

紧凑型变焦距数码镜头设计

苏宙平 张德涛 柳保军

(江南大学理学院, 江苏 无锡 214122)

摘要 设计了一款 2.4 倍变焦距的紧凑型数码镜头, 焦距的变化范围是 3~7.2 mm, 视场的变化范围是 62°~30°。该镜头是个 3 组结构, 第 1 组是个固定组, 2, 3 组是变倍组, 共有 4 个透镜。该镜头组是一个典型的负正正(NPP)结构, 第 1 组是一个负透镜, 第 2 组是一个正透镜组, 第 3 组是一个正透镜。其中, 第 2 组包含两个透镜, 这样有利于色差的控制。镜头中所有透镜的材料均为塑料材料。调制传递函数被用来评价变焦距系统的成像质量。变焦镜头的调制传递函数值在空间频率 142 lp/mm, 0.7 视场处, 均大于 0.3。该镜头的总长度为 10.7 mm。该镜头的像质可以很好地满足消费性电子产品的要求。

关键词 变焦镜头; 调制传递函数; 畸变; 相对照度

中图分类号 TB851

OCIS 220.3620 110.4100

文献标识码 A

Optical Design of a Compact Zoom Lens

Su Zhouping Zhang Detao Liu Baojun

(School of Science, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract A compact zoom lens with 2.4X optical zoom is presented. Its effective focal length ranges from 3 to 7.2 mm and its angle of field ranges from 62° to 30°. The zoom lens belongs to three-groups structure, including the first fixed group and the second and the third variable groups, and consists of four pieces of lenses. The zoom lens configuration is negative-positive-positive(NPP) type. The first lens group is a single negative lens. The second lens group consisting of two lens elements is a positive lens group. And, the third lens group is a single positive lens. The second lens group can effectively correct chromatic aberration. All lens elements are made up of plastic materials. Modulation transfer function(MTF) is used to evaluate the zoom lens image quality. The MTF of zoom lens is greater than 0.3 at 142 lp/mm in the 0.7 field of view. The total track length of the lens is about 10.7 mm. Due to its excellent image quality, the lens can be applied to many consumer electronic products.

Key words zoom lens; modulation transfer function(MTF); distortion; relative illumination

1 引言

当前, 微型数码镜头在消费电子产品中得到了广泛应用, 如手机中的摄像镜头, 笔记本电脑中的内置摄像镜头等^[1,2]。而大多数的这些数码镜头都是固定焦距的镜头。随着消费电子产品的功能不断升级, 对于成像的功能要求也不断提高, 变焦距的微型数码镜头就显得尤为必要了。大多数的产品中的变焦功能都是依靠电子变焦, 而真正的光学变焦产品很少。除了价格的原因, 设计紧凑型变焦镜头挑战主要是由于尺寸限制。光学设计的主要问题至于主光线角和尺寸限制。变焦距镜头的尺寸一般情况下比较大, 这样很难应用于一些便携式电子设备上。随着非球面加工技术不断发展, 镜头中可以引进非球面, 会减少镜头中的透镜数量, 使结构变得更为紧凑^[1]。

从像差控制的角度来讲, 定焦镜头控制像差更为容易, 因为镜头中没有移动的透镜。一些常规的像差可以很好地校正。相反, 对于变焦镜头而言, 在某个固定的焦距, 像差可以很好地控制, 但是在整个变焦范围内, 像差控制难度比较大。手机镜头可以通过变焦来实现广角到摄远的变化。对于广角而言, 校正与入射角

收稿日期: 2010-04-01; **收到修改稿日期:** 2010-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(60908041)资助课题。

作者简介: 苏宙平(1978—), 男, 博士, 主要从事光学设计和激光技术等方面的研究。E-mail: szpciomp@yahoo.com.cn

相关的像差难度比较大。在摄远端,球差和色差变得比较严重^[3]。本文以一个三组结构的镜头为初始结构,设计了一款 2.4 倍变焦距的紧凑型数码镜头。

2 设计指标及要求

在对系统进行光学设计之前,首先要对系统的参数进行分析。表 1 是该系统的设计指标。系统设计的波长和权重如表 2。

表 1 设计指标

Table 1 Design specifications

	Zoom 1	Zoom 2	Zoom 3
FOV	62	50	30
F numer	2.8	4.2	5.4
MTF(0.7 FOV)	$\geq 0.2@142$ lp/mm	$\geq 0.3@142$ lp/mm	$\geq 0.3@142$ lp/mm
Distortion	$\leq 3.5\%$	$\leq 3.5\%$	$\leq 3.5\%$
Relative illumination	$> 50\%$	$> 50\%$	$> 60\%$
Total track length	10.7	10.7	10.7

