

文章编号 10042924X(2006)0320509204

复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究

林玉池¹, 崔彦平^{1,2}, 黄银国¹

- (1. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072;
2. 河北科技大学 机械电子工程学院, 河北 石家庄 050054)

摘要:通过对传统形态学边缘提取方法的分析,提出了基于形态学多结构元边缘提取算子,该算子既有良好的边缘提取特性,又很好地解决了噪声抑制和保持图像边缘细节之间的矛盾,通过灰度加权平均值作为阈值进行二值化,更加突出了边缘效果。针对目标成像特点,在提取图像中边缘的像素数、复杂度和最小外接矩形长宽比等多个特征的基础上,通过计算图像中目标边缘的特征评价函数和隶属度函数,利用模糊综合评判技术进行了目标识别。模拟试验表明:基于形态学的多结构元算子具有较强的噪声抑制能力,可以很好地提取复杂背景下的目标边缘;模糊综合评判技术可准确提取目标,较好地解决了复杂背景下的目标识别的难题。

关键词:数学形态学;多结构元;复杂背景;边缘检测;目标识别

中图分类号:TP391.4 文献标识码:A

Study on edge detection and target recognition in complex background

LIN Yu2chi¹, CUI Yan2ping^{1,2}, HUANG Yin2guo¹

(1. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054, China)

Abstract: Based on the analysis of traditional edge detection operator of mathematical morphology, a multistructuring elements edge detection operator of mathematical morphology was proposed, which could suppress noise as much as possible while preserving fine details. The threshold acquired by weighted average of gray levels was used to binarize the image to improve image edge. On the basis of characters of edge pixels, complexity and aspect ratio of minimum enclosing rectangle, a overall fuzzy evaluating technique was utilized to recognize the target by calculating the characteristic evaluating function and membership degree function. The results of simulation experiments demonstrate that the proposed method could suppress noise effectively and extract target edge from complex background efficiently, and the target in complex background could be detected reliably by overall fuzzy evaluating technique.

Key words: mathematical morphology; multistructuring element; complex background; edge detection; target recognition

1 引言

目标识别技术在军事和民用领域都得到了大量的应用。对军事目标进行准确、有效的识别是取得战场信息控制权的关键因素之一;在民用领域,目标识别技术也得到了大量的应用,例如用于人脸识别、车牌识别等。一个目标识别系统应该具有在复杂背景下监测、分类和识别目标的能力,所以复杂背景下的目标识别一直是视觉测量中研究的热点问题之一。复杂背景下的目标识别方法大体上可以分为两类,其一是通过模板匹配等方法直接识别目标,这类方法计算量非常大,尤其在目标复杂、模板数较多时,很难达到实际应用的要求;另一类是先通过预处理找出若干准目标区域,进而选取目标区域。在第二类方法中关键是目标特征如何选取。不变矩形常被作为特征量用于目标识别,但是矩形不变量需要对目标图像的每一个像素点进行运算,运算量较大,因此不适于实时处理^[1]。

图像边缘是图像最基本的特征,包含目标的重要信息,边缘提取在计算机视觉、图像分析等应用中起着非常重要的作用。本文利用图像边缘特征识别复杂背景下的目标。由于经典的边缘算子 Robert、Prewitt、Sobel、Kirsch 等对噪声敏感,抗噪声性能差,并且常常会在检测边缘的同时加强噪声,难以完成复杂背景下的边缘提取,而基于数学形态学的边缘检测算法对噪声不像经典微分算法那样敏感。所以本文在数学形态学单结构元基础上构造了多结构元算子,采用基于数学形态学的多结构元算子对所获取的图像抑制背景噪声、去除各种干扰、提取目标边缘。然后以目标边缘的像素数、复杂度和目标最小外接矩形的长宽比作为目标识别的特征量,计算各个目标边缘的特征评价函数和隶属度函数,利用模糊综合评判技术实现目标识别。

2 基于形态学的多结构元边缘提取

2.1 数学形态学基本运算

数学形态学以严格的数学理论和几何学为基础,用具有一定结构和特征的结构元素去量度图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别的目

