

文章编号:1002-2082(2008)05-0767-05

# 200万像素手机摄像镜头的设计

黄城, 温同强, 路建华, 陈婷婷, 丁桂林

(江苏大学机械工程学院, 江苏镇江 212013)

**摘要:** 为了适用手机这一特殊领域对微型化和简单化的摄像镜头的需要,在传统球面玻璃镜片基础上结合非球面透镜理论,运用CODE V 优化出一个用于可见波段且生产成本低廉的三镜片定焦摄像镜头系统。该镜头总长度小于5 mm,并且有着很好的成像效果。为了结构紧凑并且能最大限度地降低生产成本,在结构设计中采用球面的玻璃镜片和非球面的塑料镜片,镜头的适应像素尺寸是 $2.52\ \mu\text{m} \times 2.52\ \mu\text{m}$ ,相应的尼奎斯特频率是196条/mm,相关的调制传输函数值在尼奎斯特频率的1/2时达到40%,所成像面的球差控制在 $-0.05\ \text{mm} \sim 0.05\ \text{mm}$ 之内,最大畸变小于0.17%。该镜头可满足手机摄像镜头200万像素的要求。

**关键词:** 光学设计; 定焦系统; 聚烯烃塑料镜; 200万像素

中图分类号: TN942.2; TB851.1

文献标志码: A

## Design of two-mega-pixel mobile phone camera lens

HUANG Cheng, WEN Tong-qiang, LU Jian-hua, CHEN Ting-ting, DING Gui-lin

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** Based on the conventional spherical glass lens and the aspherical lens principle, a low cost and fixed-focus lens system is designed with the optical system design software CODE V to meet the requirement of the mobile communication on miniaturization and simplification camera lenses. The total length of the lens system is less than 5 mm and it has excellent imaging performance. An aspherical lens made of polyolefin-plastic is used to reduce the size and save production cost. The pixel size of the lens is  $2.52\ \mu\text{m} \times 2.52\ \mu\text{m}$ , the corresponding Nyquist frequency is 196 lines/mm, the relative resolution performance (modulation transfer function) of the design can reach 40% at half of Nyquist frequency, the spherical aberration of this lens is between  $-0.05\ \text{mm}$  and  $0.05\ \text{mm}$ , and the maximal distortion is less than 0.17%. The compact, low-cost, high-precision and miniature lens can meet the requirement of the two-mega pixels.

**Key words:** optic design; fixed-focus system; polyolefin-plastic lens; two-mega-pixel

## 引言

随着社会的进步,人们越来越期望随身携带的手机拥有更多的功能。在手机上安装摄像镜头能随时记录美好时刻,更是继音乐功能之后人们最希望手机拥有的功能之一。但是,由于手机本身的厚度有限,在本身不足2 cm的厚度上除了安装手机一

般必需的部件外还要安装镜头系统部分、图片信息储存部分、信息转换部分、信息收发部分等,足见对摄像部分的要求是微型化的。正因为这样,手机摄像的很多功能到目前为止不如数码相机。这里的结构是适合内置在手机里的摄像镜头结构。

对摄像镜头的设计从使用传统的球面玻璃镜

片到使用价格低廉的球面塑料镜片,再到使用非球面镜片,这些都是为了不同的需要而改变镜头结构。自1983年第一款便携移动电话出现以来,不断有人优化镜头结构系统以便适用于手机上,他们的成果很多,但就其申请的专利中发现每个人提出的结构都存在或多或少的未考虑到的问题。

摄像镜头用在手机上摄像镜头微型化的典范。要真正实现手机的摄像功能要考虑的问题很多,但是见到的专利中都没有提到像素问题,而本文在手机定焦镜头系统结构的设计中不仅仅要求成像效果要好,还应该满足人们对百万以上像素的要求。另外,根据找到的可适用于手机上的定焦摄像镜头的结构显示,最理想的手机定焦摄像镜头应该是三镜片加滤波片结构,这样的镜头结构无论是从价格方面,还是从抵抗环境影响方面更适用于一般大众化的手机。本文设计的结构中运用了非球面的聚烯烃塑料镜片<sup>[1]</sup>,其目的也是为了简化系统结构的同时降低成本。

