

# 复值核结构元数学形态学二值图像 实时光学并行处理\*

赵晓东

(北京邮电大学应用科技系 北京 100876)

张以谟 刘文耀 周 革 李豫华 戴小芳

(天津大学现代光学仪器研究所 天津 300072)

**提要** 用光学实时并行图像处理与计算机的灵活特性相结合可实现数学形态学实时并行图像处理。提出了采用实时光学处理系统和复值核结构元光学频域滤波方法实现二值图像数学形态学实时并行处理。

**关键词** 光学频域滤波, 复值核结构元, 数学形态学

## 1 引 言

数学形态学在计算机图像处理领域已取得了巨大成就,用光学方法实现数学形态学图像处理,可以引入光学处理的许多优点,如实现并行图像处理。现在已产生了多种光学并行数学形态学图像处理的方法,其中矩心尺度-空间映射原理<sup>[1]</sup>的光学实现就是很有应用前景的一种,为了能使处理系统趋近于实用,本文在光学实现矩心尺度-空间映射原理基础上<sup>[2,3]</sup>提出采用实时光学处理系统和光学复值核谱面滤波的方法实现实时二值图像数学形态学光学并行处理。其中复值核频域滤波器采用计算全息(CGH)技术<sup>[4,5]</sup>实现。实验结果表明该方法效果好,充分体现出光学的并行性。

## 2 矩心尺度-空间映射与形态学处理的关系

形态变换的特点是直接在空域中运算<sup>[2,6]</sup>,形态学中的两个基本运算是蚀运算和扩运算,由这两个基本运算可实现全部形态变换。

形态学的相对强度处理是根据矩心尺度-空间映射原理而实现的<sup>[1,3,6]</sup>,设结构元函数为

$$c(x, y; r) = (x + iy)w(x, y; r) \quad (1)$$

这里  $w(x, y; r)$  是窗口形状函数

$$w(x, y; r) = \text{circ}[(x^2 + y^2)^{1/2}/r] \quad (2)$$

让  $w(x, y; r)$  的半径从全部包含物体变至零,这样产生了矩心尺度-空间映射

$$Z(x, y; r) = \text{ZEROS}[c(x, y; r) * X(x, y)] \quad (3)$$

其中符号“\*”代表卷积运算,考虑到  $Z$  中存在满足如下关系的子集

\* 国家自然科学基金(批准号: 69392402)及国家教委光电信息工程开放实验室资助项目。

$$Z'(x, y; r) = U_i \{a = (x, y) | B_a(r) \subseteq X_i\} \quad (4)$$

这里  $B_a(r)$  是结构元到  $a$  点的位移变换,  $X_i$  是在图像中的一常值区, 上式和蚀定义式比较, 正是描述了每一区域  $X_i$  的蚀运算, 因此可从  $X_i$  和  $Z'$  的二值“与”运算来取得任一区域的蚀运算

$$X_i \ominus B(r) = X_i \cap Z'(x, y; r) \quad (5)$$

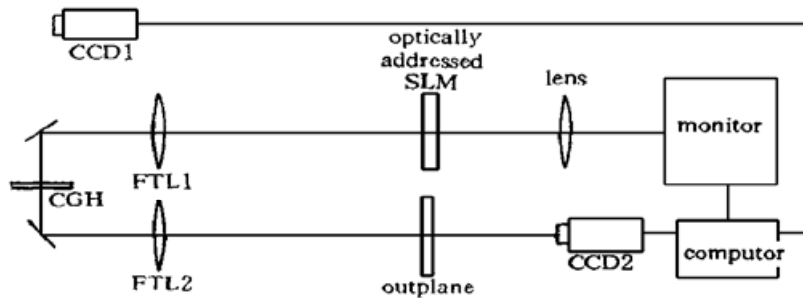
物体的扩运算是从背景的蚀运算反转而得

$$X \oplus B(r) = \overline{X \cap Z'(x, y; r)} = \overline{X} \cup \overline{Z'(x, y; r)} \quad (6)$$

其他形态运算可由蚀和扩组合而得到, 由于  $Z'$  和图像输入绝对强度无关, 只和相对强度有关, 故这种方法对图像输入强度要求不苛刻。

### 3 数学形态学光学实时并行处理

基本原理是复值核结构元光学频域滤波, 光学系统如图 1 所示。现设  $g(x, y) = (x + iy)w(x, y, r)$  代表复数核结构元,



$f(x, y)$  代表被处理的图像,  $G(u, v)$  代表  $g(x, y)$  的傅氏变换,  $F(u, v)$  代表  $f(x, y)$  的傅氏变换,  $w(x, y, r)$  代表结构元形状,  $w(x, y, r)$  的形状必须中心对称, 在该实验中为圆形, 此时半径代表尺度。现将用 Burkhadt 方法制作  $G(u, v)$  的 CGH 放置在谱面上, 输入图像的谱透过结构元滤波器后其 +1 级复振幅分布为

$$H(u, v) = F(u, v)G(u, v) \quad (7)$$

当再经过一次傅氏变换后就会产生卷积输出  $f(x, y) * g(x, y)$ , 如果对输出的光强分布取阈为零, 则所得的输出即为输入图像  $f(x, y)$  对该结构元尺度的矩心尺度-空间变换。

