

# 1300万像素手机镜头设计

尹志东 向阳 高健 孔达

长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022

**摘要** 设计了一款由5片塑料非球面透镜和1个红外滤光片组成的1300万像素的手机镜头,系统采用1/3 inch(1 inch=2.54 cm)的CMOS作为该镜头的图像传感器,像素颗粒大小为1.12  $\mu\text{m}$ 。镜头的焦距为3.9 mm, $F$ 数为2.2,视场角为78°。在1/2极限频率处调制传递函数(MTF)值都大于0.4,可以获得优质的成像效果,最大畸变小于2%,相对照度大于36%,公差也相对较松,能够满足生产中的需要。

**关键词** 光学设计;1300万像素;手机镜头;非球面;传感器

中图分类号 TN942.2; O493 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.012202

## Optical Design of a 1300 Megapixel Mobile Phone Camera Lens Optics Designs

Yin Zhidong Xiang Yang Gao Jian Kong Da

*School of Optoelectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology,  
Changchun, Jilin 130022, China*

**Abstract** The 1300 megapixel mobile phone camera lens which is composed of five plastic aspheric lenses and an infrared (IR) filter is designed. We use a 1/3 inch (1 inch=2.54 cm) CMOS as the image sensor, and the pixel size is 1.12  $\mu\text{m}$ . The mobile phone lens has an effect focal length of 3.9 mm, an  $F$ -number of 2.2, and a field-of-view (FOV) of 78°. All modulation transfer function values at the half limiting frequency are greater than 0.4. Simulation results show that the lens has an excellent imaging performance. The maximal distortion of the lens is less than 2%, the relative illumination is more than 36%, and the tolerance is rather loose. It can satisfy the requirements of practical production.

**Key words** optical design; 1300 megapixel; mobile phone lens; aspheric surface; sensors

**OCIS codes** 220.3620; 110.4100; 110.1220

### 1 引言

手机的照相功能已经成为现在人们关注的一个焦点,追求高像素、高像质的拍照效果,是目前手机消费人群的主要追求之一。2000年全球第一款支持拍摄功能的手机J-SH04问世,这款搭载11万像素CMOS镜头的手机成为了手机拍照技术上革命性的突破,随后手机摄像头的像素数持续发展,从30万、130万,逐渐发展到200万、300万乃至500万,到了2013年,国内800万像素的镜头已经成为智能手机的标准配置,而1300万像素这种曾经不敢想象的高端镜头也逐渐被应用到智能手机上。在国外,三星推出了首款1200万像素手机M8910,诺基亚808通过采样过密技术,利用间接的方法使像素达到惊人的4100万。现在高次非球面加工技术和精度都有了很大提升,并且CMOS像素尺寸也从5  $\mu\text{m}$ 降到1.1  $\mu\text{m}$ 以下,再加上新型材料的出现,为研制高像素数手机镜头创造了条件。本文设计了一款1300万像素的手机镜头。设计结果可满足实际生产的需要。

### 2 镜头结构的设计指标

选用了一款SONYIMX091芯片,主光线角要求小于30°,分辨率为4200 pixel $\times$ 3100 pixel,像素尺寸是

收稿日期: 2013-08-12; 收到修回稿日期: 2013-10-09; 网络出版日期: 2013-12-25

作者简介: 尹志东(1981—),男,硕士研究生,主要从事光学工程方面的研究。E-mail: yzd198345@sohu.com

导师简介: 向阳(1968—),男,教授,主要从事光学设计方面的研究。E-mail: xyciom@163.com

1.12  $\mu\text{m}$ , 芯片对角线长度即像高为 5.867 mm。

由公式  $N = \frac{1000}{2 \times a}$  ( $N$  为极限分辨率,  $a$  为像素尺寸) 可知镜头的极限分辨率为 446 lp/mm。镜头的调制传递函数(MTF)值通常低频表示画面轮廓, 中频表示画面层次, 高频表示画面细节。手机镜头设计一般要求 MTF 中心视场(FOV)在中间频率即 223 lp/mm 时大于 50%, 高频 446 lp/mm 时大于 20%; 在 0.8 视场, 仅对高频和中频有所要求, MTF 值在中频 223 lp/mm 大于 40%, 在高频 446 lp/mm 时 MTF 值大于 2%<sup>[1]</sup>。

由公式  $y = \text{tg} \theta \times f$  可知, 视场角越大或焦距越大, 像高越大, 而受手机结构限制, 光学系统总长不宜超过 5 mm, 焦距应控制在 3.6 mm 以下, 这就需要视场角达到 78° 以上。

