

利用液晶光阀实现的光学形态变换*

袁石夫 赵世杰 张学如 陈历学 洪晶

(哈尔滨工业大学应用物理系, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

摘要 提出了基于液晶光阀的光学二值图像邻域处理器, 利用它完成了扩、蚀和边缘检测等形态变换操作, 并给出了实验结果.

关键词 形态变换, 液晶光阀, 图像处理.

引言

形态变换在图像处理、图像分析和计算机视觉等领域具有重要的应用^[1,2]. 由于形态变换的天然并行性, 利用光学方法进行形态变换图像处理具有潜在的高速并行处理能力, 从而引起人们的广泛兴趣. 许多作者报道了各自不同的光学形态变换图像处理系统^[3~8], 这些处理系统都以能实现形态变换基本操作的光学处理器为核心. 现有的形态变换基本操作光学处理器, 或由于采用全光学结构使得系统极为复杂, 或由于采用电子阈值方法降低了系统的并行性, 都难以满足光学图像处理系统的需要. 为此本文提出一个基于空间光调制器. 光学相关器和结构简单的实时非相干光学二值图像邻域处理器 (OBINP) 来执行光学形态变换过程. 实现了扩、蚀和边缘检测等形态变换基本操作, 并给出了实验结果.

1 光学二值图像邻域处理器基本原理

光学二值图像邻域处理器 (OBINP) 的基本原理可用邻域处理函数 $NP(X)$ 来描述:

$$NP(X) = NL[U_R(X)], \quad (1)$$

式 (1) 中 $NL(u)$ 表示空间非线性滤波函数, $U_R(X)$ 表示邻域结合函数, R 表示结构元, X 表示待处理二值图像. 邻域结合函数可表示为

$$U_R(X) = \sum_i X_{R_i}, \quad (2)$$

式 (2) 中 X_{R_i} 表示由结构元 R 中的图像点 (即二值图像中值为 1 的点) i 所确定的 X 的

* 国家高技术基金资助项目

本文 1993 年 6 月 22 日收到, 修改稿 1994 年 1 月 10 日收到

一个移动图像. 因此邻域结合形成一个多重移动叠加的多灰阶图像 $U_R(X)$. 假定 X 为一个 $(2n_1+1) \times (2n_2+1)$ 像素的二值图像. 图像 X 中的一个像素 (p, q) 的值为 $x(p, q)$, 这里 $p=0, \pm 1, \dots, \pm n_1$; $q=0, \pm 1, \dots, \pm n_2$. 结构元 R 为一个 $(2m_1+1) \times (2m_2+1)$ 像素的二值图像. 结构元 R 中的一个像素 (j, k) 的值表示为 $r(j, k)$, 这里 $j=0, \pm 1, \dots, \pm m_1$; $k=0, \pm 1, \dots, \pm m_2$. 根据式 (2), 通过邻域结合形成的多灰阶图像 $U_R(X)$ 中的一点 (p_1, q_1) 的值可以表示为

$$u(p_1, q_1) = \sum_j \sum_k x(p_1 + j, q_1 + k) \cdot r(j, k), \quad (3)$$

式 (3) 中当 $|p| > n_1$ 或 $|q| > n_2$ 时, $x(p, q) = 0$. 因而邻域处理便成了对多灰阶图像 $U_R(X)$ 的每一点 $u(p, q)$ 利用非线性滤波函数 $NL(u)$ 进行的空间非线性滤波.

OBINP 的实现, 首先是将输入的二值图像经邻域结合形成一个多值图像; 然后对这一多值图像进行光学非线性空间滤波以重新获得一个二值输出图像. 不同的邻域处理过程可通过选择适当的非线性函数来完成.