表 2 设计波长和权重

Table 2 Wavelength and weight

Wavelength	435.84	486.13	546.07	587.56	656.28
Weight	0.04	0.2	0.53	0.2	0.04

选择感光面的尺寸为 1/4 英寸的互补金属氧化物半导体(CMOS),其对角线长度为 $L=4$ mm。选用 OmniVision 公司的 OV3650 CMOS 为传感器,该型号传感器的单个像素尺寸为 $1.75 \mu\text{m} \times 1.75 \mu\text{m}$ 。CMOS 对角线长度应该与像高相匹配。焦距、视场角与像高之间存在如下关系

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

式中 H 为全视场像高, θ 为半视场角度。

视场角最小时对应的焦距最大

$$\theta = 15^\circ, \quad f_{\max} = 7.46 \text{ mm}$$

视场角最大时对应的焦距

$$\theta = 31^\circ, \quad f = 3.32 \text{ mm}$$

这个焦距并不是透镜的最小焦距。考虑到传感器边缘对图像记录的效果稍微有点影响,可以选择透镜焦距的变化范围 $3.0 \sim 7.2$ mm。在这个范围内选取三个典型结构进行优化过程中的评价和分析,这三个结构对应的焦距分别为

$$f_w = 3.0 \text{ mm}, \quad f_M = 4.2 \text{ mm}, \quad f_T = 7.2 \text{ mm}$$

3 系统设计

本系统从美国专利 US 7136232 B2^[4]为初始结构出发,进行优化。该镜头是个 3 组结构,第 1 组是个固定组,2,3 组是变焦组,其中第 1,3 组都是单透镜,第 2 组是有两个透镜构成,并包含一个光阑,系统共有 4 个透镜。该镜头的总长度为 10.7 mm。光学系统的结构如图 1 所示。该镜头组是一个典型的负正正(NPP)结构,第一组是一个负透镜,第二组是一个正透镜组,第三组是一个正透镜。这样的结构有利于控制主光线

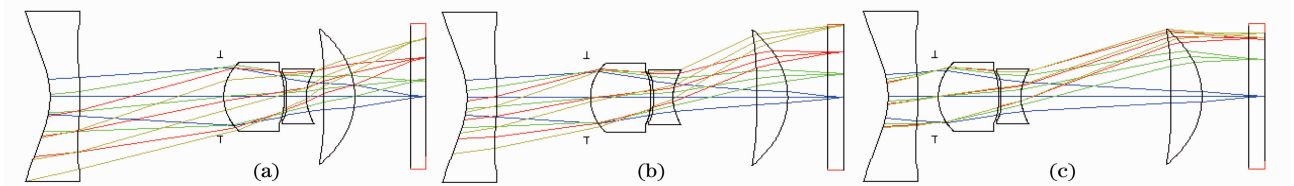


图 1 不同焦距时的光学系统的轮廓图。(a)3.0 mm,(b)4.2 mm,(c)7.2 mm

Fig. 1 Zoom lens layout with different focal length. (a)3.0 mm, (b)4.2 mm, (c)7.2 mm

角度,使传感器上获得均匀的响应^[1]。第一个透镜的第一个面的曲率比第二个面的曲率更大一些,形成了一个弯月形透镜,可以减小像散。第二组是一个透镜组,由两个非球面透镜组成,可以校正色差和球差,当实现变倍时,可以校正球差和像散。

图 1(a)~(c)分别是焦距为 3.0,4.2 和 7.2 mm 的光学系统轮廓图,通过改变 2,3 组透镜的位置达到系统焦距变化的目的,但系统的总长度不变,也就是维持像面的位置不变。系统中的最后一块平板玻璃是起保护作用 and 滤光作用,可以滤掉近红外波长的光。前 4 个透镜是非球面透镜都采用了塑料材料,其中第 2 和第 4 个透镜采用了 480R,而第 1 片采用了 D5431F,第 3 片采用了 PLOYCARB 作为材料。

