

基于椭圆拟合的热带气旋中心定位研究

刘年庆^{1,2} 张文生¹ 李林¹

(中国科学院自动化研究所 北京 100190)¹ (国家卫星气象中心 北京 100081)²

摘要 对热带气旋的中心进行定位是预测其未来路径的基础。提出了一种基于椭圆拟合模型的全自动客观方法来代替传统的基于螺旋线拟合的方法,以实现热带气旋的中心定位。该方法包含梯度方向融合、椭圆线段选取、椭圆中心聚类以及气旋中心确定 4 个步骤。采用卫星红外图像进行实验,结果表明,提出的椭圆拟合定位方法与中国气象局发布的热带气旋最佳路径数据集在经度和纬度方向的偏差均值小于 0.12 度,为热带气旋中心定位提供了客观准确的参考。

关键词 热带气旋,中心定位,红外云图,数据挖掘,椭圆拟合

中图分类号 TP753 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.5.014

Study of Positioning Tropical Cyclone Center Based on Ellipse Fitting

LIU Nian-qing^{1,2} ZHANG Wen-sheng¹ LI Lin¹

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)¹

(National Satellite Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China)²

Abstract Positioning tropical cyclone (TC) center is the basis of TC forecasting. A novel ellipse model was presented instead of existing spiral ones to locate TC center objectively and automatically. The model includes diffusion of oriented gradient, ellipse segments selection, ellipse clustering and center point decision. Experimental results show that the model based on infrared satellite cloud images can achieve the best average error of less 0.12 on both latitude and longitude in comparison with the best track data from the China Meteorological Administration, providing objective and accurate information for locating TC centers.

Keywords Tropical cyclone, Center positioning, Infrared satellite image, Data mining, Ellipse fitting

1 引言

准确及时的热带气旋中心定位是热带气旋路径预测的基础,即使微小的定位偏差也会对热带气旋未来路径的预测造成巨大影响^[1]。当热带气旋的中心眼区结构不是很明显时,进行准确定位将十分困难。卫星图像和雷达数据是分析热带气旋的两种途径。相对于雷达数据,卫星资料具有覆盖面广、数据质量稳定的优点,因而成为获取热带气旋位置及强度最主要的手段^[2]。目前热带气旋的中心定位仍然主要采用有经验的气象专家通过人工方式完成。他们利用卫星图像追踪螺旋云带的移动变化,根据前一个时次热带气旋的定位信息,在其附近用螺旋线模板进行比对来找出最佳匹配,从而得到当前时次的热带气旋中心。但是,人工方式具有较强的主观性,不同的专家由于经验和技术的不同,对同一热带气旋的中心位置估计往往也不同。随着数据挖掘和图像处理技术的发展,学术界提出了一些不用历史路径,仅通过卫星图像挖掘卫星数据的潜在信息,直接对热带气旋中心进行自动或半自动定位的方法。

螺旋云带是热带气旋的明显特征之一,它以不同形态环绕热带气旋的中心,在北半球热带气旋的螺旋云带总是沿逆

时针旋转^[3]。因此利用螺旋云带的特性进行热带气旋中心定位的方法逐渐成为学术界的热点。这些方法首先进行螺旋云带的螺旋线提取,然后进行螺旋线拟合,最后将螺旋线的原点作为热带气旋的中心。Dvorak^[4]首先提出了利用负对数螺旋线进行热带气旋中心定位的方法;随后 Timothy^[5]对其进行了进一步优化;Zhang 等^[6]提出利用人工蚁群算法来勾勒出无眼台风的轮廓,并用连续空间多核函数来优化台风信息,从而进行台风定位;Bai^[7]最近提出了利用二元蚁群优化算法来进行螺旋线模板匹配,从而估计热带气旋中心的位置。这些方法虽然都可以提取出螺旋线结构,但是所用的阈值方法并不适用于大多数情况,需要专家根据情况进行参数调整,此外还要利用复杂的优化算法来解决螺旋线方程多个参数的估计问题。为了克服上述问题,本文基于椭圆拟合模型提出了一种新的自动快速热带气旋定位方法,其鲁棒性和定位精度较传统的螺旋线拟合方法有不同程度的提高。

