

·光电系统·

折叠式微型数码镜头的设计

阙立志¹, 苏宙平¹, 赵艳莉²

(1.江南大学理学院, 江苏 无锡 214122; 2.无锡市中兴光电子技术有限公司, 江苏 无锡 214028)

摘要:设计了一款折叠式微型数码镜头。该镜头的 F 数为3, 视场角为 52° , 总长度为6.67 mm。该系统具有良好的成像品质。子午和弧矢MTF曲线在0.73视场、空间频率为285 lp/mm值大于0.3, 系统的畸变约为-1.3%, 该系统在最大视场处的相对照度约为70%左右, 横向色差在0.9视场附近最大, 约为 $0.42 \mu\text{m}$, 小于单个像素的尺寸。

关键词:光学设计; 调制传递函数; 畸变; 相对照度; 横向色差

中图分类号: O435; O439

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)06-0001-03

Design of Folded Miniature Digital Lens

QUE LI-zhi¹, SU Zhou-ping¹, ZHAO Yan-li²

(1. School of Science, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Wuxi Zhongxing Optoelectronics Technology Co., Ltd, Wuxi 214028, China)

Abstract: The folded miniature digital lens with F -number of 3, field of view of 52° and total length of 6.67 mm is designed. The design result shows that the lens system has the excellent image quality. The meridional and sagittal modulation transfer function (MTF) curves at 0.73 field of view, spatial frequency of 285 lp/mm are more than 0.3. The distortion is about -1.3% and the relative illumination at max field of view is about 70%. The lateral color is about $0.42 \mu\text{m}$, which is less than the pixel size.

Key words: optical design; MTF; distortion; relative illumination; lateral color

随着半导体技术的发展, CCD和CMOS等感光元件的制作工艺已经日趋完善。这些感光元件使传统的底片式相机逐渐被数码相机所取代^[1-2]。特别是CMOS的出现, 可以使一些便携式成像装置的体积减小^[3]。非球面加工与制造技术的不断成熟, 可以用非球面的光学元件取代传统的球面光学元件^[4], 这样可以减少镜头中的元件数量, 更容易设计出微型化的数码镜头^[5]。微型数码镜头在各种便携式电子装置中应用越来越广, 如照相手机、笔记本电脑、PDA等^[6]。文中设计了一款折叠式的数码镜头, 其总长度为6.67 mm, 适合于各种便携式电子装置中应用。

1 系统参数要求

系统的设计指标要求如表1所示。

表1 设计指标要求

项目	目标
总长度	$\leq 7 \text{ mm}$
视场角	52°
波长范围	(F,d,C线; 权重 1,1,1)
焦距	3.44 mm
F 数	3
CMOS像素尺寸	$1.75 \mu\text{m}$
畸变	$< 2\%$
相对照度	$> 60\%$
横向色差	$< 1 \text{ pixel}$
MTF (0.7视场)	285 lp/mm

收稿日期: 2011-09-09

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (60908041)

作者简介: 阙立志(1971-), 男, 江苏无锡人, 光学工程硕士, 讲师, 主要研究方向为光学信息处理、光学器件设计。

焦距、视场角与像高之间存在如下关系

$$H=2f\tan\theta \quad (1)$$

其中, H 为全视场像高, θ 为半视场角度。

由于 $f=3.44\text{ mm}$, $\theta=26^\circ$, 故 $H=3.55\text{ mm}$ 。

因此可以选用 OmniVision 公司的 OV2655 CMOS 为传感器, 其具体的参数为感光面的尺寸为 1/5 英寸, 因此对角线长度为 3.2 mm。该型号传感器的单个像素尺寸为 $1.75\text{ }\mu\text{m}$ 。

2 系统设计

系统以专利 US 7136232 B2^[7] 为初始结构框架, 进行优化设计。光学系统设计如图 1 所示, 系统由 4 个非球面透镜, 1 个平面反射镜和 1 块保护玻璃, 一个光阑置于第二个透镜的前面。在光阑与第一个透镜之间插入一个平面反射镜, 平面反射镜与光轴成 45° 角。插入平面反射镜以后, 该系统成为一个折叠式的光学系统。没有折叠时, 系统的长度为 10 mm, 折叠以后系统的长度变为 6.67 mm, 通过这种方法, 可以使系统的尺寸减小 1/3。在像平面的前面有一块平板玻璃, 作为保护玻璃。