4 光学系统像质评价

4.1 调制传递函数

为了能全面准确地评价所设计的光学系统的成像品质,可以采用调制传递函数(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^[5]。传感器的所能记录的不引起混淆的最高频率即为尼奎斯特频率,

$$f_{\text{nyq}} = 1/(2 \cdot x_s). \quad (2)$$

式中 f_{nyq} 为最高频率, x_s 为单像素尺寸。传感器的单像素尺寸为 $1.75 \mu\text{m}$,因此传感器的所能记录的最高频率为 285 lp/mm。这里,选择尼奎斯特频率的一半值的频率(142 lp/mm)对光学系统调制传递函数进行评价。

图 2(a)~(c)分别是光学系统的焦距为 3.0,4.2 和 7.2 mm 时的调制传递函数。在焦距为 3.0 mm 的情况下,系统的 F 数 2.8,视场角为 62° ,因此这种情况的像差平衡难度较大,成像质量也比较差,在全视场的情况下,弧矢传递函数值 0.31,子午传递函数值 0.16,0.7 视场的弧矢和子午传递函数值均大于 0.35。焦距为 4.2 和 7.2 mm 时,全视场的情况的弧矢和子午传递函数值均大于 0.3,成像质量比较好。

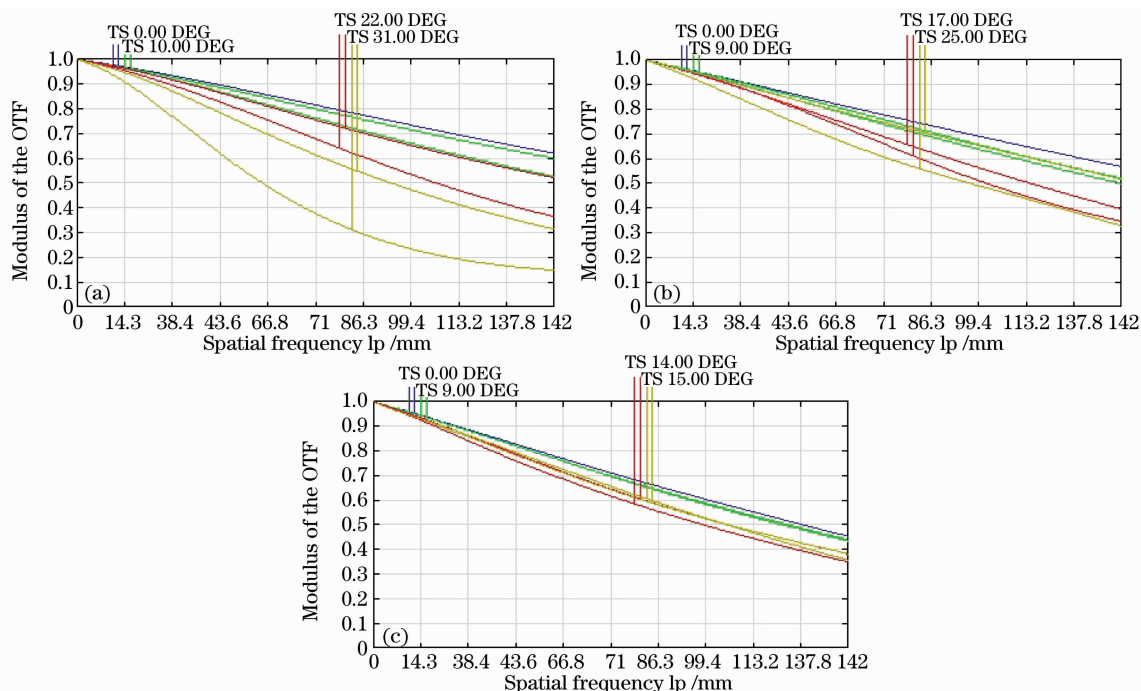


图 2 不同焦距时对应的调制传递函数。(a)3.0 mm,(b)4.2 mm,(c)7.2 mm

Fig.2 MTF of zoom lens with different focal length. (a)3.0 mm, (b)4.2 mm, (c)7.2 mm

4.2 畸变

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。一般来说畸变小于 4%就不会影响像的观测^[6]。图 3 中的右侧图表示变焦镜头的焦距为 3.0,4.2 和 7.2 mm 时分别对应的畸变 -2.8% , 3.5% , -0.9% 。从图中可以看出这三个结构在焦距 4.2 mm 的结构畸变比较大,达到了 3.5% ,但仍然满足成像质量的要求。图 3 中的左侧图表示变焦镜头的焦距为 3.0,4.2 和 7.2 mm 时分别对

