

# 复杂背景下扩展目标的分割算法研究

张坤华 王敬儒 张启衡

(中国科学院光电技术研究所国家 863 计划光束控制重点实验室, 四川, 成都, 610209)

**摘要** 综合利用目标边缘、区域和纹理等多种特征, 提出一种新的复杂背景下扩展目标的分割算法. 在基于知识的串行边界初分割基础上, 运用一种新的分形分割方法抑制初分割图像中的自然背景团块, 最后利用数学形态学运算消除背景粘连. 实验结果表明该方法能够有效的分割复杂背景下的扩展目标, 并能较好的保留目标的形状特征.  
**关键词** 知识, 分形, 数学形态学, 目标分割, 边界跟踪.

## SEGMENTATION OF EXTENDED TARGET IN COMPLEX ENVIRONMENT

ZHANG Kun-Hua WANG Jing-Ru ZHANG Qi-Heng

(National Beam Control Laboratory of 863 Program, Institute of Optics and Electronics,  
Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China)

**Abstract** A new segmentation algorithm, which utilizes boundary, area and texture features for segmenting extended target in complex environment, was proposed. the target was segmented preliminarily by series boundary technique based on knowledge. Then a new fractal segmentation algorithm was used to suppress the complex nature background blocks in the image. And the mathematical morphology method was utilized for eliminating the background conglutination. The experimental results indicated the validity of the method for segmenting the extended target in complex environment and that the method can reserve the shape details of the target perfectly.

**Key words** knowledge, fractal, mathematical morphology, target segmentation, boundary tracking.

### 引言

在现代战争中, 空中和地面来袭目标(如飞机、导弹和坦克等)随着距离的渐近, 逐步由远程的弱小特性转变成为近程的扩展特性, 扩展目标的概念就是针对这种情况下的目标提出的. 我们定义在视场中覆盖  $100 \times 100$  个像素以上, 占视场比例  $1/3$  以下的大面目标为扩展目标. 扩展目标具有面积大、外形复杂、表面灰度不均匀等特性.

复杂背景下的目标分割一直是光电探测、目标跟踪等领域的难题. 扩展目标处于复杂背景中时, 由于目标和背景的双重复杂性, 使得这一难题的难度大为增加, 这表现为: (1) 非均匀光照条件下, 加上目标和背景本身的复杂性, 使得目标和背景的灰度都不均匀, 故目标和背景存在灰度级交叉重叠, 这样一般基于区域均匀性质的图像分割技术无法运用; (2) 目标和背景都具有复杂的轮廓, 且背景边缘可

能与目标发生粘连, 要从错综复杂的图像边缘中区别目标的边界非常困难; (3) 目标在视场所占比例很大, 分割目标所需处理的数据量相当可观.

多年来, 图像的阈值分割是人们研究和运用得最多的图像分割方法. 然而, 由前面的分析可以看出, 独立考虑图像灰度的阈值是不适于复杂图像分割的. 直至目前, 提取复杂背景中复杂目标行之有效的方法仍然相当少. 对于背景复杂并且目标较小的情况, 文献[1]提出的目标识别算法仍然是从阈值分割出发, 对于具有均匀灰度的目标效果较好. 但对于扩展目标, 由于其外形大而复杂, 表面灰度不均匀, 图像二值化后, 整个目标被分割成不同的区域并夹杂在复杂的背景区域中, 使得目标和背景无法正确区分. 为实现复杂背景下扩展目标的分割, 本文综合利用知识、分形以及数学形态学的方法和理论, 提出一种基于目标边缘、区域和纹理等多种特征的目标分割算法.

### 1 基于知识的串行边界初分割

人类视觉系统对信息的收集和处理是一个由粗到精的过程,并具有选择性和层次性.人眼首先粗略搜寻所获得的所有信息并进行判断,将与任务无关的信息舍去,而专注于与任务有关的信息收集,并对其进行深一层次的处理.根据人类视觉的这种机理,我们提出基于知识的串行边界初分割.首先对所有图像信息进行串行边界处理,再根据扩展目标的先验知识,将大多数与目标无关的背景信息去除掉,保留可能的目标区域,为下一步目标的完全分割作好准备.

串行边界技术<sup>[2]</sup>是指以串行的方法通过对目标边界的检测来进行图像分割的技术,一般有两种实现策略:一是先检查边缘点再连接它们;二是对边界点的检查和连接交叉或结合进行.本文采取第一种策略.在对图像进行中值滤波预处理之后,以边沿为组织目标的基元,采用4个方向的 Sobel 算子把图像中的边缘基本上都检测出来.由于 Sobel 算子应用于梯度强度有较宽范围变化的区域会检测出不止一行并列的边缘像素,所以再对二值化的边缘图像进行边界跟踪以检测出目标和背景各团块的封闭边界.

