文章编号:1001-5078(2012)06-0705-04 ·图像与信号处理·

光学图像信息处理技术仿真研究

郝爱花
(西安邮电学院电子工程学院,陕西 西安 710121)

摘 要:研究发现相干光图像信息处理技术和白光图像信息处理技术的共同点是信息处理技术的核心都为频域综合,这一点有利于仿真实验。本文通过对光学图像信息处理技术的仿真探索,成功地开展了相关实验,在节约实验成本的同时,弥补了课堂理论教学的不足。

关键词:相干图像信息处理;白光图像信息处理;频域综合
中图分类号:O438 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.06.024

Simulation research on optical image information processing technology

HAO Ai-hua
(School of Electronic Engineering,Xi'an University of Posts and Telecommunications,Xi'an 710121,China)

Abstract: Frequency domain synthesis is the core of coherent optical and white light image information processing technologies,which is beneficial to simulation analysis. We completed optical image information processing simulation research and successfully carried out related experiments. This not only reduces the cost of experiments but also makes up for theoretical teaching.

Key words: coherent optical image information processing;white light image information processing;frequency domain synthesis

1 引 言

光学图像信息处理是图像信息处理的重要组成内容,与其他数字图像信息处理方法相比较,具有结构简单、并行高速处理的优点。光学图像信息处理技术主要包括相干光图像信息处理和白光图像信息处理[1]。相干光图像信息处理是指采用相干光源,基于光学频谱分析,利用傅里叶综合技术,通过空域或频域调制,借助空间滤波技术对光学信息进行处理的过程,主要应用有图像边缘增强、图像相减、图像识别、图像复原等;白光图像信息处理与相干光图像信息处理的主要区别在于采用白光光源,以微小的光源尺寸提高空间相干性,并在输入面上引入光栅提高时间相干性,某种程度上保留了相干光信息处理的特征,典型的应用如黑白图像假彩色编码。相干光图像信息处理和白光图像信息处理尽管采用的光源不同,处理的手段不同,但在本质上又有相通之处,二者光学信息处理系统基本都采用4*f*傅里叶处理系统,其图像信息处理技术的核心都基于频域综合技术。这一特点有利于借助傅里叶变换编程语言对一系列光学图像信息处理技术进行仿真研究。

本文在第二部分主要介绍了光学图像信息处理的4*f*光路,及光学图像信息处理的基本原理。第三部分对相干光图像信息处理的主要方法——图像边缘增强、图像相减、匹配滤波相关识别、离焦模糊图像的逆滤波恢复,以及白光图像信息处理中的等空间频率假彩色进行了仿真实验。与以往其他文献仅仅对相干光图像信息处理进行仿真研究相比,本文

基金项目:陕西省教育厅科研计划项目(No.2010JK839);西安邮电学院校青年基金项目(No.101-0406);西安邮电学院校级教改项目(No.[2010]29)资助。
作者简介:郝爱花(1977-),女,副教授,博士在读,主要研究工作是信息光学和光电信息处理。E-mail:haoaihua200177@163.com
收稿日期:2011-07-19;**修订日期:**2011-11-25

在研究相干光和白光信息处理的技术差异的同时，抓住了二者的内在联系，系统的进行了光学图像信息处理的仿真研究。

2 光学图像信息处理的基本原理

如图 1 所示的 4f 傅里叶光学处理系统为光学图像信息处理的基本光路，(x_1, y_1) 平面为经过调制的物平面，(x_2, y_2) 平面为滤波解调频谱平面，(x_3, y_3) 平面为经过信息处理后的像平面，假设物平面的光场分布为 $t(x_1, y_1)$，物谱为 $T(f_x, f_y)$，频谱平面的滤波函数为 $H(f_x, f_y)$，其中，$f_x = x_2/\lambda f$，$f_y = y_2/\lambda f$，那么滤波解调后的频谱函数在像平面的输出为：

$$t'(x_3, y_3) = F^{-1}\left[T\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) \cdot H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)\right] \quad (1)$$