的,用于抑制噪声、特征提取、边缘检测和图像处理等问题。数学形态学的特点是能将复杂的形状进行分解,并将有价值的形状分量从无用的信息中提取出来。基于数学形态学的边缘提取算法优于基于微分运算的边缘提取算法,对噪声不像微分算法那样敏感,而且提取的边缘比较平滑。

数学形态学的算法具有天然的并行实现的结构。它有如下 4 个基本运算:膨胀、腐蚀、开启和闭合,其中 $f(x, y)$ 代表输入图像, $B(i, j)$ 代表结构元,基于这些基本运算可以推导和组合成各种数学形态学实用算法^[223]。

(1) 膨胀

$$(f \dot{\vee} B)(x, y) = \max\{f(x - i, y - j) + B(i, j) \mid (x - i, y - j) \in D_f; (i, j) \in D_B\}, \quad (1)$$

(2) 腐蚀

$$(f \beta B)(x, y) = \min\{f(x + i, y + j) - B(i, j) \mid (x + i, y + j) \in D_f; (i, j) \in D_B\}, \quad (2)$$

其中 D_f 和 D_B 分别是函数 f 和 B 的定义域,位移参数必须包含在函数 f 的定义域内。

(3) 开启

$$(f \cdot B) = (f \beta B) \dot{\vee} B, \quad (3)$$

(4) 闭合

$$(f \# B) = (f \dot{\vee} B) \beta B, \quad (4)$$

2.2 形态学边缘检测算子

利用膨胀运算会使图像扩大,腐蚀运算会使图像缩小的特性,可以得到以下三种形态学边缘检测算子。

若采用膨胀运算,则边缘检测梯度算子为:

$$G_D(x, y) = f(x, y) \dot{\vee} B - f(x, y), \quad (5)$$

若采用腐蚀运算,则边缘检测梯度算子为:

$$G_D(x, y) = f(x, y) - f(x, y) \beta B, \quad (6)$$

若采用腐蚀膨胀复合运算,则边缘检测梯度算子为:

$$G_D(x, y) = f(x, y) \dot{\vee} B - f(x, y) \beta B, \quad (7)$$

形态学边缘检测算子是一种非线性差分算子,是传统线性差分算子在一定意义上的推广,其检测出的边缘与结构元 B 有关。上述三种形态学边缘检测算子可以分别提取图像外边缘、内边缘和骑跨在实际欧式边界上的边缘。虽然它们对噪声不像微分算法那样敏感,但是对噪声抑制能力也不是特别强,只适用于噪声较小的图像。

2.3 多结构元抗噪形态边缘检测算子

基于形态学的图像边缘检测不仅和使用的边

缘检测算子有关,而且还取决于结构元素的选择。如果只采用一种结构元素,其输出图像中只包含了一种几何信息,不利于图像细节的保持。因此采用不同取向的多个结构元素,将每一结构元素作为一种尺度对图像细节进行匹配,可以在滤除不同类型和大小噪声的同时,充分保持图像的各种细节^[2,4,5]。为此构造了如式(8)所示的多结构元边缘检测算子,与阈值相结合进行边缘检测。

$$G_D(x, y) = [(f(x, y) \beta B_1) \dot{\gamma} B_2] \dot{\gamma} B_3 - [(f(x, y) \dot{\gamma} B_1) \beta B_2] \beta B_3, \quad (8)$$

图1为添加了均值为0,方差为0.02高斯噪声的Lena图像。采用多结构元边缘检测算子和Sobel算子对图1进行边缘检测后,图2显示采用Sobel算子检测到的边缘断裂现象比较严重,而且不能提供有效的内部细节信息;图3表明采用多结构元边缘检测算法得到的边缘连贯性好,没有断裂现象,轮廓清晰。可以看出这种多结构元的方法既抑制了噪声,又保持了图像细节,对噪声图像的边缘检测效果优于Sobel算子的检测效果。



