

文章编号: 1002-0411(2001)06-543-04

无眼台风自动定位方法研究

刘 凯 黄 峰 罗 坚

(解放军理工大学气象学院 南京 211101)

摘 要: 本文利用 GMS 红外云图对无眼有螺旋云带的台风进行了自动定位研究, 提出了由云图预处理、云图交互式分割、台风螺旋云带形态特征提取、螺旋线拟合及定位的四步定位方案, 取得了较好的效果。

关键词: 数学形态学; 螺旋云带; 交互式分割; 骨架; 最小二乘拟合

中图分类号: TP13

文献标识码: B

A STUDY OF AUTOMATIC LOCATION METHOD OF TYPHOON WITHOUT EYE

LIU Kai HUANG Feng LUO Jian

(The Meteorology College of University of Science And Technology of P. L. A Nanjing 211101)

Abstract: In the article, a study of automatic location of typhoon without eye is carried out by means of GMS infrared cloud images, and a four-step location scheme which includes pre-process of cloud image, interactive segmentation, extraction of shape feature of spiral cloud belt, minimum-average-square-error approach to spiral and center location, is proposed. According to scheme better results are acquired.

Keywords: mathematical morphology, spiral cloud belt, interactive segmentation, skeleton, minimum-average-square-error approach

1 引言(Introduction)

台风作为一种灾害性极强的天气系统, 一直是气象预报的重点, 确定台风的中心位置对台风预报来说有至关重要的作用, 然而目前常用的定位方法仍为手工方法, 人工定性判断的比重较大, 主观性较强. 随着计算机图象处理和模式识别技术的发展, 为进行台风的计算机自动定位研究提供了手段, 冯民学等^[8]利用 GMS 红外云图的灰度统计特征探索了有眼台风的自动定位. 成熟的台风一般有一个较为清晰的眼区, 但是在台风的发展和减弱阶段, 眼区往往还未形成或者被云覆盖, 对这类无眼台风的自动定位方法则研究得很少, 本文就着重对无眼又具有螺旋云带的台风进行了自动定位的研究. 文中的卫星云图为 1998 年 GMS 红外云图, 大小为 512×512 个象素, 分辨率为 $10.1 \times 10.1 \text{Km}$.

数学形态学^[1]是近十几年才发展起来的用于数字图象处理和分析的新理论和新方法, 它不同于常用的频域和空间域方法是一种特殊的处理方法. 数学形态学设计了一整套独特的几何变换, 如开、闭运

算、细化、加厚运算等, 且将几何变换转变为对应的代数运算, 易于实现和计算机应用, 同时数学形态学既可以用于灰值图象也可以用于二值图象. 由于数学形态学能较好地提取图象的结构、形态特征而且与以往图象处理中所采用的数学工具相比更适合卫星云图的处理^[7,9], 因此本文主要采用数学形态学的图象分析方法.

2 云图预处理(Cloud image pre-process)

云图预处理主要目的是滤波去噪, 为图象分割提供良好的环境. 本文云图资料中包括了经、纬网格和地形线条, 这些线条在灰值图象中表现为一个个正脉冲, 另外云图中也包括一些高频噪声和扫描噪声, 本文采用数学形态学的 M 滤波方法来排除这些干扰. 由数学形态学的开、闭运算组成的 M 滤波方法是一种非线性的复合极值滤波方法, 用球形结构元素对灰值图象进行开、闭运算可以去除正、负脉冲而保留云图的有用信息.

设 F 是原灰值卫星云图, B 是球形结构元素, 则

$$\text{开运算: } F_B = F \ominus B \oplus B$$

闭运算: $FB = F \odot B \ominus B$

其中, F_B 是实施开运算后的结果; F^B 是实施闭运算后的结果; \odot : 膨胀运算; \ominus : 腐蚀运算.