像平面上的光强分布为：

$$I(x_3, y_3) = |t(x_3, y_3) * h_n(x_3, y_3)|^2 \quad (2)$$

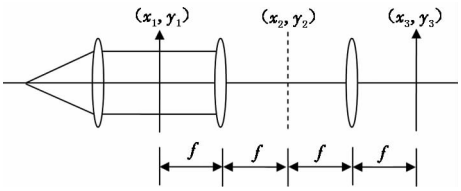


图 1 4f 傅里叶光学处理系统

对于白光图像信息处理的复色波，物平面通常采用光栅调制的方式，使得频谱面上的物谱发生色散，通过对色散后的物谱处理，实现对物函数的处理。令调制正弦光栅的频率为 f_0，单个波长 λ_n 的像场复振幅可以表示为：

$$t'_n(x_3, y_3; \lambda_n) = F^{-1}\left[T\left(\frac{x_2}{\lambda_n f} - f_0, \frac{y_2}{\lambda_n f}\right) \cdot H_n\left(\frac{x_2}{\lambda_n f} - f_0, \frac{y_2}{\lambda_n f}\right)\right] \quad (3)$$

输出平面上波长为 λ_n 的像强度分布为：

$$I(x_3, y_3; \lambda_n) = |t(x_3, y_3) * h_n(x_3, y_3; \lambda_n)|^2 \quad (4)$$

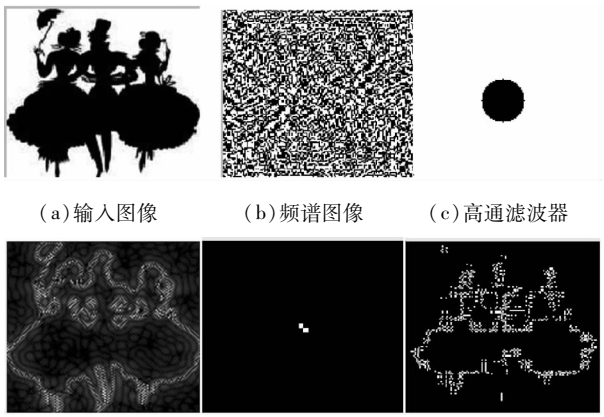
式中，h_n 是 H_n 的逆傅里叶变换，输出面上不同波长的总光强分布为：

$$I(x_3, y_3) = \sum_{n=1}^{N} \Delta\lambda_n |t(x_3, y_3) * h_n(x_3, y_3; \lambda_n)|^2 \quad (5)$$

3 光学图像信息处理部分仿真结果

3.1 图像边缘增强

图像边缘增强可以用于提高图像的识别能力，是图像分割、纹理特征和形状特征等图像分析的重要基础。主要应用于医学诊断、航空航天、军事侦察、无损探伤、卫星图片的处理等领域。光学图像边缘增强的方法很多，如频域滤波[2]、光栅光学微分、光学小波变换[3]、激光散斑离焦[4]，以及基于声光调制器[5]、光折变晶体[6-7]和液晶光阀[8]等特殊介质的边缘增强方法等。图 2 是高通滤波和 Haar 小波滤波图像边缘增强仿真实验。高通滤波由于损失掉大部分能量，边缘增强后的图像较暗；Haar 小波边缘增强后的清晰度较好，但 Haar 小波在探测与 x 轴或与 y 轴平行的边缘时值为零，特点在于测量任意一段既不与 x 轴平行也不与 Y 轴平行的边缘时效果很好。



