

基于先验特征的台风云系影像分割方法研究

廖小露, 田玉刚, 刘嘉

(中国地质大学(武汉)信息工程学院, 武汉 430074)

摘要: 传统的基于数学形态学的台风云系影像分割方法多采用圆形或菱形模板进行, 这种方法的缺点是当运算模板较大或经多次腐蚀、膨胀运算后, 不能很好地保留台风云系影像原始的形态信息。为了解决此问题, 探讨了一种基于先验特征的台风云系影像分割原理与方法, 即先提取台风云系影像的大致形态, 并以此作为形态学模板; 然后利用形态学方法提取台风云系影像; 最后, 以2008年7月28日18时的09号FY-2C气象卫星云图台风云顶温度数据为例进行分析, 同时根据本次示例台风(200809号台风)形状自定义的模板来腐蚀分割台风云系影像, 并详细对比和分析了不同形状、大小的模板对台风云系影像分割结果的影响。实验表明, 基于先验特征的自定义台风云系结构模板, 其分割结果不仅较好地保留了台风云系影像的形状特征, 而且腐蚀后保留的台风云系信息最多。

关键词: FY-2C气象卫星云图; 数学形态学; 先验特征; 台风云系影像分割

中图分类号: TP 79; P 407 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2011)03-0037-06

0 引言

台风是影响我国国民生产、生活的主要自然灾害之一, 具有破坏力强和破坏范围巨大的特点, 每年对我国沿海地区人民的生产和生活造成了严重影响。因此, 合理地预报、分析台风是十分必要的。

国内外对卫星云图上的台风云系影像进行分割的方法研究很多, 主要有形态学方法、阈值分割方法等。王虹等人结合卫星云图上台风主体云系影像灰度值较高、面积较大、像素集中和台风活动范围有限等特点, 综合采用阈值法、数学形态学法和数理统计等方法, 对FY-2C气象卫星获取的红外一通道兰勃托投影原始卫星云图上的台风云系影像进行分割, 取得了满意的效果^[1]; 刘光正等人利用台风云系影像像素集中、面积较大和灰度值较高的特点, 采用圆形数学形态学模板, 利用多值分割算法提取了台风云系影像^[2]; 刘凯等人针对卫星云图上台风云系影像的具体特点, 采用迭代模型并结合台风云系面积特征的分割方法, 对卫星云图上的台风云系影像进行分割, 取得了满意的效果^[3]。

由此可见, 传统的台风云系影像分割方法基本都是在二值影像的基础上, 结合台风云系影像像素灰度值较高, 像素灰度分布集中和台风云系影像质心分布等特点, 先剔除主要无关云团影像, 然后再利用台风云系形状类圆形特点, 多次采用圆形或菱形结构元素进行数学形态学运算。通过去除干扰云

团影像, 即可提取台风云系影像。该方法在应用中虽能取得一定的效果, 但存在一定的缺陷, 即默认台风云系大致上呈类圆形, 然而台风云系实际上是一个不规则的几何体, 这表明利用传统的基于数学形态学的台风云系影像分割方法并不能够很好地保持原始台风云系影像的形状以及边缘信息。鉴于此, 本文提出了一种基于先验特征的数学形态学台风云系影像分割方法, 即先根据台风云系的先验形态特征自定义相似模板, 再利用此模板对卫星云图上的原始台风云系影像进行数学形态学运算来分割台风云系影像。

1 台风云系影像分割原理

1.1 台风云系影像特征

在卫星云图上, 相对于地表、海水影像, 台风云系影像往往具有灰度均值较高、像素灰度分布集中、形态类圆形、面积较大、范围有限以及纹理光滑等主要特点。

(1) 台风云系影像灰度值和台风云顶温度值分布。灰度值在台风云系影像上直观地反映了红外卫星云图中整体像素点的明暗程度, 而实际上则反映了影像上台风云顶温度的高低。在红外灰度影像上, 台风云顶温度越高, 色调越深, 温度越低, 色调越浅; 而云顶温度影像上则恰好相反, 云顶温度越高, 色调越暗, 温度越低, 色调越亮, 而且这种温度差别, 在云顶温度影像上的梯度更大。

收稿日期: 2010-12-11; 修订日期: 2011-01-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(编号: 2008BAK49B04)及中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号: CUC090110)。

