

156-160

应用傅里叶全息滤波器的光电图像 形态学处理系统*

翟宏琛 彭超群[√]方志良 刘福来 路明哲 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津, 300071)

A **摘要** 介绍一种使用傅里叶全息滤波器的光电图像形态学处理系统, 其中关于图像结构元的扩张、侵蚀及开和闭等基本运算均基于傅里叶全息光学方法产生的图像与结构元的卷积结果, 其迭代过程使用了计算机控制的电寻址空间光调制器. 该系统具有结构简单、能反复迭代、易于根据图像设计、更换及使用计算机全息图产生结构元等优点.

关键词 傅里叶全息滤波, 卷积, 图像处理, 数学形态学.

TN919.8

引言

数学形态学变换对图像识别和处理具有很大的应用潜力. 形态学的基本运算是在输入图像和结构元之间进行扩张和侵蚀操作, 以及由这两种操作交替运用而形成开和闭运算. 由于这些基本运算以基于图像与结构元之间的卷积来实现, 因此光学方法在处理这类运算时因其高速和巨并行性特点而具有不可替代的优势.

(15)

我们在分析已有光学图像处理系统的基础上提出并建立了一种相干光图像形态学处理系统. 该系统将结构元的傅里叶全息图作为滤波器, 实现对输入图像与结构元间的光学卷积处理. 对卷积结果的取阈、取反等操作则采用电子计算机控制的电子学方法, 以实现扩张、侵蚀等运算, 通过这些运算的结合可以实现形态的各种基本操作. 本系统使用 CCD 对输出信号进行采集, 使用 LCTV 作为中间输入. 与其它系统相比, 本系统结构简单, 结构元易于更换, 可使用计算机全息图产生结构元, 及易于反复迭代以实现比较复杂的运算.

1 二值化图像形态学

形态学的基本运算^[1,2]包括扩张和侵蚀. 扩张定义为

$$A \oplus B = \bigcup_{b_i \in B} A_{b_i} \quad (1)$$

其中 A 为结构元, A_{b_i} 是 A 平移矢量 b_i 后得到的图像. 图像 A 中每一像素均与结构元的中心像素重合, 然后对 A 的所有像素求并集. 相当于用光学图像与滤波器作卷积. 侵蚀定义为

$$A \ominus B = \bigcap_{b_i \in B} A_{b_i} \quad (2)$$

在形态学理论中, 侵蚀运算可以用扩张及图像反射和集合取补来实现, 数学表达为 $A \ominus B$

• 国家自然科学基金资助项目
本文 1995 年 9 月 12 日收到, 修改稿 1995 年 10 月 23 日收到

$= (A^c \ominus \tilde{B})^c$, 这里 A^c 表示 A 的补集或余集, 即从整幅图像中去掉 A 所剩余的部分, \tilde{B} 表示 B 的反射集. 如结构元是对称的, 则有 $B = \tilde{B}$, 由此可得 $A \ominus B = (A^c \oplus B)^c$. 从而可以用较简单的光学系统实现侵蚀.

开和闭运算可通过扩张和侵蚀的交替运用而得到. 开运算定义为对输入图像先进行侵蚀运算, 然后再进行扩张运算, 即

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B. \quad (3)$$

闭运算定义为对输入图像先进行扩张运算, 然后进行侵蚀运算, 即

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B. \quad (4)$$

利用开运算可以消除图像的高散噪声和毛刺, 对图像进行平滑; 同样, 用结构元对图像进行闭运算可以消除图像的内部噪声.

2 光电图像形态学处理系统

本系统的关键部分是采用光学方法实现输入图像与结构元间的并行卷积, 其余部分均由电子计算机控制的电子学方法实现. 在光学卷积过程中, 我们使用了图像结构元的傅里叶全息图作为待处理图像的滤波器. 图 1 为本文傅里叶全息光电图像处理系统示意图. 其中输入面 P_1 为实时输入器件液晶电视 (LCTV), 其读出光束是由 He-Ne 激光器波长为 6328 \AA 的准直相干光. 此液晶电视可通过驱动电路输入由 CCD 采集或直接由计算机产生的图像. 图像卡产生的待处理图像经准直激光束照射后作为 P_1 平面上的光学输入, P_1 处于傅里叶变换透镜 L_1 的前焦平面, P_2 处于 L_1 后焦平面, 其中心位于傅里叶变换透镜 L_2 的前焦点. P_3 为 L_2 的后焦平面, 因此在 P_1 与 P_3 之间构成一个 $4f$ 空间匹配滤波系统^[3].

