

(6) 117-120

仿复眼成像的实验模拟研究<sup>†</sup>

Q 811.21

O 438

高爱华<sup>1)</sup> 朱传贵<sup>2)</sup>

(1)西北大学物理学系,710069,西安;2)中国科学院西安光学精密机械研究所,710068,西安;第一作者 33岁,女,讲师)

**摘要** 利用计算机和图像卡对图像的处理功能,对平面微透镜阵列的多重像进行适当地处理来模拟并列型复眼的“镶嵌像”,对构成“镶嵌像”的拼法、像元数的不同做了对比实验,最后对影响镶嵌像的诸因素做了对比分析。

**关键词** 并列型复眼;平面微透镜阵列;CCD器件;图像卡

**分类号** O438

仿复眼成像,实验模拟

生物界是个奇妙的世界。许多动物某些器官结构的精巧、功能的完善,令人惊叹不已。正因为如此,在工农业生产、科学研究等领域许多技术难题的解决都得力于仿生学的发展。近年来,固体探测器和数字计算科学的迅速发展,使单孔径光学系统在自动化、图像识别、军事目标探测等领域显得有些不尽人意。光计算、光学神经网络、光通讯和并行光学信息处理等新学科领域所使用的光学系统大都为多孔径光学系统。复眼是天然存在的多孔径光学系统,这就从需要和类比的角度引起了国内外许多学者的极大兴趣。德国马克斯—普朗克生物控制论研究所创始人 Reichardt 教授提出了昆虫运动感知模型<sup>[1]</sup>,该模型具有检测目标运动方向和速度的功能。日本的 Shiro Ogata 等人利用自聚焦透镜阵列和光探测器阵列,研制成了多孔径仿复眼光学传感器<sup>[2]</sup>。本文对我们提出的多孔径平面仿复眼系统进行了实验研究,主要对影响平面仿复眼系统成像的诸因素做了实验对比,得出了一些具有参考价值的结论。

## 1 实验装置

仿复眼成像的实验装置框图如图 1 所示:

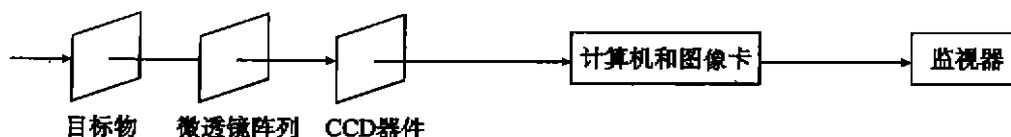


图 1 仿复眼成像实验装置图

Fig. 1 The Experimental Device Chart of Mimicking Compound Eye Image-forming

目标物先后用了一个用白纸剪的字母 T(18 mm×20 mm)和 A(110 mm×110 mm),物距离微透镜阵列一般都在几十厘米,与微透镜的焦距相比可以认为物处在无穷远。微透镜阵列先采用西安光学精密机械研究所研制的正方形排列的微透镜阵列(焦距  $f=5$  mm,孔径直径  $A=1.5$  mm,中心间距  $L=2$  mm)对字母 T 进行了成像实验,后用美国康宁公司研制的六边形排列的微透镜阵列( $f=2.22$  mm,  $A=0.31$  mm,  $L=0.48$  mm)对字母 A 进行了成像实验。CCD 摄像机为 1/2“敏通 1881CB”,其成像面积为 6.4 mm×0.48 mm,像元面积为  $10\times 12\ \mu\text{m}^2$ ,它处在微透镜阵列的后焦面上,既作为仿复眼系统中的感光器,又作为向图像卡输入信息的输入口。图像卡为 CA-C540 伪彩色图像采集卡,硬件部分直接插入计算机的扩展槽中,功能由软件部分控制。CA-C540 系统软件提供了对图像进行处理、运算等库函数,

并与许多高级语言如 C, FORTRIN 和 BASIC 等兼容, 图像卡主要由 A/D 转换器, 4 幅帧存体, 3 份查找表和 D/A 转换器 4 部分构成。CCD 输出的 3 路图像信号由 A/D 转换器变成数字图像信号, 经多路开关送到帧存和查找表中; 4 个  $512 \times 512 \times 8$  的帧存, 分别用于存放红、绿、蓝 3 路图像和图形, 也可由计算机控制, 从帧存中读取图像数据, 经 CPU 处理后再写到帧存; 3 份  $256 \times 8$  的查找表, 用于存放图像信息或图像与图形叠加后的信息; D/A 转换器把 3 份查找表的信息转换成模拟信号, 和同步信号一起送监视器上显示。

