

# 用于光学相关模式识别的二值化方法研究

王国田 王汝笠 傅艳红 李 佳 柴震海  
(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要** 基于用传统二值化方法实现相关模式识别较困难的问题, 提出了三种新的适用于光学模式识别的二值化算法. 并用光学-数字混合系统对这些算法进行了模式识别的计算机仿真实验, 实验结果证明这三种二值化算法对于不同景象的光学模式识别分别有较好的效果.

**关键词** 二值化, 模式识别, 光电混合.

## RESEARCH OF BINARIZATION METHODS USED FOR OPTICAL CORRELATION PATTERN RECOGNITION

WANG Guo-Tian WANG Ru-Li FU Yan-Hong LI Jia CHAI Zhen-Hai  
(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Shanghai 200083, China)

**Abstract** Three new binarization algorithms used for correlation pattern recognition were described, due to the difficulty of realizing correlation pattern recognition by the traditional binarization method. Then were carried out computer simulation and experiment of these algorithms. Experiment results show that these binarization algorithms has respectively better effects for the pattern recognition of different scenes.

**Key words** binarization, pattern recognition, electronic-optic hybrid.

### 引言

进行光学模式识别的过程, 实际上是输入图像傅里叶变换谱与模板函数之间的卷积运算, 即相关运算. 通常情况下, 图像傅里叶变换谱的位相函数是连续的, 要在现有的实时光调制器件上准确性的记录和再现一个连续的位相函数, 仍然心有余而力不足. 目前常见的 MOSLM、FLC-SLM 等多为离散化调制器件, 仅能实现 0、1 二值振幅调制或 0、 $\pi$  二值位相调制等离散型函数. 因此, 必须对连续的位相函数进行二值化处理, 即在做相关匹配之前, 要对输入图像和模板图像分别进行二值化处理, 这就涉及到一个关键课题, 如何选择适用于光学模式识别的二值化算法.

本文首次将经典的微分直方图二值法用于光学模式识别中, 并根据光学模式识别的独有特性, 提出了 2 种新的二值化算法, 然后应用自制的光电混合自动目标识别系统对这些算法进行了计算机仿真实验, 实验结果表明这 3 种二值化算法对于不同景象

的光学模式识别分别有较好的效果.

### 1 光学模式识别中的二值相关与灰度相关

目前进行光学模式识别常用的都是灰度相关, 而光学模式识别中已开始使用二值相关. 一般情况下, 灰度相关的信息量较多, 选择常用的相关算法都会得到较好的效果; 而用二值相关<sup>[1]</sup>时, 图像的信息量丢失较多, 但要是选择合适的二值化算法, 其相关效果也不差, 目前俄罗斯在进行地形匹配和影像匹配时, 大部分都是采用二值相关, 这样为硬件解决了许多无法克服的困难. 我们可以大致计算一下二值相关与灰度相关的计算量. 一般情况下, 相关模式识别都要进行 FFT 运算, 典型的灰度相关 FFT 需要浮点的乘法器和加法器, 而二值相关只用到 XOR 门限和整数加法器. 假设输入图像大小为  $n * n$ , 滤波器函数图像大小记为  $m * m$ , 典型的 FFT 和 IFFT 需要  $4(n+m)^2 \log_2(n+m)$  个浮点乘法, 需要  $6(n+m)^2 \log_2(n+m)$  浮点加法. 完成一次相关运算需要进行正、逆 FFT 各一次, 故完成一次灰度相关所需

运算量为  $8(n+m)^2 \log_2(n+m)$  个浮点乘法和  $12(n+m)^2 \log_2(n+m)$  浮点加法. 而完成一次二值相关所需运算量为  $(n+m)^2 m^2$  个 XOR 运算和  $(n+m)^2 m^2 \sum_{i=1}^{\log_2(m^2)} \frac{1}{2^i}$  个 1 位加法运算.

