文章编号:1002-2082(2010)03-0365-05

一款超薄非球面手机镜头设计

黄航星,金伟民,鲁 丁
(浙江师范大学 信息光学研究所,浙江 金华 321004)

摘 要:为满足市场对超薄手机镜头的需求,运用光学设计软件ZEMAX,参考传统三片式结构,设计了一款新的超薄非球面塑料手机镜头,其中第一片镜片是正透镜,第二片镜片是负透镜,第三片镜片也是负透镜,且光阑位于第一片透镜和第二片透镜之间。这3片透镜的材质分别为APL5014DO、POLYSTYR、ARTON _D4531,折射率和阿贝系数分别为1.542 130,56.833 340,1.590 481和30.866 877,1.514 612,57.200 025。该镜头的光圈值F为2.4,视场为58°,镜头总长为2.19 mm。在295 lp/mm处MTF值都大于0.2,点列图能量集中,各视场都在airy限制内。

关键词:光学设计;手机镜头;非球面透镜;ZEMAX
中图分类号:TN942.2 **文献标志码**:A

Thin aspheric lens for mobile phone

HUANG Hang-xing, JIN Wei-min, LU Ding
(Institute of Information Optics, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: A thin aspheric lens group for mobile phone comprises three lens elements with refractive power, from the object side to the image side, a first lens element with positive refractive power, a second lens element with negative refractive power, and the third lens element with negative refractive power, and an aperture stop located between the first lens and the second lens. The plastic lens APL5014DO、POLYSTYR and ARTON _D4531 are chosen. The F-number is 2.4 and FOV is 58°. The length of the total lens group of this optical system is 2.19 mm. The MTF at 295 lp/mm is higher than 0.2.

Key words: optical design; lens for mobile phone; aspheric lens; ZEMAX

引言

在2009年2月的西班牙巴塞罗那举办的Mobile World Congress大会上出现了配备500万像素摄像头的诺基亚N97,以及配备320万像素的诺基亚E75等各种高像素手机。近年来,随着手机市场的发展需求以及镜头相关工艺的突破,非球面手机镜头已经广泛地应用于各种手机中。由于半导体制造的发展,传感器的像素尺寸越来越小,高像素的镜头尺寸也越来越小。而镜头尺寸的变小变薄,为可拍照手机更薄设计提供了更多空间。鉴于此,本文设计了一款超薄非球面手机镜头。

1 设计过程

1.1 确立初始结构

传统可拍照手机镜头由3片镜片组成,从物面到像面,第一片镜片是正透镜,第二片镜片是负透镜,第三片镜片是正透镜,这就是所谓的三片式结构[10]。为了修正像差,通常光学系统采用前置光阑,且放在第一透镜前。为了减少光学镜头的总长度,参考了Hsiang-chi Tang等人提出的三片式系

收稿日期:2009-10-11; **修回日期**:2009-12-12
作者简介:黄航星(1982—),男,浙江东阳人,硕士研究生,主要从事光学设计、光学加密和全息技术方面的研究工作。
E-mail:huanghangxing@zjnu.net

统结构及要求[1-5]。要求如下:

1) 3 片透镜的阿贝常数 V_1,V_2 和 V_3 应该满足:$(V_1+V_3)/2-V_2>20$,能有效修正色差。

2) 第一片透镜和第三片透镜的折射率 N_1 和 N_3 应该满足:$1.54<N_1<1.6$, $1.5<N_3<1.6$,塑料材料的折射率更应满足该条件。如果第一片透镜是玻璃材料,也可以有效减少总长度。

3) 光学系统焦距 f 和第一片透镜焦距 f_1 应该满足:$1.3<f/f_1<1.7$,小于 1.3 时,总长度会太长,大于 1.7 则会导致更大的高次像差。

4) 光学系统焦距 f 和第二片透镜焦距 f_2 应该满足:$-0.5<f/f_2<0$,小于 −0.5 压缩入射角会困难,大于 0 会导致修改色差困难。

5) 光学系统焦距 f 和第三片透镜焦距 f_3 应该满足:$-0.4<f/f_3<0$,第三片作为修正透镜,最好满足上面的条件。

6) 第一片透镜物方面与像方面的半径 R_1 和 R_2 应该满足:$-0.9<R_1/R_2<-0.1$。如果不满足此条件,很难修改像散。

7) 第二片透镜物方面与像方面的半径 R_3 和 R_4 应该满足:$0.4<R_3/R_4<1$。如果 R_3 太小,系统总长度会太长,如果 R_3 太大,修改色差就困难。

