

The Analysis and Application of Image Edge Extraction in the Joint Transform Correlation Recognition

Honghui Sun, Hongxia Wang, Aijun Li

The Rocket Force University of Engineering, Xi'an Shaanxi
Email: redlightshh@163.com, redlightw@163.com

Received: Dec. 17th, 2019; accepted: Jan. 1st, 2020; published: Jan. 8th, 2020

Abstract

The characteristics of four image edge extraction methods are introduced. The combination of the image edge extraction and joint transform correlation can reduce the low frequency components of images, and the more details of images are compared by the joint transform correlation system. The method can add the image information contents and focus on more energy of correlation peaks, so the Recognition ability and reliability of the joint transform correlation system are increased effectively. Finally, the analysis and application of four image edge extraction methods in the joint transform correlation recognition of different images are made and computed based on three correlation parameters, and the results show the combination of the image edge extraction and joint transform correlation is effective and feasible.

Keywords

Image Edge Extraction, Joint Transform Correlation, Image Recognition

边缘提取在图像相关识别中的应用及分析

孙红辉, 王红霞, 李爱君

火箭军工程大学, 陕西 西安
Email: redlightshh@163.com, redlightw@163.com

收稿日期: 2019年12月17日; 录用日期: 2020年1月1日; 发布日期: 2020年1月8日

摘 要

介绍了四种常用的边缘提取方法各自的特点, 将图像边缘提取与联合变换相关相结合, 减少了图像中的低

频成份,使联合变换相关器更多地比较了图像的细节变化,增加了相关图像的信息量,使相关亮点的能量更加集中,有效地提高联合变换相关器的识别能力和可靠性。最后,基于三个相关参数,对于四种边缘提取技术在不同图像相关识别中的应用实验进行了定量分析和计算,表明了边缘提取与联合变换相关识别结合的有效性和可行性。

关键词

图像边缘提取,联合变换相关,图像识别

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

光学图像识别作为光学信息处理的技术手段之一,已成功地应用在许多的科技领域之中,如:目标跟踪、模式识别、制导等等。就光学特征识别而言,最有意义的工作就是获得目标图像与参考图像的相关信号,它的强度反映了这两幅光学图像的相似程度,这为图像的识别提供了一个定量的指标。边缘能勾画出目标图像的形状轮廓,蕴含丰富的信息,一直是图像分割、识别及分析中提取图像特征的重要属性,特别是对于一些形状轮廓特征明显的目标,比如飞机、坦克、火炮等,边缘特征为其目标识别提供了重要信息。浙江师范大学信息光学研究所的洪雪婷、石晓卫等将小波边缘提取应用于目标光学相关识别中[1],东北大学的黄海龙将图像边缘检测和机器视觉相结合,目标识别效果明显提升[2],长春理工大学的陈驰在光学相关图像增强技术研究中也提到了边缘特征的重要性和实用性[3],以上研究表明:图像边缘特征的高频信息有助于图像相关识别的准确判定,边缘特征提取和相关识别的结合对于图像的处理与识别具有重要工程应用价值。为了提高目标识别的实时性,本文采用算法易于实现、应用广泛的几种边缘算子与相关识别相结合,以期提升对形状轮廓特征明显的目标(飞机)的识别效果。

2. 边缘提取算子

边缘提取检测的基本思想是通过检测每个像元和其邻域的状态,以决定该像元是否位于一个物体的边界上。如果在边界上,则其邻域像元灰度值的变化就比较大,假如可以应用某种算法检测出这种变化并进行量化表示,那么就可以确定物体的边界。常用的边缘提取检测算子主要有:Robert边缘算子、Sobel边缘算子、Prewitt边缘算子、Laplacian边缘算子、Laplacian of Gauss边缘算子等,各有其优势特征。1) Robert边缘算子是一种斜向偏差分的梯度计算方法,梯度的大小代表边缘的强度,梯度的方向与边缘走向垂直,此算子定位精度高,在水平和垂直方向效果较好,但对噪声敏感。2) Sobel边缘算子是一组方向算子,从不同的方向检测边缘,它不是简单求平均再差分,而是加强了中心像素上下左右四个方向像素的权重,运算结果是一幅边缘图像。Sobel边缘算子通常对灰度渐变和噪声较多的图像处理得较好。3) Prewitt边缘算子是一种边缘样板算子,利用像素上下、左右邻点灰度差,在边缘处达到极值检测边缘,对噪声具有平滑作用。由于边缘点像素的灰度值与其邻域点像素的灰度值有显著不同,在实际应用中通常采用微分算子和模板匹配方法检测图像的边缘。该算子不仅能检测边缘点,而且能抑制噪声的影响,因此对灰度和噪声较多的图像处理得较好。4) Laplacian of Gauss (Log)边缘算子。Marr和Hildreth将高斯滤波和Laplacian边缘检测结合在一起,形成了Log边缘算子,该算子先用高斯算子对图像进行平滑,然