3 云图分割(Cloud image segmentation)

云图分割的目的是将我们感兴趣的台风云系的螺旋云带分离出来, 本文所用的卫星云图是一种复杂的图象, 图象中除了台风云系外还包含了大量的其它性质的云, 很难找到一个恰当的统计方案来适合每一张云图的分割, 如果这种复杂图象的分割完全由计算机自主完成往往准确性较差, 针对分割的准确性和实用性的要求, 本文借鉴人机交互^[2]的思想, 提出了两步交互式的图象分割方法. 第一步, 首先由操作者在台风所在的区域内指定一个生长点, 之后以该点为工作起点启动自适应区域生长分割模块, 进行区域生长计算, 分割出台风云系. 第二步, 对分割出的台风云系运用模糊散度阈值分割模块分割算法并建立迭代模型, 由云系内部除去中心密蔽云区, 得到螺旋云带的分割图象.

3.1 区域生长算法^[3]

区域生长算法的基本原理是同一区域内的象素的灰度是相似的, 某象素与其邻域点的灰度值之间的关系可根据灰度相似准则和邻域准则来判断, 两个准则的叙述见文献[3].

区域生长算法设计:

定义 2 个操作集合: (1) 区域集合 R_set , 用于保存区域增长过程中得到的区域的象素, (2) 临时集合 Tmp_set , 用来保存候选象素点. 初始化后 R_set 只有一个点, Tmp_set 为空.

从临时集合中取一象素点, 根据两个准则判断该象素点是否属于分割区域, 若两个准则都满足, 则将该象素点加入集合 R_set , 同时生成该点的 8-邻域并且加入到集合 Tmp_set 中, 等待下一步处理; 若不是都满足, 则取临时集合中的下一个点, 重复上面的步骤, 直到临时集合 Tmp_set 为空. 注意应保证 Tmp_set 集合中的点无重复元素.

3.2 最小模糊散度的阈值分割

最小模糊散度的阈值分割是指满足原始图象和分割图象之间的模糊散度最小的阈值为最优阈值. 取阈值为 t 时的模糊散度为:

$$D(G; B; t) = D(G, B, t) + D(B, G; t)$$

$$D(G, B; t) = - \sum_{g=0}^L h(g)[1 + \mu_1(g; t, G)] \ln 2 - \sum_{g=t+1}^L h(g)[2 - \mu_1(g; t, G)] \ln 2 + \sum_{g=0}^L h(g)\{[1$$

$$+ \mu_1(g; t, G)] \ln[1 + \mu_1(g, t, G)] + \sum_{g=0}^L h(g)\{[2 - \mu_1(g; t, G)] \ln[2 - \mu_1(g; t, G)]\} \quad (1)$$

$$D(B, G; t) = \sum_{g=0}^L 2h(g) \ln 2 - \sum_{g=0}^L h(g)\{2 \ln[1 + \mu_1(g; t, G)] + \ln[2 - \mu_1(g; t, G)]\} - \sum_{g=t+1}^L h(g)\{2 \ln[1 + \mu_1(g; t, G)] + 2 \ln[2 - \mu_1(g; t, G)]\} \quad (2)$$

式中: g 为灰度, L 为灰度上界, $h(g)$ 为直方图, $\mu_1(g; t, G)$ 为目标的隶属函数.

经过上述分割后台风螺旋云带图象中还存在孤立图形和小洞等一些噪声, 应用数学形态学的腐蚀、膨胀、开、闭等形态运算来对图象作进一步的处理, 从而得到螺旋云带的二值图象. 腐蚀和膨胀运算可以分别使区域收缩和扩张; 开运算可以过滤掉比结构元素小的孤立图形; 闭运算可以填充比结构元素小的黑洞, 将不连接的区域连接起来.

4 形态特征提取(Shape feature extraction)

图象的骨架指图象中央的骨骼部分, 是描述图象几何及拓扑性质的重要特征之一, 求图象骨架的过程通常称为对图象细化的过程. 台风螺旋云带的骨架是无眼台风的重要特征, 它很好地反映云系的结构, 对分割得到的螺旋云带图象进行数学形态学的细化运算, 可求出螺旋云带的骨架线. 数学形态学的细化运算^[1]可以看成是一个连续剥离图形最外层元素直到获得单位宽度的连通线(骨架)的过程.