2 利用 OBINP 完成形态变换操作

在二值图像代数中, 有 3 个最基本的操作: 补 ($\bar{}$)、并 (\cup) 和扩 (\oplus). 其它的形态变换都可分解为这 3 个基本操作的组合. 一些形态变换过程如补、扩、蚀 (\ominus) 和边缘检测等可以直接通过选择不同的非线性函数来用 OBINP 实现. 图 1 给出了一些非线性函数. 对于补操作, 结构元 R 只在其中中心有一个图像点, 利用 OBINP 实现补操作的非线性函数如

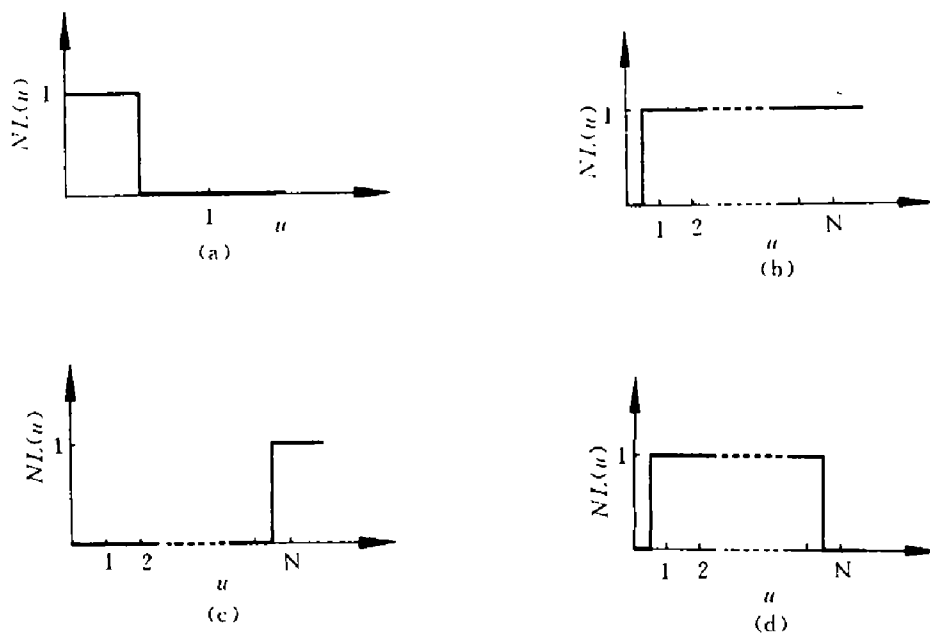


图 1 用于形态变换的非线性滤波函数

- (a) 实现补操作的非线性函数; (b) 实现扩操作的非线性函数;
(c) 实现蚀操作的非线性函数; (d) 实现边缘检测的非线性函数

Fig. 1 Nonlinear filtering functions for morphological transformations

- (a) Nonlinear function for complement operation; (b) Nonlinear function for dilation operation;
(c) Nonlinear function for erosion operation; (d) Nonlinear function for edge detection

图 1(a) 所示. 根据定义, 扩和蚀操作均需要一个有 N 个图像点的结构元. 图 1(b) 和 1(c) 分别给出了完成扩操作和蚀操作的非线性函数. 而边缘检测定义为

$$ED(X) = (X \oplus R) \cap \overline{X \ominus R}, \quad (4)$$

式 (4) 中 \cap 表示交操作, R 是一个小结构元, 其中的图像点数目仍用 N 表示. 当它用 OBINP 实现时其非线性函数如图 1(d) 所示.

为证实上述结果, 图 2 给出了数字模拟结果. 图 2(a) 是一个输入二值图像; 图 2(b) 给出了一个具有 $N=5$ 个图像点的 3×3 结构元; 图 2(c) 给出了经过邻域结合以后获得的多值图像 $U_R(X)$, 其中的像素具有 6 个灰阶, 即从 0 到 5 灰度级. 图 2(d)–2(f) 给出了采用不同的非线性函数在空域对多灰阶图像 $U_R(X)$ 的各点进行形态滤波操作的结果. 图 2(d) 给出了用图 2(b) 所示非线性函数滤波后得到的扩结果. 图 2(e)、(f) 分别给出了利用图 1(c) 和 1(d) 所示非线性函数作用后得到的蚀和边缘检测结果.

