

# 基于发光二极管阵列的光学中值滤波的实现

张建明 刘颖 刘福来 方志良 路明哲 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津, 300071)

**摘要** 提出一种铸影(Shadow Castint)的非相干光学系统,由可编程的发光二极管阵列实时产生二值中值滤波函数,用电的方法完成取阈和求和运算来实现中值滤波.同时利用非线性阈值分解技术实现灰值图像中值滤波.该系统结构简单紧凑,取阈方便.

**关键词** 非线性阈值分解,中值滤波,铸影法,二极管阵列.

## 引言

由于中值滤波能够去除高频脉冲噪声而被广泛用于数字图像处理.与线性滤波相比,它不仅具有图像平滑的功能,而且能保持图像的边缘不被模糊<sup>[1,2]</sup>.中值滤波是顺序统计滤波(OS)的特殊情况.以二维图像为例,用 $N \times N$ ( $N$ 为奇数)的顺序统计滤波作用于图像 $f(i, j)$ 上,则第 $k$ 级OS滤波输出为

$$OS^k[f(i, j)] = \sum_{m=1}^{N^2} \alpha_m W_{(i,j)}(m). \quad (1)$$

其中  $\alpha_m = \begin{cases} 1, & m=k \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$

$k=1, 2, \dots, N^2$ ;  $W_{(i,j)}(m)$ 是以 $(i, j)$ 为中心的 $N \times N$ 的OS滤波窗内的图像值. $f(i', j')$ ,  $i'=i-(N-1)/2, \dots, i, \dots, i+(N-1)/2, j'=j-(N-1)/2, \dots, j, \dots, j+(N-1)/2$ ,按递减排列的序列.如果取 $k=(N^2+1)/2$ ,得到中值滤波;取 $k=1$ ,得最大滤波;取 $k=N^2$ ,得最小滤波.也可以用集合来定义二值OS滤波<sup>[3]</sup>.设二值图像为 $X$ ,集合 $X$ 被滤波窗 $W$ 进行第 $k$ 级OS滤波输出为

$$OS^k X(i, j) = \{(i, j) : |X \cap W_{(i,j)}| \geq k\}, \quad (3)$$

$|\cdot|$ 为求集合基的符号,即集合内的像元数.式(3)的含义是移动滤波窗,使其中心位于点 $(i, j)$ ,然后计算交集 $X \cap W(i, j)$ 内值为1的像元数,如像元数不小于 $k$ ,则点 $(i, j)$ 属于 $X$ 的第 $k$ 级OS滤波结果中的像元,其中若 $k=(N^2+1)/2$ ,就为中值滤波.

•国家自然科学基金资助项目

本文1994年7月5日收到,修改稿1995年1月26日收到

Ellen Ochoa 等人<sup>[4]</sup>提出一种非相干光电混合系统,利用光学多通道和光学相关实现了中值滤波.由于受到空间带宽积的限制,系统不易实现多像元、多灰值的图像中值滤波.本文利用时间顺序阈值分解(Time-Sequential Threshold Decomposition)方法<sup>[5,6]</sup>,依次处理灰值图像的二值化编码图像,这样可以降低系统的空间带宽积.在以可控 LEDs 阵列为光源的系统中,可根据不同实际应用实时改变滤波函数.本文以  $3 \times 3$  滤波函数对输入的灰值图像进行中值滤波、最小滤波和最大滤波,并给出了实验结果.

## 1 中值滤波的光学实现

中值滤波牵涉到滤波窗内的图像值的排序和取中值输出,很难直接用光学方法实现.式(1)和(4)形式上基本相同,但它们表示两种实现中值滤波方法.要实现式(1),就需要排序,取中值;而要实现式(4),则需要计算交集中像元值为 1 的数目,也就是求滤波窗内图像值的和,并以  $k$  为阈值取阈.很明显,用光学方法可以实现求和运算,加上电取阈,就可以实现光学二值中值滤波.同时利用阈值分解技术<sup>[6,7]</sup>可实现灰值图像的中值滤波,即将灰值图像分解成一系列二值化编码图像,分别进行中值滤波,再将其结果叠加,就得到灰值图像的中值滤波.整个过程可分成 4 步.

