文章编号:1002-2082(2011)01-0027-04

结构简洁的光学变焦距手机镜头设计

张韧剑[1]，冯亚萍[2]，江 曼[1]，任兆玉[1]
(1. 西北大学 光子学与光子技术研究所，陕西 西安 710069；
2. 宁波大学 理学院，浙江 宁波 315211)

摘 要：通过利用ZEMAX光学工程设计软件设计了一款适用于手机的2倍内置式光学变焦距镜头。镜头仅由4片非球面的塑料透镜和1片BK7的红外滤光片构成，能够达到285 lp/mm的空间频率，可匹配1.75 μm的COMS图像传感器，全视场RMS半径均小于艾利斑半径，全视场最大畸变小于3%，MTF值在1/2奈奎斯特频率处的大部分视场大于0.5，总长度小于9.2 mm。整个变焦距系统结构紧凑，分辨率高，成本低，可满足手机镜头光学变焦的要求。

关键词：光学变焦；ZEMAX；非球面透镜；MTF；手机镜头
中图分类号：TN942.21 **文献标志码**：A

Compact optical zoom lens system for mobile phones

ZHANG Ren-jian[1], FENG Ya-ping[2], JIANG Man[1], REN Zhao-yu[1]
(1. Institute of Photonics & Photo Technology, Northwest University, Xi'an 710069, China;
2. Ningbo University's Faculty of Science, Ningbo 315211, China)

Abstract: A compact 2^Xoptical zoom lens system for mobile phones was designed with ZEMAX. The system consists of 4 plastic aspheric lenses and an IR filter. The limiting resolution is 285 lp/mm, which matches the CMOS image sensor of 1.75 μm pixel size. In the whole field of view (FOV), the RMS raidus is less than airy disk and the maximum distortion is less than 3%, the MTF at the half Nyquist frequency (285 pl/mm) of CMOS in most part of the FOV were greater than 0.5, and the length of the optical zoom lens system is less than 9.2 mm. It is compact in structure, high in resolution and low in cost, which meets the zoom lens system requirements of mobile phones.

Key words: optical zoom; ZEMAX; aspherical lens; MTF; phone camera

引言

近年来，随着科学技术的不断发展，手机摄像镜头已经从最早的10万像素发展到了现在的1200万像素，在未来必定会向更高的像素发展。但目前高像素的拍照手机大多都是定焦距的，缺少了光学变焦，人们希望手机镜头也可以达到同照相机镜头相当的使用效果，光学变焦手机镜头便成为目前拍照手机的一个新亮点，也将成为拍照手机今后发展的一个必然趋势[1-2]。本文利用ZEMAX光学工程设计软件设计了一款结构简洁、高分辨率的内置式2倍光学变焦手机镜头。

1 设计过程

1.1 系统结构的选取

现在市场上可拍照手机的变焦功能一般指的都是数码变焦，大多都不具备光学变焦的功能。所

收稿日期：2010-04-29； **修回日期**：2010-07-01
基金项目：西北大学研究生科研实验资助项目(09YSY16)
作者简介：张韧剑(1985－)，男，陕西宝鸡人，硕士研究生，主要从事光学设计和固体激光器件方面的研究。
E-mail：zrj_121@163.com

谓光学变焦就是通过镜头中镜片的移动来实现系统总的有效焦距的变化;数码变焦是通过相机内的处理器,把图片内的每个像素面积增大,直到若干倍后人眼还能看清像面,这种手法如同用图像处理软件把图片的面积改大,程序还在相机内进行,把原来CCD 或者CMOS 图像传感器上的一部份像素使用"插值"处理手段将像面放大到整个画面,其成像质量远远不如光学变焦[3]。

目前市面上一些能够实现光学变焦的手机其价格都比较昂贵,变焦镜头使用的镜片数也比较多,其复杂的结构使手机的成本也大大增加,往往一个镜片位置的松动便引起整个系统变焦效果的下降[4]。为了既可以实现光学变焦,又能够增强稳定性和降低生产成本,这里在研究和尝试了大量的变焦距透镜系统后,最终采用了一组全动型变焦距系统结构,整个系统仅由 4 片非球面的透镜和 1 片材质为BK7 的滤光片构成。