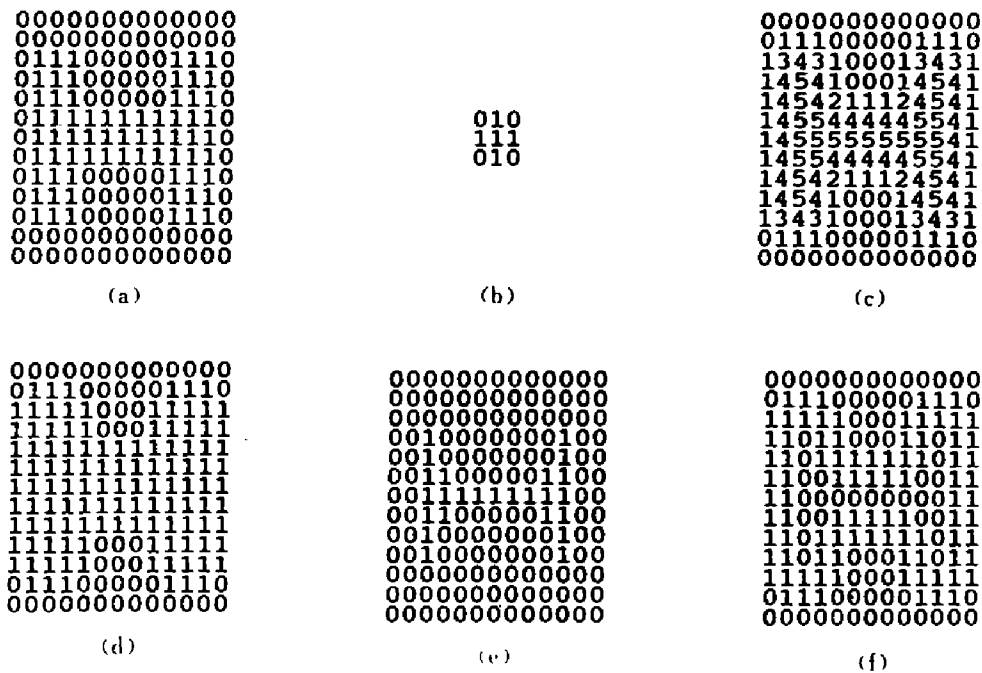


图 2 OBINP 执行形态变换的数字模拟结果

(a) 输入二值图像; (b) 结构元; (c) 多重移动叠加图像;
(d) 扩结果; (e) 蚀结果; (f) 边缘检测结果

Fig. 2 Digital simulation results of OBINP used for morphological transformations
(a) Input binary image, (b) Structuring element, (c) Multi-shifted-superimposed image,
(d) Dilation result, (e) Erosion result, (f) Edge detection result

3 OBINP 的光学执行

OBINP 需要两个光学器件来分别执行邻域结合和空间非线性滤波. 本文采用光强度编码, 高光强表示值为 1, 低光强表示值为 0. 邻域结合过程可用光学图像移动叠加实现. 而 OBINP 需要的非线性则可用具有非线性的光学器件如空间光调制器 (SLM) 来完成. 这样, OBINP 便可实时地全光学执行.

3.1 完成邻域结合的非相干光学相关器

图 3 给出了执行邻域结合的非相干光学相关器. 采用均匀非相干光照明输入平面 P_1 . 透镜 L 之前的模板 M 起着结构元 R 的作用. 若透镜 L 的焦距为 f , 结构元模板 M 上最邻近两个单元间距 (即像素周期) 为 d , 透镜 L 与模板 M 之间距离很小可忽略. 假定透镜 L 与输出面距离为 $f+z$, 结构元 R 上的每一个像素可看作一个单元. 当

$$f+z < Df/(D-f) \quad (5)$$

时, 由于这些单元面积很小以致于可看作针孔, 在输出面上强度分布为通过结构元 N 个单元所形成的 N 个移动图像的叠加. 通过结构元模板上两个最近邻单元的两移动图像的移动距离可表示为

