

## 畸变不变光电混合图像识别技术研究

王国田 王汝笠 傅艳红 李 佳

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要** 介绍了用于自动目标识别的一种新型光电混合系统,并在传统的二值纯位相匹配滤波器的基础上提出了一种优化的匹配滤波器算法.用光学-数字混合系统对该算法进行了畸变不变目标识别实验,计算机仿真及半实物实验证明该系统对一定的畸变范围具有检测识别目标的能力.

**关键词** 光电混合,畸变不变,匹配滤波器,目标识别.

## RESEARCH ON DISTORTION INVARIABLE ELECTRONIC-OPTIC HYBRID IMAGE IDENTIFICATION TECHNOLOGY

WANG Guo-Tian WANG Ru-Li FU Yan-Hong LI Jia

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** A new optoelectronic hybrid system used for automatic target recognition was described. And based on the traditional Binary Phase-only Filters, a optimal Binary Phase-only Filter algorithm was discussed. Using the optic-digital hybrid system with the algorithm, distortion-invariable target identification experiment was finished. Computer simulation and quasi-practicality experiment show that the system has the capability of detecting and identifying a target.

**Key words** electronic-optic hybrid, distortion invariation, matching filter, target recognition.

### 引言

光电混合图像识别技术,是一种将光学相关器的光学模拟计算同电子计算机数字信息处理运算相结合的技术,不仅具有光学处理固有并行结构和光学器件的高开关速度与抗电子干扰能力,而且还具有电子计算机的精确性和灵活性.在近 10 年里,随着光电子材料和器件、微电子电路以及先进的软件及其算法的进一步发展,使得光电混合自动目标识别技术能克服过去的许多限制,如大容量图像信息的实时处理和超高速自动目标识别,等等.

由于传统的光学相关的匹配滤波器对输入图像发生的畸变相当敏感<sup>[1]</sup>,因此对于畸变不变模式识别算法一直是该领域的主要研究课题.其中有关位相型匹配滤波器就出现了不少.傅立叶频谱的位相信息可以表示物体的轮廓信息,并且由位相函数作为滤波器时,无能量损失.因此,在 80 年代,Home 和 Ganino 提出了用纯位相滤波器(Phase-Only Filter)进行模式识别<sup>[2,3]</sup>,后来又提出了二值纯位相滤波器<sup>[4]</sup>,随后不断有人提出各种不同的优化二值纯

位相滤波器.

本文介绍一种新的优化二值纯位相滤波器的制作方法,然后用光学-数字混合系统使用该滤波器进行了畸变不变目标识别的实验.计算机仿真及半实物实验证明该系统对一定畸变范围具有检测识别目标的能力.

### 1 光电混合自动目标识别技术

光电混合自动目标识别是一种能够平行、实时处理由多个探测器(包括紫外、可见光、红外、毫米波和微波等波段探测)进行复合探测所得大容量的数据中萃取出与目标有关的特征信息的技术.参见图 1,光电混合自动目标识别系统是由虚线框起来的 6 部分组成,即多路光学相关器、预处理器、输入图像的空间光调制器(SLM)驱动电路、计算全息匹配滤波器的 SLM 驱动电路、CCD 探测面阵的电路器件以及后处理器.由复合探测器获得的图像经预处理器传输到多路光学相关器中形成输入图像 SLM( $P_1$ 平面),然后由光学相关器完成相关运算,其中滤波器( $P_2$ 平面)和 CCD 探测面阵( $P_3$ 平面)的驱动、选