由于塑胶镜片对光的吸收强, 且视场角过大, 导致相对照度在外视场明显降低, 这时需要将镜头的  $F$  数控制在 2.2 左右以保证通光量。

目前, 随着图像处理技术的发展, 通过白平衡、灰度二值化等手段, 相对照度达到 35% 以上即可满足图像的处理要求, 获得满意的画面。

此外, 还要求 TV 畸变小于 1%, 光学畸变小于 2%; 波长为可见光波段。

### 3 初始结构的选择

手机镜头结构的发展过程从 10 万像素 1 片塑胶非球面, 到 30 万像素 2 片, 到 130 万、200 万像素的 3 片, 300 万像素的 3 片塑胶非球面 1 片玻璃球面, 再到 500 万、800 万像素的 4 片, 已经趋于成熟。对于这种大视场大相对孔径的光学系统, 高级像差很大, 不易校正, 并且手机的整体结构越来越薄, 限制了手机镜头的光学长度越来越短, 1300 万像素的镜头光学总长要小于 5 mm 才能满足市场的需要。加之本设计的视场角达到 80° 左右, 更增加了设计的难度<sup>[2]</sup>。所以本次研究采用 5 枚塑胶非球面镜片作为初始结构方能合理地保证高级像差的校正。随着镜片数量的增加, 系统的通光量由于镜片的吸收、反射等因素相应地降低, 这时适当增加系统的相对孔径, 将  $F$  数定为 2.2, 以保证系统的进光量。虽然塑胶镜片的透射率相对较低且随温度变化, 对系统会有影响, 但是本文采用的材料光学性能优良, 通过镀膜。图像处理等手段能达到预期的画面效果, 并且材料属性随外界环境的变化不大, 比较稳定, 通过注塑成型后成本较低, 易于量产<sup>[3]</sup>。设计的初始结构及其 MTF 曲线分别如图 1、图 2 所示。

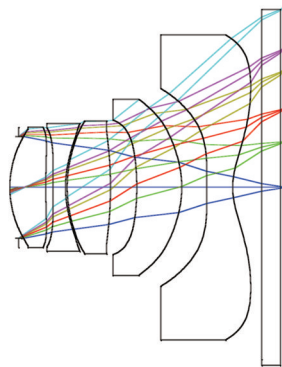


图1 初始结构图

Fig.1 Initial structure

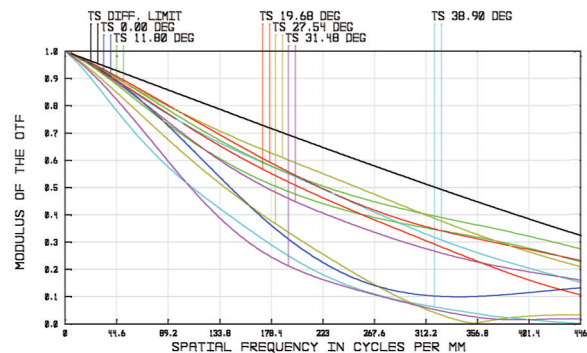


图2 初始结构的 MTF 曲线

Fig.2 MTF curves of initial structure at different FOVs

## 4 设计过程

### 4.1 初始结构的输入

选取相应的初始结构后, 就要对初始结构的各方面指标进行修改, 通过对焦距的缩放及波长、视场角、 $F$  数的输入, 让初始结构达到一个基本的尺寸要求。首先将焦距  $f$  缩放至 3.6 mm 大小, 再将  $F$  数设为 2.2, 本文采用实际像高来控制视场, 在 Zemax 中输入视场和波长以及初始结构的镜片参数。

厚度方面: 为了满足实际加工的需要, 镜片不能太薄, 塑料镜片在成型工艺和模具制造上都有一定的要求, 太薄的镜片注塑机不易将塑胶注入到模具中, 即使增加出射速度、保压强度和保压时间, 也会因镜片内

部应力过大而导致镜片变形,所以要保证镜片的中心厚度大于0.35 mm,边缘厚度尽量要在0.3 mm以上。

塑胶材料方面:可选用的材料非常有限,传统的聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)聚碳酸酯(PC)料都有它们各自在性能上的缺陷,目前市场上比较常用的塑胶材料有 APLE5514,480R,E48R,OKP4等。本设计选用吸水率较低的 E48R 和光学性能较好的 OKP4 材料<sup>[4]</sup>。

## 4.2 基本结构控制与像差校正

### 4.2.1 结构要求的控制

首先要满足镜头设计基本的要求,在基本结构满足的情况下再进行初级像差的校正,步骤如下:

- 1) 将初始结构的半径、厚度、间距、偶次非球面系数设为变量;
- 2) 将初始结构的焦距缩放到设计要求的 3.6 mm,用操作数 EFFL 控制住,并调整  $F$  数为 2.2;
- 3) 用 TOTR 控制系统的总长小于 5 mm;
- 4) 设定边界条件,让镜片中心厚度大于 0.35 mm,边缘厚度大于 0.3 mm;
- 5) 用 RAID 控制主光线的入射角小于  $30^\circ$ ,并保证后工作距大于 0.2 mm;
- 6) 用 REAY 控制实际光线,使像高达到 2.95 mm 以上,给芯片组装留下公差余量。

然后开始用默认的评价函数来优化初始系统。优化后,观察结构是否趋于合理,如镜片中心厚度、边厚是否有重叠等现象,再打开赛德尔系数表,观察初级像差的分布情况,通过像差的大小和分布,对系统进行初级像差的校正。

### 4.2.2 初级像差的校正

- 1) 用 SPHA 和 LONA 同时控制球差;
- 2) 用 TRAY 定义各个视场的上下两条光线,用 SUMM 来控制其慧差的大小;
- 3) 用 DIMX 控制各个视场的畸变;
- 4) 用 TRAY、DIFF、RAGC、ACOS、TANG 操作符来控制轴外宽光束的子午场曲;
- 5) 用 TRAY、DIFF、RAGC、ACOS、TANG、CONS、PROD 控制轴外宽光束弧矢场曲。

然后进行系统的优化,并再次观察结构变化和赛德尔系数的变化<sup>[5]</sup>。

### 4.2.3 高级相差的校正与像差平衡

- 1) 用 TRAY、DIFF、RAGC、ACOS、TANG、DIFF、DIVI 操作符控制高级轴向彗差;
- 2) 同样利用以上的操作符组合来控制子午和弧矢场曲;
- 3) 用 MTF A、MTF T、MTF S 控制弧矢方向和子午方向传递函数值大于目标值;
- 4) 通过修改各操作数的权重,对像差进行平衡,来满足相应的设计指标<sup>[6]</sup>。

## 5 设计结果

设计结果为:焦距  $f=3.59$  mm,光学总长  $L=5$  mm,法兰后焦距  $f_B=0.2$  mm,视场角为  $77^\circ$ ,光圈  $F$  数为 2.2,像高为 2.96 mm,很好地匹配了 CMOS 的尺寸,第 1、3、4、5 枚镜片采用 E48R 材料,第 2 枚镜片采用 OKP4 材料。

MTF 是综合评测镜头成像特性和像质的标准,对于手机镜头,0.7 视场是比较重要的区域,要尽量确保 0.7 以内的视场 MTF 值;此镜头的要求比较高,对 0.8 视场也做了相应的要求。经过优化,中心视场 MTF 在 223 lp/mm 时大于 55%,446 lp/mm 时大于 22%;在 0.8 视场,MTF 值在 223 lp/mm 时弧矢方向大于 52%,子午方向大于 40%,在 446 lp/mm 时弧矢方向大于 15%,子午方向大于 2%,存在一定的像散,但由于所占比例很小,并且低频和中频 MTF 曲线保证得比较好,所以并不影响画面的整体效果。在其他视场范围内,MTF 值均满足设计要求,并为后续生产组装留出了合理的余量<sup>[7-8]</sup>。设计结果及相应的 MTF 曲线如图 3、图 4 所示。

如图 5 所示,给系统加 0.1 渐晕以除去 0.9 和 1 视场,点列图大小接近艾里斑半径;图 6 所示光学畸变小于 2%,TV 畸变小于 1.15%,符合给定的公差。