台风云系云顶温度影像的灰度值的分布范围相对集中,而且平均灰度值较高,温度值较低,在红外影像上显得比其他云系影像亮,而在云顶温度影像上则呈现暗色调。

(2)像素灰度分布。台风是一个结构十分特殊、运动异常强烈的热带大气漩涡。这个大气漩涡的中心区气压比四周低,周围的空气携带大量的水汽流向涡旋中心,并在涡旋区内产生向上运动,因此在气象卫星云图上,台风云系影像的像素灰度分布就很集中^[4]。

(3)面积特征。面积特征是指对云系面积及面积变化的描述。由于台风范围发展到最强盛时,其直径可达2 000 km,即使弱小的台风,其直径也有几百公里,气象卫星探测的分辨率仅为几公里,因此在气象卫星云图上的台风云系影像的面积往往较大。

(4)纹理特征。纹理是卫星云图的一个重要特征,是云顶表面或其他物像表面光滑程度的判据。云的类型不同或云的厚度不一,可使云顶表面很光滑或者呈现多起伏、多斑点和褶皱状,或者呈纤维状。由云的纹理能识别不同种类的云^[5]。台风云系是一个结构十分特殊、运动异常强烈的大气涡旋,因而在气象卫星云图上突出表现为一种光滑规则性的纹理。台风云系的这种光滑、规则的纹理属性,不但有利于对其进行信息数值化,并有利于进行纹理分析^[6]。

1.2 结合台风特征的台风云系影像初步提取

1.2.1 台风云系影像阈值分割

根据台风云系云顶温度分布特点,研究中利用方差分析思想,采用以下 Fisher 判别算法确定卫星云图上台风云系影像的分割阈值,即

$$T_{\text{Fisher}} = \frac{\sigma_{\text{类间距}}}{\sigma_{\text{类内距}}} \quad (1)$$

式中, T_{Fisher} 为 Fisher 阈值; $\sigma_{\text{类内距}}$ 为类内距方差; $\sigma_{\text{类间距}}$ 为类间距方差。

通过3次 Fisher 判别运算来确定卫星云图影像上台风云系影像分割阈值:第1次,对整个卫星云图影像进行 Fisher 判别运算,取 Fisher 判别的最大值,作为确定陆地与云系影像的分割阈值;第2次,对第1次分割后的云系影像部分进行 Fisher 判别运算,取 Fisher 判别的最大值,作为确定降雨云系影像同普通云系影像的分割阈值,用于提取降雨云系在卫星云图上的分布范围;第3次,对第2次分割提取的降雨云系影像进行 Fisher 判别运算,取 Fisher 判别的最大值,作为确定纹理紧密云系影像与非紧密云系影像的分割阈值,用于完成纹理紧密云系信息的提取。根据台风特点,台风核心云系包含于纹理紧密云系。2次分割后即形成初步提取的二值台

风云系影像。

1.2.2 台风云系影像初步提取

通过以上步骤得到的二值影像仅剔除了非降雨云系信息,因此需要继续提取台风云系影像的范围。本文结合台风云系影像的面积、像素灰度分布、台风活动范围等特征先确定分割阈值,再利用此阈值对卫星云图进行初步分割,即可基本确定出台风云系的分布范围。经处理后,背景中大部分的干扰云团影像被剔除,只留下台风云系影像和部分干扰云系影像。

(1)范围特征。利用台风活动范围特征提取台风云系,由于亚洲登陆台风云系的中心一般出现在西太平洋地区,即卫星云图的右下部分,因此可以定义一个质心坐标范围,用于判断上述二值影像上,云团质心是否包含在质心坐标范围内,如果在质心坐标范围内,则云团影像保留,否则剔除。

(2)面积特征。由于台风主云系的面积较大,因此可利用台风云系面积特征剔除无关云团影像。面积特征提取方法为:首先计算出每个云团影像的面积(统计像素个数);再结合历史气象统计资料,确定统计的台风云系面积范围大小;最后以这个面积范围作为面积阈值提取出符合要求的云团影像,剔除不符合台风云系特征的干扰云团影像。

(3)均值和方差。结合台风云系影像的灰度均值和方差(作为阈值)剔除无关云团影像。具体方法为先分别计算出用 Fisher 阈值分割后的卫星云图上各云团影像的灰度(温度)均值和灰度(温度)标准方差;再将计算出的灰度(温度)均值和灰度(温度)标准方差与台风云系影像的灰度均值和方差进行比较,剔除阈值外的无关云团影像。