本文采用边沿元的方法进行边界跟踪<sup>[3]</sup>.设二值化边缘图像中,边缘点为“1”,背景点为“0”,当前点为 $(x, y)$ ,它与参考点 $(x + y, y)$ 构成水平边沿元  $H$ ,与参考点 $(x, y + 1)$ 构成垂直边沿元  $V$ .假设边界存在于像素之间,在当前点与参考点值相异时,两点间存在边界,我们称这样的边沿元非零,如图 1 所示,其中  $T$  和  $B$  分别表示边沿元的当前点为目标点和背景点.

在进行边界跟踪之前,要对整幅图像进行边界“0”延拓,以确保边界跟踪在整幅图像范围都可以进行而不用对图像边上的点进行特殊处理.边界跟踪方向规定为目标点始终在前进方向的左侧,标记打在当前边沿元的目标点上.跟踪方向如图 1 中箭头所示,其中,带阴影的为打标记的目标点.这样对于

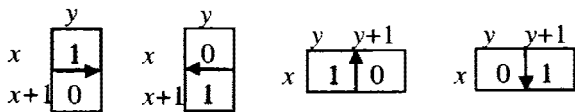


图 1 非零边沿元  
 (a) $H(x, y) = T$ , (b) $H(x, y) = B$ ,  
 (c) $V(x, y) = T$ , (d) $V(x, y) = B$   
 Fig. 1 Nonzero edge element

连通区域的外边界,跟踪方向为逆时针,对于其内边界,跟踪方向为顺时针.同时考察当前非零边沿元及其跟踪方向上的下一个边沿元(后继边沿元)组成的四点窗口,根据边界跟踪方向的规定来确定下一步跟踪方向.逐行逐列扫描图像,当碰到没有打过标记的非零边沿元时,转入边界跟踪,并逐个记下打标记的目标点的坐标值.一条边界跟踪结束的判据是看是否回到跟踪起始点,回到起始点时,给出一个边界跟踪结束标志,随后即转入扫描,以寻找新的未跟踪边界的起始点,继续跟踪,直至整副图像扫描跟踪完毕.

边界跟踪后得到目标和背景团块的封闭边界图像,边界点为“1”,其它点为“0”.在此基础上,利用目标和背景知识,寻找它们之间的差异可对背景进行抑制.本文要分割的是复杂背景下的扩展目标,如飞机、坦克等等,这些目标是刚体,是紧致的.根据扩展目标的特性,我们可以获得以下的先验知识:(1) 扩展目标是紧致的,(2) 扩展目标在整副图像中所占的面积很大,(3) 扩展目标边缘轮廓比较复杂,(4) 扩展目标内部可以具有小的团块.

由这些先验知识,我们可以对目标进行初分割.对边界跟踪后所获得的各团块的封闭边界运用种子法进行填充,填充的目标点值为“1”.根据扩展目标的先验知识,首先保留目标点最多的,即面积最大的几个团块,并计算这几个团块的复杂度,即

$$\text{复杂度} = \frac{\text{团块的边界点数目}}{\text{团块的目标点总数}}$$

保留复杂度最大的 2 到 3 个团块作为进一步分割的候选区域,因为这几个面积和复杂度都很大的团块是可能的目标区域.基于知识的扩展目标初分割可以去除大多数背景,减少了进一步处理的数据量,提高了运算效率.

### 2 扩展目标的分形分割

初分割图像所保留的可能目标区域中有的可能是比较复杂的自然景物,区分自然场景和人造物体一种有效手段就是利用分形理论.广义而言,任何物体表面都可以看作是由某种纹理特征的表面构成,大多数纹理图像都可以用分形模型进行描述.自从 Mandelbrot<sup>[4]</sup>首先提出分形理论以来,它已成为研究和处理具有复杂和不规则图形的有力工具. Pentland<sup>[5]</sup>证明了大多数自然景物的表面所映射成的灰度图像是在一定尺度范围内满足各向同性的分形表面,而人造目标的表面与分形表面存在固有差

异,利用这种差异可以实现对自然场景中人造目标的分割.一个理想分形集的基本特征就是自相似性,即其包含许多不同比例的与自身相似的样本,这个性质可表示为

$$A(r\epsilon) = r^{(d-D)}A(\epsilon). \quad (1)$$

其中  $\epsilon = 1, 2, 3, \dots$  为度量时使用的面积元尺度;  $A(\epsilon)$  是尺度  $\epsilon$  下的度量特征值,对于灰度图像,  $A(\epsilon)$  是图像表面积测度;  $r$  为尺度因子 ( $0 \leq r \leq 1$ );  $D$  是分维数,对于一个理想的均匀的图像灰度表面,拓扑维  $d$  取 2. 式(1)的解为

$$A(\epsilon) = K\epsilon^{2-D}, \quad (2)$$

其中  $K$  为系数.

