

彩色航空影像分割的 OCTOPUS 方法

刘少创

林宗坚

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101) (中国测绘科学研究院, 北京 100039)

摘要 针对航空影像中目标提取问题中存在的困难, 提出了一种顾及目标的区域特征、边缘特征、形状连续性与平滑性及人的识别能力的彩色影像中目标提取方法, 根据这一算法的性质和行为特征, 本文将之称为 Octopus 方法。本文最后给出了将 Octopus 用于彩红外影像中目标提取的例子。

关键词 “章鱼”, 蛇模, 种子点区域生长, 彩红外影像

1 引言

通过提取轮廓获得影像中的目标描述(包括几何描述和语义描述)是计算机视觉系统对目标进行识别的重要途径。影像分割技术是获得目标轮廓描述有效手段之一。影像分割可以采用以下两种途径, 即: 基于边缘的方法和基于区域的方法。基于边缘的影像分割方法是建立在两个区域之间象元的特征值的变化比较大的假设基础上的。基于区域特征的影像分割方法是建立在影像中同一区域中的相邻象元应该具有相同或相近的特征值的假设基础上的。这一方法中的主要手段就是区域增长。为了更有效的解决问题, 人们提出了将上述两种处理途径结合起来进行目标提取的方法, 如文献[1~4]等。另外, 在处理影像理解问题时, 人们要提取的是影像中目标的整体特征, 而上述两种分割方法都是首先提取目标的局部特征, 再由这些局部特征组合成全局特征。局部特征容易受噪音的干扰, 可靠性比较差, 在有一种有效的约束机制的情况下, 由此构成的全局特征也不可靠。局部特征的提取只有在满足全局约束的条件下才是可靠的^[5]。而上述的两种影像分割途径中的大部分算法都是基于某些简单的假设条件, 模型过于简单, 因而很难适应航空影像分割这一复杂的任务。

为了有效地解决影像中目标的识别问题, 需要

将各种有利于目标识别的信息进行有效的融合。通过信息的融合解决影像理解问题的研究已经有了成功先例, 如文献[6, 7]等。本文提出了一种称为 Octopus 的目标识别方法, 这一方法综合了基于边缘的影像分割方法和基于区域的影像分割方法的优点, 又考虑了对目标形状的约束和人的识别能力, 因此能够有效地提取影像中的目标, 即使在影像中目标受到比较严重干扰的情况下, 也能得到可靠的描述。

2 影像中目标提取的 Octopus 方法

本文提出的航空影像中目标提取的 Octopus 方法是建立在基于种子点的区域生长方法^[8]和 Snake 方法^[9]的基础之上的。利用基于种子点的区域生长方法进行影像分割, 可以获得目标的外部轮廓, 但这样得到的轮廓容易受到与目标相邻的其它目标的干扰, 从而导致目标的轮廓线不平滑, 而且在目标提取的过程中还没有利用影像的梯度信息; 在利用 Snake 方法进行目标提取时, 虽然可以顾及影像的多种信息, 在不少情况下也可以得到比较可靠的描述, 但却没有考虑目标的区域特征^[10], 因此很多对影像中目标识别有用的信息却没有利用, 特别是各种彩色影像中的彩色信息和多光谱影像中的光谱信息。另外, 在利用 Snake 方法进行目标提取时, Snake 必须与其它机制合作才能达到提取目标的目

的,如:与人的交互、与影像处理的高水平处理部分相结合、或者是利用与所处理的影像在时间上或空间上相邻的其它影像的信息等等,这种合作要达到的目的是在要提取的目标附近,给定 Snake 的大致形状和位置,由此可以获得目标的形状与位置信息。本文提出的影像中目标提取的 Octopus 方法,既具有基于种子点的影像分割方法中对种子点的要求(包括种子点的个数和位置等)比较低的特点,又能使目标的轮廓线满足平滑性和连续性约束,还克服了基于种子点的影像分割方法不能顾及边缘强度信息和目标轮廓线容易受噪音干扰等缺点,也克服了 Snake 方法对种子点的数量和位置要求较高,且不能利用目标的区域特征等缺点。