## 2 实验结果与分析

并列型复眼对目标物所成的像是由构成复眼的各小眼对物体的不同部分所成的像元“镶嵌”而成的“镶嵌像”<sup>[3]</sup>。由平面微透镜阵列的多重像, 再借助图像采集卡和计算机对图像的处理功能, 就能模拟并列型复眼的成像过程<sup>[4]</sup>。

为叙述方便, 先作如下约定: ①对  $N \times M$  个多重像的第  $i$  行, 第  $j$  列的那个像用  $I_{ij}$  表示, 其中  $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M$ ; ②把  $N \times M$  个多重像中的每一像等分为  $N \times M$  块, 对应第  $i$  行, 第  $j$  列的那个像的第  $k$  行, 第  $l$  列那一块(或称目标单元像)用  $I_{ij}^{kl}$  表示,  $k=1, 2, \dots, N; l=1, 2, \dots, M$ 。

### 2.1 实验 1

从正方形排列的微透镜阵列所成的多重像中任选一像分别复制成  $2 \times 2$ (如图 2(a))和  $3 \times 3$ (如图 3(a))的多重像。对  $2 \times 2$  和  $3 \times 3$  这两幅多重像中的每一像分别按  $2 \times 2$  和  $3 \times 3$  的形式均分; ①取  $I_{ij}$  像中的  $I_{ij}^{ij}$  这一目标单元像放在  $ij$  位置, 结果拼接而成的镶嵌像如图 2(b)和图 3(b); ②取  $I_{ij}$  像中的  $I_{ij}^{2+1-i, 2+1-j}$  ( $I_{ij}^{3+1-i, 3+1-j}$ ) 这一目标单元像放在  $2+1-i, 2+1-j$  ( $3+1-i, 3+1-j$ ) 位置, 结果所成的像如图 2(c)和图 3(c)。结果显示: 图 2(b)和图 2(c)几乎完全相同。图 3(b)和图 3(c)几乎完全相同。

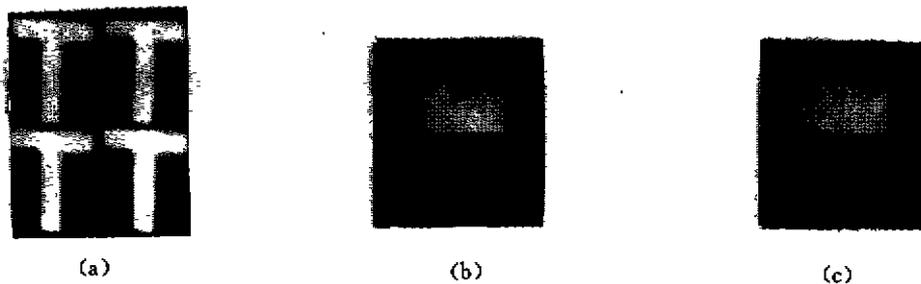


图 2 由多重像中的某一像所模拟的多重像和经图像处理后的镶嵌像

Fig. 2 Multi-image of Imitation and Its Mosaic Images

2(a)多重像, 总像数为  $4(2 \times 2)$ ; 2(b)和 2(c)是由 2(a)所得的镶嵌像, 2(b)在  $I_{ij}$  像中取  $I_{ij}^{ij}$  这一目标单元, 而 2(c)是在  $I_{ij}$  像中取  $I_{ij}^{2+1-i, 2+1-j}$  ( $i=1, 2; j=1, 2$ )