细化过程中的采用的结构元素为: $D = \{D^1, D^2, D^3, D^4\}$ 和 $E = \{E^1, E^2, E^3, E^4\}$

*	0	0	*	1	*	*	1	*	0	0	*
1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
*	1	*	*	0	0	0	0	*	*	1	*
D^1			D^2			D^3			D^4		
0	0	0	1	*	0	1	1	1	0	*	1
*	1	*	1	1	0	*	1	*	0	1	1
1	1	1	1	*	0	0	0	0	0	*	1
E^1			E^2			E^3			E^4		

图 1 3×3 模板的中心表示参考中心点; “1”表示目标图象上的点; “0”表示背景图象上的点; “*”表示既可以是目标图象上的点, 也可以是背景图象上的点
Fig. 1 The center of 3×3 template is reference center; “1” stands for target; “0” stands for background; “*” either target or background

$\{D^i\}$ 和 $\{E^i\}$ 在不断剥离边缘象素时能够保持图象的连通性. $\{D^i\}$ 结构元素承担剥离东北、东南、西

南、西北方向的象素, $\{E^i\}$ 结构元素承担剥离北、东、南、西方向的象素. 本文的数学形态学细化算法是一种快速并行算法, 在细化迭代过程的每次迭代中同时用三种不同方向的结构元素对目标图象进行击中运算, 一次剥离三个击中运算结果的并集, 使得图象能够由各个方向快速、均匀地收缩. 细化过程采用下式进行运算:

$$SK(X) = \{X - [(X \odot D^i) \cup (X \odot D^{i+1}) \cup (X \odot E^i)]\} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, 4. i = 4 \text{ 时}, D^5 = D^1$$

其中, X 为原图象, $SK(X)$ 为 X 的骨架, \odot 为击中运算.

由于分割得到的图象中, 云系边缘参差不齐, 导致求得的骨架上有“短枝”, 进行数学形态学的“剪枝”迭代过程可以删除“短枝”, “剪枝”操作实质是细化的变体, 采用 $\{G^i\}$ 结构元素.

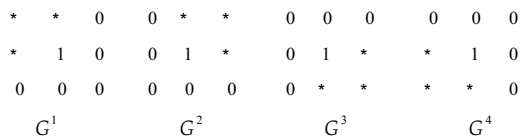


图 2 用于“剪枝”的结构元素

Fig. 2 Templates for pruning

然而如果删除“短枝”的迭代次数过多, 会破坏骨架的连通性, 同时一些能够反映螺旋云带特征的细节也被删除了, 另外螺旋云带骨架线有交叉和相互嵌套的复杂情况, 为便于后面的拟合工作, 需要能够按照云带骨架的实际走向跟踪并提取出各条线段而在交叉点处不会发生迷向的骨架跟踪方法, 本文参考封闭轮廓的跟踪算法^[5]提出了交互式骨架跟踪方法, 该方法能够以观察者为准从一定方向出发, 提取出进行拟合的有效线段并消除骨架上的部分“毛刺”使骨架线光滑, 同时该算法也可用来删除妨碍骨架提取的干扰线段. 具体实现时, 首先指定欲提

取的骨架线段的起始点和终点以及起始点处的初始搜索方向, 随后由自动跟踪程序完成. 这一算法的优点是: 引入了反映当前点 8-邻域坐标的符号编码表, 能够根据当前点位置和前一点位置的方向改变, 迅速找到下一搜索点, 下一搜索点的选择最多只需 5 次, 一般 2~3 次就可找出下一搜索点, 节约了时间. 经过跟踪就可提取出用于拟合的骨架线段.

5 螺旋线拟合(Spiral approach)

具有螺旋云带的无眼台风的中心通常由螺旋云带的汇合中心定出, 因而这一步的工作就是由提取出的骨架线自动拟合螺旋线, 螺旋线中心就是台风中心. 本文用最小二乘法^[6]求解螺旋云带骨架线段的最佳逼近的螺旋线方程.

对数螺旋线方程为:

$$\rho = e^{(a+b)} \quad (4)$$

其中 a, b 为待求解的参数, 螺旋线的中心就是坐标原点.