1.3 采用自定义结构元素提取台风云系影像

经过剔除大部分干扰信息后,即可初步分割出台风云系影像,但图像中仍然包括很多孤立的干扰目标影像。为了进一步消除这些干扰目标,可依据台风形状的先验特征,自定义类似台风形状的结构元素和设计不同的结构元素大小,再利用形态学方法提取台风云系影像,即可确定台风云系的分布范围。

提取台风云系时,首先,根据台风云系影像初步提取结果,通过观察台风结构,选取与台风形状相似的模板;然后,对模板进行采样运算,采样到不同大小的形态学运算模板,例如在本文中使用的3像元×3像元,5像元×5像元大小的矩阵模板;最后,利用该模板对初步提取的台风云系影像进行形态学运算(腐蚀运算),即可获得最终的提取结果。基于先验特征的数学形态学台风云系影像分割及对比分析流程如图1所示。

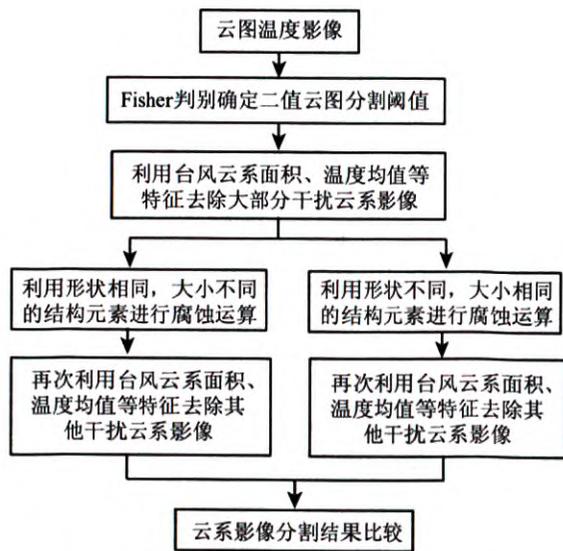


图1 基于先验特征的数学形态学台风云系影像分割及对比分析流程
 Fig.1 Flow chart of researches on method of typhoon image segmentation with priori features and comparative analysis

2 实例分析

结合上述基于先验特征的台风云系影像分割原理,根据FY-2C气象卫星获取的云顶温度数据进行台风云系影像提取,并且用大小相同、形状不同的结构元素模板和大小不同、形状相同的结构元素模板两种方式对卫星云图进行腐蚀运算,用以提取台风云系影像,最后对提取的台风云系影像进行定性和定量分析。