分形维数反映了图像灰度曲面的粗糙程度,许多学者将它运用到图像分割领域.本文将分析另一分形参数  $K$ , 并将它作为分割扩展目标的特征.对式(2)两端取对数,有

$$\log A(\epsilon) = (2-D)\log(\epsilon) + \log K. \quad (3)$$

式(3)表示  $\log A(\epsilon) - \log \epsilon$  坐标系下的一条直线,  $\log K$  恰为该直线在纵坐标轴  $\log A(\epsilon)$  上的截距.对于一个理想平坦的分形曲面,其分维数  $D$  为 2, 此时,  $K$  的大小等于该尺度下的灰度曲面面积.由此可以看出系数  $K$  实际上是一个类似于面积的分形参数,称之为面积度量.对于光滑的曲面,面积度量较小,起伏的曲面面积度量较大.所以,面积度量同分维数一样反映了图像表面的粗糙程度.实验表明面积度量在许多方面往往能比分维数更好地体现不同曲面的特性.对二维数字图像而言,分维数  $2 < D < 3$ , 而面积度量  $K$  的取值范围是正实数,所以它对于不同性质的曲面具有更好的区分度.

自然背景和人造目标图像最本质的差异在于自然背景具有尺度不变性,即分形参数在所有尺度范围内保持不变.实际中自然场景只具有近似的自相似性,其分形参数在一定尺度范围内保持相对稳定.而人造目标不满足尺度不变性,其分形参数是随尺度显著变化的.由于我们所要分割的扩展目标是人造目标,所以本文根据面积度量  $K$  随尺度的变化情况,对扩展目标初分割所保留的区域进行进一步检测,以剔除自然背景团块.采用“地毯覆盖法”<sup>[6]</sup>估计不同尺度下图像灰度表面积测度  $A(\epsilon)$ , 利用 3 点  $[\log A(i, j, \epsilon - 1), \log(\epsilon - 1)]$ ,  $[\log A(i, j, \epsilon), \log \epsilon]$ ,  $[\log A(i, j, \epsilon + 1), \log(\epsilon + 1)]$ , 通过最小二乘法拟合式(3)表示的直线,计算直线的截距,从而获得点  $(i, j)$  在尺度  $\epsilon$  下的面积度量  $K(i, j, \epsilon)$ . 面积度量随尺度的变化函数由下式给出:

$$U = \sum_{\epsilon=1}^n \left| K(i, j, \epsilon + 1) - K(i, j, \epsilon) \right|, \quad (4)$$

其中  $K(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{\epsilon=1}^n K(i, j, \epsilon)$ . 由前文可知,由于自然景物的面积度量在一定尺度范围内保持相对稳定,故  $U$  具有较小值,人造物体的面积度量随尺度发生显著变化,  $U$  具有较大的值.尺度范围本文取  $n = 9$ . 计算原始图像每一点的  $U$  值,得到分形标记图.将分形标记图像与上一节初分割所得的图像进行比较,去除初分割图像中分形目标点(其  $U$  值小于一定的阈值)占大多数(80%以上)的团块,即去除复杂的自然景物团块,从而实现复杂背景下扩展目标的分割.

### 3 消除背景粘连

在前述对扩展目标分割的过程中,可能存在与目标相连的背景边沿与目标边沿构成封闭轮廓的情况,这就使得分割的扩展目标会粘连少量背景,为此,我们运用数学形态学的方法消除这些背景粘连.

数学形态学主要是基于集合理论来研究图像.它的基本运算通常定义于两个集合  $A$  和  $B$ , 这里  $A$  是所要研究的集合,即分割的扩展目标,  $B$  是结构元素.本文所用的二值图像形态学处理包括腐蚀运算和开运算,腐蚀运算对从一副分割图像中去除小粘连且无意义的物体是很有效的手段.设将集合  $B$  平移距离  $x$  表示为  $B + x$ , 则集合  $A$  被集合  $B$  腐蚀的定义<sup>[7]</sup>为

$$A \ominus B = \{x : B + x \subset A\}. \quad (5)$$

集合  $A$  被集合  $B$  膨胀的定义为

$$A \oplus B = \{x : (-B + x) \cap A \neq \emptyset\}. \quad (6)$$

开运算是指先腐蚀后膨胀,它能够去除孤立的小点和毛刺,在纤细点处分离物体,平滑目标的边界,同时保持目标总的位置和形状不变.其定义为

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B. \quad (7)$$

对于已从复杂背景中分割出来的扩展目标,我们首先对它进行腐蚀运算,以分离和消除背景粘连.腐蚀的次数视背景粘连强度而定,若粘连处的像素点较多,可进行 2~3 次腐蚀运算.在目标与背景粘连分开后,再运用开运算消除毛刺,平滑边界.