2.1 基于种子点的区域生长和 Snake 模型的基本概念

基于种子点的区域生长方法(Seeded Region Growing,简称 SRG)的基本思想是试图通过人工给定的种子点,获得区域生长时所需的先验信息,其中包括目标的位置和影像中目标所对应的区域特征。对于灰度影像来说,由种子点可以得到目标所对应的区域的灰度特征;对于彩色影像和多波段遥感影像可以得到目标所对应的光谱特征。基于种子点的区域生长方法是在传统的区域生长^[11]与轮廓填充方法^[12]的基础上形成的。在从航空影像中提取目标时,首先由人工给定一个种子点,种子点的位置位于影像中目标所对应的区域内部,由这个种子点和其周围一定大小的邻域内的象素就可以获得目标的先验信息,以这些先验信息为基础,根据一定的准则,将种子点对应的区域逐步扩展,这样由种子点生长后形成的区域,即为基于种子点的区域生长后的结果。

本文的基于种子点的区域增长方法采用了以下处理方式,即区域的生长过程从种子点开始,向左进行扫描,直到向这一方向的生长过程停止,然后再由种子点开始向右生长,直到停止。造成生长过程停止的原因可能是到达了目标的边界,也可能是由于噪音干扰的结果。这一行扫描完成后接着扫描下一行,直到区域的最低部分;对于种子点以上的区域,也采用相同的处理方式进行处理,直到区域的最高部分。对于非凸形区域或噪音干扰而使生长过程停止的问题,可以通过将水平方向的扫描和垂直方向的扫描相结合进行处理的方法解决,即:先按水平方向扫描,这个方向的生长过程停止以后,再进行垂直方向

的扫描,直到进行了两个方向的扫描,区域的面积不再变化为止。得到的区域即为基于种子点的区域生长处理的结果,而由这一区域得到的轮廓线^[3]就是目标轮廓线的初始位置。

利用任何区域生长方法进行处理时,都容易产生伪轮廓线。由于得到的目标轮廓线都容易受到与其相邻的其它目标的干扰,因而轮廓的平滑性很难保证。得到了利用区域生长算法生成的区域以后,还需要对区域的轮廓线进行修正,以达到消除伪轮廓线及使轮廓线平滑的目的。将经过平滑的轮廓线,作为目标的轮廓线,如文献[3,8]等。另外,基于种子点的区域生长过程仅顾及了目标的区域特征,而没有考虑目标的梯度特征。事实上,梯度信息与灰度(或彩色)信息是相互独立的,它们在对目标的识别过程中分别起着不同的作用。因此,在影像中目标提取的过程中,需要同时顾及目标区域特征和梯度特征。

Snake(也称为 Active Contour Models)是 Kass 等人于 1987 年提出的^[9]。这一模型已经用于计算机视觉领域的各个方面,如:医学图象处理、目标识别、三维物体的重建、光流计算、影像的几何纠正和影像匹配等,笔者也将这一模型用于航空影像的分割。

假设有一条空间可变曲线 $v(s, t)$,它是由两个参数 s (空间位置)与 t (时间)决定的,由具有相同参数的两个变量构成,即:

$$v(s, t) = (x(s, t), y(s, t)) \quad (1)$$

$$s \in \Omega, t \in T$$

Snake 的势能 E_{Snake} 可以定义为如下形式,即:

$$E_{Snake} = \frac{1}{2} \int_{\Omega} [E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s)) + E_{Field}(v(s))] ds \quad (2)$$

其中 E_{Snake} 表示 Snake 的总能量; $E_{int}(v(s))$ 代表 Snake 的内部势能,它是 Snake 的内在的弯曲力与伸展力的函数,即: $E_{int}(v(s, t)) = \omega_1(s) |v_s|^2 + \omega_1(s) |v_{ss}|^2$, 而, $|v_s|^2 \equiv |\partial v / \partial s|^2 \approx |v_i - v_{i-1}|^2$, $|v_{ss}|^2 \equiv |\partial^2 v / \partial s^2|^2 \approx |v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}|^2$; $E_{ext}(v(s))$ 代表由作用在 Snake 上的外部控制力引起的势能; $E_{Field}(v(s))$ 代表由影像的各种特征引起的势能。