## 1 镜头系统结构的主要技术指标

这个结构所满足的主要技术指标<sup>[2-3]</sup>见表1。

表1 镜头的主要技术指标

Table 1 Primary qualifications of structure	
项目名称	指 标
解析度	1 200×1 600 有效像素(200 万像素)
像素(像元)大小	2.52 μm×2.52 μm
像面大小	3.56 mm×3.56 mm(对角线5 mm)
有效焦距	3.214 mm
畸变	<0.2%
孔径比 F/#	1/2.8
MTF	49 lp/mm 处>0.75; 147 lp/mm 处>0.25
渐晕	角落相对照度>66%
波段范围	435.8 nm;546.1 nm;656.3 nm
主波长	546.1 nm

## 2 选择初始模型

从已设计的适用于手机上的镜头系统结构<sup>[4-6]</sup>可以总结出:所用镜片个数大于3的系统结构,虽然像差在很小的范围而且焦长及结构总长都符合要求,但成本比三镜片的高,结构相对比较繁;所用的镜片个数小于3的系统结构,当焦长及结构总长都符合要求时,各种像差不满足要求,而且所用镜片都是非球面玻璃镜片,成本价比本文设计的结构要高。若所用的镜片都是非球面塑料镜片时像面不

稳定,所以我们认为当今最合适批量生产并成像质量好的结构该是三镜片结构系统,既视场角在60°左右,整个镜头长度<5 mm,1个球面玻璃镜片,2个塑料非球面镜片的结构。因此这里就以Yong-Joo Jo的三镜片结构系统作为初始模型结构。

图1是Yong-Joo Jo等人为了提高透镜系统的效果而提出的结构<sup>[5]</sup>。这个透镜系统包括3个塑料非球面镜片,折射率都是1.53,非球面系数最高是12阶只出现在第三镜片上,其他镜片的最高阶非球面系数是10阶。光圈安装在第一、二镜之间,有红外滤波片,其折射率是1.51。

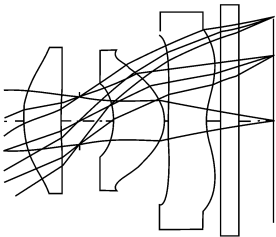


图1 二维结构图

Fig. 1 Planar structure

镜头的焦长是4.2 mm, F/n 为2.8,视场角是62°,镜片的最大厚度1.207 942 mm,最小厚度0.895 907 mm。成像质量如图2和图3所示。球面像差-0.1 mm~0.1 mm,畸变-2%~2%,像散-0.5 mm~0.5 mm。

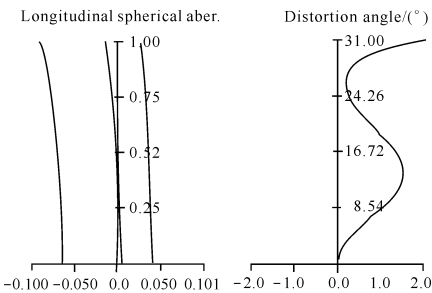


图2 球差和畸变曲线图

Fig. 2 Curves of spherical aberration and distortion

这个系统中镜片厚度都是比较理想的,视场角大,焦长短,镜头总长度5.4 mm,满足安装在手机上的要求,虽然都是塑料镜片但折射率都是1.53属于正常的折射率要求,但塑料镜片的折射率随环境的影响很大,而在本专利中没有考虑这一点。这个镜头没有说明其具体应用于多大像素的镜头结构问题。

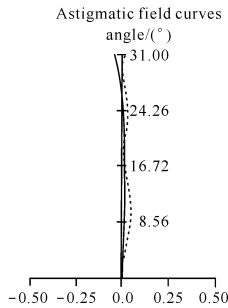


图3 像散

Fig. 3 Curves of astigmatism

因为初模都是三镜片结构,所以我们不需要再去删除多余的镜片。首先是改变三镜片的折射率,统一都改选折射率为1.531 8的镜片,改变滤波片的厚度为0.3 mm;其次,改变镜头系统的有效焦距、孔径比及镜头总长;最后是改变镜片的厚度、曲率半径及镜片间的空气间距。

