

800万像素手机广角镜头设计

李航^{1,2}, 颜昌翔^{1*}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了满足市场对高像素手机广角镜头的需求, 设计出一款800万像素大相对孔径的手机广角镜头。该手机镜头由4片塑料非球面透镜和1片红外滤光片组成, 镜头的光圈值F为2.45, 视场角为80°, 采用Omnivision公司的OV8850型号800万像素CMOS图像传感器, 最大分辨率为3280 pixel × 2464 pixel, CMOS图像传感器的像素尺寸为1.1 μm, 奈奎斯特频率为454 lp/mm。设计结果显示, 镜头在1/2奈奎斯特频率处, 0.7视场内的MTF值均大于0.48, 全视场的MTF值大于0.38; 在奈奎斯特频率处, 0.7视场内的MTF值大于0.15; 最大畸变小于2%, 因此可获得优良的成像质量。

关键词: 手机镜头; 光学设计; ZEMAX; 800万像素; 广角

中图分类号: TP394.1; TH691.9 文献标识码: A doi:10.3788/CO.20140703.0456

Design of wide-angle lens for 8 mega-pixel mobile phone camera

LI Hang^{1,2}, YAN Chang-xiang^{1*}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)
* *Corresponding author, E-mail: yanxc@ciomp.ac.cn*

Abstract: In order to meet the requirement of mobile phone market on the wide-angle and high-pixel mobile phone lens, a wide-angle and 8 mega-pixel mobile phone lens is designed. The mobile phone lens are composed of 4 plastic aspheric lens and an IR filter, and the F-number is 2.45 and FOV is 80. The sensor OV8850 made by Omnivision with 8 mega pixels, maximum resolution of 3280 pixel × 2464 pixel, pixel size of 1.1 μm, and Nyquist sampling frequency of 454 lp/mm. The design result shows that the MTF value is larger than 0.48 at 1/2 Nyquist sampling frequency in the 0.7 fields of view (FOV), and the MTF of FOV is larger than 0.38. The MTF value in 0.7 FOV is larger than 0.15 at Nyquist sampling frequency and the distortion is less than 2%.

Key words: mobile phone lens; optics design; ZEMAX; 8 mega-pixel; wide-angle

1 引言

自2000年日本夏普公司推出全球首款照相手机以来,照相机受到市场的极大欢迎^[1]。2003年索尼公司生产的索尼爱立信T618是国内市场最早出现的照相手机,像素为10万^[2]。从最初的10万像素发展到现今的300万、500万、800万,甚至达到千万像素,照相手机以其携带方便、实时分享、高像素的优势逐步取代了低端数码相机。在CMOS图像传感器发展成熟以前,要把500万、800万像素手机镜头集成在手机上是十分困难的,其长度基本都在1cm以上。随着CMOS加工技术的发展,像元尺寸由原来的5 μm 逐步达到了1.1 μm ,使得高像素手机镜头的长度远比以前小的多。目前市场上500万、800万像素手机占有率极大,但大部分800万像素手机镜头的视场角为62°~68°,无法满足市场对手机广角镜头的需求。鉴于此,本文在合理选择初始结构基础上,对初始结构进行一定程度的修改,优化得到一款800万像素手机广角镜头,全视场角达到80°,满足了市场对手机广角镜头的需求。

2 设计要点

2.1 感光器件的选取

为了使数码相机、照相机获得高质量的成像效果,需要有高质量的感光器件与高质量的光学镜头相匹配。目前市场上照相机最常用的两种图像传感器是电荷耦合器件(CCD)和互补金属氧化物半导体(CMOS)^[3]。虽然CCD图像传感器在分辨率、灵敏度等方面优于CMOS图像传感器^[4],但是由于其制造成本高等因素限制了CCD所占的市场份额。相比于CCD,CMOS图像传感器具有体积小、功耗低、集成度高、价格低、读出速率高等优点。目前,市场上的手机镜头主要使用CMOS作为图像传感器。

本文采用Omnivision公司生产的型号为OV8850^[5]的800万像素CMOS图像传感器作为手机镜头的配套传感器,其像面大小为3 625.6 μm ×2 750 μm ,有效像素尺寸为3 280×