这种矩心尺度-空间变换可理解为同时对前景和背景的蚀操作, 要得到对前景的蚀操作, 必须经过一次原始图像与取阈后的图像之间的比较。实际上任意复杂的形态学变换均可由蚀操作实现<sup>[8]</sup>。扩操作由对背景的蚀操作实现, 开和闭操作是由蚀和扩组合实现的。

### 4 实验结果

由于实验系统要求 CGH 的再现精度高、噪声小, 选择 Burkhadt 方法<sup>[4, 5, 7]</sup>制作 CGH 复值核频域滤波器较为合适。

在 CGH 的制作中取样间隔选为  $X = Y = 0.03 \text{ mm}$ , 制版精度为  $0.001 \text{ mm}$ , 取样点数为  $340 \times 340$ , 在谱面上 CGH 的面积为  $10.2 \times 10.2 \text{ mm}^2$ , 采用电子束扫描工艺制作。制版精度对实验结果有着直接的影响, 因为制版精度越高表示每个取样点的量化值就越多, 因此 CGH 的再现精度就将会越高。在本实验中每个取样点用  $30 \times 30 = 900$  个量化值表示。

在图 1 所示的光学系统中, 傅里叶透镜的焦距为  $1000 \text{ mm}$ , 输入图像尺寸为  $20 \text{ mm} \times 20$

mm, 复值核结构元半径为  $r = 0.3\text{mm}$ , 考虑到 CGH 的取样间隔为  $0.03\text{mm}$ , 激光波长为  $0.0006328\text{mm}$ , 设一级衍射的偏角为  $\alpha$ , 其满足  $0.03\sin\alpha = 0.0006328$ , 因此  $\alpha = 0.02109\text{rad}$ , 故在输出面上零级与+1级衍射间隔为  $21.09\text{mm}$ , 这也是系统能处理的横向(衍射方向)最大尺寸, 又由于 CGH 位于谱面上, 其能通过的最高空间频率为  $U = x/(2f) = 5.1/(0.0006328 * 1000) \approx 8$  对线/mm。

采用图 1 所示的光学系统对二值图像进行了形态学实时光学并行处理, 包括蚀与扩、边缘检测(扩与蚀之差)、细化 ( $S - S \otimes B$ , 其中  $S$  代表目标图像,  $B$  代表击中与击不中结构元, 符号  $\otimes$  代表击中与击不中变换)、开与闭 ( $S \circ B = (S \ominus B) \oplus B$ , 符号  $\circ$  代表开操作;  $S \cdot B = (S \oplus (-B)) \ominus (-B)$ , 符号  $\cdot$  代表闭操作), 其中开操作去除尺寸大于结构元的前景噪声, 闭操作去除尺寸大于结构元的背景噪声, 由图 2 的实验结果可以看出, 无论输入图像形状如何, 实时光学并行形态操作结果都是准确可靠的。

在实验研究中发现影响实验结果的主要因素来自以下几个方面: (1) CGH 本身的量化噪声, 这种噪声是由于量化编码而引起的, 是不可避免的, 它随着制版精度的提高而不断地减小, 在实验中采用减弱光强的方法提高信噪比; (2) 杂散光噪声, 即周围环境中的杂散光引起的噪声; (3) 液晶光阀的技术性能也直接影响实验结果。