### 3 最终镜头系统结构

虽然系统的镜片数比较少,但成像的质量并没有降低。由于使用了偶次非球面的缘故使各种像差的变化范围反而缩小了,也就是说成像质量得到了较大的改善<sup>[7-8]</sup>。最终得到的镜头系统结构中,第一镜片是玻璃镜片,第二、三镜片是塑料镜片,光栅安装在第一、二镜片之间,滤波片安装在第三镜片与像面之间。镜头有效焦距是3.214 mm,最大孔径比 $F/n$ 为2.8,视场角 $2\omega=58^\circ$ ,后焦距0.345 mm,镜头系统的总长度是4.25 mm,像面的大小为3.56 mm $\times$ 3.56 mm。玻璃镜片的轴向厚度最大是1.2 mm;第二个塑料镜片的轴向厚度最小是0.72 mm。

这个镜头中使用了非球面,非球面是指表面各点的半径都不相同的曲面,偶次非球面<sup>[9]</sup>满足等式

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + Er^{12} + \dots$$

式中: $c=1/R$ , $R$ 为非球面顶点的曲率半径; $k$ 为二次曲面常量; $A$ 为镜片表面的4阶非球面系数; $B$ 为镜片表面的6阶非球面系数; $C$ 为镜片表面的8阶非球面系数; $D$ 为镜片表面的10阶非球面系数; $E$ 为镜片表面的12阶非球面系数;省略号表示还有很多高级非球面系数没有一一列出。在这个镜头系统的镜片中,第5,6,8镜面最高非球面系数是10阶,第7镜面最高非球面系数是12阶。

该镜头系统的二维结构如图4所示。

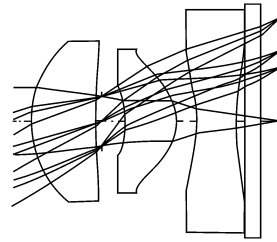


图4 二维结构图

Fig. 4 Planar structure

对一个镜头结构系统的分析不仅仅只注意在外形结构图上,系统的好坏还需要通过其内部成像质量及各项参数来衡量。图4~图7从不同方面展示了系统的性能。图5和图6中显示这个镜头系统所成像的质量为球差,范围 $-0.05\text{ mm} \sim 0.05\text{ mm}$ ,畸变范围 $-0.2\% \sim 0.2\%$ ,像散范围 $-0.05\text{ mm} \sim 0.05\text{ mm}$ 。实际上畸变最大值小于0.17%,满足前面的规格要求。图7为这个结构系统中在选定的4个视场处3个参考波长的切向像差曲线和径向像差曲线;图8为该结构系统中各视场能量集中度曲线;图9为不同像高的调制传输函数曲线。从图9可以看出各视场处的调制传输函数曲线