我们用普通的 PC 机(工作频率为 800MHz) 检验了两者的运算效率, 通过不断调整输入图像与滤波图像大小来比较两者运算时间. 发现滤波图像较小而输入图像较大时, 二值相关比灰度相关快得多. 如输入图像为  $350 \times 450$ , 滤波图像为  $64 \times 64$  时, 二值相关是灰度相关的 123 倍. 当选输入图像大小为  $256 \times 256$ , 滤波函数图像大小取  $64 \times 64$ , 二值相关快 90 倍之多.

从上面的统计可知, 二值相关比灰度相关所需运算量小得多, 在不影响相关效果的情况下, 若能选择适用于光学模式识别的有效二值化算法, 将对相关模式识别具有较大的实用价值, 如需要进行高速景象匹配时, 用灰度相关对于硬件的要求就相当苛刻, 而用二值相关会让硬件实现的较为理想.

## 2 用于光学模式识别的 3 种二值化算法

### 2.1 微分直方图法二值化(DIFHIST)

微分直方图法是一种经典的二值化方法, 其阈值的选择考虑到了有关目标与背景之间的关系, 首次尝试用于光学模式识别中, 对于目标较为突出, 背景单一的情况下匹配效果较理想. 微分直方图法是设想图像中的目标和背景之间的灰度值急剧变化, 利用灰度的变化率(微分值)来决定阈值. 具体的选择阈值步骤是:

(1) 用  $3 \times 3$  的 Laplacian 算子处理输入图像并统计其直方图; 程序中所用的  $3 \times 3$  Laplacian 算子为

$$\begin{bmatrix} -1/8 & -1/8 & -1/8 \\ -1/8 & 1 & -1/8 \\ -1/8 & -1/8 & -1/8 \end{bmatrix},$$

(2) 用  $p$ -参数法选出阈值  $t$ , 通常  $p$ -参数可选为 90% ~ 100% (因为在景象匹配时, 选择目标特征突出, 背景相对简单或噪声被抑制的条件下用此算法的, 这时大部分的灰度值集中在所选目标处), 程序中所用的  $p$ -参数选为 94%, 程序中  $p$ -参数法实际上为按下式计算

$p$  的值:  $p = \text{灰度值大于 } t \text{ 的像素数之和} / \text{全体像素数}$  取  $p$  为 94%, 则可得一个阈值  $t$ .

### 2.2 优化相关阈值法二值化(OT)

针对光学模式识别, 选择二值化方法时要考虑

其相应的有关光学相关的评价参数. 优化相关阈值法二值化就是其中的一种较为理想的方法.

假设输入图像函数为  $g(i, j)$ , 大小为  $m \times m$ , 滤波函数为  $f(i, j)$ , 大小为  $n \times n$ , 产生相关平面  $c(i, j)$ , 则有

$$C(i, j) = \sum_{k=-m/2}^{m/2-1} \sum_{l=-m/2}^{m/2-1} f(k, l) g(k+i, l+j) = f \otimes g, \tag{1}$$

其中  $i, j = 1, \dots, n$  选用两个常用的光学模式识别的评价参数 SNR 和 PCE<sup>[2]</sup>, 分别表示为

$$\text{SNR} = E\{C(0, 0)\} / \sqrt{E\{C^2(0, 0)\}}, \tag{2}$$

$$\text{PCE} = \frac{(C(0, 0) - E\{C(i, j)\})}{\sqrt{E\{C^2(i, j)\} - E\{C(i, j)\}^2}}, \tag{3}$$

其中, PCE 这个参数是针对相关峰值的锐度进行测量, 而 SNR 参数是评价其抗噪声干扰能力的. 优化相关阈值法主要是考虑 PCE 这个参数, 使得 PCE 参数值最大, 相应得到一个阈值  $T$ .

我们首先考虑滤波函数  $f(i, j)$  的二值化, 设  $f_i = Th(f', T)$ ,  $f'_i = f_i - E\{f'_i\}$ ,  $Th(\cdot)$  为二值化操作,  $E(\cdot)$  是求数学期望表达式,

$$Th(f' \cdot, T) = \begin{cases} a_f, & \text{if } (f_i > T) \\ a_f - 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

当其中  $E\{f'_i\} = 0$  时, 对应有个  $f_i$  值, 记为  $a_f$ .