图1 加入方差为0.02高斯噪声的原始图像

Fig. 1 Original image added a Gaussian noise with 0.02 variance



图2 Sobel算子边缘提取

Fig. 2 Edge detection by Sobel operator

用多结构元提取出来的灰度边缘图像,有时会由于边缘灰度级较小,视觉结果不够理想,为了突出边缘效果,可以进行二值化处理。处理方法

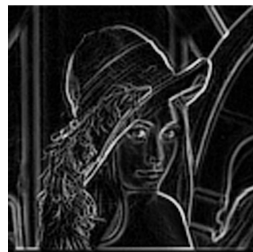


图3 多结构元边缘提取

Fig. 3 Edge detection by multi-structuring



图4 二值化后的边缘

Fig. 4 Edge after binarization

如下:通过灰度边缘图像得到直方图,从而获得对应每一灰度级的像素数,然后使用这些像素的灰度加权平均值作为阈值来进行二值化,计算公式为:

$$T = \frac{\sum_i (P_i V_i)}{\sum_i P_i}, \quad (9)$$

其中T为阈值; V_i 为灰度值; P_i 为灰度值为 V_i 的像素个数。采用上述二值化方法后得到的边缘检测结果如图4所示。

3 目标识别

3.1 特征量选择

采用预处理后目标边缘像素数、复杂度和目标最小外接矩形的长宽比(λ)作为目标识别的特征量^[1]。复杂度,也称为周长面积比,主要是指边缘像素数与其包围的面积像素数的比值;长宽比是指边缘最小外接矩形的长度与宽度的比值。在实际应用中,由于成像距离、方向以及位置等因素的变化,使得图像发生旋转、平移以及尺度变化,所以作为特征量的像素数、复杂度和目标最小外接矩形的长宽比的确定必须利用尽可能多的先验知识,才能准确识别目标。融合目标的多个特

征,通过计算目标特征的特征评价函数和隶属度函数,利用模糊综合评判技术进行目标识别。

3.2 最小外接矩形的求取

几何图像的外接矩形是指完全包含了图形上所有的点、线,且各边均与图形相接触的矩形。一个图形的外接矩形有无穷多个,其中面积最小者称为最小外接矩形^[6]。由定义可知几何图形的最小外接矩形是唯一的,它在一定程度上描述了该图形的某些几何特征即长和宽,这里借用几何图形的外接矩形的定义描述图像边缘的特征。

计算最小外接矩形(MER)的一种方法是将图像在 90°范围内等角度间隔地旋转,每次记录其坐标系方向上的外接矩形参数,取其面积为最小的矩形并记录其长度和宽度。

(1) 将图像边缘点绕该图像形心点(x_0, y_0)旋转,每次旋转 3°;

(2) 计算出每旋转 3°后的最大横坐标 x_{\max} 、最小横坐标 x_{\min} 和最大纵坐标 y_{\max} 、最小纵坐标 y_{\min} ,则可求出图像的外接矩形的面积为:

$$S = |x_{\max} - x_{\min}| \cdot |y_{\max} - y_{\min}|, \quad (10)$$

(3) 再旋转 3°,重复执行第 2、3 步,直到旋转角度达到 90°时停止;

(4) 在所有的图像边缘外接矩形面积中,找出面积 S 最小时的 x_{\max} 、 x_{\min} 、 y_{\max} 和 y_{\min} ,就可以计算出最小外接矩形的长宽比。

3.3 利用模糊综合评判技术的目标识别

本文对选取的目标特征模糊语言描述为:边缘的像素数、复杂度和目标最小外接矩形的长宽比远离某一范围越大,是目标的可能性越小,当大于某一数值或小于某一数值时,不可能是目标。根据此原则构造相应的特征评价函数^[7]。

这里记 J 、 K 、 L 代表某边缘的像素数、复杂度和目标最小外接矩形长宽比。

对于边缘的像素数 J ,若 $S_{J1} [J < S_{J2}$, 则其特征评价函数 $P_{rJ} = \frac{J - S_{J1}}{S_{J2} - S_{J1}}$; 若 $S_{J2} [J < S_{J3}$, 则 $P_{rJ} = 1$; 若 $S_{J3} [J < S_{J4}$, 则 $P_{rJ} = 1 + \frac{S_{J3} - J}{S_{J4} - S_{J3}}$, 其它则 $P_{rJ} = 0$ 。其中 $0 < S_{J1} [S_{J2} [S_{J3} [S_{J4}$ 。