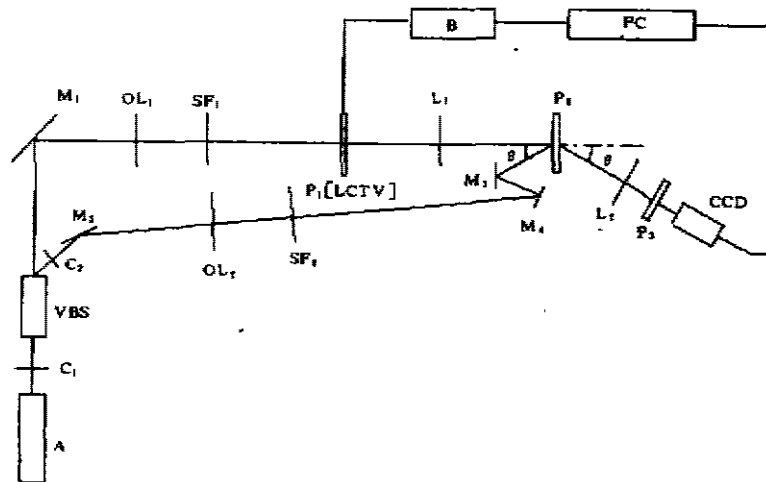


图 1 实验光路图
Fig. 1 Experimental set-up

首先, 使用此光路在 L_1 的傅里叶平面 P_2 记录由 LCTV 给出的结构元的傅里叶全息图, 其中结构元位于 P_1 平面. 参考光束经控制快门、滤波及反射装置后为具有均匀振幅的平

面波束,与光轴的夹角为 θ .此参考光束在下一步卷积过程中,由快门 C_2 切断.卷积过程中,将记录结构元的傅里叶变换全息图置于 P_2 平面作为滤波器,并在 P_1 平面输入待处理的图像 $g(x_1, y_1)$,则可以通过该系统对该图像进行形态学处理.由于输入的结构元图像在 P_2 平面上的分布为它的傅里叶变换,在对输入图像 $g(x_1, y_1)$ 进行形态学处理的过程中,把 $g(x_1, y_1)$ 放在平面 P_1 处.此时入射到 P_2 平面光振幅分布是 $G(u, v)$,而透过滤波器的光振幅分布为 $G(u, v)t(x_2, y_2)$,其中 $t(x_2, y_2)$ 为滤波器的透射率.由于平面 P_2 处在焦距为 f_2 的傅里叶变换透镜 L_2 的前焦面,在 L_2 后焦平面 P_3 的是 $G \cdot t$ 的傅里叶变换,其中包括我们所需要的卷积项.此卷积结果在 L_2 后焦平面上可由 CCD 采集后输入计算机,经计算机取阈后完成形态学的扩张操作.若将图像取反后反馈给 LCTV,再次扩张后取反,则可实现形态学侵蚀操作.以上过程可按一定组合反复迭代,即可实现形态学的各种不同的操作.其运算结果可由计算机的输出端以打印或显示方式直接输出.

3 实验步骤与结果

本系统的关键部分是实现光学卷积的匹配滤波系统(见图 1).其中 L_1 和 L_2 为两个傅里叶透镜,焦距为 30cm, P_1 为输入平面, P_2 为结构元傅里叶谱全息图的记录面, P_3 为卷积接收面.在 P_3 放置硫酸纸,卷积结果成像于 P_3 面上,便于系统的接收器件 CCD 摄像机接收.形态学运算中的取阈、取反等操作均由计算机完成.计算机通过图像卡 CA6300 可控制液晶驱动电路 B 和 CCD 摄像机,从而实现系统的反馈操作和对图像的实时输入.

首先,使用此系统记录结构元的傅里叶谱全息图,在实现光学卷积时以此全息图作为滤波器.在 LCTV 上输入待处理图像 $g(x, y)$,则在傅里叶透镜的后焦面上得到输入图像的傅里叶变换 $G(u, v)$,透过滤波器的光场分布为 $t=G(u, v)F(u, v)$,对之作逆傅里叶变换,则在 P_3 平面上得到输出结果,即为输入图像与结构元的卷积.

