tilt	2~3	0.25°	-0.09336320
Tilt	3	0.25°	-0.04827339
Thickness	2~3	5 $\mu\text{m}$	-0.04422532
Thickness	4~5	5 $\mu\text{m}$	-0.04827339

表 4 蒙特卡罗公差分析结果

Table 4 Result of Monte Carlo tolerance analysis

Monte Carlo analysis	MTF value
90%	0.23662427
50%	0.27316757
10%	0.33736587

## 6 鬼像分析

杂散光又称“光斑”、“亮斑”,即为有害光线投射到反射面,由于某些反射面作单向反射或集中反射而形成面积小、亮度大、有方向性的光斑。鬼像是杂散光的一种,是由成真实像的光线被光学工作面反射后在像面会聚产生的。在光学设计时应尽量避免鬼像的产生。因此,快速、准确的鬼像分析也显的尤为重要。光学设计软件 Zemax 和 Code-V 都带有鬼像分析功能,其采用的都是近轴光线分析,分析速度虽快,但采样光线数量少,结果不能直观的显示目标图像和鬼像之间的关系。Tracepro 和 ASAP 是基于蒙特卡罗光线追迹方法的光学分析软件,可以通过光线追迹获取像面目标(强光源)和鬼像的相对照度以及分布情况<sup>[8]</sup>。

利用光学仿真软件 ASAP 对手机镜头建模,然后模拟无穷远太阳光线入射到手机镜头,通过追迹不同角度的光线得到像面光强分布,进而快速、直观的分析鬼像。如图 7 所示,模拟轴外像面光强能量分布图和对应该的光线追迹图。从模拟上可以得出如下结论:1) 如图 7 所示,光强图中的几处能量较高的圆环是由于平板玻璃与最后一个非球面间的折反射引起。这种杂散光每个镜头都会存在,无法消除,除非不使用平板玻璃。2) 这些杂散光都是由于镜间折反射引起的,可以通过微调结构和镀膜等方法来抑制或消除。如图 8 所示,对一特定镜间折反射引起的杂散光,通过追迹引起此杂散光的位置(追迹若干光线),进而模拟镀膜前后



对杂散光的抑制。

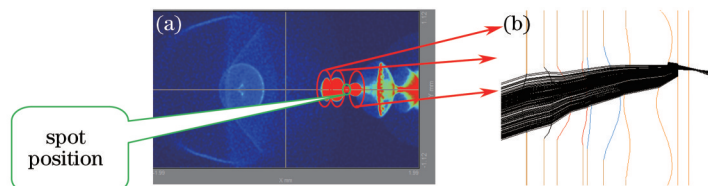


图7 (a) 像面光强分布; (b) 轴外光线追迹(若干光线)

Fig.7 (a) Luminous intensity of image plane; (b) ray tracing off axis (some rays)

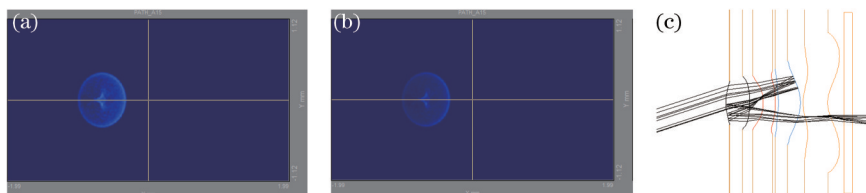


图8 (a) 模拟镀膜前杂散光强度; (b) 模拟镀膜后杂散光强度; (c) 此杂散光的位置

Fig.8 (a) Imitate the flare luminous before coating; (b) imitate the flare luminous after coating; (c) flare of location

总结近两年内在800万像素手机镜头方面的部分设计结果,并将其光学参数与本设计结果做对比,如表5所示。

表5 六款800万像素手机镜头设计对比

Table 5 Comparison about the design of six types' 8 mega-pixel mobile phone cameras