(1) 设输入的二维数字图像为  $f$ ,  $f(i, j)$  表示位置  $(i, j)$  处的灰值,中值滤波函数为  $N \times N$ , 令  $\text{med}(i, j)$  为  $(i, j)$  的中值滤波输出.取一系列阈值产生二值化图像

$$f^{(n)}(i, j) = \begin{cases} 1, & f(i, j) \geq i \text{thr}(n) \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

$i \text{thr}(n)$  是阈值,阈值计数  $n = 1, \dots, K'$ .一般取等间隔阈值得到二值化图像,即相邻阈值之间的差相等<sup>[9]</sup>.按这种方法取阈得到的二值图像中,有的图像之间很相似,特别当图像的像元数与灰值的关系呈高次非线性时,甚至会出现有些二值化图像几乎相同的现象.因此我们采用非线性阈值分解,使相邻阈值下得到的二值化图像中值为 1 的像元数之差接近常数.这样,每幅二值化图像对于最终输出具有大致相同的地位,使系统的处理更为有效<sup>[8,9]</sup>.

(2) 二值化图像经过光学系统完成邻域像元值的相加运算

$$B^{(n)}(i, j) = \sum_{k_x, k_y = -(N-1)/2}^{(N-1)/2} f^{(n)}(i+k_x, j+k_y) = \sum_{l, w} W(i-l, j-w) f^{(n)}(l, w), \quad (5)$$

选取  $(l, w)$  遍及整个图像的像元.

(3) 非线性取阈为

$$C^{(n)}(i, j) = \begin{cases} 1, & B^{(n)}(i, j) \geq 1 + (N-1)/2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

而最小滤波和最大滤波产生 1 的条件则分别是  $B^{(n)}(i, j) \geq N^2$  和  $B^{(n)}(i, j) \geq 1$ .

(4) 将所有的二值图像中值滤波的结果相加,得到灰值图像中值滤波的结果

$$O(i, j) = \sum_{n=1}^{K'} C^{(n)}(i, j). \quad (7)$$

参考文献[4]描述的空间多通道方法,其所有二值化图像都在输入面上显示,同时进行滤波运算. 尽管处理的并行度增加了几倍,但是处理器的空间带宽积也增加了几倍,这对系统中的光学器件提出了很高的要求,不宜实现像元较多的灰值图像的滤波. 我们的系统采用时间顺序的方法实现阈值分解后的二值化图像处理,即二值图像切片一个接一个被系统处理,这样可以降低系统空间带宽积的要求. 同时,该方法能提供非线性滤波的灵活性,不同的二值化图像切片可以用不同的滤波器操作,特别是当我们预先知道图像的主要特征或主要信息仅在某几幅二值化图像中时,这种灵活性对图像处理很有用. 其主要缺点是目前没有好的高衬比的实时取阈器件,实验中所用的电子扫描系统完成处理运算需要较多电视帧时间.

## 2 光学中值滤波系统及实验结果

图1为可编程二极管阵列的铸影系统. 二极管阵列S是可编程光源,产生中值滤波函数. 根据各种图像处理的要求,可实时改变系统的中值滤波函数. F是实时输入器件,采用空间光调制器(SLM)来显示灰值图像的二值编码图像. 计算机产生灰值图像的二值图像,按照阈值大小次序存放在计算机存储器中,并依次驱动SLM,在F'平面得到每幅图像滤波求和输出,用透镜成像在CCD接收面上,采集并取阈得到二值中值滤波结果. 最后用计算机相加二值图像中值滤波结果,得到灰值图像中值滤波结果. 实验中用高反差黑白胶片代替SLM,通过光的像元定义为1,不通过光的像元定义为0. 当输入面和输出面用实时器件时,通过程序控制处理系统,能实时采集、量化输入图像,并在输入面上显示,经过非线性滤波后得到输出,便可进行下一次中值滤波. 改变取阈大小,可实现任意级的顺序统计滤波.