这样可由式(1)和式(3)得到 PCE 参数的表达式为

$$\text{PCE} = m^2 (P_h(T) + P_l(T) - 1) \sqrt{\frac{H_f(T)(1 - H_f(T))}{H_{g'}(T)(1 - H_{g'}(T))}}, \tag{4}$$

其中  $H_f(x) = \sum_{j=0}^x h_{f_j}(x)$ ,  $H_{g'}(x) = \sum_{j=0}^x h_{g'_j}(x)$ ,  $P_h(x)$ ,  $P_l(x)$  为相应概率函数, 输入图像中统计抗噪声性能参数大于  $T$  的概率函数记作  $P_h(x)$ , 具体描述为:  $P_h(x) = 1 - \frac{1}{1 - H_{g'}(x)} \sum_{j=x}^{255} h_{g'_j}(j) (\frac{1}{2} - \text{erf}(\frac{x-j}{\sigma}))$ , 而记抗噪声性能参数小于  $T$  的概率函数为  $P_l(x)$ ,  $\sigma$  为随机噪声.  $h_{f_j}(x)$ ,  $h_{g'_j}(x)$  分别是滤波函数  $f(i, j)$  和输入图像  $g(i, j)$  的直方图均值函数. 使评价参数 PCE 最大化, 可得一个阈值  $T$ , 把它作为滤波函数二值化的阈值, 同样也可得到输入图像的阈值. 此方法我们称之为优化相关阈值法. 该方法抗噪声干扰能力强, 但运算量较大, 用 P III 633 来求一幅  $256 \times 256$  图像的阈值需要 35ms.

### 2.3 纯位相互相关法二值化(POCC)

另一种基于光学模式识别的较理想的二值化方法, 我们称它为纯位相互相关法二值化. 该方法主要

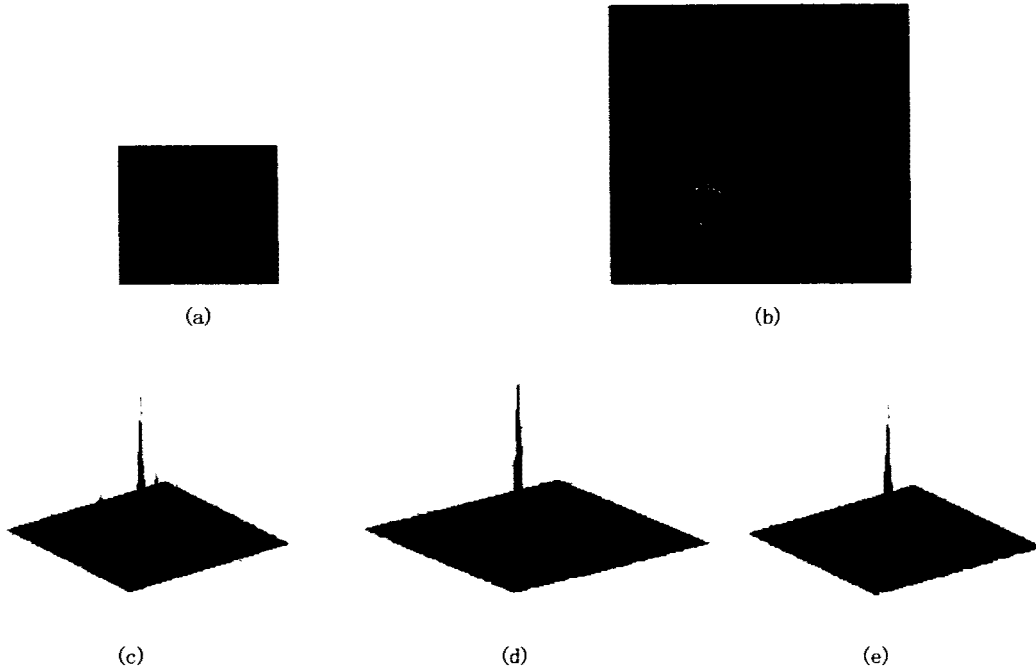


图1 (a) 模板图像 (b) 背景单一的输入图像 (c) OT 二值化相关的结果  
(d) POCC 二值化相关的结果 (e) DIFHIST 二值化相关的结果