在上述这些条件约束下,对能量函数进行优化求解,最优解对应的曲线即为影像中目标的几何描述。

2.2 OCTOPUS 的能量函数及优化算法

本文提出的 Octopus 方法就是一种综合了基

于种子点的区域生长算法与 Snake 方法的优点,而克服了它们各自缺点的目标提取方法。Octopus 具有两种含义,即章鱼和向各方面伸手进行控制的势力或团体。因此,笔者将本文提出的目标提取方法称为 Octopus,它非常准确地反映了这一目标提取方法的行为特征。

在利用 Octopus 方法进行目标提取时,也需要设计一个能量函数,这个能量函数与利用 Snake 进行目标提取时的能量函数相近,即:

$$E_{Octopus} = \frac{1}{2} \oint_s [E_{int}^O(v(s)) + E_{ext}^O(v(s)) + E_{Field}^O(v(s))] ds \quad (3)$$

式中 $E_{Octopus}$ 表示 Octopus 的总能量; $E_{int}^O(v(s))$ 表示 Octopus 的内部势能,通过这一项可以对 Octopus 的连续性与平滑性进行约束; E_{ext}^O 表示外部约束引起的势能; $E_{Field}^O(v(s))$ 表示影像的某种场力(如:影像强度或影像梯度)引起的势能。

对 Octopus 的连续性与平滑性约束可以直接采用与 Snake 相同的形式。但笔者根据问题的性质,对这项约束进行了修改,并将修改后的连续性与平滑性约束用于 Octopus。从 $|v_s|^2$ 和 $|v_{ss}|^2$ 的表达式可以看出:Snake 的内部势能 $E_{int}^O(v(s))$ 中的连续性约束实际就是 Snake 上相邻两点之间距离的平方和。在优化求解过程中,需要使 Snake 的总能量不断减小,则优化过程总是试图缩短 Snake 上的点间距。在某些情况下,由于这个约束的作用,可能会使 Snake 上的所有点都收缩到一起。因此,采用这种形式约束作为连续性约束不是很恰当。 $|v_{ss}|^2$ 是对目标轮廓线上各点的曲率的约束。在通过优化求 Snake 最优解的过程中,在某些不利的情况下,由于这项约束的作用,Snake 可能会蜕化成一条直线,而无法保持 Snake 的初始形状。为此,在对 Octopus 的连续性与平滑性约束时,需要根据问题的性质,对这两项约束进行重新设计。

在利用基于种子点的区域生长算法得到了 Octopus 的外部轮廓线以后,再以这个封闭的曲线为目标轮廓线的初始位置。在优化计算过程中,构成 Octopus 的轮廓线的点的移动方向被限制在以该点为中心的一定大小的窗口内,而这些点的移动会使点间距增加或减小。Octopus 的连续性约束采用了如下的形式,即:

$$E_{int}^C(v_i) = \frac{|v_i - v_{i-1}|^2}{|v_i^0 - v_{i-1}^0|^2} \quad (4)$$

其中 $E_{int}^C(v_i)$ 表示点 v_i 处的连续性约束的能量;

$|v_i - v_{i-1}|^2$ 表示点 i 与 $i-1$ 之间距离的平方; $|v_i^0 - v_{i-1}^0|^2$ 表示点 i 与 $i-1$ 之间距离初始值的平方。按这种方式修改后的内部约束能量的值域,可以根据各点移动的大致范围确定。一般来说,轮廓线上的相邻两点移动后的最大距离不会超过初始距离的两倍。因此,这项约束能量的值域为 0 至 4。

在利用 Octopus 方法提取影像中的目标时,轮廓线上的点一般是在目标的轮廓线上曲率较大的位置,或是按等间距分布。轮廓线上各点的曲率值可以按下式计算,即:

$$C(v_i) = \left[\frac{\vec{u}_i}{|\vec{u}_i|} - \frac{\vec{u}_{i-1}}{|\vec{u}_{i-1}|} \right]^2 \quad (5)$$

其中 $C(v_i)$ 代表第 i 点的曲率的当前值; \vec{u}_i 代表第 i 点与第 $i-1$ 点构成的向量。采用此式计算各点的曲率,并将其作为该点的平滑性约束时,各点平滑性约束能量的取值在 0 至 4 之间。