2 464,对角线长度为4.55 mm,最小像素尺寸为

1.1 μm ,传感器奈奎斯特频率为454 lp/mm。

2.2 镜头设计指标

依据与镜头相匹配的CMOS图像传感器的参数,确定手机镜头的各项设计指标,如表1所示。

表1 镜头的设计指标

Tab.1 Design indexes of lens

参数名称	指标
波段/nm	486.1~656.3(可见光)
全视场角/(°)	80
有效焦距/mm	2.28
相对孔径	1/2.45
主光线出射角/(°)	<30
畸变	<3%
后焦距/mm	>0.5
总长/mm	<7

3 设计过程

3.1 初始结构的选取

想要得到一个良好的镜头离不开初始结构合理的选取,初始结构选取是否合理直接影响到设计能否顺利进行。有两种初始结构的选取方法可供光学设计人员选择,一种是通过设计人员的经验使用近轴光学原理设计一个初始结构,然后逐步调整结构参数以得到需要的结果。但是仅仅靠光学设计人员创建初始结构是十分困难的,需要设计人员拥有数年的工作经验和丰富的理论储备。另一种方法是在相关文献和专利中选取合适的初始结构进行光学设计,然后优化。本设计的初始结构采用一个美国专利作为设计起始点。初始结构的选取原则是光圈值与视场和设计指标要求相同,焦距可以通过缩放镜头大小来实现^[6]。

传统800万像素的手机镜头通常使用的结构形式为1G3P、2G2P和4P(G为玻璃透镜;P为塑料透镜),其基本的组合方式为正负正负和正负正正^[7]。出于生产成本的考虑,本文所设计的手机镜头采用塑料透镜和非球面相结合的结构形式。使用非球面可以有效控制手机镜头的各种像

差,降低光学元件数量,提高系统的相对孔径和视场角。本设计不同于传统 800 万像素手机镜头,因要达到 80° 的广角镜头要求,所以采用负负正负的组合方式,结构形式采用 4P 结构。第 1、2、3 片透镜采用型号为 APL5014DP 的塑料材质,第 4 片透镜采用 OKP-4HT 的塑料材质,第 5 片透镜为 K9 的滤光片,主要滤掉 700 ~ 1 000 nm 的近红外光。APL5014DP 的折射率和阿贝数分别是 1.543 和 56.0,它是日本三井公司开发出的一种环烯烃共聚材料,其具有优异的气密性和光学性质,雾度为 4%,透光率为 91%。OKP-4HT 的折射率和阿贝数分别是 1.632 和 23.4,其为环状烯烃结构的非晶型透明塑料材质,具有密度小、吸水性低等特点^[7]。K9 玻璃的折射率和阿贝数分别为 1.516 和 64.1。

3.2 优化过程

以一款美国专利为雏形^[9],采用人工和 ZEMAX 光学设计软件结合的优化设计方法,对初始结构进行了改造和优化^[10]。为了满足实际光学加工的要求,优化过程中材料厚度不能设置过小,设定中心和边缘厚度都大于 0.3 mm。

(1)把所有透镜的半径、大的空气间隔、正透镜的厚度、非球面系数和二次曲面系数设置为可变量进行优化,因非球面系数和半径是透镜参数中最具影响力的,所以在设计初始阶段就应进行变化,为了控制正透镜的边缘厚度,首先变化正透镜的厚度;之后添加负透镜厚度和剩余空气间隔为可变量进行优化;最后添加玻璃参数为可变量进行优化,确定所采用的玻璃之后,重新优化所有的参数。

(2)使用默认评价函数,首先选择 PTV + Spot Radius + Chief Ray 的评价方法,因结构中使用了非球面,所以将 Rings 和 Arms 都设置为 6。

(3)在优化过程中,用操作数 TOTR 限制镜头的总长度,使总长小于 7 mm;用操作数 EFL 和 EFLY 分别控制镜头有效焦距和指定面范围内的有效焦距;用操作数 RAED 控制主光线的出射角小于 30°,从而使镜头和 CMOS 图像传感器更好的耦合;用操作数 DIMX 分别控制各视场的畸变,使畸变小于 3%;用操作数 MTF5、MTFT 控制系统的调制传递函数,进一步提高系统像质。