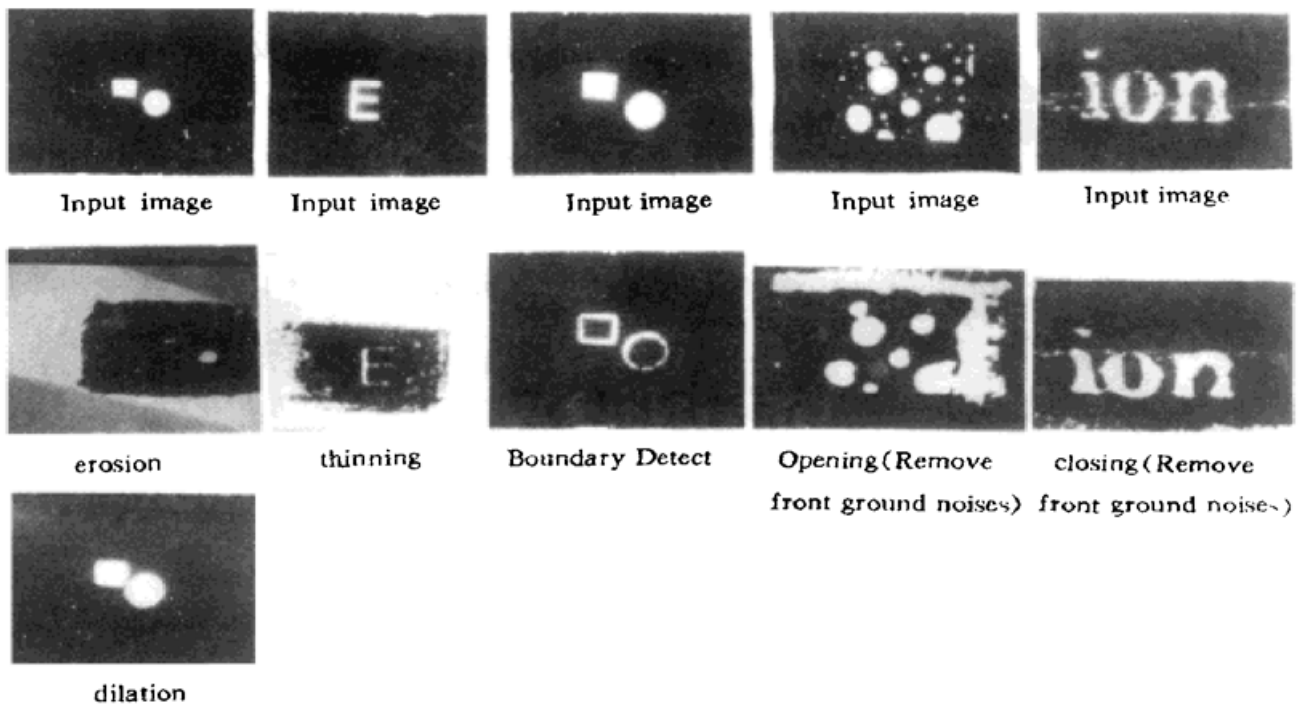


图 2 二值图像实验结果

Fig. 2 Experimental results of binary image

## 5 结 论

光学并行形态学图像处理的方法有多种, 根据尺度-空间映射原理及其光学实现, 本文提出用光学复值核结构元谱面滤波的方法实现二值图像光学实时形态学并行处理, 即采用实时光电处理系统, 以及复值核结构元频谱的 CGH 作相干输入图像的滤波器, 实验结果表明:

(1) 实时性决定于实时空间光学调制器及计算机处理系统的工作速率;

(2) 采用高质量光学系统及高精度的复值核结构元, 可得到较好的图像处理效果;

(3) 该方法充分体现出现实时光学并行处理的优点, 计算机只起到取阈的作用;

用复值核结构元滤波器和实时傅里叶变换光学处理系统是数学形态学图像处理的有效方法之一。该实时光学处理系统要求 CGH 精度高、噪声小, 因此 CGH 的设计与制作有较大难度。

### 参 考 文 献

- 1 Mark O. Freeman, Bahaa E. A. Saleh. Centroid scale-space maps. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1991, **8**(9): 1474~ 1487
- 2 Zhao Xiaodong, Zhang Yimo, Dai Xiaofang. Mathematical morphological binary image parallel processing using the approach of optical frequency filtering by a complex-valued kernel. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1996, **6**(9): 1291~ 1295 (in Chinese)
- 3 Zhang Yimo, Zhao Xiaodong, Yue Bing. Mathematical morphological centroid scale-space optical-electronic hybrid image parallel transformation using the approach of optical frequency filtering by a complex-valued kernel. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(6): 555~ 559 (in Chinese)
- 4 Yu Zuliang, Jin Guofan. Computer generated holograms. Beijing: Qinhua University Press, 1984. 31~ 35 (in Chinese)
- 5 C. B. Burckhardt. A simplification of Lee's method of generating holograms by computer. *Appl. Opt.*, 1970, **9**(8): 1949
- 6 Adam Fedor, Mark O. Freeman. Optical multiscale morphological processor using a complex-valued kernel. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(20): 4042~ 4050
- 7 Wai Hon Lee. Sampled Fourier transform hologram generated by computer. *Appl. Opt.*, 1970, **9**(3): 639~ 643

## Mathematical Morphological Binary Image Real-time Parallel Processing Using Optical Frequency Filtering of Complex-valued Kernel

Zhao Xiaodong

(Department of Applied Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

Zhang Yimo Liu Wenyue Zhou Ge Li Yuhua Dai Xiaofang

(Institute of Optoelectronics and Precision Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

**Abstract** The combination of optical real-time parallelism with computer's flexibility can implement real-time optical image morphology parallel processing. In this paper a real-time optical processing system with a mathematical morphological new approach of optical frequency filtering for complex-valued kernel structure element to implement binary image real-time parallel processing is proposed.

**Key words** optical frequency filtering, complex-valued kernel structure element, mathematical morphology