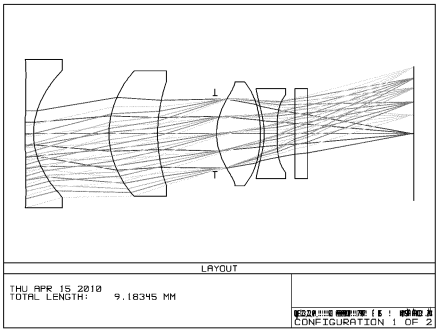
这里采用非球面透镜是由于球面透镜只用一个参数决定面形,它校正像差的局限性很大,并使结构复杂化。与球面相比,非球面的面形系数由多个自由变量决定,具有高级像差小,产生负球差的特点,可以平衡球面生成的初级像差和高级像差,所以采用非球面透镜可以很好地校正轴外点的像差[5],进一步考虑到生产成本和便于加工的问题,这里非球面透镜材质均选取为塑料镜片。第1 个和第 3 个镜片选用材质为 APL5014DP 的塑料镜片,其折射率和阿贝数分别为:1.54 和56.05;第2 个镜片选用材质为SK16 的塑料镜片,折射率和阿贝数为:1.62 和 60.32;第 4 个镜片选用材质为 POLYCARB 的塑料镜片,折射率和阿贝数为:1.58和29.9。

1.2　镜头结构的优化

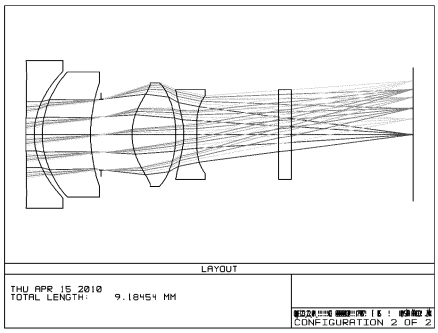
整个变焦距系统采用负-正-正-负型的透镜结构:第 1 片镜片采用负透镜,可以增大光线的入射角,且位置固定,使系统的总长度小于9.2 mm;第2 片镜片和光栏可以移动,是系统的变倍组,主要起到改变系统焦距的作用;第 3 片和第 4 片镜片是补偿组,用于平衡系统的像差,主要是色差,特别要注意系统的垂轴色差,使之小于一个像素的大小1.75 μm,这样才能够让颜色很好地匹配 1.75 μm 的 COMS 图像传感器;最后是一片红外滤光片,以减少红外光对COMS 图像传感器的噪声影响[6]。

利用ZEMAX 光学工程设计软件对初始结构进行模拟,并进行反复的优化和调试,最终得到了一款结构简洁、分辨率高,可以实现 2 倍光学变焦的内置式手机镜头。

该镜头的镜片参数以及结构参数如图 1 和图 2 所示。图1(a)和图1(b)为系统在广角端和摄远端的二维平面图,图2(a)和图2(b)为各个镜片的曲率半径、镜片厚度以及在广角端和摄远端时镜片之间的间距。



(a) 广角端



(b) 摄远端

图 1　系统二维平面图

Fig. 1　The layout of the optical system

半径/mm		厚度/mm		透镜材料	
Infinity		Infinity			
22.750951	V	0.194555	V	APL5014DP	S
1.697295	V	1.785770	V		
1.945495	V	1.146546	V	SK16	S
3.129468	V	1.357323			
Infinity		0.037661	V		
1.356949	V	1.039771	V	APL5014DP	S
-2.563527	V	0.089776	V		
-1.460778	V	0.304430	V	POLYCARB	S
-2400.950302	V	0.417020	V		
Infinity		0.300000		BK7	
Infinity		2.510596	V		

(a) 广角端

半径/mm		厚度/mm		透镜材料	
Infinity		Infinity			
22.750951		0.194555		APL5014DP	S
1.697295		0.190520	V		
1.945495		1.146546		SK16	S
3.129468		0.253712	V		
Infinity		0.730775	V		
1.356949		1.039771		APL5014DP	S
-2.563527		0.191239	V		
-1.460778		0.304430		POLYCARB	S
-2400.950302		1.946465	V		
Infinity		0.300000		BK7	
Infinity		2.886522	V		

(b) 摄远端

图 2　镜片的曲率半径、厚度及镜片间距

Fig. 2　The curvature radius, thickness and spacing of lens

2　设计结果

2.1　镜头的技术指标

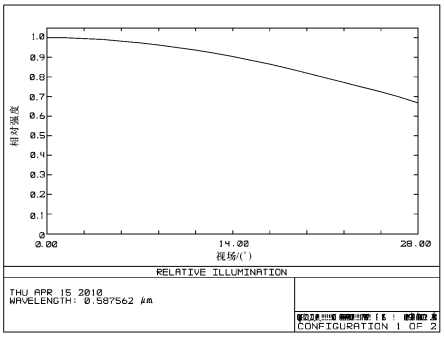
整个变焦距系统总长控制在9.2 mm内,能够实现2倍的光学变焦,最高分辨率可以达到285 lp/mm,可以匹配1.75 μm 500万像素的COMS图像传感器。在广角端F/#为2.8,可以实现56°的视场角,有效焦距为3 mm,后焦距为2.51 mm;在摄远端F/#为4.0,视场角为24°,有效焦距为6 mm,后焦距为2.88 mm。具体参数如下表所示。