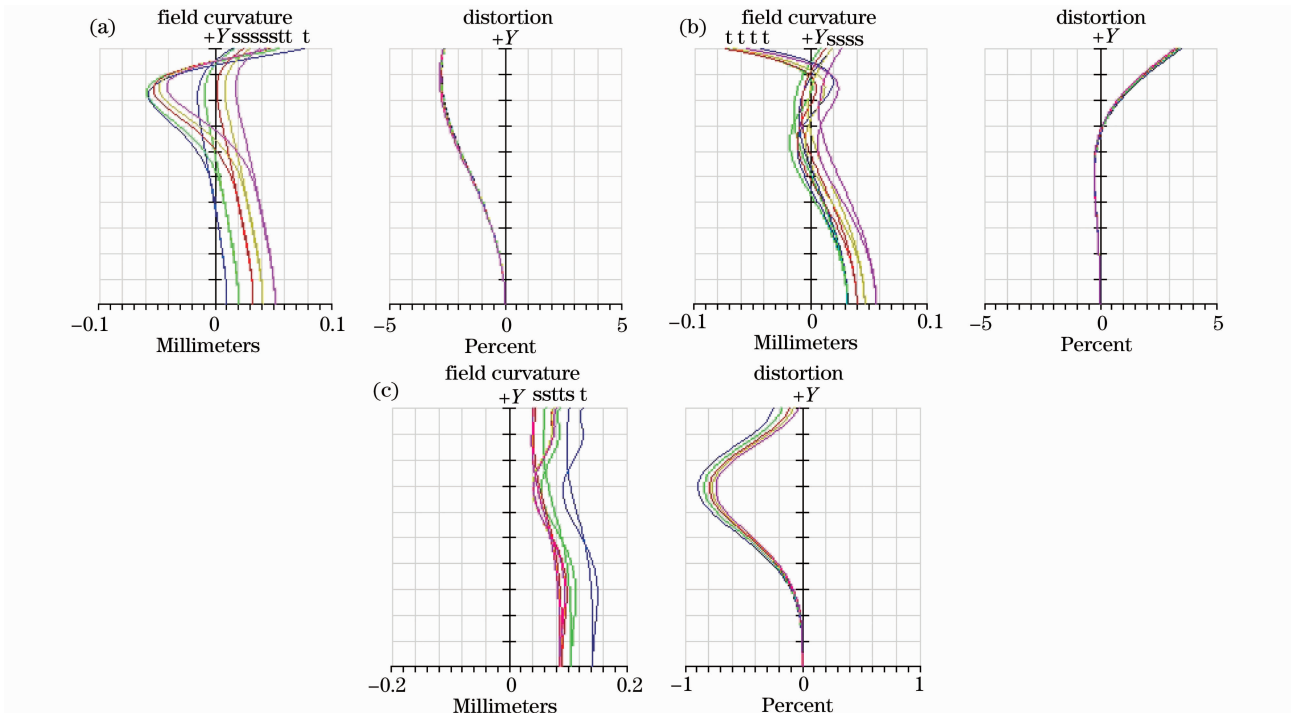


图 3 不同焦距时的场曲(左)与畸变(右)。(a)3.0 mm,(b)4.2 mm,(c)7.2 mm

Fig. 3 Filed curvature (left) and distortion (right) of zoom lens with different focal lengths. (a)3.0 mm, (b)4.2 mm, (c)7.2 mm

应的场曲。

4.3 相对照度

相对照度是边缘视场照度与中心照度视场的比值,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。入射至像面的角度越大则边缘视场照度相对于中心视场会越低^[7]。从图 4(a)和(b)可以看出,焦距为 3.0,4.2 mm 对应的 F 数比较小,相对照度比较低,在全视场处,相对照度均