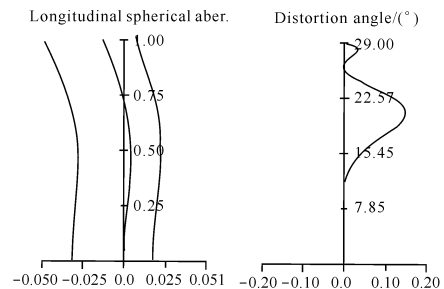


图5 球差和畸变的曲线图

Fig. 5 Curves of spherical aberration and distortion

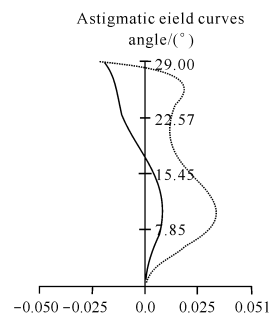


图6 像散

Fig. 6 Curves of astigmatism

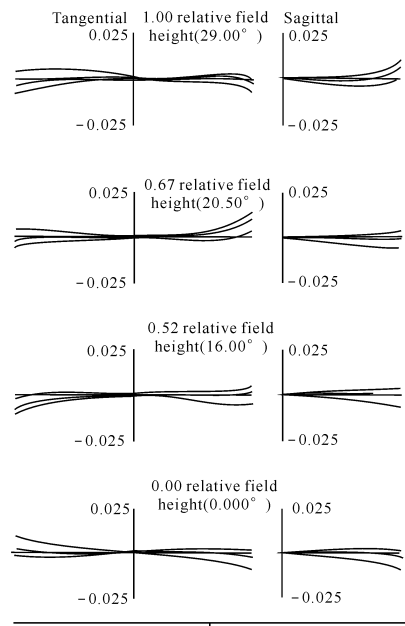


图 7 光线像差曲线图

Fig. 7 Curves of ray aberration

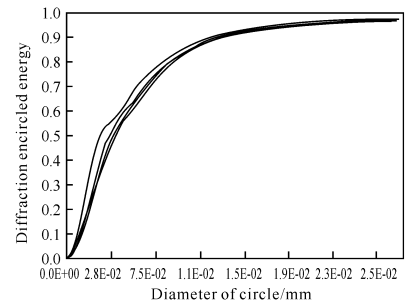


图 8 各视场能量集中度曲线

Fig. 8 Curves of encircled energy

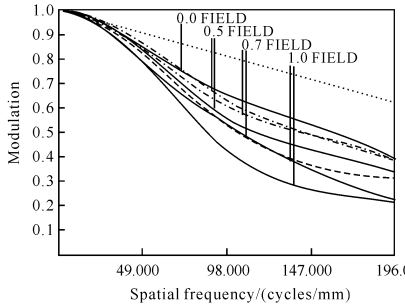


图 9 不同像高的MTF 曲线

Fig. 9 MTF curves at different image height

随尼奎斯特频率的增加迅速下降,视场越大,函数曲线下降越快。

该镜头中也用到了塑料镜片,当然要考虑到避免塑料镜片的最大缺陷,即折射特性随温度的变化。折射率为1.531 8的聚烯烃塑料镜片随温度变化(随温度变化系数的近似值为 $-11\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )的规律见表2。

表 2 折射率随温度的变化表

Table 2 Variation of refractive index with temperature	
温度/ $^{\circ}\text{C}$	折射率
正常温度(+20)	1.531 8
温度降低(-30)	1.528 5
温度升高(+30)	1.535 1

当温度在常温(20 $^{\circ}\text{C}$ )的基础上上升或下降30 $^{\circ}\text{C}$ 时其第二、三镜片受温度影响导致的像差相互抵消,这样后焦长的位置的变化很小,不影响整个结构。

#### 4 结论

本文在吸收别人宝贵经验的基础上用CODE V 模拟出了适合用在手机上的三镜片镜头结构。该镜头结构与初始结构<sup>[4]</sup>比较有如下优点:

1) 初始结构 $F/n$ 为2.8,焦距4.2 mm,视场角62°,镜头总长5.4 mm;本结构 $F/n$ 为2.8,焦距3.214 mm,视场角58°,镜头总长4.25 mm。与初始结构相比虽然视场角缩小了一点,但焦距变短了约1 mm,镜头总长度减少了1.15 mm,这更符合手机摄像头微型化的要求。

2) 初始结构三镜片都是塑料镜片,这样不利于像面的稳定;本结构中第一镜片是玻璃镜片,第二、三镜片是聚烯烃塑料镜片,聚烯烃塑料镜片的折射率随温度的变化见表2。将这个变化代入设计系统中可以看出这2个塑料镜片随温度变化相互影响,对像面的改变很小,基本可以忽略。

3) 初始结构三镜片都是非球面镜片,除第三镜片的两镜面最高非球面系数是12阶,其他镜面的最高非球面系数是10阶;本结构中第一镜片是传统的球面玻璃镜片,第二镜片的两镜面最高非球面系数是10阶,第三镜片最高非球面系数是12阶,像方镜面的最高非球面系数是10阶。这样在生产工艺上相对来说要简单一些。