2.1 方法实现

(1)数据选取。本文采用的FY-2C气象卫星影像数据的获取时间为2008年7月28日18时,其收录的红外影像对应生成的云顶温度影像如图2(a)所示。

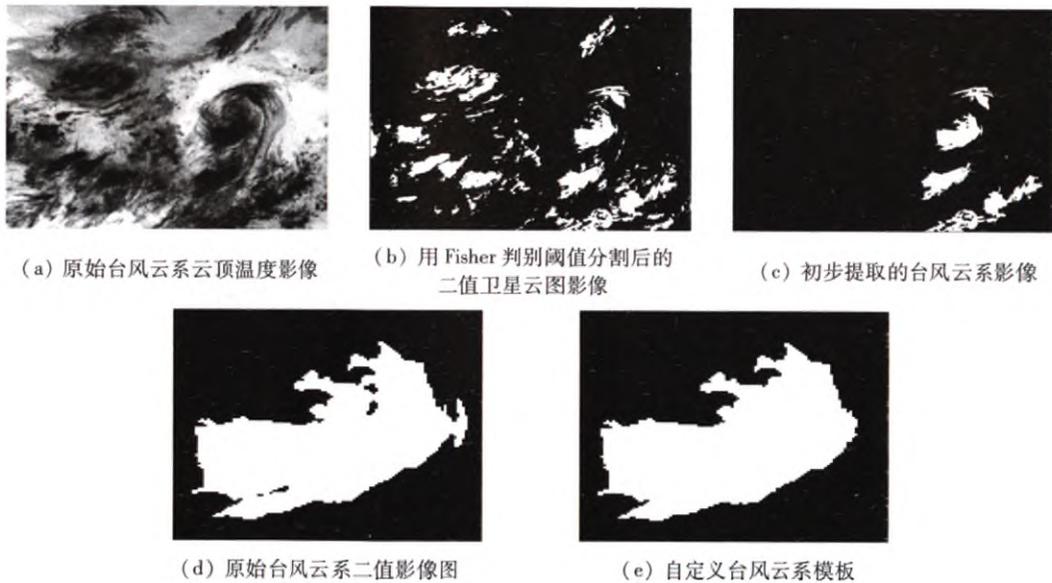


图2 台风云系影像预提取系列图
 Fig.2 Series cloud image of pre-extraction

(2)灰度图像二值化。台风云系影像一般具有较高的灰度值,本文选用FY-2C气象卫星云图红外一通道云顶温度的等经纬度投影卫星云图,通过Fisher判别,动态地确定了该时刻云地影像灰度的分割阈值129,降雨云系与其他云系影像灰度的分割阈值65,纹理紧密云系与非紧密云系影像灰度的分割阈值33,经过两次阈值分割即得到二值卫星云图(图2(b))。

(3)结合台风云系属性特征的先验特征初步提取台风云系范围。由图2(b)可知,二值卫星云图上包含很多的无关云团影像,如果立刻进行腐蚀运算,则只能剔除一部分较小的云系影像,而且计算量大。

因此可依据台风影像的面积大于2500像元、质心位于对角线下、灰度方差小于15等特征来处理二值卫星云图,先剔除大量无关云团影像,在此基础上再结合台风云系结构,通过自定义结构元素腐蚀运算来提取台风云系影像。台风云系影像初步提取效果图如图2(c)所示。

(4)自定义结构元素提取台风云系影像。提取时,先根据台风云系影像形状(图2(d)),构造出与台风云系影像相似的模板(图2(e)),并采用重采样算法,采样到不同大小的模板;然后对初步提取的二值卫星云图进行形态学腐蚀运算,以提取台风云系影像;同时利用传统的结构元素、菱形结构元

素、圆形结构元素对已初步提取的二值卫星云图进行形态学腐蚀运算来提取台风云系影像,若腐蚀后的二值卫星云图依然包括非台风云系影像,便可以重复上述步骤,直到得到只包含台风云系影像的二值图像。

通过采用形状相同、大小不同的结构元素以及形状不同、大小相同的结构元素来对初步提取的二值卫星云图进行腐蚀运算,即可提取台风云系影像,获得的运算结果如表 1 所示。

表 1 不同形状、不同尺寸的模板腐蚀提取的台风云系影像效果对比

Tab. 1 Comparison of the extracted typhoon cloud image with different shapes, different sizes

模板形状	模板大小/(像元×像元)							
	3×3	5×5	7×7	9×9	11×11	13×13	15×15	17×17
菱形								
圆形								
自定义形								

2.2 台风云系影像提取结果分析

2.2.1 定性分析

(1)形状相同、尺寸不同模板的提取结果。用形状相同、大小不同的模板对初步提取的二值卫星云图进行腐蚀后发现,无论采用何种模板,尺寸越大,对卫星云图腐蚀得越厉害,边缘细节信息损失越严重。

其中利用菱形结构元素模板进行腐蚀后,模板尺寸较小时,腐蚀后的台风云系影像只有小部分的边缘会出现方形拐角,随着模板尺寸的增大,腐蚀后的台风云系影像虽然能够大体提取到台风云系影像的形状,但是台风云系影像边缘会出现明显的方形拐角,当模板尺寸较大,如模板为 17 像元×17 像元大小的矩阵时,几乎将原始卫星云图上台风云系影像腐蚀成为一个类方形,这对台风云系影像形状的弧度变化影响很大。

利用圆形结构元素模板进行腐蚀后,当模板较小时,腐蚀后的台风云系影像边缘会有部分方形拐角,与菱形结构元素模板的腐蚀结果类似,但是随着模板的增大,腐蚀提取的台风云系影像既能保持台风云系影像的大体形状,同时也能保留台风云系影像边缘的弧度信息,使之更加吻合原始卫星云图上台风云系影像的形状特性。

而利用自定义台风云系结构模板进行腐蚀后,在模板尺寸较小时,腐蚀结果能够保持原始台风云系影像的形状,而且边缘弧度避免了方形拐角,但有时腐蚀提取的台风云系影像边缘会产生细小边线;随着模板尺寸的增大,腐蚀结果即能保