$$\Delta = \frac{d}{fD}(D-f)\left(\frac{f^2}{D-f} - z\right). \quad (6)$$

假定 M 为图像的横向放大倍数, 则

$$M \approx (f+z)/D. \quad (7)$$

若输入平面 P_1 上输入图像的像素周期为 a , 则在输出平面 F_2 上一个移动图像的像素周期 b 可表示为

$$b = Ma. \quad (8)$$

为了形成多重移动叠加图像, 移动距离 Δ 应与像素周期 b 相等, 即

$$\Delta = b. \quad (9)$$

将式 (6)、(7) 和 (8) 代入式 (9), 可得

$$z = \frac{f^2(d-a)}{d(D-f) + fa}. \quad (10)$$

此时, 在输出平面 P_2 上光强度分布 I_2 可表示为

$$I_2(mb, nb) = \sum_j \sum_k I_1[(m+j)a, (n+k)a] \cdot R(jd, kd), \quad (11)$$

式 (11) 中 m, n, j, k 为整数, I_1 表示输入平面 P_1 上的光强度分布, R 表示结构元模板 M 上的单元分布. 式 (11) 表明在输出面 P_2 上得到了输入图像的邻域结合结果.

3.2 液晶光阀——执行非线性滤波的光学器件

目前已有许多二维光寻址空间光调制器用来完成非线性空间滤波操作, 液晶光阀就是其中之一. 由于其非线性输入-输出特性, 液晶光阀曾被用于演示光学并行逻辑运算^[9].

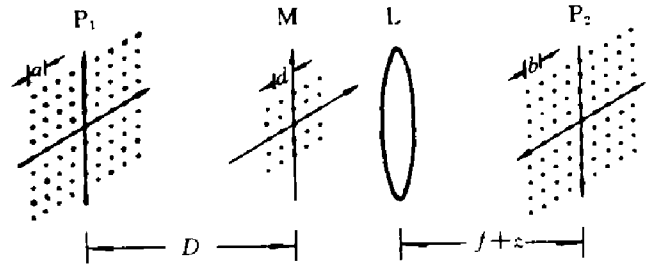


图 3 执行邻域结合的非相干光学相关器
Fig. 3 Incoherent optical correlator
for neighborhood combination

在我们实验中所用到的液晶光阀为交流反射式混合场效应 45° 扭曲液晶光阀, 该器件在室温下工作, 具有低光强响应能力. 其空间分辨率为 40 lp/mm , 对比度可达 $100:1$, 工作电压大小为 $4\sim 16 \text{ V}_{\text{rms}}$, 频率为 $200 \text{ Hz}\sim 5.5 \text{ kHz}$. 通过调节工作电压和频率可以得到不同的输入-输出特性曲线 (见图 4)^[10]. 图中水平轴和竖直轴分别表示输入和输出光强. 为简便起见, 图中略去了光强的物理单位. 图 4(a) 给出的是 45° 扭曲液晶光阀在两正交偏振器检偏时的典型输入-输出特性曲线. 由于调整光阀的工作电压可使之具有不同的阈值, 上述非线性输入-输出特性可用来近似地模拟图 1(b) 和 (c) 所示的理想非线性. 这时, 当改用两个平行偏振器检偏时, 液晶光阀具有使图像对比度反转功能, 即其输入-输出特性曲线将翻转过来, 这一翻转的特性曲线可用来模拟图 1(a) 所示的理想非线性. 图 4(b) 给出了 45° 扭曲液晶光阀在两正交偏振器检偏时选择不同工作电压得到的又一输入-输出特性曲线, 利用这一非线性特性可近似地模拟如图 1(d) 所示的理想非线性.