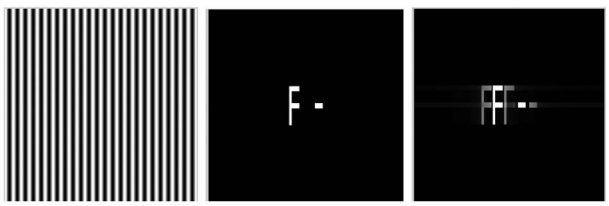
(a)输入图像 (b)频谱图像 (c)高通滤波器

(d)高通边缘增强像 (e)Haar 小波滤波器 (f)Haar 边缘增强像

图 2 图像边缘增强仿真实验

3.2 图像相减

图像相减用于检测两张近似图片之间的差异，使我们能够研究事物的变化。如监测大陆变迁、自然灾害、病理变化以及加工工件缺陷等。相干光学图像相减的方法主要全息法[9-10]、散斑法、光栅法[1,11]。图 3 是正弦光栅滤波图像相减仿真实验，图 3(a)是正弦光栅滤波器；图 3(b)是物面上关于 y 轴对称放置的图像 A 和 B；图 3(c)是频谱面上经正弦光栅滤波后像面上的输出像，中心部分是 A 的 +1 级衍射像和 B 的 −1 级衍射像相干叠加后的结果，由于级衍射像相差的位相差，因此在像平面的中心位置实现了图像相减，左边是图像 A 的 0 级和 −1 级像，右边是图像 B 的 0 级和 +1 级像。



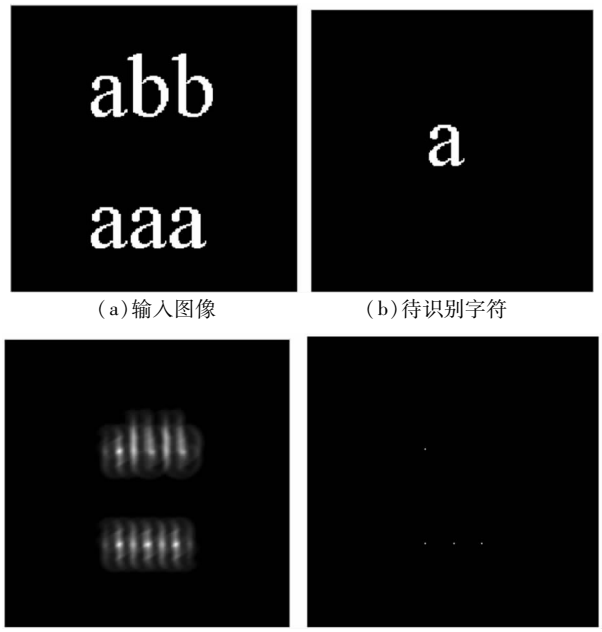
(a)正弦光栅滤波器(b)物面上图像 A，B(c)像面上图像相减结果

图 3 正弦光栅滤波图像相减仿真实验

3.3 图像识别

图像识别用于检测和判断一组图像中是否含有

某一特定的图像信息，如指纹识别、人脸识别、虹膜识别等。相干光学图像识别的方法主要有匹配滤波相关识别[1,12-13]和联合变换相关识别[1]，图 4 是字符匹配滤波相关识别仿真实验。图 4(a)为任意给出的一组字符，其中含有待识别字符“a”；图 4(b)为待识别的字符“a”；图 4(c)为匹配滤波相关识别后的初步结果；图 4(d)取合理的强度阈值后的输出结果，从图 4 中可以精准读出字符“a”在输入图像中的数量和位置。



