

光学多目标识别的新方案*

黄国亮 邬敏贤 金国藩 姚忠兵
(清华大学精密仪器系, 北京 100084)

摘 要 介绍一种数学形态学中的击中与否(Hit-or-Miss)算法,能快速准确实现光学多目标识别的新方案.避免了普通光学相关目标识别方法中经常出现的错误信号.因此,其目标识别结果更为有效可靠.

关键词 数学形态学, 击中与否算法.

1 引 言

光学目标识别有三种典型的方法,匹配滤波方法^[1,2],联合变换相关器(JTC)方法^[3],符号代换方法^[4]等.匹配滤波方法原理简单,但因其中的滤波器制作麻烦,使应用范围受到了很大的限制;另外,它也不适合于实时目标识别.联合变换相关器方法可以用来进行实时目标识别,但其系统结构复杂,级连传输中信号能量损失大,主相关峰信号常常不如干扰信号强,容易出现误判输出.在符号代换方法中,对比度反转的同类目标的符号代换结果相同,故此,最终识别结果也会出现误判现象.为此,有必要探讨光学目标识别的新方案.

本文基于数学形态学中的击中与否算法,采用卷积取阈的方法,提出一种能准确实现光学多目标识别的新方案,并用它完成了从一幅多目标图像中识别出两种感兴趣目标的实验研究.

2 原 理

数学形态学中的击中与否算法^[5]是光学目标识别中一种新的理论根据,利用它不仅可以实现对图像中多目标的分类提取,而且能从中识别出感兴趣的任意目标.基于卷积原理的击中与否光学目标识别方案具有识别目标的平移不变性和尺度不变性,并能补偿目标轻度旋转畸变的影响.

2.1 击中与否算法

图像的数学形态学处理由三种基本操作(扩、补、并等)构成,任何一种复杂的图像处理,如目标识别、去除噪声、边缘和骨架提取等,都可以用这三种基本操作来表示.补、并操作的

* 本课题得到国家科委 863 高技术和国家自然科学基金资助.

收稿日期:1993年8月16日;收到修改稿日期:1993年12月13日

描述与集合论中补和并的定义相同，这里只介绍扩操作。

在数学形态学中，两个二值图像 X 和 R 的扩操作表示为：

$$X \oplus R = \{(i+k, j+l) | (i,j) \in X, (k,l) \in R\}, \tag{1}$$

设有两个函数 $x(i,j)$ 和 $r(i,j)$ ，其中

$$x(i,j) = \begin{cases} 1 & (i,j) \in X \\ 0 & \text{其它} \end{cases}, \quad r(i,j) = \begin{cases} 1 & (i,j) \in R \\ 0 & \text{其它} \end{cases}.$$

则图像 X 和 R 的卷积在取低阈值 $T = 1$ 时可表示为：

$$\begin{aligned} X * R|_{T=0} &= \{(i,j) | \sum_{k,l} x(k,l) r(i-k, j-l) > 0\} \\ &= \{(i+k, j+l) | \sum_{k,l} x(i,j) r(k,l) > 0\} \\ &= \{(i+k, j+l) | (i,j) \in X, (k,l) \in R\} \\ &= X \oplus R. \end{aligned} \tag{2}$$

(2)式表明，两个二值图像 X 和 R 的扩操作可以用光学卷积取低阈值的方法来实现。

蚀操作是击中与否算法的基本单元，其数学表达式为：

$$X \ominus R = \overline{\overline{X} \oplus R} \tag{3}$$

其中“—”为求补符号、 \overline{X} 为图像 X 的补， \overline{R} 为图像 R 的镜像映射像。击中与否算法的数学表达式为：

$$\begin{aligned} X \otimes (R_1, R_2) &= (X \ominus R_1) \cap (\overline{X} \ominus R_2) \\ &= \overline{(\overline{X} \oplus R_1) \cup (X \oplus R_2)}, \end{aligned} \tag{4}$$

其中 X 为待处理的多目标图像， R_1 和 R_2 为两个已知的参考目标，“ \cap ”和“ \cup ”为集合中“取交”和“求并”符号。在(4)式中，前半部分 $X \ominus R_1$ 为 Hit 操作，后半部分 $\overline{X} \ominus R_2$ 为 Miss 操作。Hit 操作就是一种蚀操作，利用它可以一幅多目标图像 X 中识别出大于或等于参考目标 R_1 的所有目标。相反，利用 Miss 操作，则可以从一幅多目标图像 X 中分离出小于或等于参考目标 $\overline{R_2}$ 的所有目标。由此可见，利用击中与否算法，如果 $R_1 = \overline{R_2}$ ，则可以从一幅多目标图像 X 中识别出与 R_1 相等的目标；而当 $R_1 \neq \overline{R_2}$ ，且 R_1 和 R_2 可以作动态变化，这时，击中与否算法的处理结果是对 X 中一系列介于 R_1 和 R_2 之间的目标进行分类提取。（看图 1）。