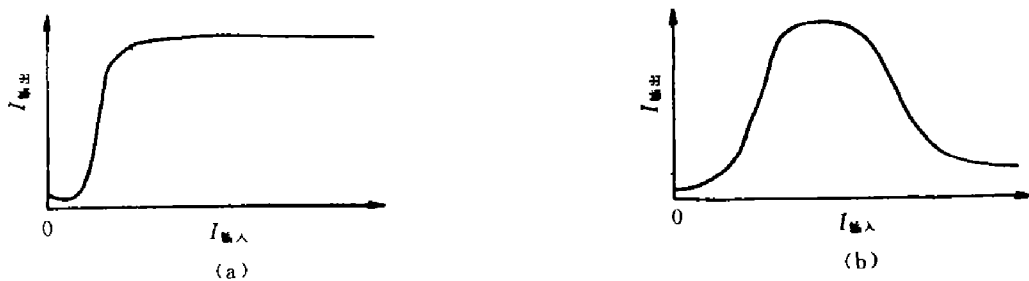


图 4 用于执行非线性滤波的液晶光阀的输入-输出特性曲线
(a) 典型特性曲线; (b) 另一特性曲线

Fig. 4 LCLV input-output characteristic curve used to perform nonlinear filtering
(a) A typical input-output characteristic curve; (b) Another input-output characteristic curve

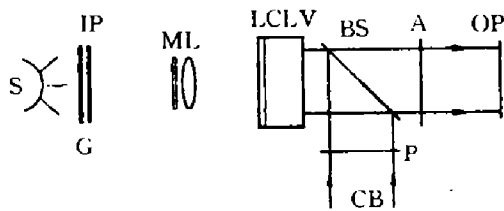


图 5 实现 OBINP 的光学实验原理图
S: 非相干光源; G: 散射屏; IP: 输入平面; M: 结构元模板; P: 偏振片; A: 检偏器; OP: 输出平面,
CB: 准直光束

Fig. 5 Schematic diagram of the optical set-up for implementation of OBINP

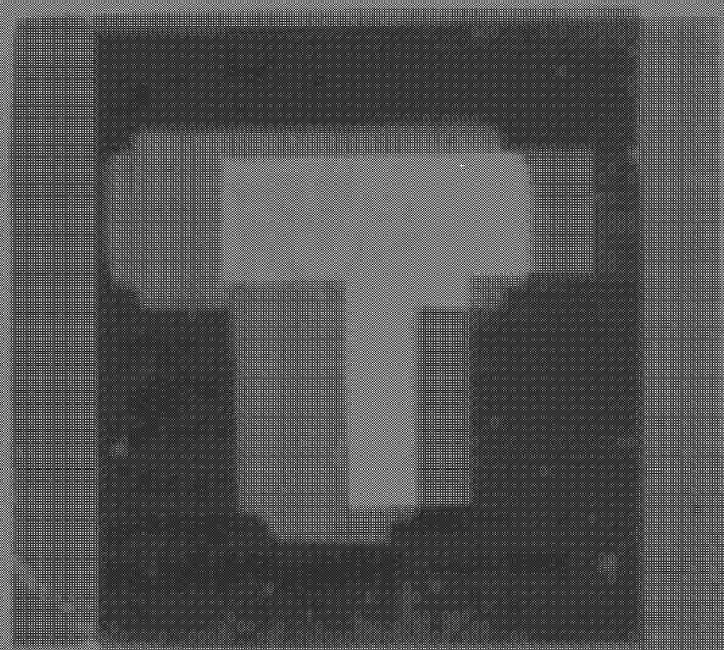
S: incoherent light source; G: diffuse screen; IP: input plane; M: structuring element mask; P: polarizer; A: analyzer; OP: output plane; CB: collimated beam