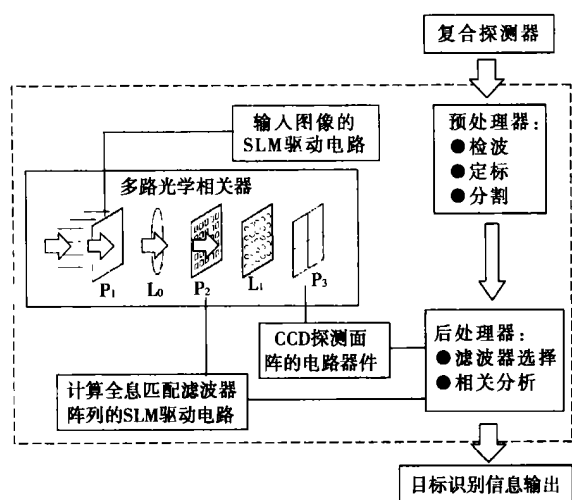


图 1 光电混合自动目标识别系统的基本工作原理框图

Fig. 1 Block diagram of the optoelectronic hybrid automatic target recognition system

择以及相关峰特征分析均由相应的电路器件及后处理器完成. 近年来对相关器结构的研究多集中于对 Vander Lugt 相关器和协变换 (Joint Transform) 相关器的研究<sup>[5]</sup>. 从军事应用考虑, 今后研究相关器结构的方向是器件的集成化、系统的小型化和稳定可靠性.

## 2 优化的二值纯位相匹配滤波器

### 2.1 传统的二值纯位相滤波器 (BPOF)

传统的纯位相匹配滤波器的二值化图 2 表示: 过原点并与复平面虚轴 IM 成  $\theta$  角的直线将复平面分割成两部分. 将辐角处于左侧半面置为 -1, 辐角处于右侧半面置为 +1, 即得二值纯位相匹配滤波器<sup>[6]</sup>表达式为

$$F_r \cos(\theta) - F_i \sin(\theta) \begin{cases} 0: \text{BPOF} = +1, \\ < 0: \text{BPOF} = -1. \end{cases} \quad (1)$$

$F_r, F_i$  分别对应于傅立叶变换的实部和虚部,  $\theta$  值可任选, 选  $\theta = 0, \pi/4, \pi/2$  分别对应于 cosine -、Hart-

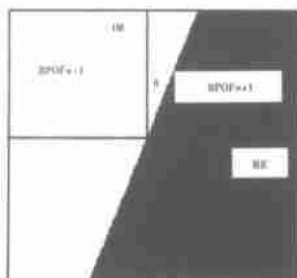


图 2 纯位相匹配滤波器的二值化

Fig. 2 Binary of phase-only matched filters

ley- 和 sine - BPOF.

### 2.2 优化的二值纯位相滤波器

相关运算的背景噪声相对有效信号而言通常是一些直流 (或低频) 的信号, 若在匹配滤波后, 再用直流阻塞滤波器

$$DC_{\text{Block}}(\mu, \nu) = \begin{cases} 0, & (\mu, \nu) = (0, 0), \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

对波前进行直流 (或低频) 阻塞处理, 可以有效地抑制输入图像带来的低频噪声, 达到提高信噪比的目的. 此外还能降低空间光调制器的死带效应对相关输出的影响<sup>[7]</sup>. 但是, 要将此直流阻塞滤波器置于实际的光路中是很困难的, 因为我们所采用的 SLM 的像素间距仅为  $15\mu\text{m}$ , 相应的直流阻塞区的边长也就只有几十微米, 要将其准确的定位在光路中不太可能. 因此, 考虑是否可以将直流阻塞滤波器与 BPOF 合二为一.

由于 SLM 上的滤波器对光的调制是位相型的, 对应于振幅型的直流阻塞滤波器, 我们可以构造一个位相型的低频反相滤波器

$$DC_p(\mu, \nu) = \begin{cases} e^j = -1 & (\mu, \nu) = (0, 0), \\ e^{j0} = +1 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

其中  $(\mu, \nu) = (0, 0)$  在离散的像素型光调制器上体现为  $n \ll N$ ,  $n$  为滤波器中心附近反相部分所占正方形区域的单边像素数,  $N$  为相应滤波器的单边像素数 (如图 3 所示). 将其与原有的二值纯位相滤波器融合成一个新的滤波器, 不妨称其为低频反相二值纯位相滤波器

$$BPOF_0(\mu, \nu) = H_{BPOF}(\mu, \nu) DC_p(\mu, \nu). \quad (4)$$

## 3 计算机仿真与实验结果

作计算机仿真实验时, 我们从可见光航片中提取各种地物景象作为匹配目标, 我们以下面一个目标作为例子. 为了验证我们的光电混合目标识别系统及相应的滤波器算法对于一定畸变范围的不变