	广角端	摄远端
F/#	2.8	4.0
视场角/(°)	56°	24°
有效焦距/mm	3	6
后焦距/mm	2.51	2.88
相对照度/%	大于67	大于89
场曲/mm	小于0.04	小于0.03
畸变/%	小于2.9	小于0.8

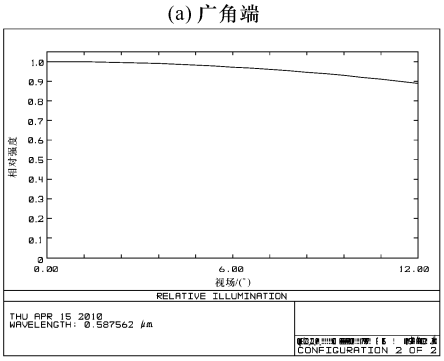
2.2　镜头的像差分析及像质评价

利用ZEMAX光学工程设计软件对变焦距系统的照度、畸变、场曲、RMS、MTF等重要像质评价参数进行分析。

从图3可以看出,系统全视场在广角端的相对照度大于67%,在摄远端的相对照度大于89%,手机摄像镜头的相对照度随视场角的增大而减小,边缘视场相对照度太低,就会造成手机夜间照相的质量大幅下降,一般大于60%就比较理想。



(a) 广角端

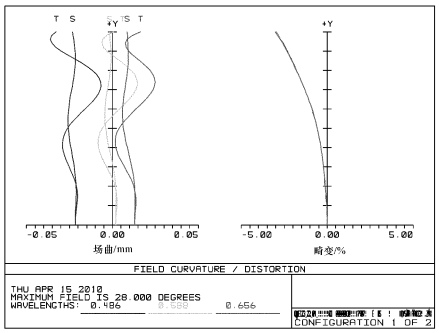


(b) 摄远端

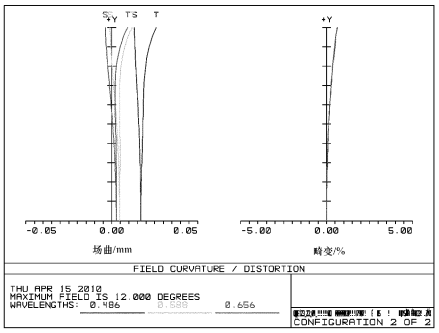
图3　相对照度

Fig. 3　The relative illuminance

图4是系统的场曲和畸变图,畸变不影响系统的清晰度,所以只要感觉不出来有明显的畸变就可以,一般手机摄像镜头的光学畸变要控制在4%内,本镜头在广角端的光学畸变小于3%,在摄远端的光学畸变小于0.8%。系统的子午场曲和弧失场曲在广角端和摄远端均小于0.05 mm,完全符合设计要求。



(a) 广角端



(b) 摄远端

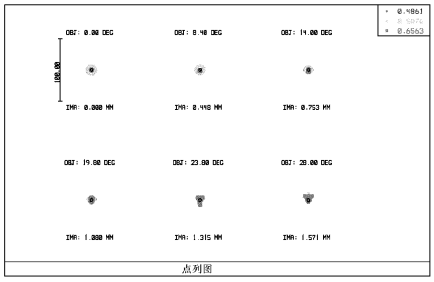
图4　场曲和畸变

Fig. 4　Field curvature and distortion

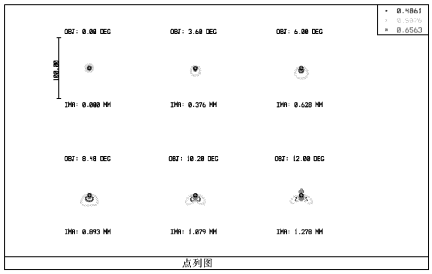
图5是系统的点列图,点列图直观反映了光线经过透镜系统后在成像面上的汇聚情况,点列图弥散斑越小越好。从图4中可以看出,系统全视场在广角端和摄远端的RMS(均方根半径)都小于艾利斑半径,说明系统的成像质量非常好。