3.3 光学形态变换的实验演示

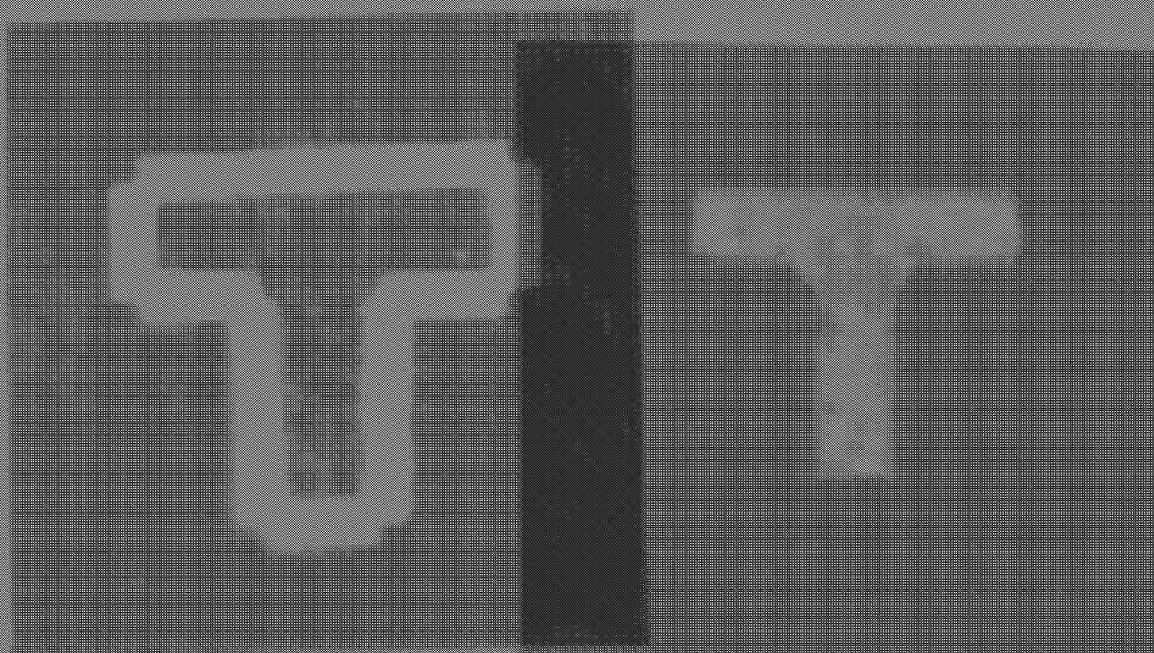
实现 OBINP 的光学实验装置如图 5 所示. 图 5 中 IP 为输入平面. 采用非相干均匀光 (S) 照明散射屏 G, 结构元模板 M 紧贴于透镜 L 之前, 液晶光阀 (LCLV) 的写入面与透镜 L 的距离为 $f+z$. 当显示在输入平面上的图像经过结构元模板 M 和透镜 L 之后, 在液晶光阀的写入面上形成一个邻域结合后的多灰阶图像. 一准直 He-Ne 激光光束 CB 经起偏器 P 起偏后作为读出光, 检偏器 A 将从光阀读出面反射回来的光束检偏后在输出平面 OP 上形成 OBINP 结果输出. 选择液晶光阀的不同的非线性特性曲线, 便可从实验演示不同的形态变换操作.

图 6 为实验结果. 图 6(a) 是一个输入二值图像; 图 6(b) 给出了用于形态变换的 3×3 的具有 5 个图像点的结构元; 图 6(c) 给出的是扩操作结果; 图 6(d) 给

实验结果操作结果；图 6(e) 给出了边缘检测的



(a)



(e)

(d)

- 6 Huang K S, *et al.* *Appl. Opt.*, 1989, **28**(6):1263
- 7 Liu Liren. *Optics Letters*, 1989, **14**(10):482
- 8 Wu Minxian, *et al.* *Opt. Commun.*, 1991, **86**(6):454
- 9 Sawchuk A A, Strand T C. *Proc. IEEE*, 1984, **72**(7):758
- 10 陈智勇, 等. *光学学报*, 1987, **7**(3):247

OPTICAL MORPHOLOGICAL TRANSFORMATIONS USING A LIQUID CRYSTAL LIGHT VALVE*

Yuan Shifu Zhao Shijie Zhang Xueru Chen Lixue Hong Jing

(*Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150006, China*)

Abstract An optical binary image neighborhood processor based on a liquid crystal light valve is proposed. Using this processor, some morphological transformations such as dilation, erosion and edge detection have been implemented optically and the experimental results are given.

Key words morphological transformation, liquid crystal light valve, image processing.

*The project supported by the National High-Technology Foundation of China