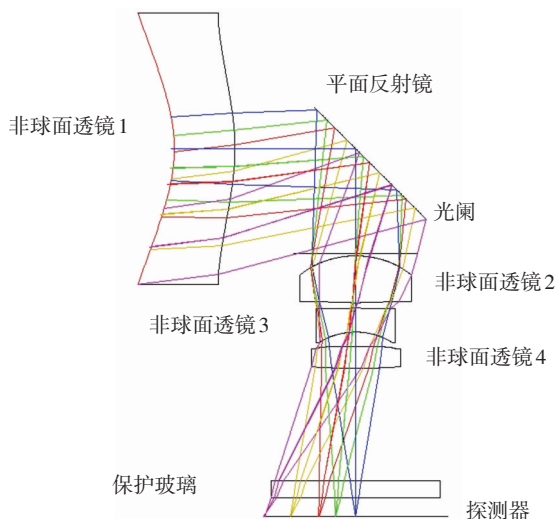


图1 光学系统结构图

3 光学系统像质评价

3.1 调制传递函数(MTF)

光学系统的成像品质可以由各种像差表示, 各种初级像差容易获得, 然而各种高级像差很难获得。因此在系统设计过程中, 为能明确地表示各种

像差混合后的成像品质, 可以用调制传递函数(MTF)来评价。调制传递函数主要用于表示物体经由光学系统成像后不同空间频率像、物对比度的比值, 其值介于 0~1 之间, 可以表示为

$$MTF = \frac{C_i}{C_o} \quad (2)$$

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (3)$$

其中, C_o 、 C_i 分别为物、像空间的对比度, I_{\max} 、 I_{\min} 为最大强度和最小强度, 由 Nyquist Frequency 准则, 可知传感器所能记录的最高频率由传感器的单像素尺寸所决定。

$$\text{最高频率} = \frac{1(\text{mm})}{2 \times \text{单像素尺寸}} \quad (4)$$

传感器的单像素尺为 $1.75\text{ }\mu\text{m}$, 因此传感器所能记录的最高频率为 285 lp/mm。

为使镜头分辨率与传感器所能记录的最高频率相匹配, 所以镜头的分辨率应该达到 285 lp/mm。从图 2 可以看出, 本系统的 19° 视场即 0.73 视场子午和弧矢 MTF 曲线在空间频率为 285 lp/mm 值大于 0.3。即使最大视场在空间频率为 285 lp/mm 处, 弧矢平面的 MTF 仍然大于 0.3, 而子午平面的 MTF 略小于 0.3。

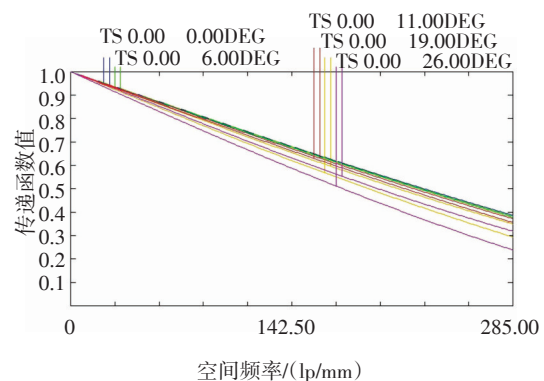


图2 调制传递函数

3.2 畸变

畸变是横向(垂轴)放大率随视场的增大而变化, 所引起的一种失去物、像相似的像差^[8]。畸变与其他像差不同, 它仅由主光线的光路决定, 引起像的变形, 并不影响成像清晰度。因此畸变不会影响 MTF, 所以要单独来分析畸变。一般来说畸变小于 4% 就不会影响像的观测^[9]。由图 3 可以看出, 该系统的畸变约为 -1.3%, 很好地满足成像要求。