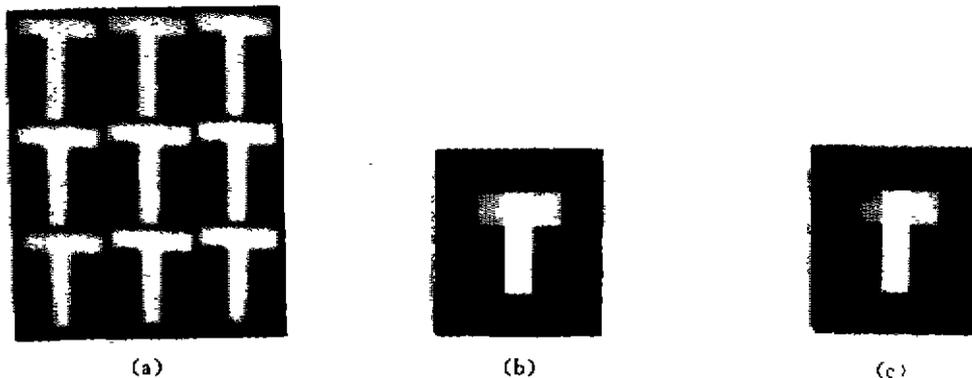


图 3 与图 2 相类似, 但像元数为  $9(3 \times 3)$

Fig. 3 It is Similar to Fig. 2, but It is Consisted of  $9(3 \times 3)$  Images

这个实验说明:若微透镜阵列的光学质量相同,排列规范,且同一目标单元对各微透镜的成像条件相同,则不仅所成的多重像完全相同,且采用不同的拼法所得的镶嵌像也几乎完全相同。

## 2.2 实验 2

由六边形排列的微透镜阵列所得的多重像如图 4(a)所示。由图 4(a)中的  $8 \times 10$  个多重像,各取一目标单元像拼接而成的镶嵌像如图 4(b)所示,该镶嵌像是在  $I_0$  像中取目标单元像  $I_{ij}^0$ ,放在  $ij$  位置按列排列排列所得的结果。而图 4(c)是由图 4(a)中的  $8 \times 5 + 8 + 8 \times 4 + 8$  个多重像,各取一目标单元像按行排列镶嵌而成的镶嵌像。该镶嵌像偶数行中的第一个和最后一个目标单元像是其他目标单元像的一半。所有目标单元像的取法同样是在  $I_0$  像中取目标单元像  $I_{ij}^0$ 。图 4(b)和 4(c)虽是由相同的目标单元像所构成,但由于单元像取法和拼法的不同,结果所成的镶嵌像也不同。此实验说明:各微透镜的光学质量不同,或目标单元对各微透镜的成像条件不同,则不同的拼法所得的镶嵌像不同。

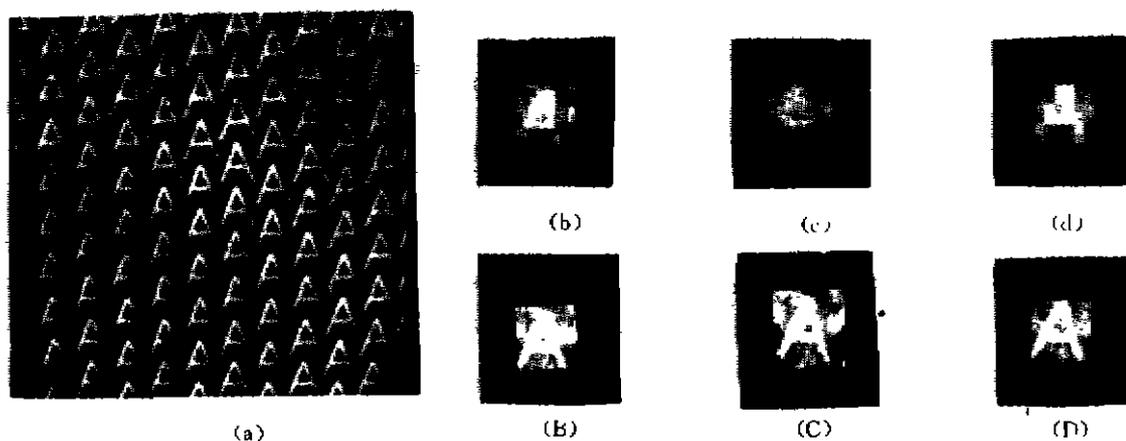


图 4 仿复眼系统的多重像及经图像处理后的镶嵌像

Fig. 4 Multi-image of Mimicking Compound Eye System and its Mosaic Images

4(a)是像数为  $95(5 \times 9 + 5 \times 8)$  的多重像;4(b),4(c)和 4(d)分别是由 4(a)中  $8 \times 10$ ,  $8 \times 5 + 8 + 8 \times 4 + 8$  和  $6 \times 6$  个多重像构成的镶嵌像,当采用 CCD 实际分辨率时,4(b)相应地变成 4(B),4(c)变成 4(C),4(d)变成 4(D)。