本文第 2 节分析了传统方法的局限性;第 3 节介绍了基于椭圆拟合的热带气旋定位方法:首先利用梯度方向融合算法分析卫星图像的纹理,然后进行椭圆拟合纹理线段的选取,最后根据椭圆中心进行聚类,从而得到热带气旋的中心;第 4 节给出了实验与分析,利用该方法对 2012 年全年不同强度的

到稿日期:2014-01-31 返修日期:2014-04-12 本文受北极阁基金(BJG201210)资助。

刘年庆(1980—),男,博士生,高级工程师,主要研究方向为模式识别、图像处理及卫星遥感,E-mail:liunq@cma.gov.cn;张文生(1966—),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为机器学习理论与算法;李林(1986—),女,博士生,主要研究方向为图像处理和模式识别。

热带气旋进行定位,并与真实路径进行比较;最后是总结和展望。

2 传统方法分析

虽然大部分传统方法都采用 Dvorak^[4]的螺旋拟合方法来确定热带气旋的中心,但是很少有文献分析采用对数螺旋方程进行拟合的适用范围、如何选取螺旋以及螺旋的哪一部分进行拟合。

2.1 拟合方程选择

不同的热带气旋形成的条件不同,生成的区域不同,这就导致了仅用单一的对数螺旋方程无法准确地刻画螺旋云带的形态。

图1给出了4张热带气旋卫星图像和与之相似的螺旋线,从左至右分别为阿基米德螺旋线、费马螺旋线、对数螺旋线以及双曲螺旋线。这些螺旋线的函数方程如下:

$$r = a + b\theta \quad (\text{阿基米德螺旋线})$$

$$r^2 = \theta \quad (\text{费马螺旋线})$$

$$r = ae^{b\theta} \quad (\text{对数螺旋线})$$

$$r\theta = c \quad (\text{双曲螺旋线})$$

其中,参数 r 代表旋转半径, θ 为旋转角度, a 和 b 分别决定螺旋线的形状和弯曲尺度, c 为常数。前人的研究多集中在怎样更快地确定螺旋参数上,尤其是参数 a 和 b 。Jaiswal^[8]为了加快运算速度,固定 a 不变,只在一定范围内搜索 b 。Bai^[7]提出了利用二元蚁群优化算法来进行参数的选取。不同的热带气旋或者同一热带气旋的不同阶段,所对应的最相似螺旋方程都是不同的。因此,不管任何情况都用对数螺旋线来拟合热带气旋的螺旋云带显然是不准确的。



图1 不同形态的热带气旋和与之相似的螺旋

2.2 螺旋线提取选择

即使确定了最相似的螺旋方程,用于拟合的螺旋线选取也十分关键,因为不是图像上所有的螺旋拟合后的原点都重合在一起,有的甚至距离很远,这就导致无法确定气旋中心。为了验证这一点,选取螺旋云带明显、热带气旋结构完整的云图,对同一云图的不同螺旋线分别进行拟合,以确定热带气旋中心,螺旋拟合结果如图2所示。从图2(c)中可以看出,同一云图提取的不同螺旋线拟合后的原点(即所估计的热带气旋中心)并不在同一位置。

2.3 螺旋线段选择

给定了螺旋方程,选对了螺旋,选取该螺旋的哪一段进行拟合也会影响气旋中心位置的变化,并不是选用的螺旋线越长,热带气旋的中心就估计得越准。选取同一螺旋的不同部分进行螺旋拟合,也会产生不同的螺旋参数方程,从而得到不同的拟合中心。对于热带气旋的卫星图像来说,外围螺旋云带结构清晰、易于提取,而当螺旋线进入热带气旋密闭眼墙时,

由于特征不再像外围云带那么明显,因此不同的提取方法将得到不同的螺旋线。

通过对图2(b)中最边沿浅灰色螺旋点不同长度 OA/OB/OC/OD/OE/OF 的6部分分别进行螺旋拟合,得到不同的原点,拟合结果如图2(d)所示,拟合参数如表1所列。从表1可以看出,并不是螺旋线选取得越长,拟合的中心与真实的中心越接近。其主要原因是,螺旋云带的外围云系与主螺旋云带的内部主体云系的形态并不满足同一螺旋方程,这就导致了沿云带边缘所选取的螺旋的不同部分拟合结果不同。而且不同的提取螺旋的方法所提取出的螺旋线也不同,尤其是气旋中心眼墙附近的螺旋提取,微小的偏差都将导致定位中心位置的巨大变化。因此,传统的基于螺旋拟合进行热带气旋中心定位的方法存在一定局限性,仅适用于个别图像,无法推广到大多数台风云图,因此也无法成为自动的、稳定的热带气旋中心定位方法。