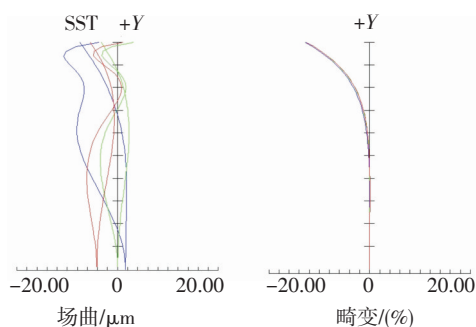


图3 畸变与场曲

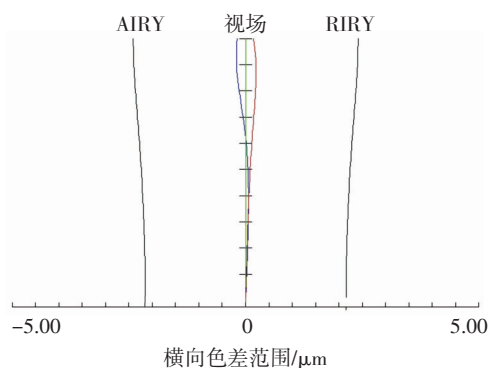


图5 横向色差图

3.3 相对照度

相对照度是边缘照度与中心照度的比值,根据近轴光学定义及计算方式如下

$$RI = \frac{E_{\text{edge}}}{E_{\text{center}}} \quad (5)$$

其中, E_{edge} 与 E_{center} 分别为像面边缘与中心照度。相对照度与光圈大小与入射至像面的角度有关,光圈越大则相对照度越高,反之则越低,入射至成像面的角度由 $\cos^4\theta$ 定律可得知,角度越大则边缘视场照度相对于中心视场会越低。如果一光学系统的相对照度低于 60%,人眼可以轻易分辨出这种像面中心亮度与像面边缘亮度的差异。通常使相对照度大于 60%,是比较理想的。图 4 是相对照度图。从图 4 可以看出该系统在最大视场处的相对照度约为 70% 左右。

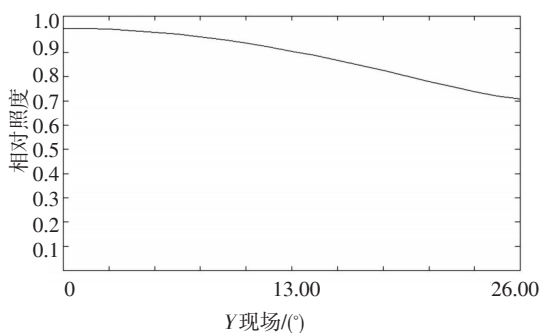


图4 相对照度曲线图

3.4 横向色差

横向色差应该小于 1 个像素的大小,才有不会使画面色彩偏移动现象。图 5 是横向色差图,纵坐标表示像面上不同视场,而横坐标表示横向色差的范围,其 3 条曲线表示不同波长,可以看出横向色差最大在 0.9 视场附近,约为 $0.42 \mu\text{m}$,小于单个像素的尺寸 $1.75 \mu\text{m}$ 。

4 结论

系统以专利^[7]的结构为基础,增加了一面反射镜,形成一款折叠式的镜头,对镜头进行了优化设计。使系统具有了良好的成像品质。子午和弧矢 MTF 曲线在 0.73 视场、空间频率为 285 lp/mm 值大于 0.3,系统的畸变约为 -1.3%,该系统在最大视场处的相对照度约为 70% 左右,横向色差在 0.9 视场附近最大,约为 $0.42 \mu\text{m}$,小于单个像素的尺寸。由于使用了折叠式结构,系统的总长度比较短,为 6.67 mm,适合于照相手机、笔记本电脑等移动电子装备。

参考文献

- [1] Yi-Chin Fang, Hsien-Lin Tsai, Yu-Han Chien, et al. 2X optical digital zoom lens with short total length and extremely small front aperture for two-million-pixel CMOS on mobile phones[C]// Proc. SPIE 6342, 63421H (2007).
- [2] Keiji Matsusaka, Sou Ozawa, Ryuichi Yoshida, et al. Ultra-compact optical zoom lens for mobile phone[C]// Proc. SPIE 6502, 650203 (2007).
- [3] 苏宙平,张德涛,柳保军.紧凑型变焦距数码镜头设计[J].激光与光电子学进展,2010,47:112201.1-4.
- [4] 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.
- [5] 李洋,林建安,张路纲.数码相机镜头自检测设计的研究[J].北京石油化工学院学报,2008,16(4):42-45.
- [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.
- [7] Akira Komatsu, Akihiro Shimizu, Katsuyuki Honda. Miniature Zoom Lens[P]. U.S. Patent. US 7136232 B2, 2006.
- [8] 吴国栋.离轴三反光学镜头像面畸变的标定方法[J].光学精密工程,2008,16(11):2127-2130.
- [9] 萧泽新.工程光学设计[M].北京:电子工业出版社,2003.