图6为评价光学系统成像质量的又一个重要指标MTF图,MTF描述了物体调制度向图像调制度转化关于空间频率的函数[7],MTF是评价镜头性能的综合性指标。一般0.7视场内是成像的主要区域,决定了成像质量的好坏,0.7视场以外是图像的边缘部分,允许一定程度的下降,所以0.7视场内的MTF值一定要达到很好的要求。在广角端时,全视场在奈奎斯特频率285 lp/mm处均大于0.15,在1/2奈奎斯特频率143 lp/mm处的MTF值大于0.35,在1/3奈奎斯特频率95 lp/mm处

MTF 值大于0.5;0.7 视场内MTF 值在143 lp/mm 的空间频率处大于0.42,在95 lp/mm 处大于0.6,成像质量非常好。在摄远端时,0.7 视场内MTF 值在285 lp/mm 处大于0.1,143 pl/mm 处大于0.5,所以在摄远端除了边缘部分成像质量有所下降外,0.7 视场内成像质量还是相当好的。



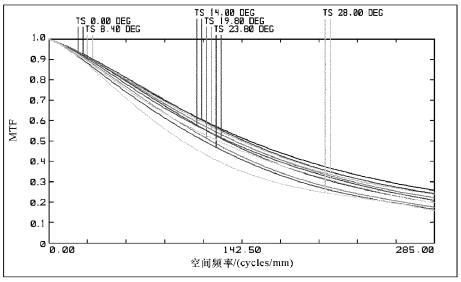
(a) 广角端



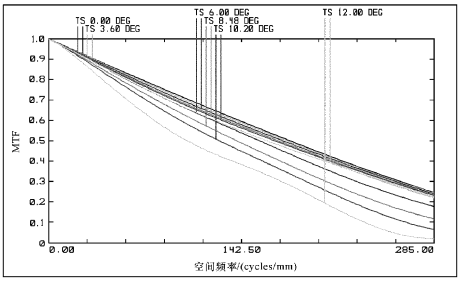
(b) 摄远端

图5　点列图

Fig. 5　Spot diagram



(a) 广角端



(b) 摄远端

图6　MTF 曲线图

Fig. 6　Curves of MTF for system

3　结论

本文利用ZEMAX 光学工程设计软件设计了一款能够用于手机的2 倍内置式光学变焦距镜头。变焦距系统仅由4 片非球面塑料镜片和1 片红外滤光片构成,该镜头分辨率能够达到285 lp/mm,可以匹配1.75 μm 的COMS 图像传感器,RMS 均方根半径都在艾利斑内,最大畸变小于3%,MTF 值在1/2 奈奎斯特频率处的大部分视场都大于0.5,总长度小于9.2 mm。整个光学变焦距系统结构简洁,分辨率高,成本低,适合在平价手机上安装使用,以满足人们对手机镜头进行光学变焦的需求。

参考文献:

[1] CHUNG Jae-Hoon, JUNG Sung-Hoon, LEE Man-Hyung. Implementation of a 3 times zoom lens barrel system for a 5M camera module using a mobile phone[M]. International Journal of Control, Automation, and Systems,2009,7(5):745-754.

[2] FANGA Y C, TSAIB H L, CHIEN Y H. 2^X optical digital zoom lens with short total length and extremely small front aperture for two million pixel CMOS on mobile phone [M]. Optical Society of America,2006,220(3630):WB6.

[3] 陶纯堪.变焦距光学系统设计[M].北京:国防工业出版社,1988.
TAO Chun-kan. Zoom lens design [M]. Beijing: National Defence Industry Press,1988. (in Chinese)

[4] 温同强,黄城,陆建华,等. 紧凑型变焦镜头的设计[J]. 科学技术与工程,2008,8(17):4979-4982.
WEN Tong-qiang, HUANG Cheng, LU Jian-hua, et al. New design of the compact digital zoom lens [J]. 2008,8(17):4979-4982. (in Chinese with an English abstract)

[5] 高明,段晶.高变倍比数码变焦镜头设计[J]. 应用光学,2009,30(1):1-5.
GAO Ming, DUAN Jing. Optical design of high-magnification digital zoom lens [J]. Journal of Applied Optics, 2009,30(6):1-5. (in Chinese with an English abstract)

[6] 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.
ZHANG Ping, WANG Cheng, SONG Dong-fan, et al. Design of lens for 5 mega-pixel mobile phone cameras[J]. Journal of Applied Optics, 2009,30(6): 934-938. (in Chinese with an English abstract)

[7] 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 Xiao-tong, CEN Zhao-feng. Geometrical optics · aberrations and optical design [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 2007. (in Chinese)