用光学方法得到待处理图像的卷积结果后,采用电子学方法进行数学形态学的其它各种操作.具体过程是将 CCD 接收到的卷积分布输入计算机,使用计算机进行非线性取阈实现形态学中的基本操作——扩张运算.对于侵蚀运算,则可采用图像取反和扩张操作相结合的方法来实现:计算机将第一次运算后的结果取阈,取反后通过接口电路反馈给 LCTV,再进行另外一次扩张运算,对结果取阈并取反即实现了侵蚀运算.以上过程可以反复迭代进行,以实现形态学的各种运算.

在本实验中,我们采用同“+”字形结构元对不同的输入图像进行了卷积运算和取阈操作,得到扩张结果.如图 2 所示,(b)为输入图像(a)与“+”字形结构元进行卷积以后,计算机进行非线性取阈后得到的形态扩张结果.(a)和结构元均采用高反差透明胶片制作,由 CCD 采集显示并输入到系统中,图中边缘毛刺是由于系统中输入透明片存在衍射造成的.闭运算的过程及其实验结果由图 2(b)~(e)给出,可看出最后结果消除了图像中的内部噪声.

图 3(a)~(e)为开运算的过程及结果,由图可看出开运算消除了图像的外部孤立噪声和毛刺.

图 4(a)和(b)为对输入字母 T 分别进行扩张及侵蚀后,再进行相减后的边缘增强实验结果.

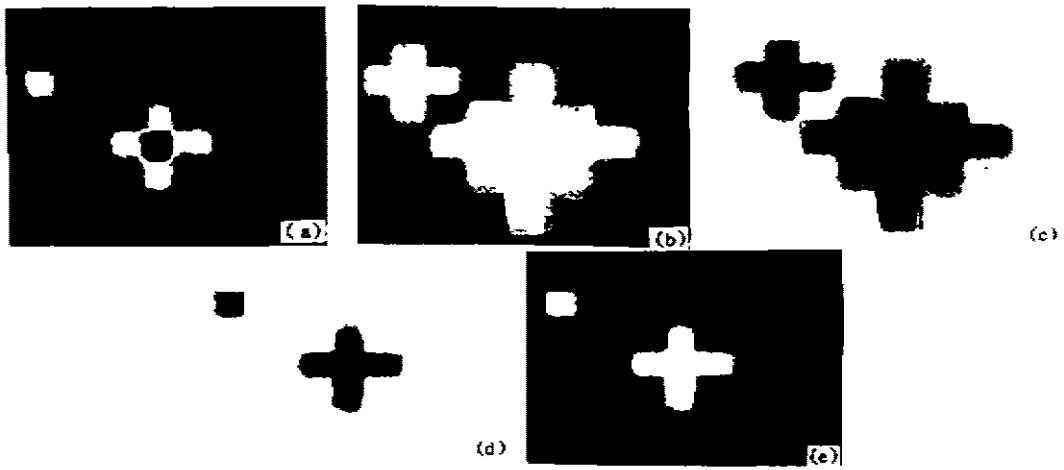


图 2 闭运算过程及其实验结果
 (a) 输入图像, (b) 扩张结果, (c) 取反结果, (d) 再扩张结果, (e) 闭运算结果
 Fig. 2 Experimental steps and the result of closing, (a) input image, (b) result of dilation, (c) reversed image, (d) result of re-dilation, (e) result of closing