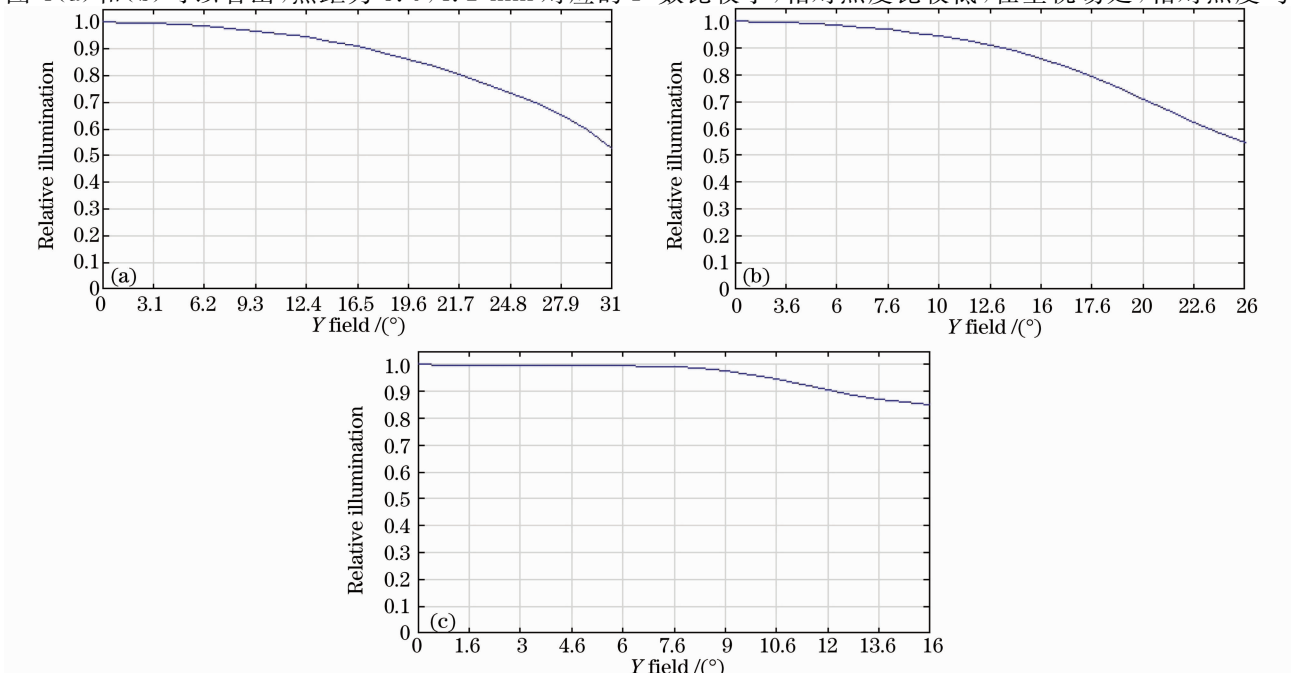


图 4 不同焦距时的相对照度。(a)3.0 mm,(b)4.2 mm,(c)7.2 mm

Fig. 4 Relative illumination of zoom lens with different focal lengths. (a)3.0 mm, (b)4.2 mm, (c)7.2 mm

为 55% 左右。从图 4(c)可以看出,在焦距为 7.2 mm 时,由于 F 数比较大,相对照度可以达到 85%。

5 结 论

设计了一个变焦距微型数码镜头,实现了 2.4 倍的光学变焦。该镜头的总长度为 10.7 mm,包含了 4 个塑料非球面镜片和 1 个保护玻璃,体积小,重量轻。通过商用光学设计软件 ZEMAX 对其像质进行分析,该镜头的像质满足于常规消费性电子产品中的光学系统的成像要求,因此适合于便携式电子产品的应用。

参 考 文 献

- 1 C. W. Chang, C. C. Wu. A compact and cost effective design for cell phone zoom lens[C]. *SPIE*, **6667**: 66670P
- 2 Li Wenjing. Optical design of 5-mega pixel mobile phone lens[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2009, **46**(1): 56~59
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
- 3 C. Y. Hung, J. L. Chern. Zoom lens design of mobilephone camera with global-explorer optimization[C]. *SPIE*, **6668**: 66680P
- 4 A. Komatsu, A. Shimizu, K. Honda. Miniature Zoom Lens[P]. U. S. Patent; US 7136232 B2, 2006
- 5 Lin Yuxun. Tolerance Analysis for the Camera Module of a Cellular Phone[D]. Taipei: Taiwan University of Science and Technology, 2005
林裕勋. 手机相机模组之容差分析[D]. 台北: 台湾科技大学, 2005
- 6 Xiao Zhexin. Design of Engineering Optics[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003
萧泽新. 工程光学设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003
- 7 Mou Yihong. 3M 2.75X Zoom Lens Design for a Mobile Phone[D]. Taoyuan: Center University, 2008
牟益弘. 三百万画素二点七五倍光学变焦手机镜头设计[D]. 桃园: 中央大学, 2008