持台风云系影像的主体形状,而且腐蚀提取的台风云系影像边缘拐角特征较光滑,同时避免了较小模板腐蚀产生细小边线,腐蚀提取的台风云系特征最明显。

(2)形状不同、尺寸相同模板的提取结果。当采用的模板尺寸较小时,如模板为 3 像元×3 像元,5 像元×5 像元大小的矩阵时,菱形结构模板、圆形结构模板和自定义台风云系结构模板的腐蚀效果相似,均能够很好地保持原始台风云系影像的形状。相比较而言,利用自定义台风云系结构模板腐蚀后的台风云系影像对边缘信息保持得最好,而用菱形结构元素模板和圆形结构元素模板腐蚀后的部分台风云系影像边缘则会出现明显的方形拐角。

当采用的模板尺寸为中等大小时,如模板为 7 像元×7 像元,9 像元×9 像元大小的矩阵等,随模板尺寸大小增大,菱形结构模板、圆形结构模板和自定义台风云系结构模板对台风云系影像的腐蚀作用越明显,用菱形结构元素腐蚀后的部分云系边缘出现更加明显的方形拐角;而相对较小尺寸的圆形结构元素模板而言,不仅方形的拐角消失,而且圆形特征保留,并能保持原始卫星云图上台风云系影像的弧度特征;而自定义台风云系结构模板腐蚀提取的台风云系影像不但对台风云系影像的形状和边缘均保持得很好,而且能看到细节特征的保留。

当采用的模板尺寸较大时,如模板为 15 像元×15 像元和 17 像元×17 像元大小的矩阵时,菱形结构模板、圆形结构模板和自定义台风云系结构模板对台风云系影像的腐蚀均很严重,菱形结构元素模

板会将原始卫星云图上台风云系影像腐蚀成为一个类方形,只能大体保持台风云系影像的形状,而且台风云系影像边缘处的拐角很明显,几乎无法保持原始卫星云图台风云系影像的弧度特征;用圆形结构元素腐蚀后不仅保持了大体的台风云系影像形状,而且对原始卫星云图上台风云系影像的弧度变化有一定的保留;用自定义台风云系结构模板腐蚀后的台风云系影像,虽然腐蚀也较严重,但是相对于其他两种结构元素而言,其腐蚀结果是最符合原始卫星云图上台风云系影像形状的,台风云系影像拐角处

最为光滑,保留的台风云系特征最优。

2.2.2 定量分析

为了做进一步的定量分析,本文先利用不同形状、不同尺寸的模板对初步提取的二值卫星云图进行腐蚀,再对腐蚀后的台风云系影像与原始台风云系影像做差值运算,然后再观察差值影像及其变化,其结果如表2所示。差分图像下方为腐蚀运算后的台风云系影像像元变化数(即腐蚀后的台风云系影像与原始卫星云图上台风云系影像的像元数差)。

表2 腐蚀后的台风云系影像与原始台风云系影像差值比较

Tab.2 Comparison between the eroded image of typhoon cloud and the original image of typhoon cloud

模板形状	模板大小/(像元×像元)							
	3×3	5×5	7×7	9×9	11×11	13×13	15×15	17×17
菱形								
	变化像元数: 399	变化像元数: 745	变化像元数: 1 047	变化像元数: 1 304	变化像元数: 1 539	变化像元数: 1 766	变化像元数: 1 981	变化像元数: 2 184
圆形								
	变化像元数: 399	变化像元数: 745	变化像元数: 1 102	变化像元数: 1 364	变化像元数: 1 667	变化像元数: 1 983	变化像元数: 2 107	变化像元数: 2 339
自定义形								
	变化像元数: 251	变化像元数: 585	变化像元数: 898	变化像元数: 1 193	变化像元数: 1 341	变化像元数: 1 590	变化像元数: 1 822	变化像元数: 2 013

由表2分析可知:

(1)从台风云系影像的形态变化分析可知,利用菱形结构元素与圆形结构元素对原始卫星云图上台风云系影像进行腐蚀提取的台风云系形状比较有规律,由外向内,腐蚀程度基本相同;而用自定义台风云系结构模板腐蚀的结果则不像菱形结构元素模板和圆形结构元素模板那样规律,部分边缘腐蚀得严重,部分边缘腐蚀较轻,台风云系影像的突出部分腐蚀较重,而内凹部分则腐蚀较轻,这说明自定义台风云系结构模板能够根据台风云系自身的特点,更好地拟合原始卫星云图上台风云系影像形状,并对其进行腐蚀运算,同时能有选择地保留台风云系特点。

(2)从变化的像元总数分析可知,在模板尺寸较小时,如3像元×3像元和5像元×5像元的模板时,用菱形结构元素模板与圆形结构元素模板腐蚀提取的台风云系影像相近,甚至相同,因此变化的像元数相近。当模板尺寸增大时,3种模板腐蚀后引起的像元数变化也随之增大,说明随着模板尺寸的