8) 第三片透镜物方面与像方面的半径 R_5 和 R_6 应该满足:$0.6<R_5/R_6<1.6$,在此范围内可较好修正高级次像差。

根据 1)和 2)的要求可以确定透镜材质的折射率小于 1.6,这有利于减少系统总长度。根据 3)、4)和 5)要求,系统为正负负三片式结构,更有利于修正高次像差和色差,以及缩短系统总长度。根据 6)、7)和 8)要求,设置的各透镜半径能更好地消除像散、色差、高级次像差,缩短系统总长度。

结合以上要求,设定相对孔径为 $f/2.4$,半视场角为 29°,镜头总长为 2.26 mm,初始结构如图 1 所示。

从图1 可以看出,镜头采用了4 片镜片,其中前 3 片采用了非球面塑料,光阑位于第一片透镜和第二片透镜之间。第一和第二、第三个镜片材料的折射率和阿贝系数分别为 1.533,57.98,1.616,30.97,1.518,57.39。第4 片为BK7 材质的滤光片,滤掉(700-1 100)nm 的近红外光,厚度为 0.4 mm。

为了修正同轴光学系统的像差,3 片透镜都采用了偶次非球面,且系统设置了5 个视场点。由图2 的MTF 曲线可知,初始结构的成像质量较差,无法满足要求,需要对其进行优化。

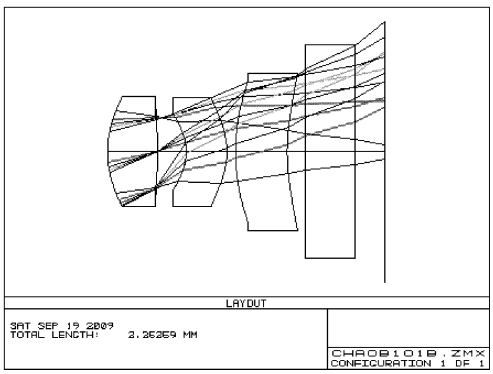

图 1　初始结构

Fig. 1　Preliminary structure

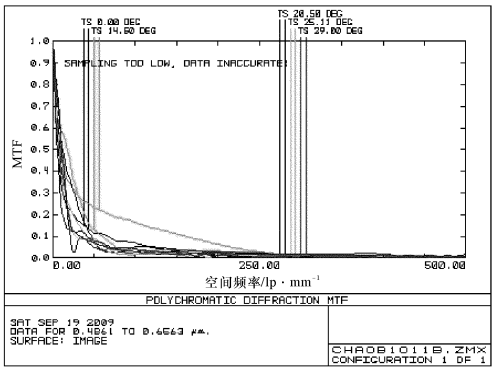

图 2　MTF 曲线

Fig. 2　MTF curves

1.2　优化过程

用ZEMAX 建立便捷的评价函数,与可自由发挥的评价函数进行优化,使系统各参数达到要求。具体优化过程如下。

1) 建立“傻瓜”评价函数,选择像质评价指标的 RMS 值,使用波像差(wavefront),像质指标的零点在质心(centroid)。光瞳积分的方法是,使用高斯二重积分和 Rings×Arms 定义的光线数目,因为系统使用了非球面,所以 Rings 和 Arms 分别都设置为 6。作为一个旋转对称系统,使用 Assume Axial Symmetry 可减少一半追迹光瞳的光线。

2) 把透镜的半径、厚度、间距,偶次非球面 conic 系数及 14 阶系数根据具体情况设置为可变量和不变量,且在第九面设置为边缘光线M-solve,以便找到近轴后像面距离。

3) 用 EFFL 控制指定波长的有效焦距,用 EFLY 控制指定面范围内 Y 面里的有效焦距,用 POWR 控制标准类型中指定波长的光焦度,用 SPHA 控制指定面贡献的球差值,用 COMA 控制指定面贡献的彗差,用 ASTI 控制指定面贡献的像散,用 FCGS 控制指定视场和波长的归一化弧矢场