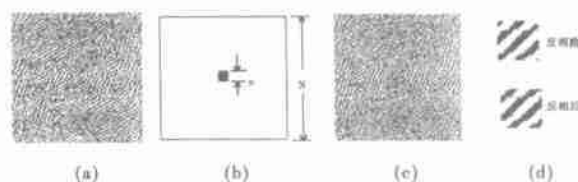


图 3 (a) 传统的 BPOF (b) 低频反相滤波器 (c) 优化的 BPOF (d) 低频反相前后

Fig. 3 (a) traditional BPOF (b) invert phase filter in low frequency (c) optimal BPOF (d) before and after of invert phase in low frequency

性,可以用下面几种畸变进行仿真实验.

首先,我们将输入图像变成模糊的图像 (Gaussian Blur), 然后进行相关识别. 从图 4 所示的实验结果可以看出,在 Gaussian Blur 值较小时,相关峰强度无明显的变化,只有模糊程度到较大(模糊系数大于 0.2)时,相关峰才开始变弱,故在一定模糊畸变范围内(模糊系数小于 0.2),仍然能够对目标进行识别.

其次,我们将输入图像人为加入一定量的噪声(白噪声或高斯噪声), 然后进行相关识别,从实验结果看出,只有加入的噪声量较大时,相关峰才开始变弱. 当白噪声系数增加到 70 或高斯噪声增加到 50 时,相关峰不能辨认,如图 5 所示,可以看出在一定噪声畸变范围内,目标识别的效果不会有影响.