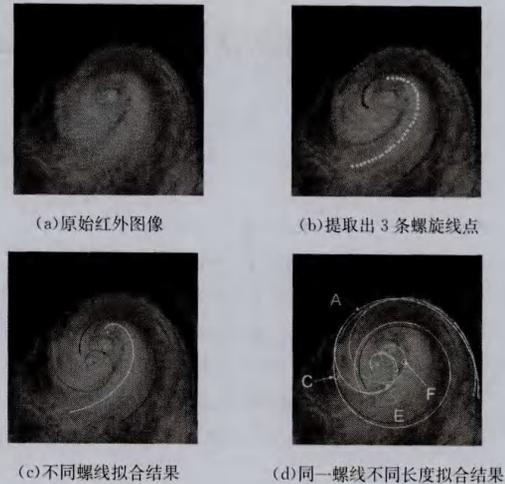


图2 螺旋拟合结果

表1 同一螺旋线不同长度拟合参数及结果

线段	线段长度/总长度	a	b	RMS	与真值水平偏差(Δx)	与真值垂直偏差(Δy)	与真值距离(像素)
OA	5/10	142.1753	0.2558	0.1580	2.0312	10.7851	10.9747
OB	6/10	132.4356	0.0781	0.2599	16.1040	31.4416	35.3258
OC	7/10	130.9396	0.0625	0.2196	17.7787	33.0443	37.5235
OD	8/10	145.7371	0.1623	0.4047	2.5357	27.5933	27.7096
OE	9/10	166.0211	0.2781	0.6177	-16.8767	25.2936	30.4071
OF	10/10	162.8149	0.2654	0.5628	-15.0126	24.8311	29.0166

3 基于椭圆拟合的热带气旋中心定位方法

为了克服传统的基于螺旋拟合进行热带气旋中心定位方法的缺陷,本文提出了基于椭圆拟合的热带气旋中心定位方法。该方法包含3个部分:首先利用梯度方向融合方法找出卫星图像的纹理线,然后选取拟合椭圆所需纹理线段,最后对拟合的椭圆中心进行聚类,从而得到所估计的热带气旋中心。该方法不需任何人工干预,可以全自动完成热带气旋中心定位。

3.1 梯度方向融合算法

对于比较强的热带气旋,其主体云系一定存在涡旋结构,但是这并不意味着图上每一个点的梯度都严格与涡旋结构一致。为了减少与周围区域不协调的梯度方向,需要对梯度方

向进行融合。定义图像内点 (x, y) 的梯度为 $[g_x, g_y]_{(x, y)}$, 其中 g_x 和 g_y 分别为沿 x 和 y 方向的梯度。对于包含热带气旋的卫星图像, 定义其加权平均平方梯度为^[9]:

$$\theta = \arctan \frac{P}{D}$$

其中, $P = 2\overline{g_x g_y}$, $D = \overline{g_x^2} - \overline{g_y^2}$, $\overline{g_x}$ 和 $\overline{g_y}$ 分别代表 g_x 和 g_y 的加权平均。

为了减少与周围区域不协调的梯度方向, 按照以下步骤对梯度方向进行融合: 首先找出 P 和 D 变化最快的点, 即该点的 P 和 D 与2倍步长范围内的矩形区域的平均 P 和 D 相差最大, 用该区域的 P 和 D 的均值代替该点的 P 和 D 。图3给出了梯度方向融合的结果示意图。