后采用 Laplacian 算子根据二阶微分过零点来检测图像边缘。Log 边缘算子是两种算子的结合，既具备高斯算子的平滑特点又具备拉普拉斯算子锐化特点。平滑和锐化、积分和微分是一对矛盾的两个侧面，统一在一起后就变成了最佳因子。因为图像中包含噪声，平滑和积分可能滤掉这些噪声，消除噪声后再进行边缘检测(锐化和微分)会得到较好的效果。

3. 联合变换相关识别原理

联合变换相关(Joint Transform Correlation)是实现光学图像相关识别的重要方法。与匹配滤波相关器相比，联合变换相关器的目标及参考图像可以同时输入系统，不需要制作专门的滤波器，也不存在精确调整复位的问题，目标和参考图像可以实时更新。联合变换相关器结构灵活，易于实现相关运算，能满足工程应用中的实时识别处理。

联合变换相关器，其原理图如图 1 所示：由傅里叶变换透镜 FTL1，FTL2 和三个平面组成一个 4f 变换系统[4]，其中 f 为傅氏透镜焦距，液晶光阀位于 P2 平面。设实时输入的待识别目标图像和参考图像分别表示为函数 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$ ，对称地分布在输入面 P1 上 $(-b, 0)$ 和 $(b, 0)$ 处，则输入函数可以写为：

$$g(x, y) = f(x + b, y) + h(x - b, y) \tag{1}$$

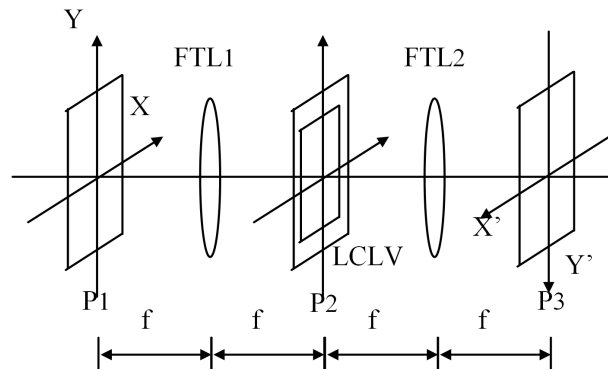


Figure 1. The schematic diagram of JTC
图 1. 联合变换相关器原理图

经傅氏透镜 FTL1 变换后，在 P2 平面上得其联合频谱为：

$$G(u, v) = F(u, v) \exp[j\phi_s(u, v)] \exp(jbu) + H(u, v) \exp[j\phi_r(u, v)] \exp(-jbu) \tag{2}$$

式中 (u, v) 为空间角频率坐标，其中 $u = 2\pi f_x$ ， $v = 2\pi f_y$ ，而 $f_x = x_2/\lambda f$ ， $f_y = y_2/\lambda f$ ， $F(u, v) \exp[j\phi_s(u, v)]$ 和 $H(u, v) \exp[j\phi_r(u, v)]$ 分别是 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$ 的傅里叶谱，其中 $F(u, v)$ 和 $H(u, v)$ 是傅里叶变换的振幅频谱， $\phi_s(u, v)$ 和 $\phi_r(u, v)$ 是傅里叶变换的位相频谱。由于光寻址型液晶光阀仅对写入谱的光强敏感，相当于平方律器，则 P2 平面上的干涉强度分布(即联合变换功率谱)。这一强度分布经液晶光阀转换为振幅分布，由相干光读出后，经傅里叶透镜 FTL2 变换后在 P3 平面上得到相关信号为：

$$g(x', y') = f(x', y') \otimes f(x', y') + h(x', y') \otimes h(x', y') + f(x', y') \otimes h(x', y') * \delta(x' - 2b, y') + f(x', y') \otimes h(x', y') * \delta(x' + 2b, y') \tag{3}$$