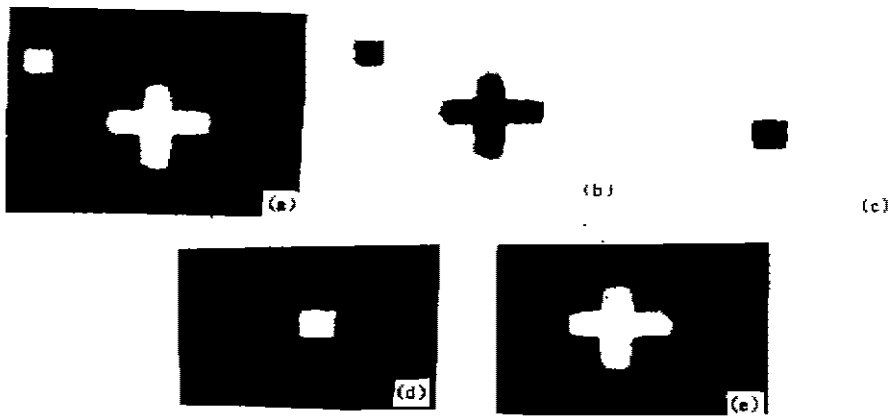


图 3 开运算过程及其实验结果
 (a) 输入图像, (b) 取反结果, (c) 扩张结果, (d) 再取反结果, (e) 开运算结果
 Fig. 3 Experimental steps and the result of opening, (a) input image, (b) reversed image (c) result of dilation, (d) re-reversed image, (e) result of opening

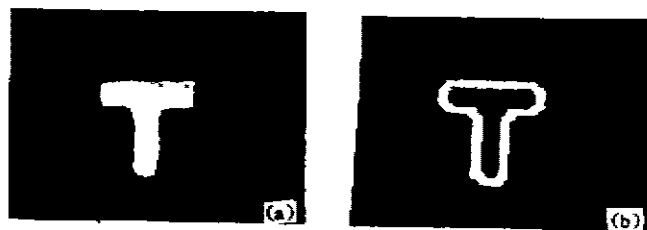


图 4 边缘增强实验结果, (a) 输入图像, (b) 边缘增强结果
 Fig. 4 Experimental result of edge-enhancement
 (a) input image, (b) result of edge-enhancement

4 讨论与结论

我们提出了一种基于傅里叶全息方法的相干光图像形态学处理系统. 本系统的图像与结构元的卷积过程由光学方法实现, 而取阈、取反及迭代等操作则使用基于电子计算机控制的电子学方法, 并用 CCD 及 LCTV 作为系统输出及输入部件. 这样, 既充分发挥了光学系统处理复杂卷积的高速和巨并行性特点, 又避免了光学元件在取阈和迭代方面存在的稳定性及可靠性等问题, 使系统的整体性能得到优化. 使用本系统, 我们实现了对输入图像的开运算及闭运算, 分别进行了消除图像上不同形式噪声以及对图像的边缘增强处理. 本系统可对灰值图像进行二值化后的形态学图像处理. 本文仅给出了使用“+”字形结构元的实验结果, 实际上, 就系统本身性能而言, 可根据图像的结构而采用其他形式结构元^[5]. 由于光学输入及卷积使用相干光, 因此在一定程度上存在相干噪声干扰. 实验中, 我们用计算机对卷积结果进行非线性取阈, 可在一定程度上消除相干噪声的影响. 这种取阈方法较之其它方法要灵活得多. 本系统具有结构简单、结构元易于更换、可使用计算机制全息图产生结构元、易于反复迭代以实现比较复杂的运算、可打印输出处理图像等优点.

参考文献

- 1 吴敏金. 图像形态学, 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991
- 2 唐常寿, 吕宏伯, 黄 铮. 数学形态学方法及应用, 北京: 科学出版社, 1990
- 3 H. J. 考尔菲尔德主编, 郑 庸等译. 光全息手册, 北京: 科学出版社, 1988
- 4 翟宏霖, 彭超群, 方志良, 等. 激光与光电子学进展, 1995, 7: 185

AN OPTOELECTRONIC MORPHOLOGICAL SYSTEM USING FOURIER HOLOGRAPHIC FILTER*

Zhai Hongchen Peng Chaoqun Fang Zhiliang Liu Fulai Lu Mingzhe Mu Guoguang
(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract An optoelectronic morphological system using Fourier holographic filter is introduced, in which all the basic operations of dilation, erosion, opening, and closing of an image about its construction element are executed based on the convolution of the image with the construction element by Fourier holography. A computer-controlled electronically addressed SLM is employed in the iteration process. The system is simple in construction, easy for multiple iteration, design and exchange of the construction element, and using computer-generated hologram, as well as printing the output by computer directly.

Key words Fourier holographic filtering, convolution, image processing, morphology.

* The supported by the National Natural Science Foundation of China