4) 初始结构中光栅安装在第一、二镜片之间,

滤波片厚度 0.455 2 mm;在本结构中光栅也安装在第一、二镜片之间,滤波片厚度为 0.3 mm。光栅安装在第一镜片之后有利于扩大视场角,减小滤波片的厚度,也是为了减小镜头总长度,满足微型化的要求。

5) 初始结构中球面像差范围  $-0.1\text{ mm} \sim 0.1\text{ mm}$ ,像散  $-0.5\text{ mm} \sim 0.5\text{ mm}$ ,畸变  $-2\% \sim 2\%$ ;本结构中球差范围  $-0.05\text{ mm} \sim 0.05\text{ mm}$ ,像散范围  $-0.05\text{ mm} \sim 0.05\text{ mm}$ ,畸变范围  $-0.2\% \sim 0.2\%$ ,实际上,畸变最大值小于 0.17%。可见本结构在像差允许范围方面比初始结构小一些,成像质量得到提高。

6) 初始结构中只是提到这个镜头适用于 CCD 或 CMOS 型传感器,但没有说明满足多大像素的要求;本结构中说明适用于 CCD 或 CMOS 型传感器,并且满足 200 万像素的要求。

与前面的四镜片结构<sup>[1]</sup>相比,不仅非球面比它用的少,而且镜头总长比它小,成像质量比它好,还具备一些其没有的优点。与前面的两镜片结构<sup>[3]</sup>相比,虽然生产成本要高,焦长 0.764 mm,总长 0.42 mm,但成像质量相对来说比它好一点,抗温度影响的能力也增强了一些,并且考虑了一些它没有考虑的问题。

总体来说这个镜头系统不仅在成像质量上略优于初始结构的镜头系统,而且生产成本方面低于初始结构,还具备了一些初始结构没提及的特点。这个结构不仅紧凑、精度高,而且成本低、体积小,在带摄像头的手机还处在价格竞争的今天无疑是个比较理想的结构模型。众所周知,理论上设计出来的摄像镜头虽然考虑的问题也比较多,但到真正应用于实际生活中时还会出现很多我们没考虑到问题,解决这些问题只有各行业相互合作才能够完成。

参考文献:

- [1] EIGO S. Image pickup lens, image pickup apparatus and mobile terminal;US,0 238 894 A1[P]. 2006-10-26.
- [2] 杨皓明,王灵杰,冯秀恒. 一种新型复合摄像物镜的设计[J]. 光学·精密工程,2007,15(4):487-491.  
YANG Hao-ming, WANG Ling-jie, FENG Xiu-heng. Design of a new complex imaging object lens [J]. Optics and Precision Engineering, 2007,15(4): 487-491. (in Chinese)
- [3] 李东源,张晓光,闫秀生,等. CCD 摄像机大视场光学镜头的设计[J]. 应用光学,2006,27(2):105-107.  
LI Dong-yuan, ZHANG Xiao-guang, YAN Xiu-sheng, et al. Design of WFOV optical lens for CCD camera[J]. Journal of Applied Optics, 2006,27(2): 105-107. (in Chinese)
- [4] MASAE S, EIGO S. Image pickup lens, image pickup apparatus and mobile terminal provided with image pickup apparatus; US,7 215 492 [P]. 2007-03-08.
- [5] YONG J J. Lens system installed in mobile communication terminal;US,6 844 989[P]. 2005-07-18.
- [6] HIROMITSU Y. Imaging lens formed of aperture diaphragm and only two lens components; US, 6 842 295 B2[J]. 2005-01-11.
- [7] 金斯莱克. 透镜设计基础[M]. 北京:机械工业出版社,1978.  
RUDOLF K L. Lens design fundamentals [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1978. (in Chinese)
- [8] 王灵杰,张新,杨皓明,等. 超紧凑红外折反式光学系统设计[J]. 应用光学,2007,28(3):288-291.  
WANG Ling-jie, ZHANG Xin, YANG Hao-ming, et al. Design of a compact infrared catadioptric system[J]. Journal of Applied Optics, 2007,28(3): 288-291. (in Chinese)
- [9] FISHER R E. Optical system design [M]. New York:McGraw-Hill, 2001.