曲,用FCGT 控制指定视场和波长的归一化子午场曲,用DIST 控制指定光学面贡献的畸变,用RELI 控制相对照度,用MTFT 和MTFS 控制子午和弧矢调制函数。用MEXT、MNET、MNCT、MXCT 控制空气的最大边缘厚度、最小边缘厚度、最小中心厚度和最大中心厚度。用INDX 控制透镜的折射率,用 TTHI 控制光学系统的实际长度,同时用DIFF 和DIVI 实现2个操作符结果的差商运算。

4) 用塑料材料库对透镜材料进行优化。

2　优化后的结构及成像性能

优化后的系统结构如图3所示。

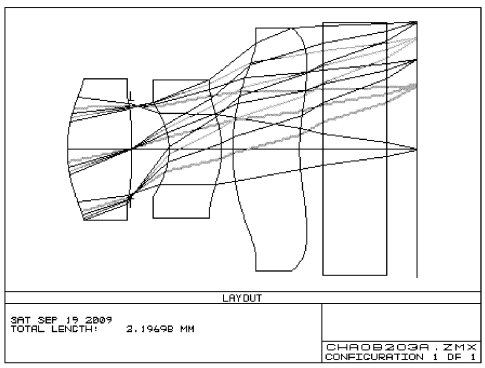

图3　优化后的系统结构

Fig. 3　Optical system layout after optimization

优化后该系统镜头总长为2.19 mm,第一片镜片是正透镜,第二片镜片是负透镜,第三片镜片也是负透镜,且光阑位于第一片透镜和第二片透镜之间。这样就形成了新的三片式结构。

这3片透镜均采用光学塑料,第一片透镜的材质为 APL5014DO,第二片透镜的材质为POLYSTYR,第三片透镜的材质为 ARTON_D4531。APEL 为日本三井化学利用Ziegler 聚合技术开发出的一种环烯烃共聚,这种环烯烃共聚的主链架构上具有庞大脂系环状结构,APEL 为无定形结构,具有优异的光学性质与气密性,无色且透明,透光率达91%,雾度(haze)为4%,双折光率很低,其复折射率小于20 nm。APEL 的超低复折射率使其可媲美玻璃非球面透镜,可取代玻璃非球面透镜。聚苯乙烯(POLYSTYR)是一种透明热塑性塑料,光透过率为90%,折射率高,色散系数小,与火石玻璃相近,也称为火石塑料。其突出的特点是耐辐射性能好,还具有吸水性小,无毒无味,不产生霉菌,镜片尺寸稳定性好,成型性和加工性能好,价格便宜,能耐某些矿物油、有机酸碱、低级醇及其溶液腐蚀等优点,适合制造镜片。其中ARTON 光学塑料是一种聚烯烃类塑料,由日本合成橡胶公司研制生产。ARTON 光学塑料具有非常好的耐热、机械、物理、光学性能,其密度极小,是目前热塑性塑料中最小的,适合制作非球面透镜[6]。

Aptina 公司提供的型号为MT9T013D00STC 的CMOS,其尺寸为0.635 mm(1/4 inch),像素尺寸为1.7 μm。镜头的分辨率为0.5/CMOS 像素尺度,即该镜头的分辨率达到295 lp/mm[7]。

图4为优化后镜头不同像高的调制传递函数MTF 曲线。MTF 是实际像与理想像之间调制度之比,是相对空间频率的函数,表示镜头以怎样的调制度传递某一空间频率。MTF 曲线与坐标轴所围的面积大小可以用来评价系统的好坏;同时,MTF 能反映不同频率,不同对比度的传递能力。一般而言,高频传递函数反映物体细节传递能力,低频传递函数反映物体轮廓传递能力,中频传递函数反映物体层次的传递能力。通常,MTF 值越大越好,MTF 曲线包围的面积越大越好,偏离光轴的点在子午方向(S)和弧矢方向(T)的MTF 值越接近越好。从图4中可知,所有视场在295 lp/mm 处的MTF 值都大于0.2。其中处于中心视场子午和弧矢的MTF 值都为0.3,0.707 视场的子午和弧矢的MTF 值分别为0.23 和0.25,0.5 视场的子午和弧矢的MTF 值分别为0.21 和0.29。在148 lp/mm 附近,镜头的视场基本大于0.5,并且中心视场的MTF 值大于0.56。图5为优化后不同视场的MTF 曲线。从图5可知,在空间频率148 lp/mm 和295 lp/mm 处调制传递函数差大多数大于0.5 和0.2,说明该镜头有比较高的成像质量。