式中算符 \otimes 表示相关运算， $*$ 表示卷积运算。由式(3)可见联合变换相关运算在 P3 平面上得到三部分输出，式(3)中前两项分别表示 $f(x', y')$ 和 $h(x', y')$ 的自相关，重叠地位于输出平面的中心部分；称为零级，第三项和第四项分别表示 $f(x', y')$ 和 $h(x', y')$ 的互相关，位 $x' = \pm 2b$ 于， $y' = 0$ ，称为 ± 1 级，是一对共轭的

互相关项，互相关峰值的强弱是识别目标图像和参考图像相似的根本依据。如果待识别中含有目标图像信息，则会在附近产生相关的亮斑，否则出现较暗的弥散斑，以此便可实现图像的识别。

4. 边缘提取在相关识别的应用及分析

对图像进行边缘提取处理，可以有效地减少图像中的低频成份，使联合变换相关器更多地比较了图像的细节变化，增加了相关图像的信息量，其最后输出的相关是经过处理后得到的边缘增强图像的相关，根据相关的物理意义，这一般将会使相关亮点的能量更加集中，相关运算产生的相关峰更为尖锐，互相关亮斑的强弱正是我们判断识别图像的主要依据，边缘提取处理可以有效地提高联合变换相关器的识别能力和可靠性[5] [6]。

选取三幅目标图像作为识别研究对象，首先将要识别的两图像并排输入 $4f$ 系统 P1 平面；随后采用四种边缘提取算子进行处理；第三步进行相关识别运算；第四步输出识别结果并计算相关参数，最后，对比分析目标相关识别结果。为了定量比较相关输出特性，采用以下参数作评价：①相关峰强度(互相关信号的最大强度)；②峰值半宽度(相关峰值由最大值降至一半时的宽度)；③信噪比 SNR(互相关峰强度与相关面小于相关峰强度 $1/4$ 的信号平均强度之比)。

用图像 J1 作实验分析计算，图像 J1 结构较为简单、噪声信号少，大小为 256×256 像素，利用以上评价参数，分别对原始图像 J1 进行 Sobel、Robert、Prewitt 及 Laplacian of Gauss 四种边缘提取处理后图像的相关运算，输出结果如图 2 所示，其相关技术参数如表 1 所示。由实验结果可以看出，经过边缘提取处理后，图像 J1 的互相关峰比未经过处理图像的互相关峰更为尖锐，峰值半宽度明显变小(由 143 变为 1)，其信噪比也明显提升(由 20 提升到 170)，更易于识别判断。但是也应注意到，由于减少图像中的低频成份，使得其互相关峰强度也明显下降，这就对测量仪器的互相关峰光信号敏感度提出更高的标准要求。用 Log 边缘提取时其相关峰信噪比最高(达到 351)，但峰值强度较弱，这是由于图像 J1 结构较为简单，细节层次较少，平滑特点使一些细节又有所丢失。Sobel 边缘提取方法和 Prewitt 边缘提取方法则相对比较均衡。

Table 1. The Correlation parameters of JTC of image J1

表 1. 图像 J1 联合变换相关参数表

相关图像	相关峰值	峰值半宽度	信噪比
原始图像 J1	3.0332e015	143	20.3427
Sobel 算子图像	2.3912e005	1	158.0664
Robert 算子图像	2.2476e005	1	176.4683
Prewitt 算子图像	2.5200e005	1	157.2272
Log 算子图像	1.4213e005	1	351.5001

以上是用较为理想的图像 J1 进行的相关识别计算，下面用实验室 CCD 实际拍摄的图像 J2 再进行相关识别分析。图像 J2 大小为 360×480 像素，分别计算原始图像 J2 及四种边缘提取处理图像后的相关输出结果，如图 3 所示，其相关技术参数如表 2 所示。

由计算数据可以看出 Log 边缘算子生成的边缘线较多，与图 J1 相比，图像 J2 较为复杂，有一些背景干扰噪声，其相关峰值强度比较高($1.7135e + 006$)，但信噪比则较弱($5.4339e + 002$)，与比图像 J1 相关处理结果不同，这是由于图像 J2 相比于图像 J1 来说，图像 J2 的结构层次更为复杂、有噪声、高频细节信息更多。其 Sobel 边缘提取方法和 Prewitt 边缘提取方法则相对比较均衡，这一点与图像 J1 的相关处理结果是相一致的，其中 Sobel 的去噪优势更好一些(信噪比最高)。