增大,对台风云系影像的腐蚀也越来越严重,在模板尺寸相同大小下,台风模板腐蚀得最少;同时,随着模板增大,圆形结构元素的腐蚀结果较自定义台风云系结构模板的腐蚀结果更为严重,二者虽都能保留台风云系影像的弧度特征,但采用自定义台风云系结构模板进行腐蚀的变化更少,信息保留更多,效果更好。

3 结论

(1)本文依据台风形状这一先验特征,自定义一个与台风形状相似、大小适中的自定义台风云系结构模板,对原始卫星云图上台风云系影像进行腐蚀运算,以提取更吻合原始卫星云图上的台风云系影像。实验证明,与其他模板相比,本文模板既能够很好地保持台风云系影像的形状,又能保持边缘信息及信息量,这为台风云系影像分析提供了更有效的分割依据。

(2) 用自定义的台风云系结构模板进行腐蚀的结果比较吻合原始卫星云图上台风云系影像的形状,腐蚀次数较高时,边缘也不会出现突兀的方形拐角,相比传统的菱形结构元素模板与圆形结构元素模板的腐蚀像元数变化较小,具有应用价值。但如何获取自定义台风云系结构模板,以及怎样确定用于台风云系影像腐蚀的合适模板及大小,使之在腐蚀过程中既能很好地保持台风云系影像的形状和大小,又能分离台风云系影像有待后期继续深入研究。

致谢:感谢国家卫星气象中心提供的数据支持。

参考文献:

[1] 王虹,余建波,陈明明,等.基于FY-2C气象卫星云图的台风分割方法的研究[J].计算机工程应用,2008,44(20):188-214.
 [2] 刘光正,邱海明,吴冰,等.基于卫星云图的无眼台风中心定位算法[J].天津大学学报,2003,36(6):668-672.
 [3] 刘凯,黄峰,罗坚.台风卫星云图分割方法研究[J].微机发展,2001,11(1):54-55
 [4] 余建波.基于气象卫星云图的云类识别及台风分割和中心定位研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
 [5] 陈渭民.气象卫星学[M].北京:气象出版社,2005:217-220.
 [6] Solberg A H S, Jain A K. Texture Fusion and Feature Selection Applied to SAR Imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(2):475-479.

Research on the Typhoon Segmentation Method with Priori Features

LIAO Xiao-lu, TIAN Yu-gang, LIU Jia

(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The traditional segmentation of typhoon cloud based on mathematical morphology usually uses round or diamond-shaped template to segment satellite images. This conventional approach fails to keep a good typhoon original form information after large or multiple erosion or dilation. In order to solve this problem, the authors studied the theory and method of typhoon segmentation with priori features in this paper. Concretely speaking, the authors first extract the general form of typhoon cloud as a morphological template, and then extract typhoon cloud by morphology methods. With TBB data of FY2C, NO. 200809 typhoon obtained at 6:00 p. m on July 28 as an example, the authors made a template according to the shape of the typhoons to erode clouds images, and then made a detailed comparison as well as analysis of different template shapes or sizes of the cloud segmentation results. The results show that the priori features templates segmentation results can not only well retain the characteristics of typhoon cloud but also preserve most information after cloud erosion.

Key words: FY-2C satellite image; Mathematical morphology; Priori feature; Cloud segmentation

第一作者简介:廖小露(1986-),男,硕士研究生,主要从事灾害遥感研究。

(责任编辑:丁群)

下期要目

- 鲁恒 大重叠度无人机影像自动展点方法研究
- 薛峭 基于最小核值相似区算法的高分辨率遥感图像分割方法
- 霍红元 不同载荷指标的模拟 HyMap 数据质量评价
- 张远飞 遥感蚀变信息多层次分离技术模型与应用研究
- 刘刚 地球上的环形山——析城山岩溶洼地成因初探
- 于欢 基于规则替换法的多源遥感数据地表覆盖信息提取
- 单丹丹 基于 HJ-1 数据和 V-I-S 模型的城市不透水层变化分析
- 曲培青 基于 MODIS 地表参数产品和地理数据的近地层气温估算方法评价——以安徽省为例
- 钱昊钟 太湖遥感反射率变化特征及其影响因素分析
- 陈强 卫星遥感技术在农业非点源污染评价中的应用分析