Fig.1 (a) Pattern image (b) input-image with single background (c) result correlated with OT binarization  
(d) result correlated with POCC binarization (e) result correlated with DIFHIST binarization

是利用纯位相互相关运算,来找一个阈值  $T$  使得  $C(i, j)$  的  $PCE$  值最大化,其中,

$$C(i, j) = F^{-1} \left\{ \frac{F\{Th(f_i, T)\}}{|F\{Th(f_i, T)\}|} \times \frac{F^*\{f_j\}}{|F\{f_j\}|} \right\}$$

而后把  $C(i, j)$  代入式(3)可得  $PCE$  参数的具体表达式,使  $PCE$  值最大化,从而能得到一个阈值  $T$ ,同样把它作为输入图像和滤波函数二值化的阈值.

该方法在无噪声情况下,相关效果最好,POCC 方法对环境噪声适应性不是太强,环境噪声不大时,该法较为优越.且相对于  $PCE$  评价参数而言,POCC 也很好,但计算量较大,用 P III 633 来求一同  $256 * 256$  图像的阈值大概需要 130ms.

### 3 用于不同景象匹配的 3 种算法性能比较

我们应用自制的光电混合自动目标识别系统<sup>[3]</sup>对这 3 种适用于相关模式识别的二值化算法进行了计算机仿真实验,并对这几种算法的性能进行了比较分析.评价相关模式识别的效果可从两个方面来进行,一个是看其相关峰的峰值情况,另一个是看模式识别的实时性.相关峰的峰值可从不同的评价参数来判别我们选择  $PCE$  和  $SNR$  这两个参数来评价相关效果.

作计算机仿真实验时,首先选择目标比较单一,

基本无背景干扰的输入图像,我们选 F5 单架飞机作为模板图像,然后分别用 3 种二值化算法进行图像相关模式识别的仿真实验,最后得到相关结果,如图 1 所示.

其次选择可见光图像作为输入图像来进行相关模式识别的仿真实验,模板图像用可见光卫星图片,并且选择在不同背景噪声条件下(附加的随机噪声,分别取噪声系数 noise 为 64 和 128)进行仿真,具体选择不同背景噪声相关数据如表 1 所列,仿真实验结果如图 2 所示.再次选择中波红外图像作为输入图像来进行相关模式识别的仿真实验,模板图像仍用可见光卫片(目前作景象匹配时,模板来源分辨率为 5 米或 10 米的卫星图像,只能得到可见光的无法得到红外的卫片),而选择有典型特征的地物目标(河流交叉处)作为模板,在不同背景噪声条件下进行实验,实验数据如表 2 所示,仿真实验结果如图 3 所示.

以上相关结果可以看出,在输入图像背景比较单一的情况下,DIFHIST 二值化相关的结果最好,在输入图像为可见光的情况下,OT 二值化相关的结果最好,在输入图像为中波红外的情况下,POCC 二值化相关的结果最好.在背景复杂的后面两种情况下,DIFHIST 二值化相关的结果不太理想.我们从实验