2.2 击中与否图像目标识别的不变性分析

在击中与否图像目标识别中，核心部分是光学卷积取阈，不论 Hit 操作，还是 Miss 操作，都可以用卷积取阈的方法来实现。因此，可以用图 2 所示的卷积来剖析 Hit-or-Miss 图像目标识别的特点。在图 2 中， P_1 为待处理多目标图像

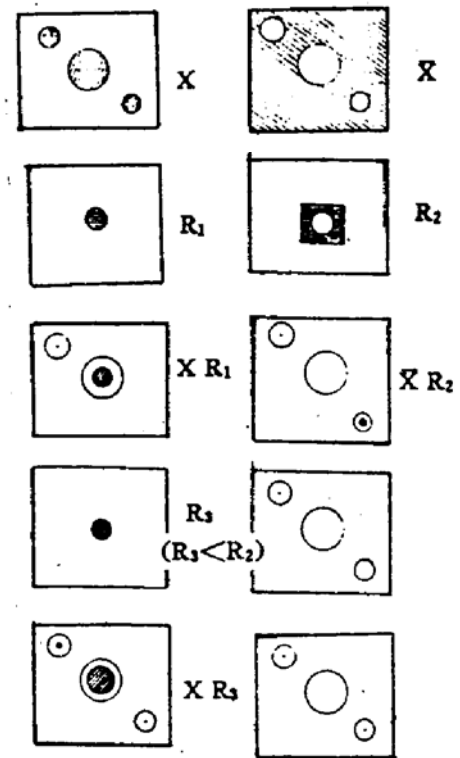


Fig. 1 The diagram for Hit-or-Miss algorithm

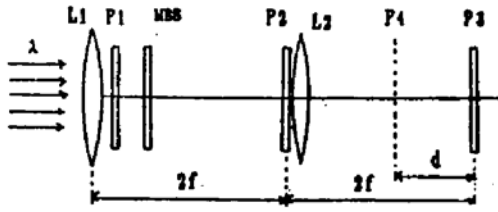


Fig. 2 The system for the convolution operation

X 的输入平面, MBS 为一个 Dammann grating 分束器, P_2 为参考目标 R 所在的平面(也是 MBS 的谱面), P_3 为 P_1 的像面, P_4 为卷积输出平面, P_4 与 P_3 之间的距离为 d . 如果图像 X 的象素间隔为 Δ_1 , 图像 R 的象素间隔为 Δ_2 , L_1 的焦距为 $2f$, L_2 的焦距为 f , 则:

$$d = 2f \Delta_1 / (\Delta_1 + \Delta_2). \quad (5)$$

2.2.1 平移不变性

设多目标图像 X 的振幅为 $g_1(x_1, y_1)$, 经过 MBS 后在 P_2 平面的振幅为:

$$g_2(x_2, y_2) = \text{comb}(x_2, y_2) [G_1(x_2, y_2)], \quad (6)$$

其中 $G_1(x_2, y_2) = \mathcal{F}[g_1(x_1, y_1)]$ 为 $g_1(x_1, y_1)$ 的傅里叶变换. 从(6)式可以看出, 图像的处理过程包含了一次傅里叶变换, 因此, 对多目标图像 X 在 P_1 平面内的平移变化, 其卷积运算结果具有平移不变性. 而当参考目标 R 在 P_2 平面内存在的平移变化时, 只要 R 的平移不超出视场(MBS 的谱点覆盖范围), 则通过图像 R 的有效谱点数保持不变, 这样, 图像 R 的平移变化也不影响其卷积输出结果. 所以, 用图 2 所示光学卷积实施方案来构成击中与否图像目标识别, 对识别目标 X 和 R 具有平移不变性.