将(14)式两边取自然对数并令 $u = \ln \rho$, 得到关于 a, b 的线性方程

$$u = a\theta + b \quad (5)$$

求解 a, b 时, 将提取的骨架线段上的各数据点代入式(15)得到关于 a, b 的线性超定方程组, 用最小二乘法求解超定方程组, 可求得的 a 和 b 的最小二乘解, a, b 可作为方程(4)的系数. a 和 b 的最小二乘解的表达式为:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \cdot \sum_{i=1}^N \theta_i - N \sum_{i=1}^N \theta_i \cdot u_i}{(\sum_{i=1}^N \theta_i)^2 - N \sum_{i=1}^N (\theta_i^2)} \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i \cdot \sum_{i=1}^N (\theta_i u_i) - \sum_{i=1}^N u_i \cdot \sum_{i=1}^N (\theta_i^2)}{(\sum_{i=1}^N \theta_i)^2 - N \sum_{i=1}^N (\theta_i^2)} \quad (7)$$

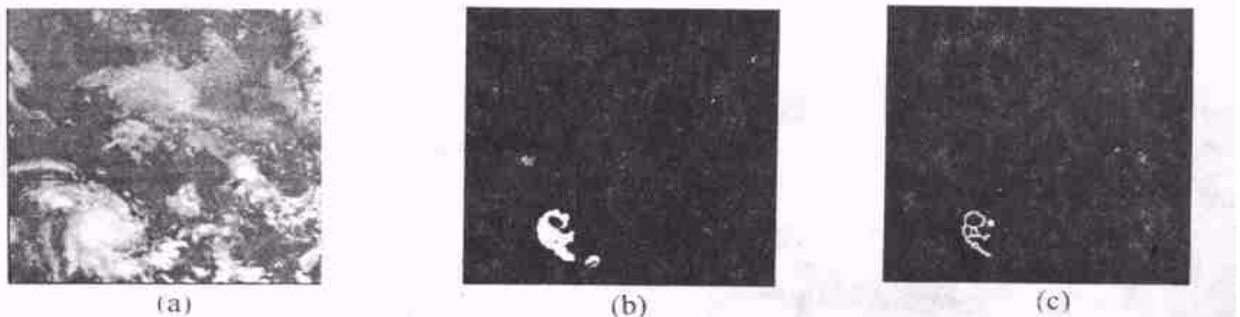


图 3 (a) 预处理后的 1998. 10. 11. 08 时的云图, (b) 分割后的螺旋云带二值图象, (c) 细化后的螺旋云带骨架图象,
Fig. 3 (a) cloud image on 0800 UTC 11 Oct 1998 after pre-process, (b) two-value image of spiral cloud belt after segmentation, (c) skeleton image of spiral cloud belt,

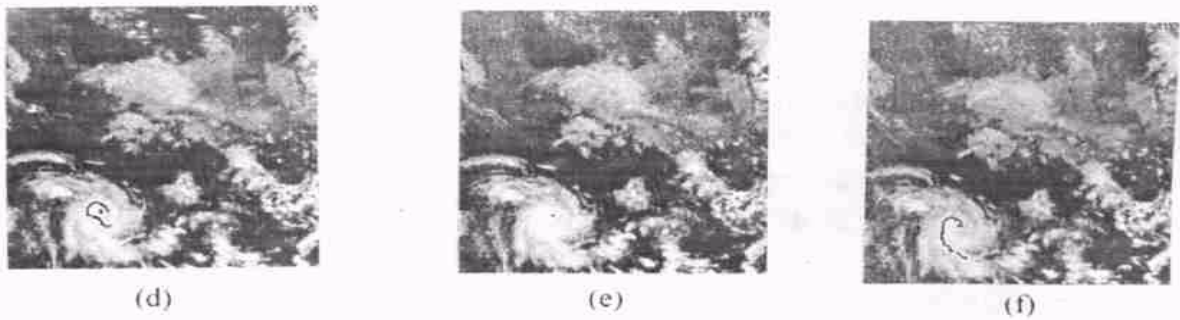


图3 (d)、(e) 骨架跟踪得到的两条主要螺旋云带骨架, 图中的点为拟合的螺旋线中心, (f) 点为台风中心
Fig. 3 (d) and (e) two skeletons of spiral cloud belt after tracking, the dot in image is the center of spiral through approach, (f) the dot in image is the center of typhoon