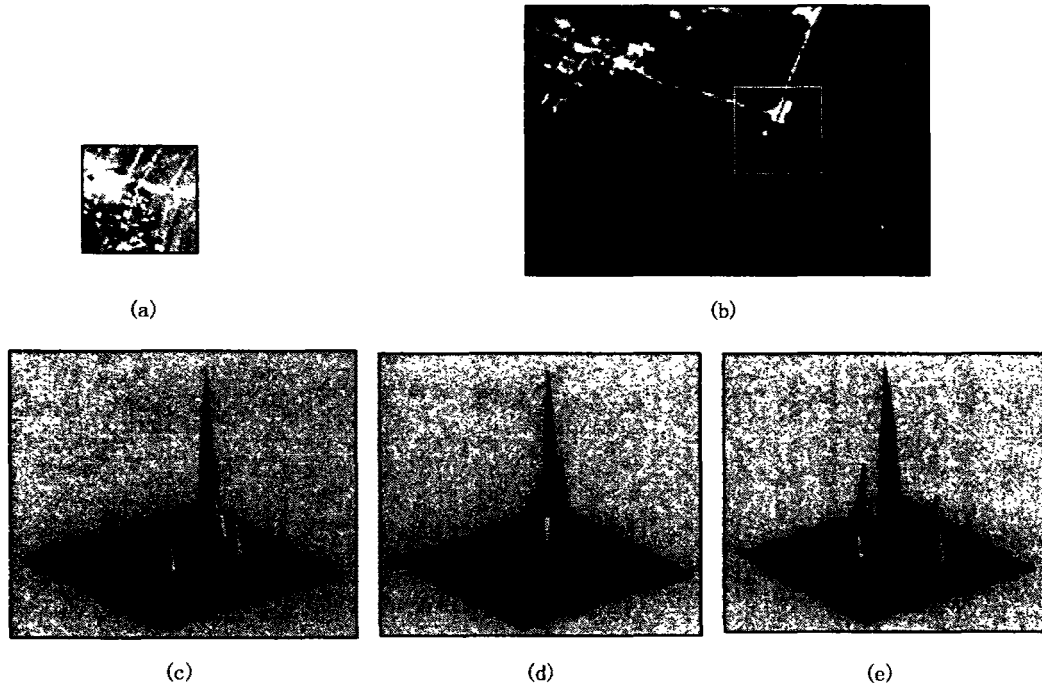


图 2 (a) 模板图像 (b) 可见光的输入图像 (c) OT 二值化相关的结果  
 (d) POCC 二值化相关的结果 (e) DIFHIST 二值化相关的结果  
 Fig. 2 (a) pattern image (b) visual input - image (c) result correlated with OT binarization  
 (d) result correlated with POCC binarization (e) result correlated with DIFHIST binarization