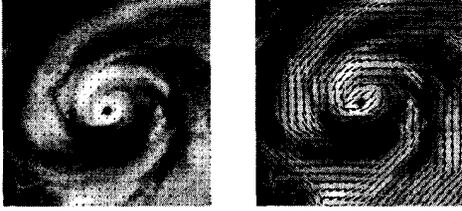


图3 梯度方向融合前后的结果

3.2 椭圆拟合线段选取

与一般对螺旋云带只提取一根螺线进行拟合来得到热带气旋中心的方法不同, 本文提出的算法在包含热带气旋的大范围的图像区域内均匀选取 n^2 个点, 以这 n^2 个点为起点, 每个点沿其梯度及其梯度反方向分别进行梯度方向连线, 步长为 s 个像素, 连接 m 次, 到达图像边缘或出现自交叉则自动停止。从纹理连线来看, 在热带气旋中心附近, 纹理连线并不像传统的螺线理论那样一直卷入热带气旋中心, 而是围绕中心旋转, 这也是采用螺线拟合中心不准确的因素之一。而围绕中心旋转所构成的椭圆是本文采用椭圆拟合的重要原因。

在进行纹理线段连接之后, 需要确定哪部分线段用于椭圆拟合, 拟合线段的选择十分重要, 将直接关系到热带气旋中心定位的结果。为了找到适合椭圆拟合的线段, 去除无效线段, 需要进行以下步骤。

a) 求取相邻线段之间的夹角: 云图结构趋势线是由线段连接组成的, 每段线段都有自己的方向, 将各相邻线段的方向进行差分, 便得到相邻线段方向的角度差。

$$\Delta\theta_{i, i+1} = \begin{cases} \theta_i - \theta_{i+1}, & -\frac{\pi}{2} < \theta_i - \theta_{i+1} < \frac{\pi}{2} \\ \theta_i - (\theta_{i+1} - \pi), & \theta_i - \theta_{i+1} < -\frac{\pi}{2} \\ \theta_i - (\theta_{i+1} + \pi), & \theta_i - \theta_{i+1} > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

其中, θ_i 和 θ_{i+1} 分别为线段 i 和 $i+1$ 之间的方向角。

b) 符号限定: 对于每条纹理连接线, 其包含 m 个线段, 则包含 $m-1$ 个相邻线段的方向角度差 $\Delta\theta_{i, i+1}$ ($i=1, 2, \dots, m-1$), $\Delta\theta_{i, i+1} \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$, 找出具有相同符号角度差的连续线段, 相同符号代表旋转方向一致, 例如对于一个标准的向内旋转螺线, 相邻线段的角度差一直为正值。

c) 角度限定: 距离热带气旋中心越近的区域, 在相同步长条件下, 其梯度法线方向的变化越大, 相邻两连接线的夹角也越大。因此需要设定最小连接线夹角, 从而确定线段是否在热带气旋中心附近。假设线段上的点与中心的最远距离为

R_{\max} , 卫星图像分辨率为 r_{res} , 连接线段长度固定为 L_{sep} , 连接线之间的夹角为 θ , 则根据图4中的几何关系, 有:

$$\theta = 2 \cdot \arctan \frac{\frac{L_{\text{sep}}}{2}}{\frac{R_{\max}}{r_{\text{res}}}}$$

因此, 选取相邻连接线段之间的夹角符号相同, 且绝对值大于 θ 的线段, 以确保距离气旋中心较近。例如, 对于距离台风中心200km半径的区域, 使用4km分辨率的卫星图像, 步长为5个像素, 则最小旋转角为5.72度。

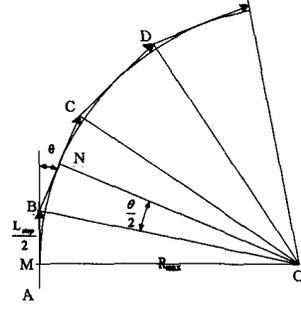


图4 最小连接线夹角

d) 线段链接: 若根据前面条件选取的两段线段链之间足够近(本文选取4个线段长), 则将2个线段链连接为一个线段链, 从而避免了因为噪声所引起的断链。

e) 由于越长的线段链意味着所提取的螺旋云带结构越完整, 因此根据前面条件设定, 选出最长的 k 条线段链, 并找出每条线段链中旋转角度最快达到 π 的线段, 用于椭圆拟合。

$$n_0 = \min \left\{ \arg \left| \sum_{j=i}^{i+n} \Delta\theta_{j, j+1} - \pi \right| < \delta \right\}$$

其中, $i, j \in (1, \dots, m)$, $\delta > 0$ 。

$$i_0 = \left\{ \arg \left| \sum_{j=i}^{i+n_0} \Delta\theta_{j, j+1} - \pi \right| < \delta \right\}$$