4 结果分析

优化后的镜头结构如图 1 所示。全视场角为 80°,总长为 6.8 mm,有效焦距为 2.28 mm,光圈值为 2.45,后焦距为 0.9 mm,主光线出射角为 24.5°,满足与 CMOS 图像传感器耦合的要求。各个透镜的中心和边缘厚度都大于 0.3 mm,满足实际的光学加工水平。

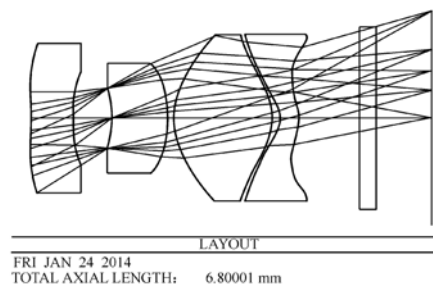


图 1 优化后的结构

Fig. 1 System structure after optimization

手机镜头所允许的弥散斑大小为 $\Delta d = (1.5 \sim 1.2)/NL$, Δd 为弥散斑半径, NL 为手机物镜分辨率^[11]。手机镜头要求 NL 大于 CMOS 图像传感器的分辨率 NR , 本设计中令 $NL = NR = 454 \text{ lp/mm}$, 代入上式得 $\Delta d = 3.3 \sim 2.6 \mu\text{m}$, 即像面上最大弥散斑半径 $\leq 3.3 \mu\text{m}$ 。系统点列图如图 2 所示,可以发现所有视场的弥散斑大小均在艾里斑附近,满足弥散斑半径 $\leq 3.3 \mu\text{m}$ 的要求。

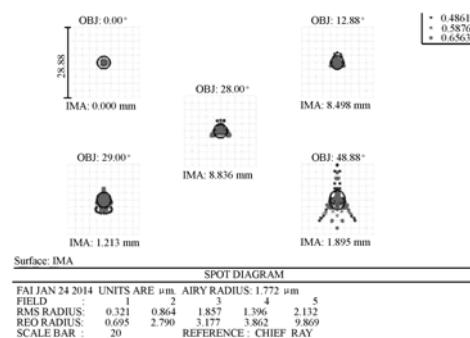


图 2 点列图

Fig. 2 Spot diagram

场曲是表征像平面整体弯曲程度的一种像

差,而畸变的形成仅由主光线光路决定,对成像的清晰度没有影响,只是引起像面的变形^[11]。对于手机镜头而言,一般要求场曲小于0.1,要求畸变小于3%,即感觉不到变形^[6]。本手机镜头结构的场曲和畸变如图3所示。由图3可知,手机镜头的场曲控制在0.05以内,系统的最大畸变为-1.5%,满足手机镜头的使用要求。

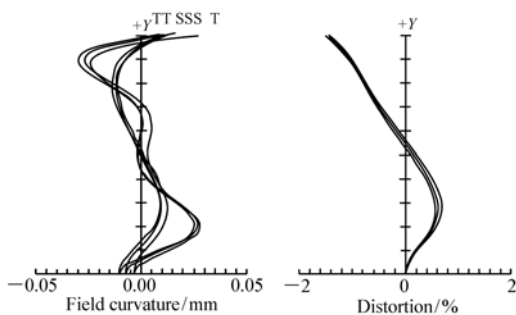


图3 场曲、畸变曲线

Fig. 3 Curves of field curvature and distortion

对于手机镜头来说,相对照度是评价它的一项重要指标。相对照度是像面边缘照度与中心照度的比值,随着视场角的增大,导致主光线出射角增大,使得相对照度会有一定程度的下降,一般手机镜头要求相对照度大于50%即可^[6]。对于本手机镜头,其0.7视场以内的相对照度大于0.7,但因为不同于一般手机镜头,其全视场角达到了80°,所以导致边缘视场的相对照度为0.48,虽没有达到0.5,但也可以满足拍摄需求,如图4所示。