2.2.2 尺度不变性

如果待识别目标图像中的感兴趣目标与参考目标大小之比为 K , 参考目标 R 所透过的 MBS 谱点数为 N , 则有效谱点数定义为: $N_{\text{有}} = N/K$. 同时定义 $K=1$, MBS 处于 P_1 与 P_2 的中间位置时, 参考目标 R 所透过的 MBS 谱点数 N_0 为最佳谱点数. 当卷积系统工作于最佳谱点数 N_0 状态时, 基于卷积取阈方法的击中与否目标识别将在与参考目标完全一致的感兴趣目标位置产生一个很强的峰值输出信号. 当 K 取其它值时, 即实际感兴趣目标与参考目标之间存在任意尺度比率畸变, 则可以通过调整 MBS 器件的位置来改变 N 的大小, 确保 $N_{\text{有}} = N_0$, 以便获得一个好的目标识别输出信号. 由于调整 MBS 位置后, Δ_2 将发生变化, 则卷积输出平面的位置也跟着改变, 这时可通过调整 L_3 (或 P_4) 的位置(见图 3)来满足卷积输出条件. 由此可见, 通过改变卷积系统中部分元件的位置, 能很好地补偿感兴趣目标与参考目标之间的尺度变化所产生的影响.

2.2.3 旋转不变性

对于目标的旋转变换, 击中与否目标识别方法主要靠改变卷积取阈时的阈值大小来进行相应的补偿, 这种补偿作用仅对于小角度($\pm 15^\circ$ 左右)的旋转畸变有效.

3 实验系统

综合(1)~(4)式可以看出, 基于击中与否算法的光学目标识别可以用二路光学卷积叠加取阈的方法来实现. 本文提出的新方案如图 3 所示. 在图 3 中, P_1 和 P_1' 对应多目标图像 X 和 \bar{X} 的输入平面, P_2 和 P_2' 为 MBS 采样器件所在的平面, P_3 和 P_3' 对应参考目标 R_2 和 R_1 的输入平面(与 MBS 的谱面重合), P_4 为 CCD 接收平面, 光学处理结果输入计算机后进行阈值处理.

从图 3 中可以看出，其上半部的光路用于实现 Miss 操作的光学卷积，下半部的光路用于完成 Hit 操作的光学卷积，然后在 P_4 平面叠加求“并”。调整各元件的位置，作适当的阈值处理后，得到击中与否多目标识别处理结果，即找到 X 中与 R_1 相同的目标的位置。利用计算机对取阈后的结果作适当增强处理，可以进一步改善光学目标识别结果的质量，获得高对比度($K = 1$)的目标识别结果。