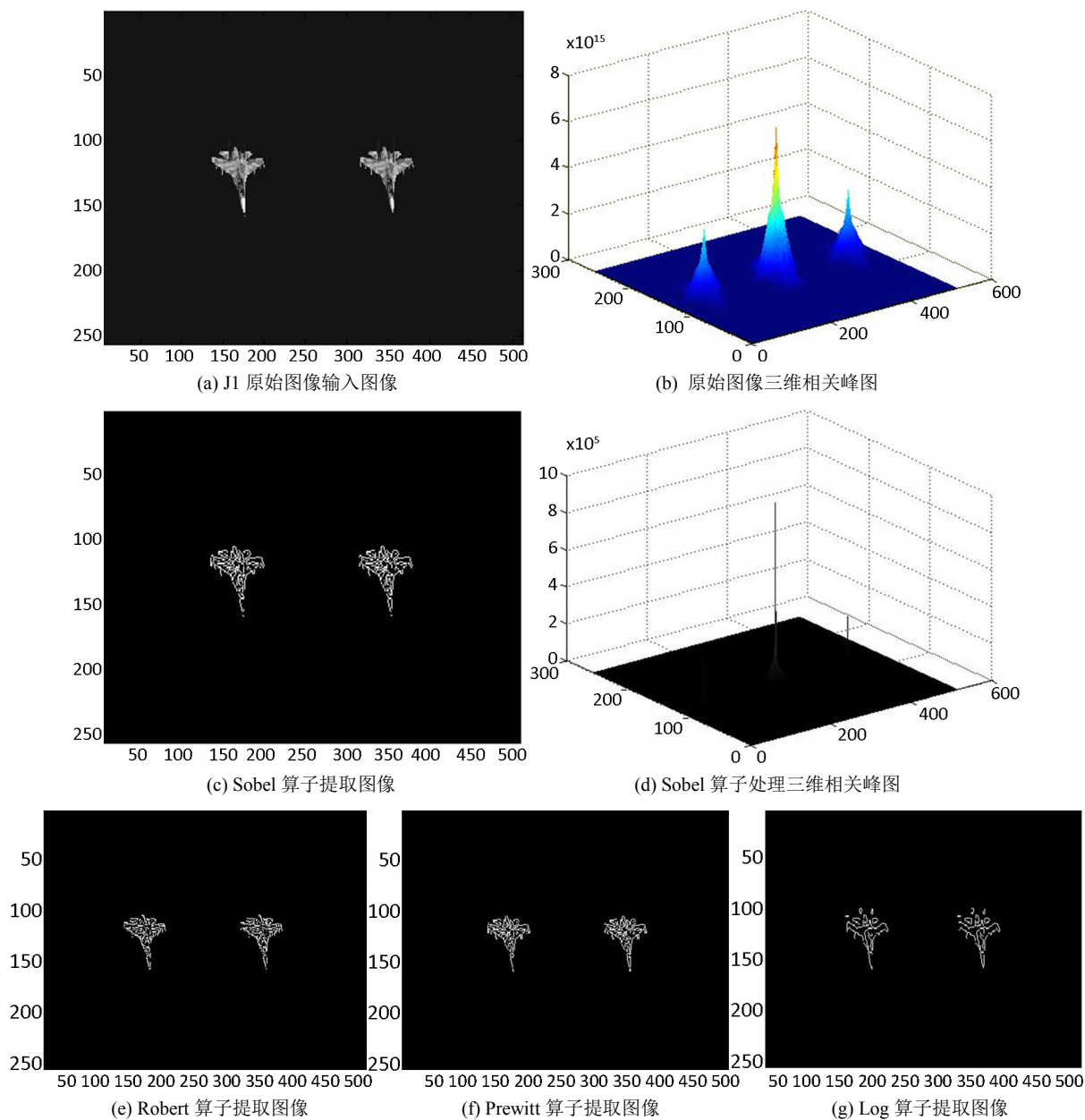


Figure 2. The processed image J1 of JTC by edge extraction operator

图 2. J1 边缘提取图像光学联合变换相关图

Table 2. The Correlation parameters of JTC of image J2

表 2. 图像 J2 联合变换相关参数表

相关图像	相关峰值	峰值半宽度	信噪比
原始图像 J2	2.6074e + 017	2731	5.0224
Sobel 算子图像	4.3296e + 005	1	2.2330e + 003
Robert 算子图像	6.6423e + 005	1	1.2192e + 003
Prewitt 算子图像	4.2641e + 005	1	2.2133e + 003
Log 算子图像	1.7135e + 006	1	5.4339e + 002