同理可以得到复杂度与目标最小外接矩形的长宽比的特征评价度 P_{rK} 与 P_{rL} 。然后根据目标的预知参数与预先进行的实验获得三个特征的隶属度参数 L_j 、 L_k 和 L_l 。采用模糊综合评判方

法^[8210],将这些特征评价度和隶属度构造成一个目标置信度函数 P :

$$P = L_j P_{rJ} + L_k P_{rK} + L_l P_{rL}, \quad (11)$$

这里强调的是对整体结果的综合评判,不会因为个别条件而产生误判。

识别的过程为:采用行扫描 8 领域搜索算法获得图像中各条待识别的边缘,并将属于不同轮廓边缘的点赋予不同的索引号;然后对每一条边缘由式(11)计算出其置信度函数 P ,取最大值的边缘是被识别目标的边缘。

特征评价度参数 S_{ij} 和隶属度函数 L_i (其中 i 为 $J, K, L; j = 1, 2, 3, 4$) 由被识别目标自身特性等先验知识和实验确定,要识别不同目标需根据实验和目标特征调整 S_{ij} 和 L_i 的大小。

4 模拟试验

炮弹在飞行中的姿态和速率是炮弹发射装置及发射药设计、定性和故障诊断等过程中的重要参数,能够准确地测试这些参数对进一步提高武器效能意义重大。而复杂背景下炮弹图像的边缘提取和识别是姿态和速度测量的基础。这里以炮弹为研究目标,通过模拟试验识别复杂背景下炮弹目标。识别算法流程图如图 5 所示:

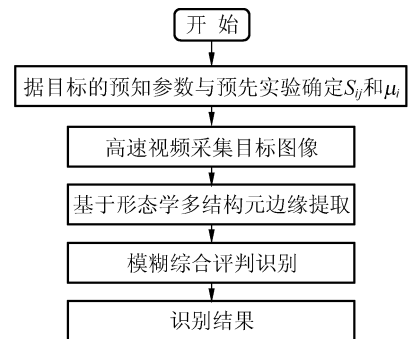


图 5 识别算法流程图

Fig. 5 Flowchart of recognition algorithm

以提取炮弹目标为目的,据目标的预知参数与预先实验确定参数 $S_{J1} = 80$, $S_{J2} = 130$, $S_{J3} = 170$, $S_{J4} = 230$; $S_{K1} = 0.12$, $S_{K2} = 0.16$, $S_{K3} = 0.18$, $S_{K4} = 0.21$; $S_{L1} = 2$, $S_{L2} = 5$, $S_{L3} = 8$, $S_{L4} = 11$ 。三个隶属度函数 L_j 、 L_k 和 L_l 分别为 0.2、0.3 和 0.5。

图 6 是用摄像机拍摄的复杂背景下的模拟目

标图像,其中有一个炮弹模拟目标,二个干扰目标,图7为添加了噪声信号的图像,图8为采用多结构元的边缘检测方法提取其边缘后的图像。采用模糊综合评判技术后可以得到如图9所示的识别结果,可以看出炮弹目标的边缘轮廓清晰且识别结果正确。