3.3 椭圆中心聚类

由上一步可以得到用于拟合椭圆的线段链, 但并不是所有的线段链都环绕热带气旋中心, 因此需要对其进行聚类筛选。首先, 利用这些线段进行椭圆拟合, 通过求解超定线性方程组的一个最小二乘解来得到椭圆拟合的参数^[10]; 然后利用k-means方法^[11]对这些拟合出的椭圆中心进行聚类, 一般会聚成3-5类。由于大部分椭圆是环绕气旋中心的, 因此将包含椭圆最多的一类选出。但是椭圆只是中心点位置相近, 而长短轴方向各异, 这些中心点的均值不能代表热带气旋的中心, 因此还要对其进行二次筛选。二次筛选根据椭圆半长轴的方向进行k-means无监督聚类, 同样选取包含半长轴方向相似的最大一类; 最后, 选取经过两次不同方式聚类, 得到中心相近且半长轴方向基本一致的椭圆簇, 椭圆簇中心的均值即为热带气旋中心。

4 实验结果与分析

为证明本算法的有效性, 利用2012年全年的卫星资料进行实验。热带气旋最佳路径数据集来源于中国气象局热带气旋资料中心^[12], 卫星数据资料来源于中国卫星遥感数据服务网^[13]。由于当热带气旋强度太弱时, 即使拥有丰富经验的气象专家也很难给出准确的定位, 因此本文仅对强热带风暴、台风、强台风、超强台风这4个强度级别的热带气旋进行实验。根据热带气旋最佳路径资料, 2012年编号的热带气旋一共有

25 个,除了杜苏芮(Doksuri)、鸿雁(Kirogi)和悟空(Wukong)的强度未达到过强热带风暴,其它 22 个热带气旋的强度均达到甚至超过了强热带风暴。在热带气旋最佳路径数据集中,这 22 个热带气旋强度在强热带风暴或以上的定位信息共有 375 条记录,其中 370 条记录都可以通过中国卫星遥感数据服务网下载到对应的有效资料,这其中包括 127 条强热带风暴记录、132 条台风记录、68 条强台风记录及 43 条超强台风记录。本文对这 370 个时次的卫星资料进行处理,截取出以热带气旋中心为中心、边长为 320 像素的卫星图像区域进行实验,截取区域如图 5 所示。



图 5 不同强度热带气旋

实验参数设置:当步长 s 设置较大时($s > 6$),由于每一步跨越的区域大,漏掉了云系结构的旋转细节,相当于用一条很长的弦代替了一段弧,会导致所提取的云图纹理线无法正确地表示云系的结构;当步长 s 设置太小时($s < 4$),像素点取整会大大影响纹理线的方向,例如当步长 $s = 3$ 时从原点指向 $(2.61, 1.48)$ 的方向为 29.56 度,而取整后该点变为 $(3, 1)$,方向为 18.43 度,相差了约 10 度,从而使纹理线偏离云系结构。经过实验,当步长 $s = 5$ 时(红外卫星云图分辨率为 4km),所绘制的云系纹理线与云系结构一致性最好。线段链的最短长度 m 的选取与步长 s 和截取区域的大小有关,当 m 设置太短时,所获取的纹理线很有可能不是云系的主体结构线。对于 320×320 像素的截取区域和 5 像素的步长的设置,图像最大内切圆约为 1005 个像素,也就是当 $m = 201$ 时,如果是旋转的云系结构,已经可以围绕台风中心一周,而实际上旋转半径会逐渐减小,因此设置 $m = 100$ 。经实验发现,杂乱的纹理线远没有达到 100 就会出现自交叉或达到图像边缘而停止,而真正的台风云系结构纹理线一般会达到 200 甚至更多的链接,因此提取 100 段以上的连接线进行分析一般可以得到合理的表示云系内部结构的纹理线。当线段链长度超过 100 的链接线条数多余 10 条时,选取最长的 10 条链接线进行线段提取拟合椭圆。均匀选取的格点 $n = 32$,对于 320 像素边长的云图区域,格点间距为 10 像素,为步长的 2 倍,太密的格点间距不但会增加计算时间,而且会产生许多第一步不同而后面完全相同的纹理线。最小旋转角设置为 5.72 度,从而只搜索台风中心 200km 范围内的纹理线。根据以上设置进行计算,得到了 4 种强度热带气旋的定位精度结果,包括经纬向均值及方差,如表 2 所列。图 6 为定位结果的置信图。