## 2.3 实验 3

图 4(d)是由 4(a)中  $6 \times 6$  个多重像拼接成的镶嵌像,且 4(d)拼法与 4(b)相同,结果显示像 4(b)比像 4(d)较清晰。这说明构成镶嵌像的像元数越多,像越清晰,从而说明感光像元面积越小,分辨率越高,像越清晰。实验 1 的图 3(b)和图 2(b)相比较,也说明了这一点。

## 2.4 实验 4

当采用 CCD 的实际分辨率时,图 4(b)变为图 4(B),图 4(c)变为图 4(C),图 4(d)变为图 4(D)。相比较而言,图 4(B),4(C)和 4(D)差别减小。这说明,感光器分辨率越高,则对像元数的多少,选取和拼法的依附程度降低。

## 3 总 结

由以上实验结果我们可以概括出影响镶嵌像质量的主要因素有:①微透镜光学质量的均匀性与一致性,各微透镜光学质量的差异,会直接造成多重像间的差异;②目标单元成像条件的差异性,各目标单元表面亮度和高轴距离的不同,是造成多重像间差异的主要因素;③微透镜阵列排列的规范性,微透镜阵列排列是否规范,直接影响到目标单元选取的正确性,进而影响镶嵌像拼接的准确性;④目标像窗口选取的正确性,该因素不仅影响各目标单元像选取是否正确,而且对镶嵌像边缘的亮度有较大的影响。当各微透镜光学质量相同、目标物到微透镜阵列的距离远大于透镜尺寸时,各微透镜所成的像基本相同,且镶嵌像与目标单元像的取法无关。这时,影响镶嵌像质量的主要因素是微透镜阵列的规范性和像元选取的正确性。

## 参 考 文 献

- 1 Egelhaaf M, Hausen K, Reichardt W, et al. Visual course control in flies relies on neuronal computation of object and background motion. TINS, 1988, 11(8): 351~358
- 2 Ogata S, Ishida J, Sasano T. Optical sensor array in an artificial compound eye. Optical Engineering, 1994, 33(11): 3 649~3 655
- 3 Sancers J S, Halford C E. Design and analysis of apposition compound eye optical sensors. Optical Engineering, 1995, 34(1): 222~235
- 4 高爱华, 朱传贵. 多孔径光学仿复眼图像采集原理. 西北大学学报(自然科学版), 1997, 27(4): 283~286

责任编辑 曹大刚

## A Study on the Experimental Analogue on Mimicking Compound Eye Imaging

Gao Aihua<sup>1)</sup> Zhu Chuangui<sup>2)</sup>

(1) Department of Physics, Northwest University, 710069, Xi'an; 2) Youth Department, Xi'an Institute  
of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, 710068, Xi'an)

**Abstract** The mosaic image of apposition compound eye can be imitated using the processing functions of computer and image card by dealing properly with the multi-image of planar microlens array. comparing experiment has been on the way of forming mosaic image and the difference of pixel number. Finally, a comparative analysis is made on all kinds of factors affecting mosaic image quality.

**Key words** apposition compound eye; planar microlens array; CCD device; image card

• 学术动态 •

### 在陕出版的期刊有 14 种被列入中国科技期刊 500 强

1997 年 11 月,《中国科学引文数据库》对在 1996 年中国出版的 582 种重要科技期刊中,按被引频次降序排列编制了 500 种期刊排行表。在陕西出版的 14 种期刊入表序次及被引频次见下表。

表 1 1996 年在陕西出版的科技期刊按被引频次为序排名表

序次	期刊名称	被引频次	序次	期刊名称	被引频次
164	西北农业大学学报	157	370	光子学报	78
191	西安交通大学学报	139	397	水土保持学报	71
191	第四军医大学学报	139	416	神经解剖学杂志	68
244	西北植物学报	118	464	水土保持通报	61
250	西北大学学报	116	472	中国水土保持	60
306	干旱地区农业研究	96	477	应用力学学报	59
324	化学工程	89	477	西北工业大学学报	59

(薛 鲍)