### 4 实验与结论

运用本文提出的方法对复杂背景中的扩展目标飞机进行分割,如图 2 所示,背景中包括自然场景和道路.在对图像进行中值滤波预处理之后,用 Sobel



图 2 原始图像  
Fig.2 Original image



图 3 边缘图像  
Fig.3 Edge image

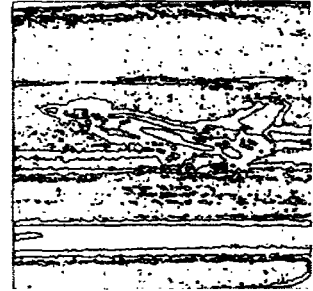


图 4 边界跟踪结果  
Fig.4 Result of boundary tracking



图 5 保留的封闭团块  
Fig.5 Reserved close boundary

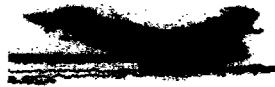


图 6 种子填充结果  
Fig.6 Result of seed filling



图 7 分形标记图  
Fig.7 Fractal image



图 8 图 4 和 5 比较结果  
Fig.8 Compared result of Fig.5 and Fig.6



图 9 第一次腐蚀结果  
Fig.9 Result of the first erosion



图 10 第二次腐蚀结果  
Fig.10 Result of the second erosion

算子进行边缘提取,结果如图 3 所示.对这个二值化的边缘图像进行边界跟踪,结果如图 4 所示.保留面积和复杂度都很大的团块,从而完成初分割,得到可能目标区域,图 5 为其边界图.图 6 是利用种子法的填充结果,从中我们可以看出扩展目标已大致被分割出来.另外,对于原始图像,我们根据式(4)计算每一点的  $U$  值,得到分形标记图,如图 7 所示.比较初分割图像和分形标记图,去除自然景物占大多数的团块,得到扩展目标的分割图像,如图 8 所示.可以看到,目标已被从复杂背景中分割出来,但还有一小部分背景与之相粘连.为此,运用数学形态学中的腐蚀运算去除背景粘连,如图 9 和图 10 所示.最后运用开运算去除孤立小点,平滑目标边缘,得到最终分割的目标,如图 11 所示.可以看到,扩展目标被较好

的从复杂背景中分割出来了,并且分割后的目标形状特征保持良好.

本文通过对复杂背景中的扩展目标进行分析,获得目标的先验知识,并根据人类视觉机理,通过目标和背景的边缘和区域信息,实现基于知识的串行



图 11 最终分割结果  
Fig.11 Final segmentation result

边界扩展目标初分割.再根据目标和背景的纹理信息,分析分形参数,提出一种新的分形分割方法,抑制复杂背景团块,去除初分割图像中的伪目标,并运用数学形态学的方法消除背景粘连,从而解决复杂背景下扩展目标分割这一难题.该方法对背景的去除比较彻底,同时较好的保留了目标的形状细节,能够有效的将扩展目标从复杂背景中分割出来.本文需进一步研究的内容包括:较大的背景粘连的消除问题,因为当背景粘连强度超过一定限度时,利用数学形态学方法消除背景粘连会失败;低对比度复杂背景下的扩展目标分割,因为此时目标的边缘不能完全被检测出,从而导致目标轮廓的误差.

#### REFERENCES

- [1]XING Yan, ZHANG Tian-Xu. A knowledge-based target-recognition algorithm under complex background. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence* (邢延,张天序.复杂背景下基于知识的目标识别算法研究.模式识别与人工智能),1995,8(3):237—242
- [2]ZHANG Yu-Jin. *Image Segmentation*. Beijing: Science Press(章毓晋.图像分割.北京:科学出版社),2001:34
- [3]SHI Ce. A discussion of a fast algorithm for boundary tracking. *Minicomputer System* (史册.对一种快速边缘跟踪算法的讨论.小型微型计算机系统),2002,12(6):641—645
- [4]Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: Freeman, 1982
- [5]Pentland A P. Fractal-based description of natural scenes. *IEEE Trans. on PAMI*, 1984,6(6):661—674
- [6]Pell T. Multiscale fractal theory and object characterization. *J. Opt. Soc. Am. A*,1990,7(6):1402—1412
- [7]CHUI Yi. *Image Processing and Analysis-Mathematical Morphology Method and Application*. Beijing: Science Press(崔屹.图像处理与分析-数学形态学方法及应用.北京:科学出版社),2000:15—32