Document	Design parameters of lens						
	$F/\#$	EFL/mm	FOV/(°)	Length/mm	Distortion	Flare	Tolerance
References(2)	2.45	2.28	80	6.8	<3%	No	Slight
References(3)	2.4	3.71	65.5	4.49	<1.5%	No	Slight
References(4)	2.4	3.73	65.5	4.6	<2%	No	No
References(9) <sup>[9]</sup>	2.45	NO	60	5.7	<2%	No	No
References(10) <sup>[10]</sup>	2.2	2.7	80	3.8	<2%	No	Yes
This design	2.1	2.6	82	3.6	<2%	Yes	Yes

表5中, References(2)指的是参考文献(2),以此类推; No指的是没有给出分析; Yes表示给出分析; Slight表示浅略分析。通过对比可以看出,本设计具有更大的光通量、较大的视场角、总长也最小。并且是一款相对照度大于0.32, 224 lp/mm处MTF均大于0.25的高传函的800万像素超薄广角手机镜头。

## 7 结 论

经成像质分析、公差分析得出该款手机镜头满足设计指标,且适合加工生产。并根据该手机镜头的公差分析结果,给出了生产时应该着重管控的因素。另外,运用光学仿真软件ASAP,对该设计的手机镜头做了详细的鬼像分析,并给出相应的意见。

## 参 考 文 献

- Liu Maochao, Zhang Lei, Liu Peipei, *et al.*. Design of lens for 3 mega-pixel mobile phone camera[J]. J Appl 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.
- Li Hang, Yan Changxiang. Design of wide-angle lens for 8 mega-pixel mobile phone camera[J]. Chinese Optical, 2014, 7(3): 456-460.
- 李航, 颜昌翔. 800万像素手机广角镜头设计[J]. 中国光学, 2014, 7(3): 456-460.
- Cong Haifang. Camera design of 4P slim 8 megapixel lens[J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43(12): 3993-3997.
- 丛海芳. 4P超薄800万像素镜头设计[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(12): 3993-3997.
- Yang Zhou, Yang Huiming, Ding Guilin. An ultra-thin eight-mega-pixel mobile phone lens[J]. J Appl Optics, 2013, 34(3): 413-419.

- 杨 周, 阳慧明, 丁桂林. 一款超薄800万像素手机镜头设计[J]. 应用光学, 2013, 34(3): 413-419.
- 5 Zhang Ping, Wang Cheng, Song Dongpan, *et al.*. Design of lens for 5 mega-pixel mobile phone cameras[J]. J Appl Optics, 2009, 30(6): 934-938.
- 张 评, 王 成, 宋东璠, 等. 500万像素手机镜头设计[J]. 应用光学, 2009, 30(6): 934-938.
- 6 Li Xiaotong, Cen Zhaofeng. Geometrical Optical Aberrations and Optical Design[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2007.
- 李晓彤, 岑兆丰. 几何光学像差光学设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2007.
- 7 Zhang Renjian, Feng Yapping, Jiang Man, *et al.*. Compact optical zoom lens system for mobile phones[J]. J Appl Optics, 2011, 32(1): 27-30.
- 张韧剑, 冯亚萍, 江 曼, 等. 结构简洁的光学变焦距手机镜头设计[J]. 应用光学, 2011, 32(1): 27-30.
- 8 Mei Chao, Zhou Sizhong, Zhang Hengjin, *et al.*. Method of first-order ghost-image analysis in imaging system based on CODE V and Tracepro[J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(4): 0411003.
- 梅 超, 周泗忠, 张恒金, 等. 基于Code-V和Tracepro的成像光学系统一阶鬼像分析方法[J]. 光学学报, 2013, 33(4): 0411003.
- 9 Tang Bei, Chen Li, Liu Feng, *et al.*. The optimization design of 8 mega-pixel mobile phone cameras with a compact structure[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2013, 30(4): 98-102.
- 汤 备, 陈 丽, 刘 峰, 等. 结构简洁的800万像素手机镜头优化设计[J]. 广东工业大学学报, 2013, 30(4): 98-102.
- 10 Yin Zhidong. A 800 Mega Pixel Mobile Phone Camera Lens Optics Designs and Produce[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2014.
- 尹志东. 800万像素手机镜头的光学设计与制造[D]. 长春: 长春理工大学, 2014.

栏目编辑: 韩 峰