我们再将输入图像分别进行俯仰畸变和旋转畸变,然后分别进行相关识别的实验,从图 6 所示的实

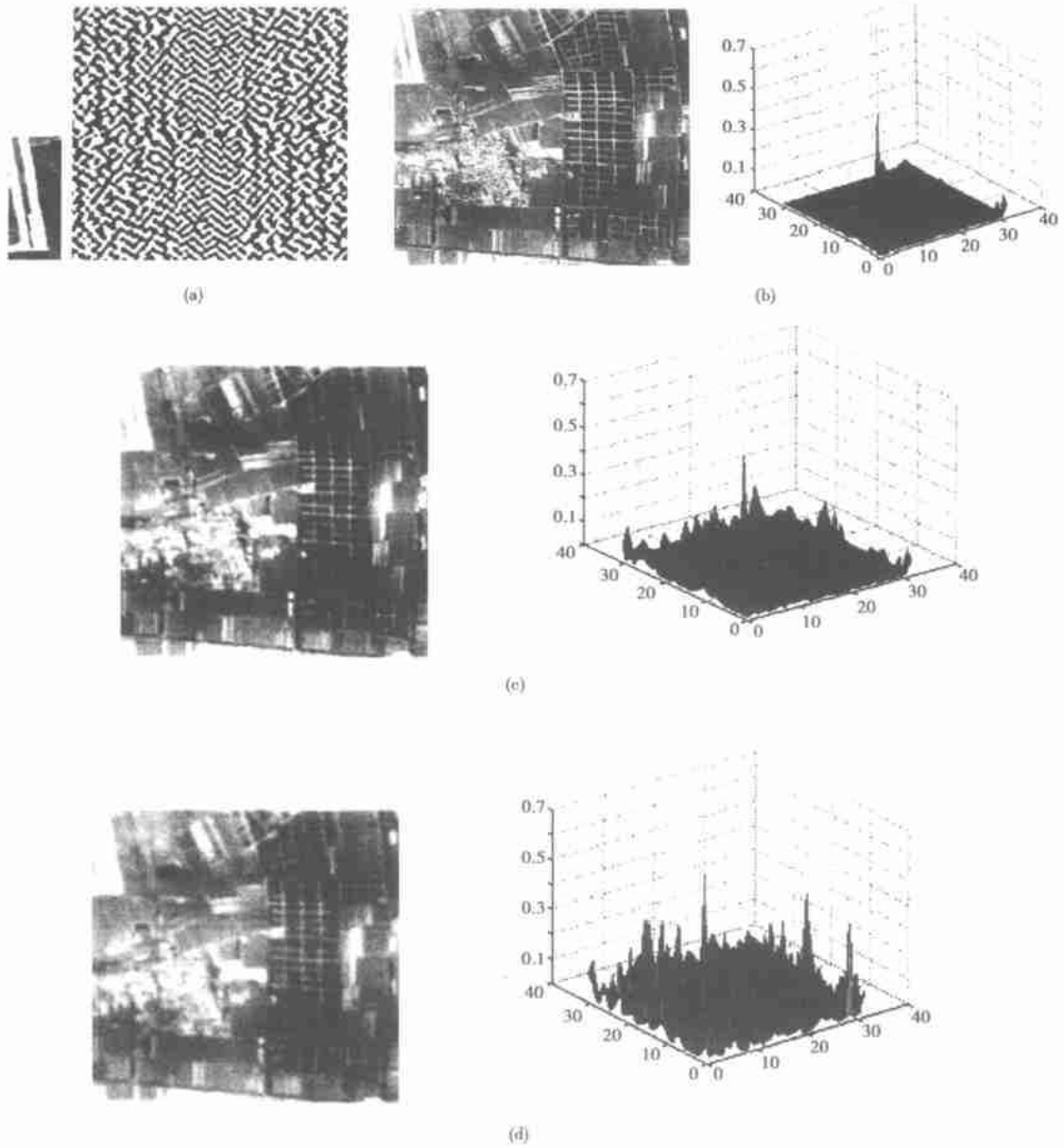


图 4 输入图像变模糊后相关识别的结果

- (a) 匹配目标及其对应匹配滤波器
- (b) 输入图像未变模糊的相关结果
- (c) 模糊系数为 0.15 的相关结果
- (d) 模糊系数为 0.2 的相关结果

Fig. 4 Correlation identification results of input-image becoming blur

- (a) matching target and its matching filter
- (b) correlation identification result of input-image without blur
- (c) and (d) correlation identification results of the blur coefficient 0.15 and 0.2, respectively