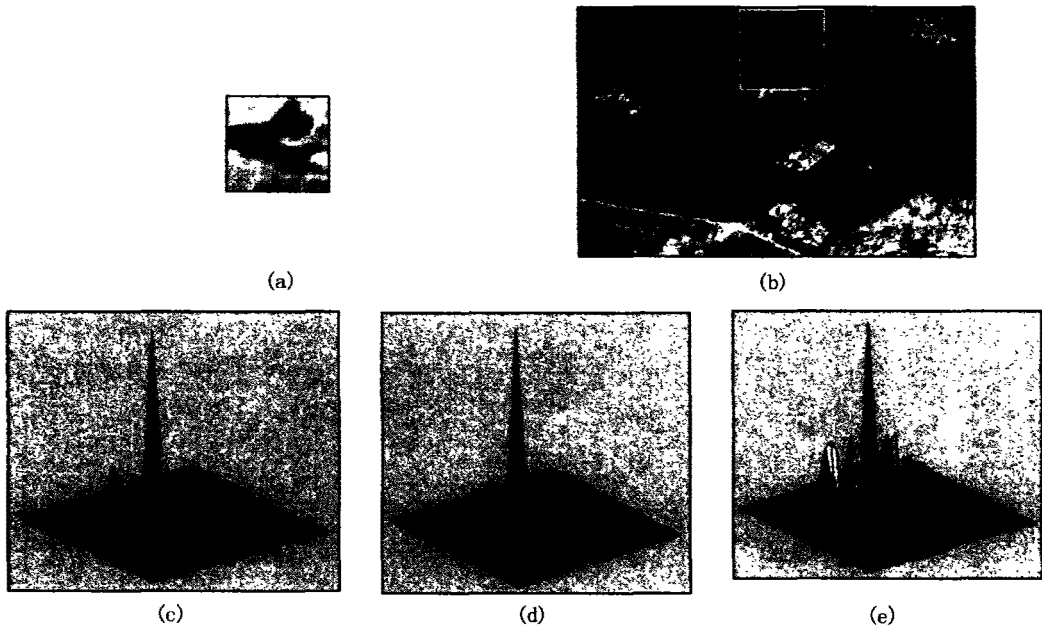


图 3 (a) 模板图像 (b) 中波红外的输入图像 (c) OT 二值化相关的结果  
 (d) POCC 二值化相关的结果 (e) DIFHIST 二值化相关的结果  
 Fig. 2 (a) pattern image (b) middle wave infrared input-image (c) result correlated with OT binarization  
 (d) result correlated with POCC binarization (e) result correlated with DIFHIST binarization

结果可以得出, DIFHIST 二值法是一种介于传统二值化和光学模式识别二值化之间的方法, 对于光学

模式识别基本能满足相关要求; OT 法对于 PCE 评价参数较为理想, 且有较强的抗噪声干扰能力, 但需

要一定的运算量;POCC 二值法对环境噪声适应性不是太好,相对于 PCE 评价参数而言,POCC 最理想,但计算量较大.3 种算法具体对于几个评价参数的值如表 1 和表 2 所列.

表 1 DIFHIST、POCC 和 OT 二值化算法对应可见光输入图像的相关参数值

Table 1 Correlation parameter values of DIFHIST、POCC and OT binarization algorithms for the visual input-images

二值化算法	PCE (noise = 0)	PCE (noise = 64)	PCE (noise = 128)	运算时间 $t$ (ms)
微分直方图法 (DIFHIST)	18.58	14.93	8.69	10
优化相关阈值法 (OT)	31.87	26.34	14.72	35
纯位相互相关法 (POCC)	47.46	21.32	11.02	130

表 2 DIFHIST、POCC 和 OT 二值化算法对应中波红外输入图像的相关参数值

Table 2 Correlation parameter values of DIFHIST、POCC and OT binarization algorithms for the middle wave infrared input-images

二值化算法	PCE (noise = 0)	PCE (noise = 64)	PCE (noise = 128)	运算时间 $t$ (ms)
微分直方图法 (DIFHIST)	15.35	10.09	5.95	10
优化相关阈值法 (OT)	26.43	20.65	12.17	35
纯位相互相关法 (POCC)	37.23	16.70	9.10	130

## 4 结语

在数字图像处理技术中,二值图像一直占有很重要的地位.一方面象文字、指纹和工程图纸等图像本质上就是二值的;另一方面,把灰度图像变换为二值图像后再处理可提高运算效率.更重要的是,二值图像能够用几何学的概念进行分析和特征描述,这比分析和处理同样尺寸的灰度图像要方便的多.

而光电混合自动目标识别系统是一种较新的模式识别系统,涉及的二值化算法与普通的数字识别系统有所不同的,选择算法时需考虑怎样更好的适用于光学模式识别,要从光学模式识别的各种评价参数来检验算法的可行性.本文提出的 3 种二值化算法,主要是针对光学模式识别的特征来选取的,尽管基本能达到相关识别的要求,但每种算法其本身具有一定的局限性,我们应不断寻求更加完善的算法,使之能更好的满足模式识别的要求,这有待于我们在以后的工作中更进一步的研究.

## REFERENCES

- [1] William C, Hasenplaugh, Mark A Neifeld. Image binarization techniques for correlation-based pattern recognition. *Opt Eng.* 1999, **38**(11): 1907 — 1917
- [2] Vijaya Kumar B V K. Tutorial survey of composite filter designs for optical correlators. *Appl. Opt.* 1992, **31**(23): 4773 — 4801.
- [3] 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