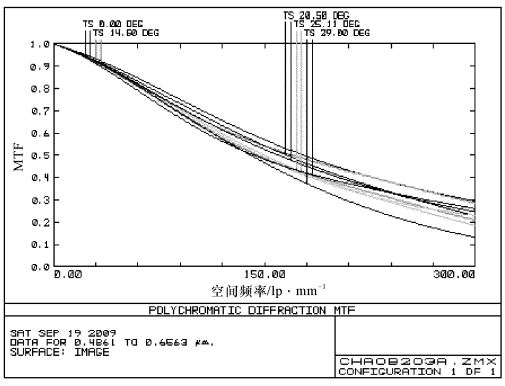

图4　不同像高的 MTF 曲线

Fig. 4　MTF curves for different image height

图6显示的是该镜头的点列图。由一点发出的许多光线经过光学系统后,因像差使其与像面的交

点不再集中于同一点,形成一个散布在一定范围的弥散图形,并且点的分布能近似地代表点像的能量分布,因此点列图中点的密集程度可以衡量系统成像质量的优劣。从图6 可知,各视场RMS 半径分别为 2.080 μm、2.266 μm、2.280 μm、2.403 μm、2.735 μm,远小于airy 直径3.457 μm。图7 显示的是该镜头各视场的能量集中度曲线。从图7 可看出点的大小和能量集中都已经得到了较好的优化。

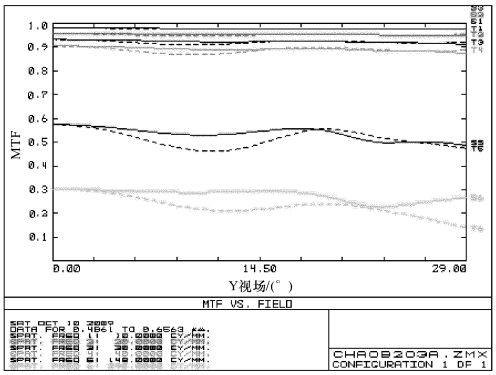

图5　不同视场的MTF 曲线

Fig. 5　MTF VS. Field

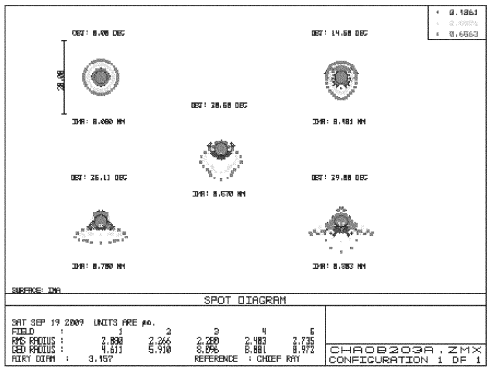

图6　点列图

Fig. 6　Spot diagram

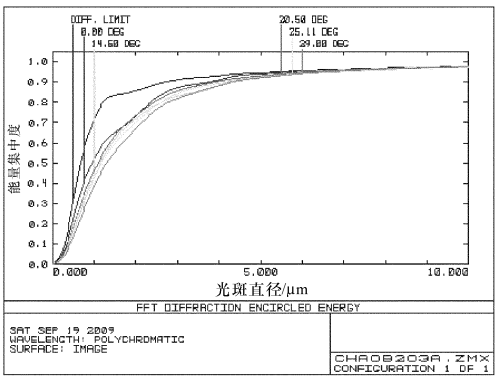

图7　各视场能量集中度分布图

Fig. 7　FFT Diffraction encircled energy

图8 为镜头整体的光线像差图。从图8 可知,光线像差也得到了较好地控制,虽然在最大视场附近有些高阶像差,但在中心视场和0.707 视场,0.86 视场内像差得到了不错的控制。图9 为镜头相对照度图。从图9 可以看出,所有视场的照度都在0.83 以上。