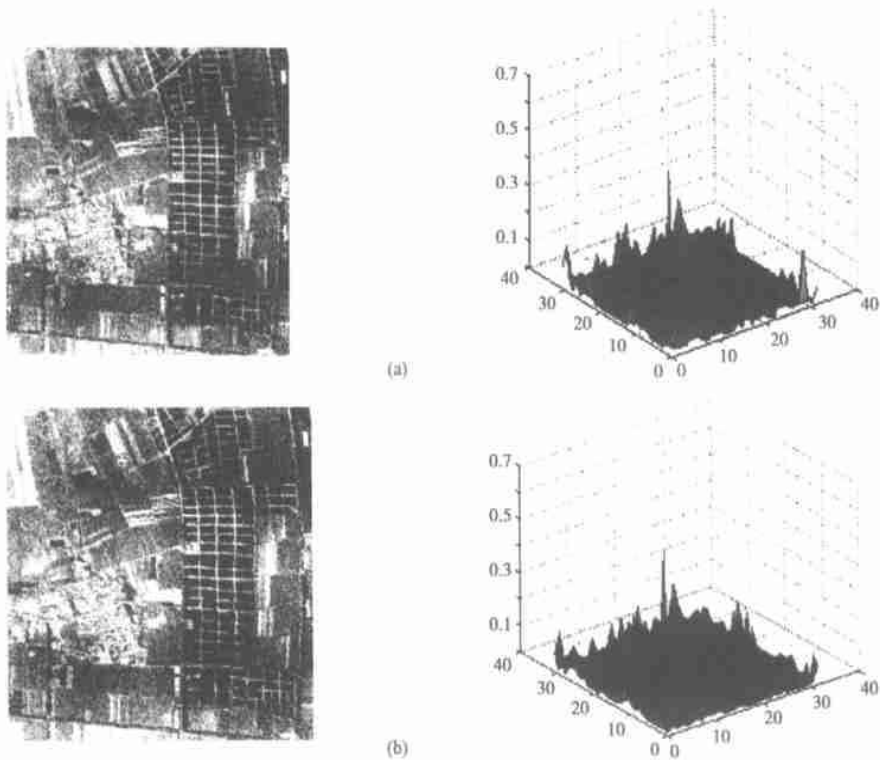


图 5 输入图像加入一定量噪声后相关识别的结果

(a) 白噪声系数为 55 的相关结果 (b) 高斯噪声系数为 40 的相关结果

Fig. 5 The correlation identification results of input image with some noise

(a) correlation identification results of the uniform noise coefficient 55 and 70, respectively,

(b) results of the Gaussian noise coefficient 40 and 50, respectively

验结果可知,俯仰角超过  $6^\circ$  以后,相关峰开始变得不能识别;而旋转角超过  $10^\circ$  后,相关峰也开始变弱,识别目标较困难.可以认为,在一定俯仰( $< 6^\circ$ )、旋转畸变( $< 10^\circ$ )范围内,目标识别的效果不会有太大变化,基本上都能对目标进行识别.

最后,我们通过改变输入图像的尺寸大小,匹配图像大小不变,以观察在这种畸变情况下的相关结果.输入图像原来大小为  $256 \times 256$ ,向小的方向变成  $200 \times 200$  时,相关峰开始变模糊,不能辨认;往大的方向变到  $290 \times 290$  时,相关峰变弱并消失,如图 7 所示,横坐标表示输入图像的尺寸大小,纵坐标表示其对应的相关峰值.

为了验证计算机仿真的准确性,我们把上述目标图像放到光电混合图像处理系统中进行了半实物实验,其结果与计算机仿真基本一致.从上面的计算机仿真和半实物实验的结果可以看出,对于我们的光电混合图像处理系统,可以选择这种优化的二值纯位相滤波器.目标识别过程中,在一定畸变范围内,相关识别的结果都不会受到较大的影响.

#### 4 总结

在我们自己研制的光电混合自动目标识别系统上,用优化的二值纯位相匹配滤波器算法制成匹配滤波器,并使用该滤波器进行了各种畸变不变目标识别的实验研究.这些畸变用来验证我们的匹配算法,是分别将输入图像变为模糊图像、或加入一定量的噪声(白噪声或高斯噪声)、或把输入图像进行俯仰角变化和旋转输入图像、或对输入图像的尺寸大小变换等畸变对相关结果影响的计算机仿真实验.从计算机仿真和实验结果可以看出,目标识别过程中,在一定畸变范围内(即输入图像变模糊的高斯模糊系数小于 0.2,白噪声系数不超过 70 或高斯噪声系数不超过 50,俯仰角变化不超过  $6^\circ$ ,旋转角变化不超过  $10^\circ$ ,尺寸大小变化不超过 14%),不会影响对目标的识别,这样充分证明了我们选择算法的正确性.不过该算法并不适用于所有景象目标,而且对于畸变不变也有一定范围限制,为了满足更多的需要,还须进一步完善匹配算法.