用 CCD 实际拍摄的图像 J3 再进行相关识别分析。图像 J3 与图像 J2 是同一物体，以不同的角度拍摄，输入图像如图 4 所示，大小为 360×480 像素，分别计算原始图像 J3 及四种边缘提取处理图像后的相关输出结果，其相关技术参数如表 3 所示。

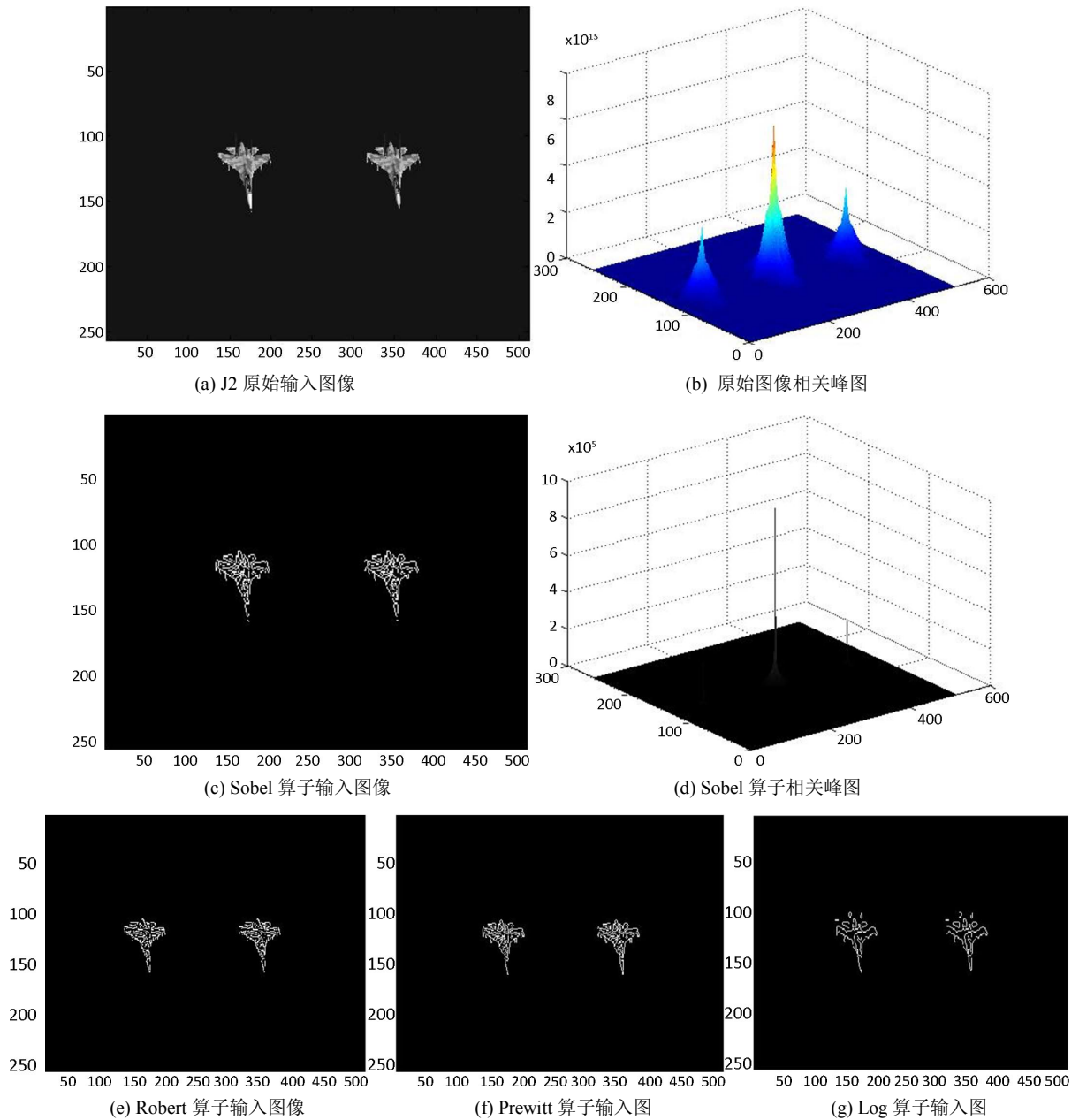


Figure 3. The processed image J2 of JTC by edge extraction operator

图 3. J2 提取边缘图像光学联合变换相关图

Table 3. The Correlation parameters of JTC of image J3

表 3. 图像 J3 联合变换相关参数表

相关图像	相关峰值	峰值半宽度	信噪比
原始图像 J3	$3.6551e + 017$	3541	4.4131

Continued

Sobel 算子图像	8.8925e + 005	1	820.4267
Robert 算子图像	9.1202e + 005	1	757.9150
Prewitt 算子图像	8.9870e + 005	1	812.6083
Log 算子图像	1.8523e + 006	1	379.9218

由计算数据可以看出, 图像 J3 的计算结果与图像 J2 计算结果相一致。Log 边缘算子生成的边缘线较多, 其相关峰值强度比较高($1.8523e + 006$), 但信噪比也最弱(379.9218), 其 Sobel 边缘提取方法和 Prewitt 边缘提取方法则相对比较均衡, 其中 Sobel 的去噪优势更好一些(信噪比最高), 这与图像 J2 的相关处理结果也是相一致的, 这是由于图像 J2 与 J3 是对同一目标的不同角度拍摄的, 图像像素结构层次相似, 其图像的频谱分布基本相似, 所以处理结果也相一致。

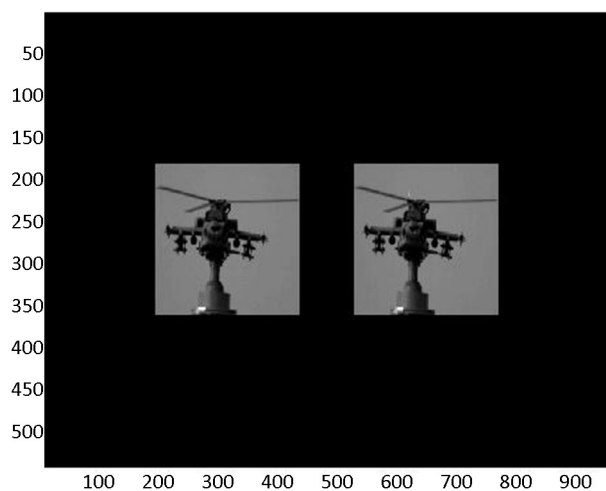


Figure4. The original input image J3

图 4. 原始输入图像 J3

5. 结论