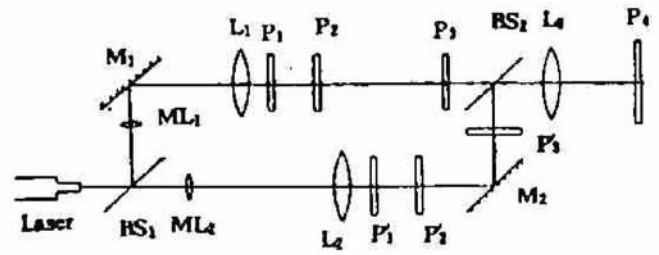


Fig. 3 The scheme for optical multi objects recognition

4 实验结果及分析

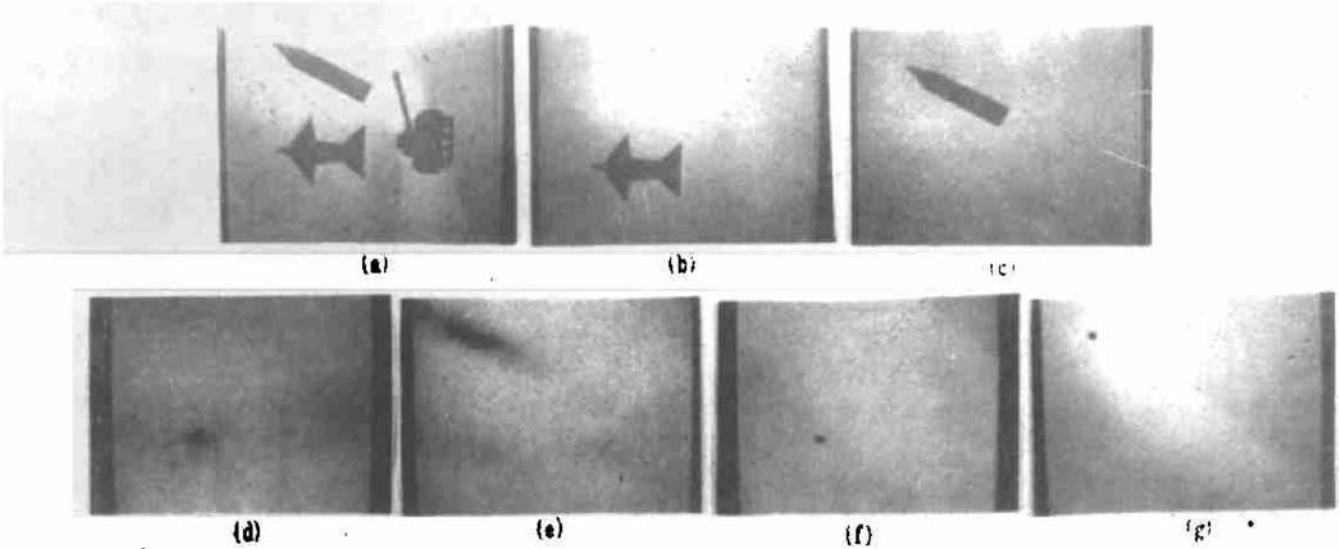


Fig. 4 The experimental results of multi-objects recognition

利用图 3 所示系统，从一幅三目标图像中识别出感兴趣的目标，实验结果如图 4 所示。在图 4 中，(a)为含有三个目标的待识别图像、(b)和(c)为两种参考目标、(d)和(e)为光学处理后所得感兴趣目标的位置[依次对应(b)和(c)]，(f)和(g)依次为(d)和(e)经计算机增强处理后的结果。

从图 4 可以看出，本文提出的方案能从一幅多目标图像中准确识别出感兴趣的任意目标，所得结果对比度效果良好。

基于击中与否光学目标识别的不变性分析，对此进行了实验检验。

4.1 平移不变性

在图 3 中，让被识别图像和参考目标在其所在平面内沿任意方向平行移动 ± 10 mm(由于系统中透镜孔径的限制，移动范围再大时，被处理图像将超出均匀照明视场)，观察到目标识别输出结果始终保持不变，即具有平移不变性。

4.2 尺度不变性

图 3 中，分别使多目标图像中感兴趣目标与参考目标之间的尺度比例系数 $K = 1.5, 1.2, 1, 0.8, 0.5$ 等值时，通过调整 P_2, P_3, L_3 和 P_4 的纵向位置，最终均可获得正确的目标

识别输出信号. 这说明调整系统中部分元件的位置, 对识别目标的尺度变化有很好的补偿作用.

4.3 旋转不变性

在图 3 中, 首先调整好各器件及输入图像(多目标图像和参考目标图像)的位置, 获得清晰的目标识别结果; 然后使多目标图像(或参考目标图像)绕光轴旋转, 随着旋转角度的增加, 目标识别结果的对比度越来越低, 最终对比度趋于零, 尽管调整卷积阈值大小, 也得不到正确的目标识别输出信号. 对于飞机, 这种感兴趣目标旋转角度变化范围在 $\pm 15^\circ$ 左右; 而对于导弹, 这种感兴趣目标旋转角度变化范围为 $\pm 10^\circ$ 左右. 由此可见, 对于方向性越强的目标, 文中击中与否目标识别方案的旋转不变性越弱.

5 结束语

综上所述, 本文所介绍的击中与否目标识别方案不仅能从一幅多目标图像中快速准确识别出任意感兴趣的目標, 而且它具有良好的平移不变性和尺度变化不变性, 但在旋转不变性方面不够理想. 此外, 在图 3 中, 多目标物体及参考目标均可用液晶电视或其它电寻址空间光调制器输入, 因此, 文中光学目标识别方案有可能实现实时多目标识别. 由此可见, 本文所介绍的光学目标识别方案具有很好的实用前景.

参 考 文 献

- [1] 于美文, 光学全息及信息处理. 北京, 国防工业出版社, 1984, 259~262
- [2] D. P. Casasent, An optical correlator feature extractor neural net system. *Opt. Engng.*, 1992, 31(5): 971~345
- [3] B. Javidi, S. F. Odeh, Multiple object identification by bipolar joint transform correlation. *Opt. Engng.*, 1988, 27(4): 295~300
- [4] D. P. Casasent, E. C. Botha, Knowledge in optical symbolic pattern recognition processors. *Opt. Engng.*, 1987, 26(1): 34~40
- [5] K. S. Huang, B. K. Jenkins, A. A. Sawchuk, Binary image algebra and optical cellular logic processor design. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1989, 45: 295~345

A New Scheme for Optical Multi-Objects Recognition

Huang Guoliang Wu Minxian Jin Guofan Yao Zhongbing

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

(Received 16 August 1993; revised 13 December 1993)

Abstract Based on Hit-or-Miss algorithm of mathematical morphology, a new scheme for optical multi-objects recognition is proposed. This scheme is not only having high processing speed for object recognition, but also can remove the error warning signal which usually appears in the optical correlator approach. Therefore, its result of object recognition is more effective and reliable.

Key words mathematical morphology, Hit-or-Miss algorithm.