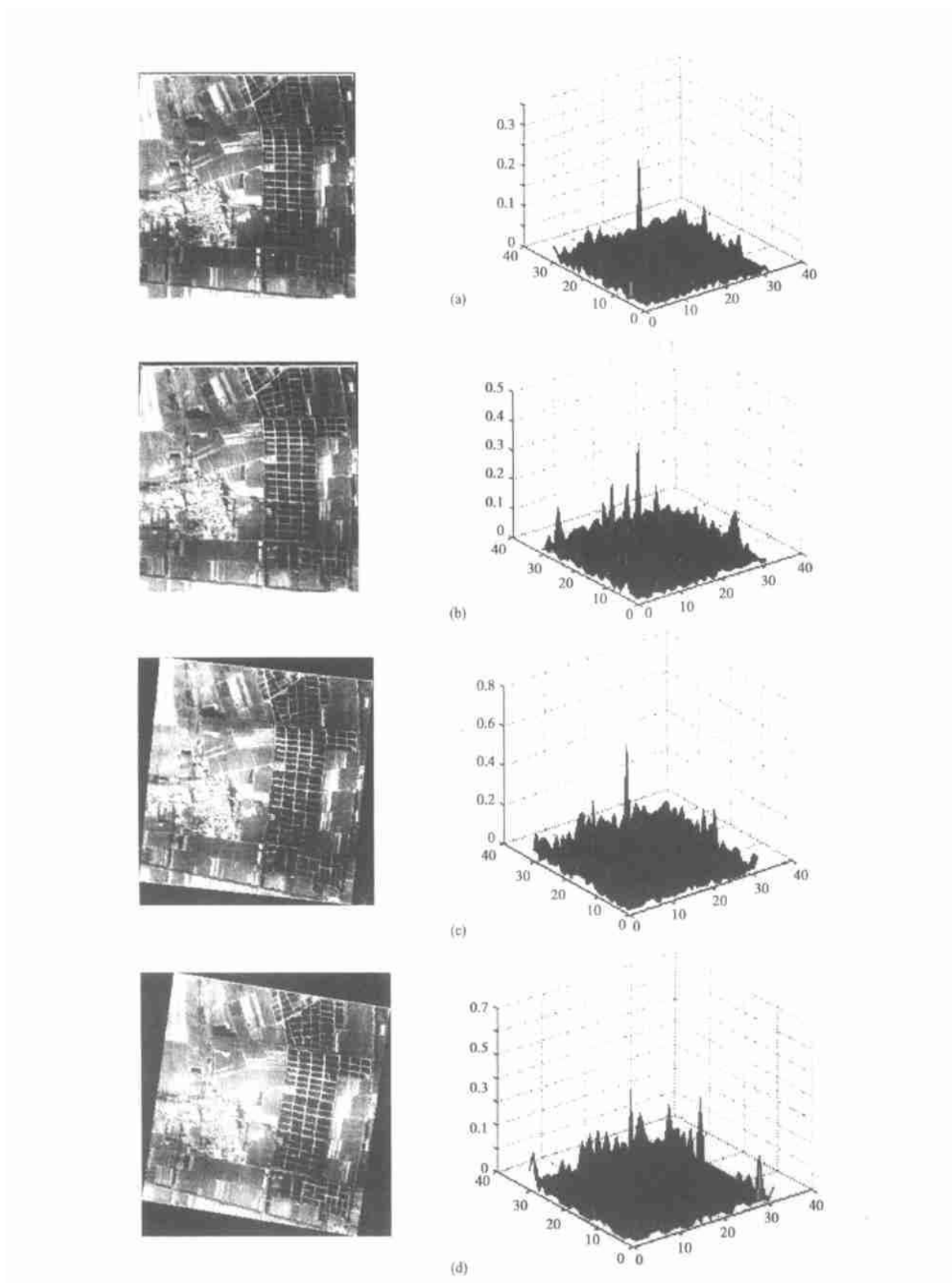


图 6 输入图像有俯仰角和旋转角变化的相关识别结果

(a) 俯仰角为 3 度的相关结果 (b) 俯仰角为 7 度的相关结果 (c) 旋转角为 6 度的相关结果  
(d) 旋转角为 10 度的相关结果

Fig. 6 The correlation identification results of input-image with pitch degree and rotation degree changes (a) and (b) the results of pitch degree 3 and 7 , respectively. (c) and(d) the results of rotation degree 6 and 10 , respectively.