Octopus 的能量函数中的内部势能项表示为如下形式,即:

$$E_{int}^O(v) = w_1(s)E_{int}^C(v) + w_2(s)E_{int}^S(v) \quad (6)$$

按照上述方法设计得到的 Octopus 的内部势能比直接采用 Snakes 模型的内部势能表示方式要合理。

由影像特征(此处为影像梯度)引起的势能 $E_{Field}^O(v)$,可表示为以下形式,即:

$$E_{Field}^O(v) = 1 - K_{Gradient} \cdot Gradient(v) \quad (7)$$

其中 $E_{Field}^O(v)$ 表示梯度约束的能量; $Gradient(v)$ 表示 Octopus 轮廓线上点处的影像梯度值; $K_{Gradient}$ 为一个对梯度值进行标准化的常数,对于有 256 个灰度级的影像来说, $K_{Gradient} = 1/255$ 。

在利用 Octopus 对彩色航空影像中的目标进行提取时,梯度信息的提取是由 Laplacian 算子完成的,梯度信息的提取不是直接在彩色影像上进行的,在进行梯度信息提取之前需要进行预处理,即将处理的彩色影像转换为灰度影像,或者选取彩色影像的 RGB 分量中的一个,再利用 Laplacian 算子提取梯度信息。

Octopus 的外部约束引起的势能可以采用与 Snake 模型中的外部约束相同的形式。但在本文给出的例子中未加入外部约束力。

与其它利用优化手段进行目标提取的方法一样,在设计了 Octopus 的能量函数以后,还要根据不同的优化算法进行优化计算,以求得最优解,最优解对应的曲线即表示所要提取的目标的轮廓线。本

文对 Octopus 进行优化求解时,采用了在 Williams 提出的 Snake 快速算法基础上改进的优化算法。Octopus 优化的快速算法如下:

- 由基于种子点的区域生长方法得到的轮廓线表示 Octopus 的轮廓初始位置。设初始位置由个初始点表示,对于 Octopus 轮廓上每个起始点,将 $w_1(s)$ 与 $w_2(s)$ 设置为适当值(可都设置为 $1/4$),并将 E_{\min}^o 设置成一个较大的值。
- 对 Octopus 轮廓线上的每一点,在以该点为中心的窗口内,计算轮廓线上的这一点及窗口内每一点时,Octopus 的能量值,即:

$$E_{\text{Octopus},j} = E_{\text{int},j}^o + E_{\text{Field},j}^o$$

其中 $j = 0, 1, 2, \dots, w - 1, w$ 为窗口中像素的个数。若 $E_{\text{Octopus},j} < E_{\min}^o$, 则 $E_{\min}^o = E_{\text{Octopus},j}^o$, 并将当前点移到所对应的位置。根据式(5)计算下一次迭代计算时的曲率极大值。若 Octopus 上某点的曲率大于一定的值,并比它相邻的两个点的曲率也大。除此之外,影像在该点的边缘强度也大于一定的值,则该点的 $w_2(s)$ 置零。

检查 Octopus 的总能量 E_{Octopus} 是否与上次相同,若相同,则停止迭代;否则转向下一步,继续进行迭代计算。

在优化计算收敛后,可以得到表示目标轮廓线的 Octopus 外部轮廓线的坐标序列。

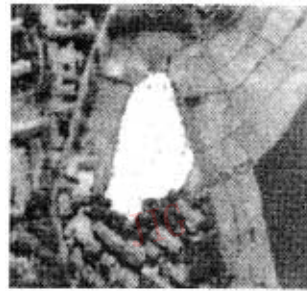
3 实验与结论

为了检验本文提出的 Octopus 方法提取目标的能力,给出了利用这一方法提取航空影像中目标的例子。给出的实例是针对彩红外航空影像进行的,对于真彩色航空影像和多波段遥感影像也一样。另外,这一方法也可以用于黑白航空影像。提取的目标是航空影像中的湖泊、池塘这类区域内部比较均匀,轮廓比较平滑,但形状不太规则的面状目标。对于建筑物这类形状比较规则、结构信息比较丰富的面状目标,可以充分利用目标的结构信息对其进行提取,这是笔者研究的另一个问题^[16]。

图 1 为本文给出的利用 Octopus 进行目标提取的实例。图 1(a)为一包含池塘的彩红外影像(以灰度影像表示),图中白色方块为人工给定的种子点,种子点的大小为 5×5 ;图 1(b)根据基于种子点的区域生长方法得到的区域;图 1(c)为由基于种子



(a)



(b)



(c)



(d)

图 1 利用 Octopus 提取目标的例子

Fig. 1 The example of object extraction by Octopus.