(a)输入图像　(b)待识别字符

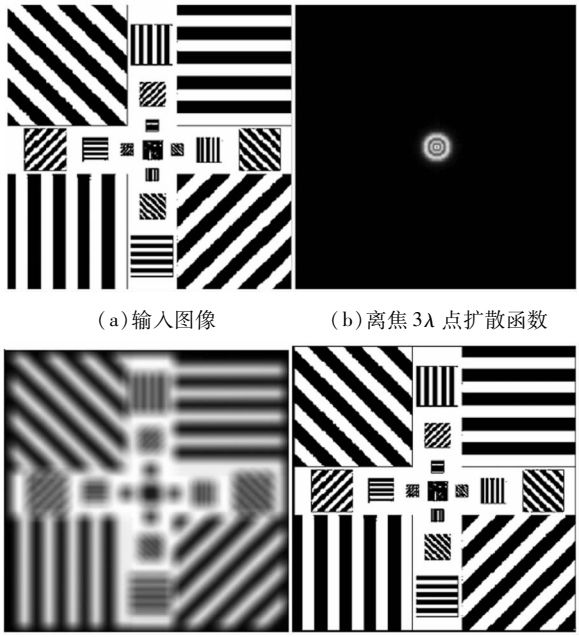
(c)阈值前　(d)阈值后

图 4　字符匹配滤波相关识别仿真实验

3.4　图像恢复和假彩色编码

所谓图像复原是指恢复一个被已知的线性空间不变点扩散函数模糊的图像。其模糊的主要原因有成像系统的像差、目标和底片的相对运动、大气扰动等，系统分析可以归结为系统传递函数的缺陷。一般采用的方法为逆滤波或解卷积方法，图 5 是对一个离焦 3λ 引起模糊的图像的逆滤波恢复仿真实验，从图 5 可以看出应用逆滤波器可以得到消模糊的清晰像。

由于人眼对黑白图像的灰度变化最多只能分辨 15～20 个等级，但对于彩色变化一般能分辨几百个等级，故将黑白图像彩色化，并使彩色图像特征鲜明，一直是图像信息处理的重要课题。假彩色编码就是利用编码方法将黑白图像灰度转换为不同的彩色色调的过程，主要应用于材料分析、医学诊断、军事目标识别等领域。假彩色编码主要有等密度假彩色编码[1,14-15]和等空间频率假彩色编码[1,16]，图 6 是等空间频率白光假彩色编码仿真实验。图 5(a)为原始灰度图像；图 5(b)为等空间频率假彩色编码后的合成图像；图 5(c)为低通滤波后红色波段的灰度图；图 5(d)为高通滤波后蓝色波段的灰度图；图 5(e)为带通滤波后绿色波段的灰度图。实验结果显示假彩编码后的图片特征鲜明，利于识别。



(a)输入图像　(b)离焦 3λ 点扩散函数

(c)离焦 3λ 模糊图像　(d)逆滤波恢复图像

图 5　离焦模糊图像的逆滤波恢复仿真实验

(a)原始图像　(b)编码图像

(c)低通滤波图像　(d)高通滤波图像　(e)带通滤波图像

图 6　等空间频率假彩色编码仿真实验

4　结束语

应用光学图像信息处理技术可以有目的地改进图像质量，方便的达到预期目的。相干光图像信息处理和白光图像信息处理尽管采用的光源不同，但其信息处理的核心都是频域综合。具体应用中，相干光图像信息处理和白光图像信息处理的方法很多，本文就光学信息处理技术中几种主要的应用技术进行了仿真实验，如光学图像边缘增强、图像相减、图像识别、模糊图像的逆滤波恢复以及假彩色编

码等。光信息处理技术的计算机模拟结果效果良好,与光学实验相比,模拟实验能够方便的给出实验的中间过程和最终结果,深入揭示光信息处理技术的本质;同时从节约实验成本方面,采用模拟实验代替光学实验也是个不错的选择。

参考文献:

[1] Su Xianyu, Lü Naiguang, Chen Jiabi. Information optical principle[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010: 140 – 180. (in Chinese)
苏显渝,吕乃光,陈家璧. 信息光学原理[M]. 北京:电子工业出版社,2010:140 – 180.

[2] Chen Jun, Cui Xiang-xia, Xiao Jing, et al. Properties of image edge enhancement using radial Hilbert transform [J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(3): 483 – 486. (in Chinese)
陈君,崔祥霞,肖静,等. 基于径向希尔波特变换的图像边缘增强特性研究[J]. 光子学报,2011,40(3):483 – 486.

[3] Danny Roberge, Yunlong Sheng. Optical wavelet matched filter[J]. Applied Optics, 1994, 33(23): 5287 – 5293.

[4] Su Junhong, Ge Aiming. Enhanced optical image edge with laser speckle out-of-focus method[J]. Optical Instruments, 2001, 23(2): 10 – 13. (in Chinese)
苏俊红,葛爱明. 实现光学图像边缘增强的激光散斑离焦法[J]. 光学仪器,2001,23(2):10 – 13.