如图 7 所示,最外层视场的相对照度大于 36%,满足设计要求。

## 6 结 论

本文利用 Zemax 光学设计软件,针对市场上比较高端的手机镜头的发展趋势,设计了一款 1300 万像素

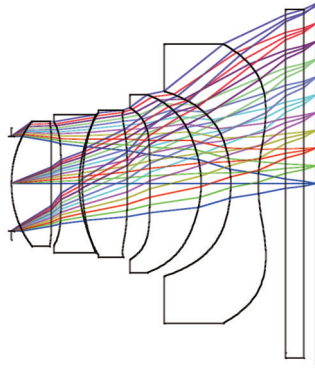


图3 优化后的结构图

Fig.3 Optimized structure

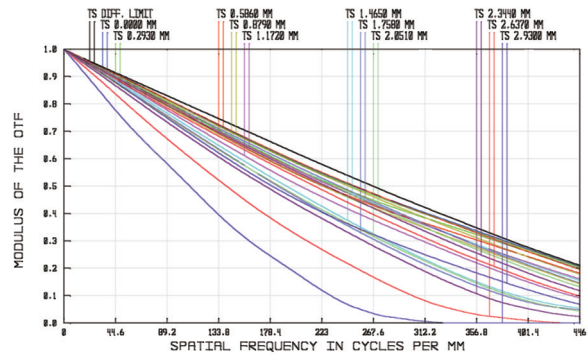


图4 优化结构的MTF曲线图

Fig.4 MTF curves of optimized structure at different FOVs

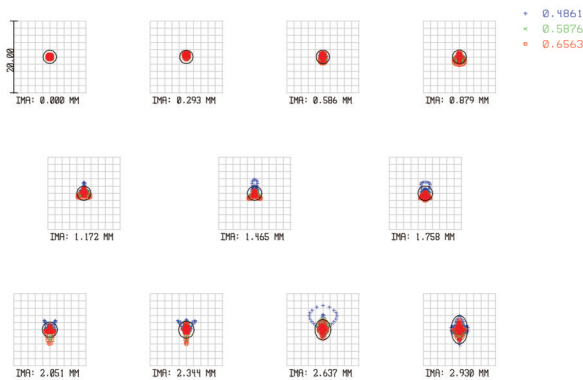


图5 点列图

Fig.5 Spot diagram

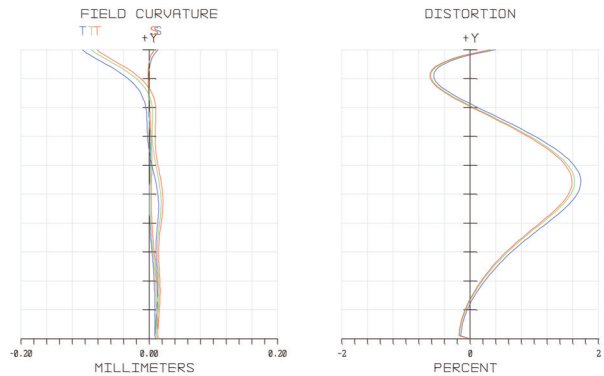


图6 场曲和畸变

Fig.6 Curvature of field and distortion

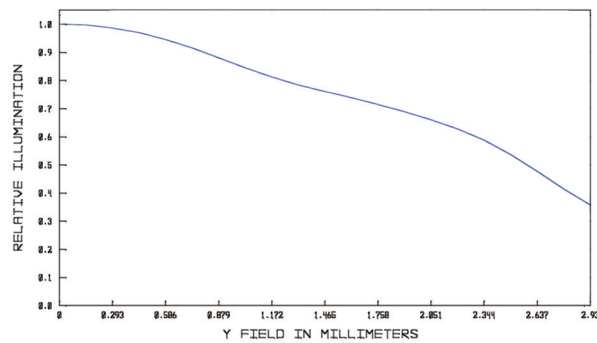


图7 相对照度

Fig.7 Relative illumination

的手机镜头。设计中发现,通过调整优化结构的权重,增减优化操作数,可以引导和建立一个更为优良的优化目标结构,从而指导计算过程朝这个目标结构进行。通过良性的循环优化,将得到一个与现实意义比较接近的实际系统,为高像素数手机的设计发展提供有效的参考。

### 参考文献

- 1 Geary J M. Introduction to Lens Design with Practical Zemax Example[M]. Richmond: Willmann-bell, Inc., 2002. 21-29.
- 2 Zhang Ping, Wang Cheng, Song Dongfan, *et al.*. Design of for 5 mega-pixel mobile phone cameras [J]. J Applied Optics, 2009, 30(6): 934-938.  
张萍,王诚,宋东璠,等. 500万像素手机镜头设计[J].应用光学, 2009, 30(6): 934-938.
- 3 Li Wenjing. Optical design of 5-mega pixel mobilephone lens [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2009, 46 (1): 56-59.  
李文静. 500万像素手机镜头的光学设计[J].激光与光电子学进展,2009,46 (1): 56-59.

- 4 Zhang Yimo. Applied Optics [M]. Beijing: China Machine Press, 1982. 470-489.  
张以谟.应用光学[M].北京:机械工业出版社,1982. 470-489.
- 5 Liu Maochao, Zhang Lei, Liu Peipei, *et al.*. Design of lens for 3mega-p ixelmobile phone camera [J]. J 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.
- 6 Xiao Zexin. Engineering Optical Design [M]. Beijing: Publishing House of Elect ronics Industry, 2002: 102-124.  
萧泽新. 工程光学设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002. 102-124.
- 7 Gou Zhiyong, Wang Jiang, Wang Chu, *et al.*. The summary of aspheric optical design techno logy [J]. Laser Journal, 2006, 27(3): 1-2.  
勾志勇,王 江,王 楚,等. 非球面光学设计技术综述[J]. 激光杂志, 2006, 27 (3): 1-2.
- 8 Yuan Xucang. Modern Methods of Optical Design [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1995. 47-108.  
袁旭沧. 现代光学设计方法[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995. 47-108.