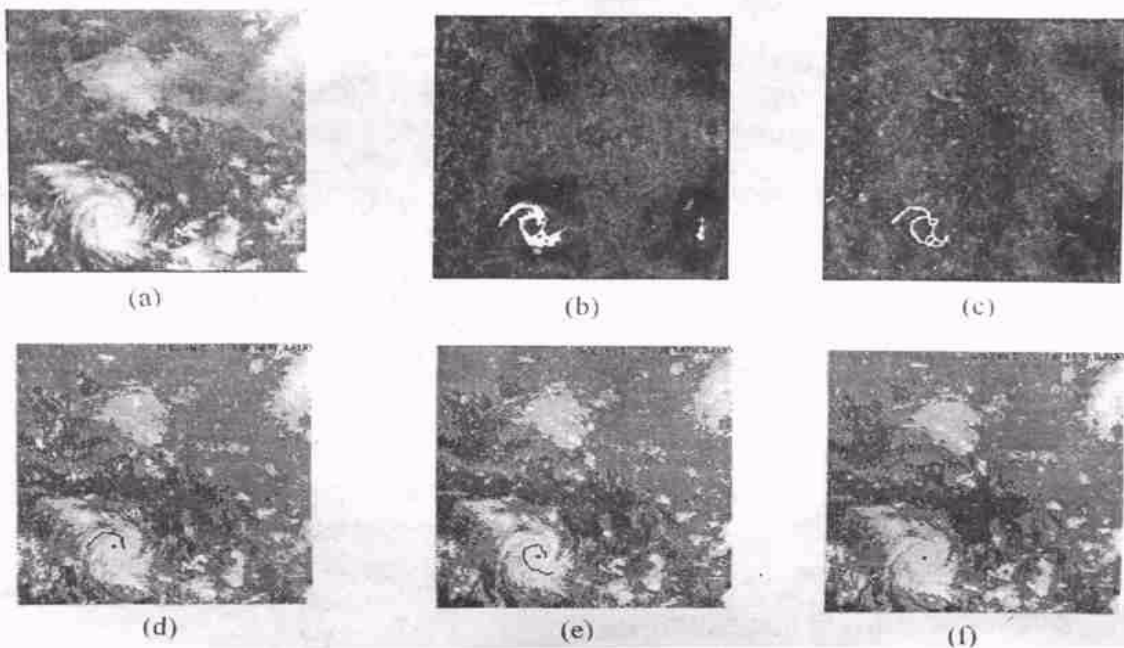


图4 预处理后的1998.10.11.20时的云图, (b)~(f)说明同图3

Fig. 4 (a) As in Fig. 1 but for on 2000 UTC 11 Oct 1998, (b)~(f) Same as Fig. 3

6 实践结果(Results)

图3和图4分别给出了1998.10.11.08时和1998.10.11.20时两张云图进行每一步处理后的结果。

7 小结(Conclusion)

实验结果说明本文提出的由云图预处理、云图人机交互分割、形态特征提取、螺旋线拟合定位的四步无眼台风的自动定位方法是成功的, 在今后的工作中对该方法进一步完善, 达到业务应用的要求。

参考文献 (References)

- 1 唐常青等. 数学形态学方法及其应用. 北京: 科学出版社, 1990
- 2 刘宁宁等. 基于区域特征的交互式图象分割方法及其应用. 软件学报, 1999, 10(4)

- 3 杨益军等. 一个快速的人机交互式目标分割系统. 西北工业大学学报, 2000, 18(2)
- 4 薛景浩等. 一种新的图象模糊散度阈值化分割算法. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(1)
- 5 王昕等. 一种不规则封闭形状的轮廓跟踪算法. 南京航空航天大学学报, 1996, 28(4)
- 6 颜庆津等. 计算方法. 北京: 高等教育出版社, 1991
- 7 刘正光等. 卫星云图形态特征提取. 计算机研究与发展, 1997, 34(9)
- 8 冯民学等. 有眼台风的自动定位方法初探. 气象, 1997, 23(12)
- 9 王耀生等. 卫星云图的计算机分析识别. 气象, 1994, 20(6)

作者简介

- 刘凯(1972-), 女, 硕士. 研究领域为图象处理.
黄峰(1955-), 男, 硕士. 研究领域为图象处理.
罗坚(1964-), 男, 硕士. 研究领域为气象预报自动化.