[5] Jiangang Xia, Dunn Derrek B, Tingchung Poon, et al. Optics communications[J]. 1996, 128(1): 1 – 7.

[6] Zhao Jianlin, Wu Jianjun, Wang Bin, et al. Image edge-enhancement using photorefractive two-wave coupling in Cr: SBN crystal [J]. Acta Optica Sinica, 2001, 21 (11): 1343 – 1346. (in Chinese)
赵建林,吴建军,王彬,等. Cr:SBN 晶体用于光学图像边缘增强的实验研究[J]. 光学学报,2001,21(11):1343 – 1346.

[7] Yunying Zhang, Zhongxiu Hao, Lijing Wei, et al. Image edge-enhancement using orthogonally polarized light[C]. Proceedings of SPIE, 2007, 6623: 66230M.

[8] Tienhsin Chao. Real time optical edge enhancement using a hughes liquid crystal light valve[J]. Applied Optics, 1989, 28(22): 4727 – 4731.

[9] Zhang Li, Rong Zhenyu, Su Yongdao. Image subtraction based on fourier transform holography[J]. Journal of University of Ji'nan, 2010, 24(3): 289 – 291. (in Chinese)
张莉,荣振宇,苏永道. 利用傅里叶变换全息实现图像相减[J]. 济南大学学报,2010,24(3):289 – 291.

[10] Niu Ke, Ding Daoyi, Lü Zhihui, et al. Optical image subtraction using reflection from the media surface[J]. Physics & Engineering, 2008, 18(2): 28 – 30. (in Chinese)
牛可,丁道一,吕治辉,等. 用界面反射构建 π 相移实现光学图像相减[J]. 物理与工程,2008,18(2):28 – 30.

[11] Kang Hui, Yao Yugui, Guo Zhuanyun, et al. A new method of real-time optical image substraction by grating encoding [J]. Chinese Journal of Lasers, 1994, 21 (12): 991 – 994. (in Chinese)
康辉,姚裕贵,郭转运,等. 一种利用光栅编码实现实时光学图像相减的新方法[J]. 中国激光,1994,21(12):991 – 994.

[12] Yang Baotang, Cheng Yu. Multiple invariant optical pattern recognition using circular harmonic synthetic filter [J]. Chinese Journal of Lasers, 1991, 18(8): 615 – 619. (in Chinese)
杨葆塘,程裕. 用圆谐综合滤波器实现三重不变光学图像识别[J]. 中国激光,1991,18(8):615 – 619.

[13] Yang Baotang, Lan Zhengping. Distortion-invariant optical pattern recognition by correlative matrix feature criterion [J]. Acta Optica Sinica, 1992, 12(1): 52 – 56. (in Chinese)
杨葆塘,蓝正平. 用相关矩阵特征判据法实现三重不变光学图像识别[J]. 光学学报,1992,12(1):52 – 56.

[14] He Zhan, Chen Zhenpei, Zhou Ying. Real-time pseudocolor encoding using a liquid crystal light valve[J]. Chinese Journal of Lasers, 1991, 18(3): 217 – 221. (in Chinese)
何战,陈祯培,周英. 液晶光阀(LCLV)实时假彩色编码[J]. 中国激光,1991,18(3):217 – 221.

[15] Xing Lusheng. Processing technique for false color coding with phase-modulated image density[J]. Semiconductor Optoelectronics, 1999, 20(3): 205 – 207. (in Chinese)
幸芦笙. 位相调制图像密度假彩色编码的处理方法[J]. 半导体光电,1999,20(3):205 – 207.

[16] Cai Tiequan, Wang Hui, Tang Yixing. Real-time color debugging pseudocolor encoding on phase objects[J]. Chinese Journal of Lasers, 1993, 20(9): 700 – 702. (in Chinese)
蔡铁权,王辉,汤一新. 相位型图像实时可调假彩色编码[J]. 中国激光,1993,20(9):700 – 702.

更正:

本刊 2012 年第 5 期 P584 ~ 588 一文第二作者应为 时永鹏。