表 2 热带气旋定位偏差均值和方差

强度	纬度偏差均值(度)	纬度偏差方差	经度偏差均值(度)	经度偏差方差
强热带风暴(127个)	-0.099800	0.643977	0.113112	0.743635
台风(132个)	-0.053483	0.444766	0.014650	0.471297
强台风(68个)	-0.084117	0.335318	-0.011677	0.379516
超强台风(43个)	0.062801	0.246002	0.066840	0.327878

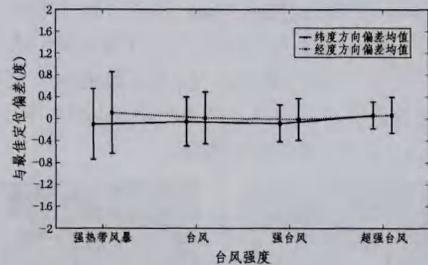


图 6 热带气旋定位偏差置信图

从定位结果可以看出,随着热带气旋强度的增强,定位偏差的均值稳定,并且纬度方向和经度方向的方差呈现逐渐减小的趋势,这是由于随着热带气旋强度的增强,其卫星图像的纹理结构越来越清晰,因而定位也逐渐准确。传统方法的定位方法中,由于所测试的热带气旋不同,因此精度也不尽相同,大致范围在 $0.15 \sim 0.7$ 度之间。例如, Yan^[3]算法精度为 $0.16 \sim 0.7$ 度, Said^[14]算法精度为 0.15 度, Qiao^[15]算法精度为 0.25 度,且有些方法一般只对某几个热带气旋甚至一个热带气旋的不同时次进行统计,而本文测试集为 2012 年的全年热带气旋。因此本方法较传统方法具有更高的精确度和鲁棒性。为了更直观地显示定位的结果,下面选取几个周期持续时间长、路径延续距离长的热带气旋进行定位结果与最佳路径的比对,如图 7 所示。从图中可以看出,定位中心与中国气象局热带气旋资料中心公布的中心基本吻合。对于一些定位误差比较大的情况,主要是由于热带气旋存在比较强的风切变和上层旋转中心与下层旋转中心分离造成的。通过卫星云图只能看到上层旋转中心,而人工定位时,如果有洋面风资料,则根据洋面风进行下层中心定位,从而造成较大偏差。



图 7 最佳定位路径与算法定位路径比对

结束语 本文利用卫星图像提出了一种基于椭圆拟合的热带气旋中心定位方法。该方法不需要任何历史定位信息,只根据卫星红外图像便可以完成对热带气旋中心进行全自动客观精确定位,克服了传统基于螺线拟合的多螺线拟合中心不统一和同螺线不同长度拟合中心不统一的问题。通过 2012 年全年 22 个强度在强热带风暴以上的热带气旋验证表明,该方法与最佳路径的偏差在正负 0.12 度内,这为基于卫

星图像的热带气旋客观定位提供了参考结果,同时为热带气旋路径预测奠定了良好的基础。但是对于初生和即将消亡的热带气旋来说,由于其强度弱,云系结构不完整,此方法所估计的结果与真实结果还存在一定偏差,下一步需要研究新的算法来为强度较弱的热带气旋中心进行定位。

参 考 文 献

- [1] 裘国庆,方维模,世界气象组织. 全球热带气旋预报指南:世界气象组织技术文件(WMO/TD-NO. 560)[M]. 北京:气象出版社, 1995
- [2] Piñeros M F, Ritchie E A, Tyo J S. Objective measures of tropical cyclone structure and intensity change from remotely sensed infrared image data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(11):3574-3580
- [3] Wong Ka-yan, Yip Chi Lap. An intelligent tropical cyclone eye fix system using motion field analysis[C]//17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2005(IC-TAI 05). 2005:652-656
- [4] Dvorak V F. Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery[J]. Monthly Weather Review, 1975, 103(5):420-430
- [5] Olander T L, Velden C S. The advanced Dvorak technique: Continued development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity using geostationary infrared satellite imagery [OL]. http://www.ssec.wisc.edu/meetings/jointsatmet2007/pdf/olander_ad_t.pdf
- [6] QP Zhang, LL Lai, H Wei. Continuous space optimized artificial ant colony for real-time typhoon eye tracking[C]//IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007 (ISIC 2007). 2007:1470-1475