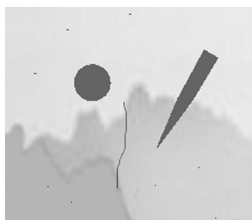


图6 复杂背景下的目标

Fig. 6 Target in complex background

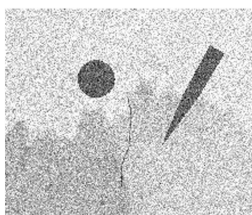


图7 添加了噪声的复杂背景下目标

Fig. 7 Target in complex background added noise

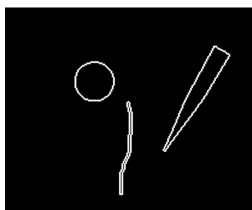


图8 多结构元边缘提取结果

Fig. 8 Result of multistructuring elements edge detection

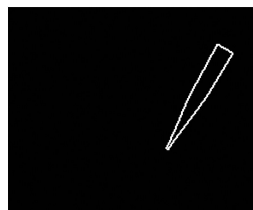


图9 目标识别结果

Fig. 9 Result of target recognition

5 结 论

复杂背景下的目标识别是计算机视觉研究中一个热点和难点问题,本文采用多结构元边缘检测算子提取复杂背景下的图像边缘,能够去除大量的复杂背景和噪声,并且很好地解决了噪声抑制和保持图像边缘细节之间的矛盾,检测效果优于经典的边缘检测方法。在边缘提取的基础上,选择目标边缘像素数、复杂度和目标最小外接矩形长宽比作为特征量,充分考虑到各特征的重要程度,把目标的特征评价函数和隶属度函数结合起来,用模糊综合评判技术进行特征融合得到各个目标的置信度,进而实现对目标的识别。与传统的模板匹配识别算法和采用不变矩作为特征量的识别方法相比,本方法具有速度快,实时性好的优点。应用此方法对复杂背景下的炮弹目标进行了识别,模拟试验表明基于形态学的多结构元算子具有较强的噪声抑制能力,可以很好地提取复杂背景下的目标边缘;模糊综合评判技术可准确识别目标,具有较高的识别率,较好地解决了复杂背景下目标识别难题。

参考文献:

- [1] 余静,游志胜.自动目标识别与跟踪技术研究综述[J].计算机应用研究,2005,22(1):1215.
YU J, YOU ZH SH. Survey of automatic target recognition and tracking method[J]. Application Research of Computers, 2005, 22(1): 1215. (in Chinese)
- [2] 刘松涛,王学伟,周晓东,等.基于传感器参数和目标轮廓中心的自动配准算法研究[J].光学精密工程,2005,13(3):354363.
LIU S T, WANG X W, ZHOU X D, et al. Automatic registration algorithm based on sensor parameters and target's contour centroid[J]. Optics and Precision Engineering, 2005, 13(3): 3542363. (in Chinese).
- [3] 陈智君,林玉池,赵美容,等.万能工具显微镜目镜视场字符识别的预处理算法[J].光电子#激光,2005,16(1):80282.
CHEN ZH J, LIN Y CH, ZHAO M R, et al. Pretreatment algorithm of numeric character auto recognition in view

- field of eye lens on universal tools microscope[J]. Journal of Optoelectronics # Laser, 2005, 16(1): 80282. (in Chinese)
- [4] 杨述斌, 彭复员. 噪声污染图像中的广义形态学边缘检测器[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(17): 91292. YANG SH B, PENG F Y. Application of morphological edge detectors in image corrupted by noise[J]. Computer Engineering and Applications. 2002, 38(17): 91292. (in Chinese)
- [5] FAN L N, WEN Y, XU X H. Research on edge detection of grayscale image corrupted by noise based on multi structuring elements[C]. Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, PDCAT Proceedings, Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, PDCAT 2003 Proceedings, Chengdu, China, 2003: 8402843.
- [6] FREEMAN H, SHAPIRA R. Determining the minimum area enclosing rectangle for an arbitrary closed curve[J]. Communications of the ACM., 1975, 18(7): 4092413.
- [7] 刘松涛, 沈同圣, 周晓东, 等. 红外成像型制导系统舰船目标实时识别技术研究[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(1): 43246. LIU ST, SHEN T SH, ZHOU X D, et al. Study on real time recognition technique for infrared imaging guiding system ship target[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves. 2004, 23(1): 43246. (in Chinese)
- [8] COMELLI P, FERRAGINA P, GRANIERI M N, et al. Optical recognition of motor vehicle license plates[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1995, 44(4): 7902799.
- [9] 刘恒殊, 黄廉卿. 基于模糊集理论的医学 CR 图像增强[J]. 光学精密工程, 2002, 10(1): 94297. LIU H SH, HUANG L Q. Processing method of CR image based on fuzzy set theory[J]. Optics and Precision Engineering, 2002, 10(1): 94297. (in Chinese).
- [10] 李金宗. 模式识别导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 3602364. LI J ZH. Guide of pattern recognition[M]. Beijing: Higher Education Press, 1994: 3602364. (in Chinese)

作者简介: 林玉池(1946-), 男, 福建莆田人, 教授, 博士生导师, 主要从事光电测控与视觉检测技术、现代传感与测试、信息技术等方面研究。E-mail: ychlin@tju.edu.cn