点的区域生长方法得到的目标的轮廓线;图 1(d)为以图 1(c)的轮廓线为 Octopus 轮廓线的初始位置,通过优化计算得到的目标轮廓线。

本文提出的 Octopus 方法综合了构成这一方法的其它两种基本方法的优点,克服了它们各自的不足。但是在具体应用过程中,需要注意以下的问题:

(1)种子点的确定,其中包括种子点的位置与大小。种子点的位置应选在能够代表所提取的目标的区域特征的位置;而种子点的大小与影像的性质有关,对于噪音比较大的影像中的目标,种子点的尺寸要大一些,而噪音比较小的影像中的目标,种子点的尺寸可以小一些。

(2)基于种子点的区域生长过程中的显著性水平的选择,若比较大,可能会出现“溢出”现象,而过小时,基于种子点的区域生长过程可能尚未扩展到目标的轮廓线附近就已经停止,从而影响目标提

取的效率,甚至无法正确提取影像中选定的目标。

参考文献

- 1 Grinaker S. Edge Based Segmentation and Texture Separation. Proc. of Int Conf. on Pattern Recognition, 1980, 554~557.
- 2 Fua P, Hanson T. Using Generic Geometric Models for Intelligent Shape Exaction. Proc. DARPA Image Understanding Workshop, 1987, 227~233.
- 3 Pavlidis T, Liow Y T. Integrating Region Growing and Edge Detection. IEEE Trans. on PAMI, 1990, 225~233.
- 4 Dekruger D, Hunt B R. Image Processing and Neural Networks for Recognition of Cartographic Aera Features. Pattern Recognition, 1994, 461~483.
- 5 Nagao M. Towards a Flexible Pattern Analysis Method. 8th Int. Conf. on Pattern Recognition Pairs, France. 1986, 170~174.
- 6 林宗坚. 多重信息多重判据的影像匹配. [博士学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1988年.
- 7 Dubuisson M P, Jain A K, Contour Extraction of Moving Objects in Complex Outdoor Scenes. Int. J. Computer Vision, 1995, 83~105.
- 8 Adams R. Bischof L., Seeded Region Growing. IEEE Trans. on PAMI, 1994, 16(6): 641~646.
- 9 Kass M Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active Contour Models. Int. J. of Computer Vision, 1987, 321~331.
- 10 Ronfard R. Region-Based Strategies for Active Contour Models. Int. J. of Computer Vision, 1994, 13(2): 229~251.
- 11 Horowitz S L, Pavlidis T. Picture Segmentation by a Tree Traversal Algorithm. Journal of ACM, 1976. 368~388.
- 12 Pavlidis T. 计算机图形显示和图象处理算法. 吴成柯译. 北京: 科学出版社, 1988年.
- 13 刘少创, 林宗坚. 航空影像分割的 Snake 方法. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(1): 7~11.
- 14 刘少创, 林宗坚. 基于动态规划的航空影像中目标提取, 中国图象图形学报, 1996, 1(1): 31~36.
- 15 Williams D J, Shah M A. A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation. CVGIP: Image Understanding, 1992, 55(1): 14~26.
- 16 刘少创, 林宗坚. 基于可变模板的航空影像中建筑物提取. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(1): 21~28.



刘少创, 现为中科院遥感所博士后, 从事航空遥感影像理解和极地遥感研究。

OCTOPUS: A New Method for Color Image Segmentation

Liu Shaochuang¹, Lin Zongjian²

(1. Department of Iconic Informatics, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

(2. Chinese Academy of Surveying & Mapping, Beijing 100039)

Abstract A new method—called Octopus for color images segmentation which is robust, rapid and free of tuning parameters is presented in this paper. It acquires this properties by the synergy of seeded region growing, Snake (Active Contour Models) and Operator of the computer. The process of objects extraction starts with a SRG. The region boundary are modified by Snake on the basis of considering the boundary smoothness and variation of image gradient along the boungary. We illustrate the properties of Octopus on real image where the color information of the object are used.

Keywords Octopus, Snake, Seeded region growing, Color aerial images