- [7] Bai Qiu-chan, Wei Kun, Jing Zhong-liang, et al. Tropical cyclone spiral band extraction and center locating by binary ant colony optimization[J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55(2):332-346
- [8] Jaiswal N, Kishtawal C M. Automatic determination of center of tropical cyclone in satellite-generated IR images[J]. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2011, 8(3):460-463
- [9] Hastings R. Ridge enhancement in fingerprint images using oriented diffusion[C]//9th Biennial Conference of the Australian Pattern Recognition Society on Digital Image Computing Techniques and Applications. 2007:245-252
- [10] 田垌,刘宗田. 最小二乘法分段直线拟合[J]. 计算机科学, 2012, 39(Z6):482-484
- [11] MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations[J]. Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, 1967, 1(14):281-297
- [12] Ying Ming, Zhang Wei, Yu Hui, et al. An Overview of the China Meteorological Administration Tropical Cyclone Database[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2014, 31(2):287-301
- [13] 风云卫星遥感数据服务网. 2014-04-12[OL]. <http://satellite.cma.gov.cn>
- [14] Said F, Long D G. Effectiveness of QuikSCAT's Ultra-High Resolution Images in Determining Tropical Cyclone Eye Location[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008(IGARSS 2008). 2008, 1:351-354
- [15] Qiao Wen-feng, Li Yuan-xiang, Wei Xian, et al. Tropical cyclone center location based on Fisher discriminant and Chan-Vese model[C]//Fourth International Conference on Machine Vision (ICMV 11). 2012

(上接第 53 页)

割,选择特征集,然后再对图像对象进行分类。本文利用 GEPSO 分类算法对这些图像对象进行分类,提出了基于 GEPSO 模型的面向对象遥感图像分类方法。该方法利用 GEP 和 PSO 的演化搜索能力,从现有样本集中为每类图像对象构造一个类中心,分类器由这组类中心构成。对一个类别未知的图像对象,计算该对象与每个类中心之间的距离,得出最小距离,分类结果即为与该最小距离所对应的类中心表示的类。本文提出的方法与最近邻算法一样,都是基于距离的分类,但由于本文方法中引入了演化算法,使得它不仅能够利用现有样本集,还能从现有样本集中演化出新的样本进行分类。在典型和随机两种样本图像对象上的实验结果表明,基于 GEPSO 模型的面向对象遥感图像分类方法具有较好的分类效果。

参 考 文 献

- [1] 陈杰. 高分辨率遥感影像面向对象分类方法研究[D]. 长沙:中南大学, 2010
- [2] 马廷. 高分辨率卫星影像及其信息处理的技术模型[J]. 遥感信息, 2001(3)
- [3] Baatz M, Schape A. Object Oriented and multi-scale image analysis in semantic networks[C]//Proc. of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing. August 1999
- [4] Duro D C, Franklin S E, Dubé M G. A comparison of pixel-based

- and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 118:259-272
- [5] 陈金丽. 面向对象的最邻近算法研究与实现[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2009
- [6] 曹宝,秦其明,马海建,等. 面向对象方法在 SPOT5 遥感图像分类中的应用——以北京市海淀区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2006(2):46-40, 54
- [7] 李丹,张旭亚,孙丽娜. 面向对象的土地利用遥感分类方法研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(20):8586-8588
- [8] 钱巧静,谢瑞,张磊,等. 面向对象的土地覆盖信息提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2005(3):338-342
- [9] Wang W, Jin D, Li Q, et al. The GEPSO-Classification Algorithm[M]//Advanced Data Mining and Applications. Springer Berlin Heidelberg, 2013:576-583
- [10] 何俊,葛红,王玉峰. 图像分割算法研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(12):58-61
- [11] 谭衢霖,刘正军,沈伟. 一种面向对象的遥感影像多尺度分割方法[J]. 北京交通大学学报, 2007(4):111-114, 119
- [12] Baatz M, Heynen M, Hofmann P, et al. eCognition User Guide [S]. München, Definiens AG, 2000
- [13] Ferreira C. Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence(2nd Edition)[M]. Springer, 2006
- [14] Engelbrecht A P. 计算智能导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2010