由实验计算结果可以看出, 经过边缘提取处理后, 图像的互相关峰比未经过处理图像的互相关峰更为尖锐, 峰值半宽度明显变小, 其信噪比也明显提升, 也有助于识别判断。但是也应注意到, 由于减少图像中的低频成份, 使得其互相关峰强度也明显下降, 这就对实验仪器的互相关峰光信号敏感度提出更高的标准要求。通常对于边缘提取后互相关峰光强度较低的问题, 可以通过增大光强输出功率的办法来解决。在实验应用中, 应根据实际要识别图像的频谱分布及相关峰检测仪器的敏感度情况, 来选择合适的边缘提取方法。

参考文献

- [1] 洪雪婷, 石晓卫. 基于小波边缘提取的目标光学相关识别[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(4): 1-6.
- [2] 黄海龙. 数学形态学在图像边缘检测和机器视觉中的应用研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [3] 陈驰. 光学相关图像增强技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春理工大学, 2012.
- [4] 宋菲君. 近代光学信息处理[M]. 北京: 北京大学出版社, 1998.
- [5] Tao, Y., Miao, H. and Shuang, D.U. (2013) Low Contrast Target Recognition in Cluttered Background with Optical Correlation. *Semiconductor Optoelectronics*, **34**, 890-894.
- [6] Bal, A. and Alam, M.S. (2004) Dynamic Target Tracking with Fringe-Adjusted Joint Transform Correlation and Template Matching. *Applied Optics*, **43**, 4874-4881. <https://doi.org/10.1364/AO.43.004874>