该系统因采用非相干光的LED阵列作为光源,系统的信噪比较高,同时可以迅速、方便地改变点扩散函数,使得系统变得紧凑. 因为使用强度编码,所以不需要附加器件就能进行正实数处理. 铸影系统的运算是以几何光学为基础的,那么就会对输入物及点扩散函数的尺寸有一定的要求. 由图2我们可以得到

$$l_{max} = \frac{D_m}{D_s} f, \quad (8)$$

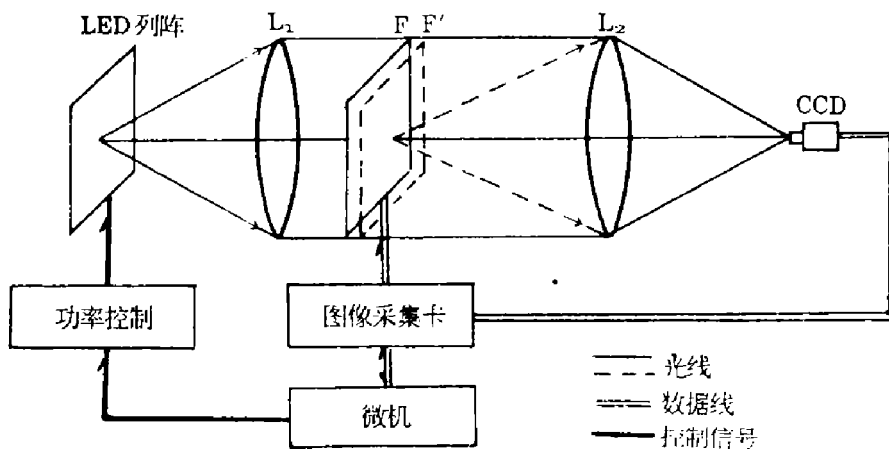


图1 可编程二极管阵列铸影系统

Fig. 1 Shadow-casting system based on programmable LED array

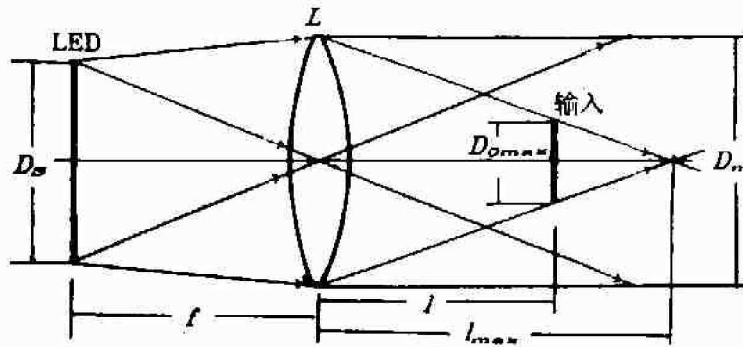


图 2 以几何光学为运算基础的铸影系统

Fig. 2 Shadow-casting system operation based on geometric optics

$$D_{o,max} = \frac{l_{max} - l}{l_{max}} D_m \tag{9}$$

将式(8)代入式(9),得

$$D_{o,max} = D_m - \frac{l}{f} D_s \tag{10}$$

其中  $l_{max}$  是输入物到透镜 L 的最大距离,  $D_m$  和  $D_s$  分别为透镜 L 和光源的直径,  $f$  为透镜焦距,  $l$  为输入物至透镜的距离,  $D_{o,max}$  为在距离  $l$  ( $l < l_{max}$ ) 处输入物的最大尺寸. 如果考虑光源照射输入物时的不均匀性, 则铸影面上的输出应该是一个加权的結果<sup>[10]</sup>, 权重系数由光源上每一点发出的光锥与输入面相交的区域(位置或大小)决定. 由于该因素分析较复杂, 且由于本实验系统阈值范围较大, 即使忽略因素, 也不会影响最终输出, 所以本文未作分析.