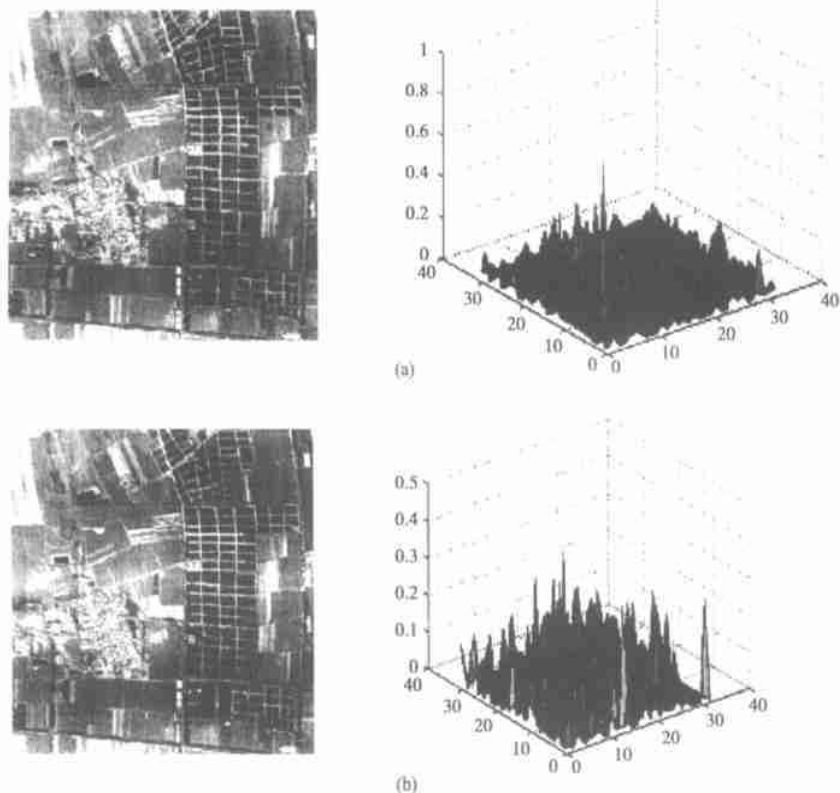


图7 输入图像尺寸大小变化后的相关识别结果

(a) 图像尺寸变为(212 ×212)的相关结果 (b) 图像尺寸变为(290 ×290)的相关结果

Fig. 7 The correlation identification results of input-image with size changes

(a) the result of the input-image(212 ×212) (b) the result of the input-image(290 ×290)

## REFERENCES

- [1] YANG Hao-Yun, ZHANG Gui-Lin. Design and realization of a new correlation tracker algorithm. Journal of Infrared and Millimeter Waves(杨皋昀,张桂林.一种新的相关跟踪算法的设计与实现.红外与毫米波学报),2000,19(5):377—380
- [2] Horner J L, Gianino P D. Phase-only matched filtering. Appl. Opt., 1984,23:812
- [3] Gianino P D, Horner J L. Additional properties of the phase-only correlation filter. Opt. Eng., 1984,23:685
- [4] Horner J L, Leger J R. Pattern recognition with binary phase-only filters. Appl. Opt., 1985,24:609
- [5] QIN Wei-Fang, WANG Ru-Li, CHEN Gao-Feng, et al. Automatic target recognition based on joint-transform correlation/Vander-Lugt optical correlator. Journal of Infrared and Millimeter Waves(秦伟芳,王汝笠,陈高峰,等.基于联合变换/匹配滤波器光学相关器的自动目标识别.红外与毫米波学报),1998,17(1):61—65
- [6] David L Flannery, John S Loomis, Mary E. Milkovich. Design elements of binary phase-only correlation filters. Appl. Opt., 1988,27(20):4231—4235
- [7] Gianino P D, Woods C L. General treatment of spatial light modulator dead-zone effects on optical correlation I. Computer simulations. Appl. Opt., 1993,32(32):6527—6535