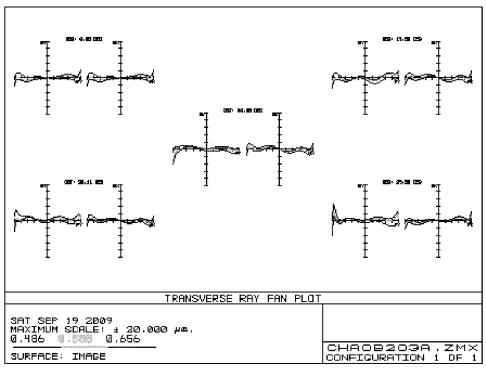

图8　光线像差

Fig. 8　Ray fan plot

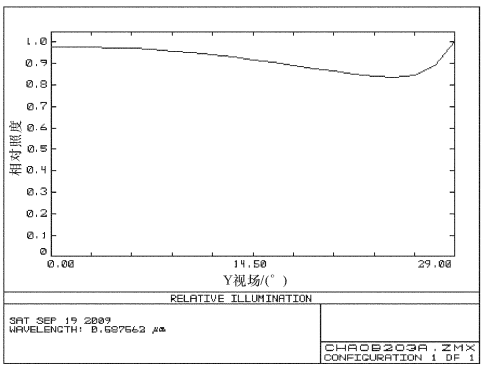

图9　相对照度图

Fig. 9　Relative illumination

3　结论

系统采用光阑位于第一片透镜和第二片透镜间且按正-负-负顺序排列的三片式结构。为了缩短系统镜头的总长度,保证成像质量,各透镜的材质分别使用了APL5014DO、POLYSTYR、ARTON_D4531,最后镜头总长被缩短为2.19 mm,有效焦距f为1.589 mm,在295 lp/mm 处MTF 值都大于0.2,所有视场的照度都在0.83 以上,且各种像差都得到了有效控制。因此该系统适用手机、PC 光学、安防识别光学等领域。

参考文献:

[1]　SUN Wen-hsin. Lens system for digital camera: US, 2006/0279855A1[P]. 2006-12-14.

[2]　CHEN Chun-shan, TANG Hsiang-chi. Optical lens system for taking image: US, 2008/0100926A1[P].

2008-03-01.

[3] TANG Hsiang-chi. Optical lens system for taking image: US, 2008/0151389A1[P]. 2008-07-26.

[4] HUANG Yeo-chih, TANG Hsiang-chi. Optical lens system for taking image: US, 2008/0165435A1[P]. 2008-07-10.

[5] TANG Hsiang-chi. Thin type optical lens system for taking image: US, 2009/0046380[P]. 2009-02-19.

[6] 崔建英.光学机械基础[M].北京:清华大学出版社,2008.
CUI Jian-ying. Fundamentals of optical mechanics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chinese)

[7] 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 Mao-chao, ZHANG Lei, LIU Pei-pei, et al. Design of lens for 3 mega-pixel mobile phone camera [J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(6): 944-948. (in Chinese with an English abstract)

[8] 路建华,温同强,黄城,等.一种数码相机定焦镜头的光学系统设计[J]. 应用光学,2008,29(6):949-953.
LU Jian-hua, WEN Tong-qiang, HUANG Cheng, et al. Opitcal system design for fixed-focus lens of digital camera[J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(6): 949-953. (in Chinese with an English abstract)

[9] 汪振海,朱日宏,张文勋.高像质手机镜头设计技术研究——130万像素手机镜头[D].南京:南京理工大学, 2006.
WANG Zheng-hai, ZHU Ri-hong, ZHANG Wen-xun. The study of high pixel cell phone camera —— 1.3 million-pixel lens [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2006. (in Chinese)

[10] GEARY J M. Introduction to lens design with practical zemax examples [M]. US: Willmann-bell, Inc., 2002.

[11] SMITH W J. Modern lens design [M]. US: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2005.

[12] SHANON R. The art and science of optical desigen [M]. UK: Cambridge University Press, 1997.

[13] MALACARA D, MALACARA Z. Handbook of optical design [M]. US: Marcel Dekker, Inc., 2004.