实验中二极管阵列为  $3 \times 3$ , 用 CCD 实时采集卡通图片中一只鹿的眼睛图案作为输入. 其结构简单且灰度分布较好, 很适于作为我们演示实验的输入物. 利用非线性阈值分解方法, 将眼睛分解成 6 个二值图像并通过照相制成透明片, 把 6 个处理后二值图像由计算机叠加起来, 得到输出结果. 选取适当的阈值, 得到中值滤波、最小滤波和最大滤波(图 3). 可以

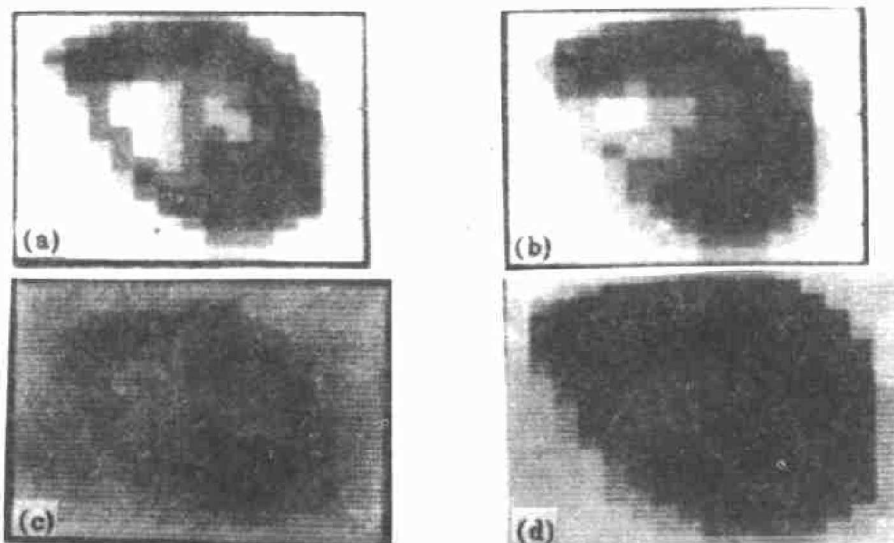


图 3 (a)灰值图像, (b)中值滤波结果, (c)最小滤波结果, (d)最大滤波结果

Fig. 3 (a) The gray-scale image, (b) median filtering, (c) minimum filtering, (d) maximum filtering

看出, 中值滤波将原图中的噪声去掉, 最小滤波将图像中类似于“内湖”的内凹区滤掉, 而最大滤波则将这些区域填平.

### 3 结论

本文提出一个铸影(Shadow Casting)系统, 用可编程控制的发光二极管(LEDs)阵列实时产生二值中值滤波函数, 用电的方法完成取阈和求和运算, 可用非线性阈值分解(Nonlinear Threshold Decomposition)技术对灰值图像进行中值滤波. 只要调节阈值的大小, 用同样的光学系统可实现图像的形态变换.

### 参考文献

- 1 Bovik A C. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 1983, **31**:1342~1349
- 2 Gallagher N C, Jr Wise G L. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 1981, **29**(6):1136~1141
- 3 Maragos P, Schafer R W. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 1987, **35**:1170~1184
- 4 Ochoa E, Allebach J P, Sweeney D W. *Appl. Opt.*, 1987, **26**:252~260
- 5 Hereford J M, Rhodes W T. *Opt. Eng.*, 1988, **27**:274~279
- 6 Fitch J P, Coyle E J, Gallagher N C. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 1984, **32**:1183~1188
- 7 Wendt P D, Coyle E J, Gallagher N C. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 1986, **34**:398~911
- 8 Rosenfeld A, Kak A C. *Digital Picture Processing*, Vol. 1&2, New York:Academic, 1982
- 9 张建明. 数据采集与处理, 待发表
- 10 Raj K, Prather D W, Athale R A, et al. *Appl. Opt.*, 1993, **32** (17):2108~3112

## OPTICAL MEDIAN FILTERING OF GRAY-SCALE IMAGE WITH PROGRAMMABLE LED ARRAY\*

Zhang Jianming Liu Ying Liu Fulai

Fang Zhiliang Lu Mingzhe Mu Guoguang

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract** An optical incoherent shadow-casting system based on programmable LEDs arrays is proposed to implement median filtering of binary images. By time-sequential threshold decomposition, this system can perform median filtering of gray-scale images. The system is compact and convenient in changing the median filtering function and thresholding.

**Key words** nonlinear threshold decomposition, median filtering, shadow-casting, LEDs array.

\*The project supported by the National Natural Science Foundation of China