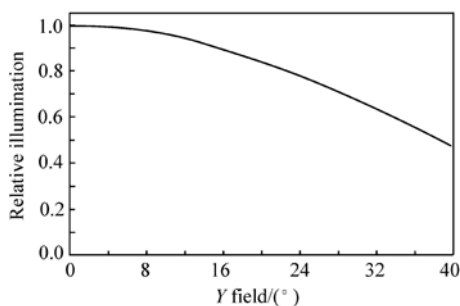


图4 相对照度曲线

Fig. 4 Curve of relative illumination

在现代光学领域中,MTF是能够全面评价一个光学系统成像质量的综合评价标准,MTF反映

了光学系统对物体不同频率成分的传递能力^[12]。对于手机镜头而言,0.7视场以内是镜头主要的成像区域,镜头像质在边缘视场允许有一定程度的下降。由图5可以得出,在奈奎斯特频率454 lp/mm处,除了边缘视场子午方向的MTF值有所下降,其他视场的MTF值均大于0.15,在1/2奈奎斯特频率227 lp/mm处,边缘视场的MTF值为0.38,0.7视场内的MTF值均大于0.48,表明该手机镜头具有较高的成像质量。

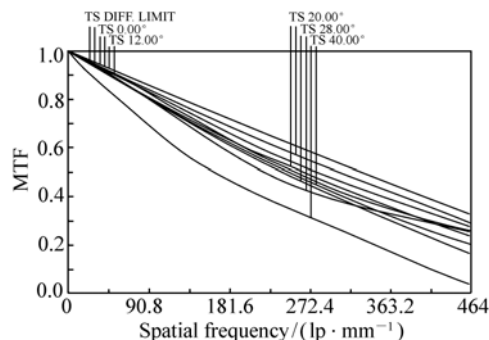


图5 MTF曲线图

Fig. 5 MTF curves

5 公差分析

一个光学系统设计完成后,除了要有优良的成像质量外,也要具有满足现有加工水平的公差。如果系统公差过紧则导致最终的加工装调成本提高,甚至导致加工装调失败。现代塑料非球面透镜的加工工艺已经十分成熟,一般是利用车床对经过锻造的模具材料进行切削、车削,从而得到需求的模具,之后使用注射成型技术即可大量生产塑料非球面透镜^[13]。使用光学设计软件对所设计的手机镜头进行了公差分析,以系统的MTF值作为公差敏感度,得到镜头各表面的曲率半径公差为0.01 mm,各表面的厚度公差为0.01 mm,满足现有的实际加工水平。

6 结论

本文以一款美国专利作为起始点,利用人工和ZEMAX光学工程软件结合的方法对其进行改

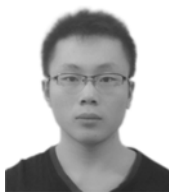
造、优化,最后设计出一款成像质量良好的800万像素手机广角镜头。手机镜头采用4P结构形式并与非球面相结合,使得整个系统重量轻、成本低、加工方便。该镜头光圈值为2.45,最大畸变小于2%,像面主光线出射角小于 24.5° ,可以很

好的和所用CMOS耦合,全视场角达到 80° ,高于市场内现有手机镜头的视场角,满足了市场对手机广角镜头的需求。综上所述,该手机镜头满足实际生产要求与市场需求,同时具有较好的成像质量。

参考文献:

- [1] 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.
LIU M CH,ZHANG L,LIU P P,*et al.*. Design of lens for 3 mega-pixel mobile phone camera[J]. *J. Appl. Optics*,2008,29(6):944-948. (in Chinese)
- [2] 黄城,温同强,丁桂林,等.2.5倍光学变焦内置式手机摄像镜头的设计[J].激光与光电子学进展,2009,46(5):49-54.
HUANG CH,WEN T Q,DING G L,*et al.*. Design of 2.5 \times zoom camera lens within cell phone[J]. *Laser Optoelectronics Progress*,2009,46(5):49-54. (in Chinese)
- [3] 李豫东,汪波,郭旗,等.CCD与CMOS图像传感器辐射效应测试系统[J].光学精密工程,2013,21(11):2778-2784.
LI Y D,WANG B,GUO Q,*et al.*. Testing system for radiation effects of CCD and CMOS image sensors[J]. *Opt. Precision Eng.*,2013,21(11):2778-2784. (in Chinese)
- [4] 宋敏,邹新凯,郑亚茹.CCD与CMOS图像传感器探测性能比较[J].半导体光电,2005,26(1):8.
SONG M,GUI X K,ZHANG Y R. Comparison of detection performance in CCD and CMOS image sensor[J]. *Semiconductor Optoelectronics*,2005,26(1):8. (in Chinese)
- [5] OV8850 8MP product brief[EB/OL]. [2012-3-11]. <http://www.ovt.com>.
- [6] 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.
LI W J. Optical design of 5-mega pixel mobile phone lens[J]. *Laser Optoelectronics Progress*,2009,46(1):56-59. (in Chinese)
- [7] 惠彬,刘雁杰,李景镇,等.800万像素折衍混合式手机镜头设计[J].红外技术,2013,35(4):223-226.
HUI B,LIU Y J,LI J ZH,*et al.*. Optical design of 8 mega-pixel hybrid diffractive-refractive mobile phone lens[J]. *Infrared Technology*,2013,35(4):223-226. (in Chinese)
- [8] 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.
YANG Z,YANG H M,DING G L. An ultra-thin eight-mega-pixel mobile phone lens[J]. *J. Appl. Optics*,2013,34(3):413-419. (in Chinese)
- [9] TANG H C,CHOU M T. Optical lens system for taking image:US,8441745B2[P]. 2013-5-14.
- [10] 李维善,陈琛,于国辉,等.单机数字立体双通道放映镜头的光学设计[J].中国光学,2013,6(4):563-569.
LI W S,CHEN CH,YU G H,*et al.*. Optical design of single digital stereo dual-channel projection lens[J]. *Chinese Optics*,2013,6(4):563-569. (in Chinese)
- [11] 郁道银,谈恒英.工程光学[M].北京:机械工业出版社,2006.
YU D Y,TAN H Y. *Engineering Optics*[M]. Beijing:Mechanical Industry Press,2006. (in Chinese)
- [12] 李晓彤,岑兆丰.几何光学像差光学设计[M].浙江:浙江大学出版社,2007.
LI X T,CEN ZH F. *Geometrical Optics Aberrations and Optical Design*[M]. Zhejiang:Zhejiang University Press,2007. (in Chinese)
- [13] 卢海平,刘伟奇,康玉思,等.超大视场头盔显示光学系统设计[J].光学精密工程,2012,20(5):979-987.
LU H P,LIU W Q,KANG Y S,*et al.*. Design of compact optical system in wide-angle head mounted display[J]. *Opt. Precision Eng.*,2012,20(5):979-987. (in Chinese)

作者简介:



李航(1990—),男,吉林长春人,硕士研究生,2012年于哈尔滨工业大学获得学士学位,主要从事光学系统设计方面的研究。E-mail:lihang19900210@126.com



颜昌翔(1973—),男,湖北洪湖人,研究员,2001年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事空间光学遥感技术方面的工作。E-mail:yancx@ciomp.ac.cn

向您推荐《液晶与显示》期刊

- 中文核心期刊
- 中国液晶学科和显示技术领域的综合性专业学术期刊
- 中国物理学会液晶分会会刊、中国光学光电子行业协会液晶分会会刊
- 英国《科学文摘》(INSPEC)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊

《液晶与显示》材料物理和化学、器件制备技术及器件物理、器件驱动与控制、成像技术与图像处理等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新技术,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态,是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果,进行国际交流的平台。其内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,是我国专业学术期刊发行量最大的刊物之一。

《液晶与显示》征集有关液晶和各类显示材料及制备方法、材料物理和化学;液晶光学与光子学、生物液晶;液晶显示、有机电致发光显示、等离子体显示、发光二极管显示、电致发光显示、场发射显示、3D显示、微显示、真空荧光显示、电致变色显示及其他新型显示等各类显示器件物理和制作技术;各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用;显示材料和器件的测试方法与技术;各类显示器件的应用;与显示相关的成像技术与图像处理等研究论文。

《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿和订阅。

地址:长春市东南湖大路3888号

《液晶与显示》编辑部

邮编:130033

电话:(0431)6176059

E-mail:yjyxs@126.com

国内统一刊号:CN 22-1259/04

国际标准刊号:ISSN 1007-2780

国内邮发代号:12-203

国内定价:40元/期

网址:www.yjyxs.com