第 36 卷 第 9 期 计 算 机 工 程 2010 年 5 月
Vol.36 No.9 Computer Engineering May 2010
·人工智能及识别技术· 文章编号：1000—3428(2010)09—0195—02 文献标识码：A 中图分类号：TP18

基于红外云图的台风中心智能定位方法

牛海军，杨 夙
(复旦大学计算机科学技术学院，上海 200433)

摘 要：台风中心附近的云墙是同心圆状云带且其灰度值范围较固定，针对该特点，利用红外云图对台风中心进行智能定位，提出由云图预处理、Snake 活动轮廓模型提取台风云墙轮廓点、最小二乘法拟合圆组成的 3 步定位方法。实验结果表明，该方法定位速度快、精度高，能满足气象业务的实时性要求。

关键词：台风眼；云墙；螺旋云带；活动轮廓模型；最小二乘拟合

Intelligent Location Method of Typhoon Center Based on Infrared Cloud Image

NIU Hai-jun, YANG Su
(School of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433)

【Abstract】Cloud wall around typhoon center is concentric-circle-liked cloud band, and its gray scale is stable usually. Aiming at this feature, this paper uses infrared cloud images to intelligently locate typhoon center. It presents a three-step location method which includes pre-process of cloud image, extraction of contour points of typhoon cloud wall based on Snake active contour model, circle fitting based on Least Square(LS). Experimental results show that this method has fast location speed, high precision, and it can satisfy the real-time requirement of weather service.

【Key words】typhoon eye; cloud wall; spiral band; active contour model; Least Square(LS) fitting

1 概述

热带气旋灾害是最严重的自然灾害。台风是热带气旋的一个类别，当热带气旋中心风力大于 32.6 m/s 以上时，在气象学上称为台风。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很关键。

德沃夏克分析方法[1]是较通用的分析方法，不过该方法人工定性判断的比重较大，主观性较强。随后发展的先进德沃夏克技术采用人工和自动 2 种方法进行中心定位，缺点是对于热带气旋强度较小时效果较差。随着计算机图像处理和模式识别技术的发展，为台风计算机自动定位研究提供了手段。文献[2]介绍了最小二乘拟合螺旋云带的方法，其要求假定初始点，增加了计算复杂性。文献[2]介绍的另外一种定位方法——旋转中心定位法，将台风等效为刚体分析其旋转性，由于台风为非刚体，因此这种定位方法误差较大。文献[3]计算台风云图亮温梯度，由于台风运动过程复杂、形态多变，因此该方法的鲁棒性较差。综上所述，本文提出一种新的台风中心智能定位方法。

2 台风中心定位方法

2.1 云图预处理

云图预处理的作用是滤波去噪，突出台风云系，为台风定位提供良好的环境。本文采用直方图均衡化操作，增强对比度，并利用高斯滤波器平滑图像。

在台风眼周围，环绕同心圆状高耸的云墙，灰度值较高。台风云系重要的特征集中在 176~255 灰度范围内[4]，通过实验发现圆形云墙的灰度值通常集中在 225~245 之间，利用该阈值，将图像二值化。

2.2 活动轮廓模型

在台风自动定位方法中，台风云系分割是处理中很关键的一步。由于卫星云图是一种复杂的图像，图像中除了台风云系还包含大量其他性质的云，因此很难找到一个恰当的统计方案适合每一张云图分割，如果这种复杂图像的分割完全由计算机自主完成则通常准确性较差。针对分割准确性和实用性的要求，利用基于 Snake 活动轮廓模型的图像分割技术。

近年来，Snake 模型成为图像分析领域的一个研究热点[5-6]。基于 Snake 模型的目标轮廓提取是图像分割的一种重要方法。Snake 是一条参数曲线：

$$v(s)=[x(s),y(s)],\ s\in[0,1]$$

通过极小化如下的能量泛函，使活动曲线向目标移动来确定目标轮：

$$E=\int_0^1[\alpha|v'(s)|^2+\beta|v''(s)|^2]+E_{ext}(v(s))\mathrm{d}s \quad (1)$$

其中，参数 α 和 β 为权重系数，分别控制 Snake 的弹性和刚性，保证 Snake 在形变过程中的连续和平滑；$v'(s)$ 和 $v''(s)$ 分别代表 Snake 关于 s 的一阶和二阶导数；$E_{ext}(v(s))$ 是图像的外部能量函数，产生外部的推力，吸引 Snake 不断向图像特征处(如边缘)运动，它将目标轮廓的初始估计、曲线性质、图像信息和先验知识融于一个统一过程中。

基金项目：国家“973”计划基金资助项目(2010CB731401)；国家“863”计划基金资助重点项目(2006AA010111)；上海市科委基础研究基金资助重点项目(09JC1401500)

作者简介：牛海军(1982－)，男，硕士，主研方向：模式识别，图像处理；杨 夙，教授、博士生导师

收稿日期：2009-11-28 **E-mail：**suyang@fudan.edu.cn

对式(1)定义的能量泛函，由变分法原理出发将其转化为Euler 方程：

$$\alpha v''(s)-\beta v''''(s)-\nabla E_{ext}=0 \tag{2}$$

这是该能量泛函取极小值的必要条件。文献[5]用有限差分的方法离散 Euler 方程，得到局部最优解。

对于云图预处理的结果，Snake 算法可自动获得圆形云墙的外围轮廓点。

2.3 圆拟合

最小二乘法是一种数学优化技术，它通过最小化误差的平方寻找数据的最佳函数匹配。利用最小二乘法可求得一些绝对不可知的真值，令误差平方之和为最小。最小二乘法通常用于曲线拟合。

对于 Snake 模型获得的圆形云墙轮廓点，使用最小二乘法拟合圆曲线可得到圆心坐标和半径大小，圆心坐标即为台风中心位置。最小二乘法拟合圆曲线方法如下：

$$(x-x_0)^2+(y-y_0)^2=r^2$$

其中，x_0, y_0 为圆心坐标；r 为半径。

$$x^2-2x_0x+x_0^2+y^2-2y_0y+y_0^2=r^2$$

令

$$\alpha=-2x_0$$

$$\beta=-2y_0$$

$$\gamma=x_0^2+y_0^2-r^2$$

可得圆曲线方程的另一个形式：

$$x^2+y^2+\alpha x+\beta y+\gamma=0 \tag{3}$$

只要求出参数 α,β,γ，就可以求得圆心和半径的参数。

样本点 (X_i,Y_i) $i\in(1,2,\cdots,N)$ 到圆心的距离为 d_i：

$$d_i^2=(X_i-x_0)^2+(Y_i-y_0)^2$$

为简化计算，将距离平方差作为误差可以表征计算值和真实值的误差大小，使之最小可以得到一个相对较优的拟合值。

样本点 (X_i,Y_i) 到圆心距离和半径的平方差为

$$\delta_i=d_i^2-r^2=(X_i-x_0)^2+(Y_i-y_0)^2-r^2=$$
$$X_i^2+Y_i^2+\alpha X_i+\beta Y_i+\gamma$$

令 $P(\alpha,\beta,\gamma)$ 为 δ_i 的平方和：

$$P(\alpha,\beta,\gamma)=\sum\delta_i^2=\sum[X_i^2+Y_i^2+\alpha X_i+\beta Y_i+\gamma]^2$$

求 $P(\alpha,\beta,\gamma)$ 的极值点可得 α,β,γ，从而得到圆心和半径 x_0,y_0,r 的估计拟合值。

对 Snake 模型获取的云墙轮廓点进行最小二乘法圆拟合，圆心即为台风中心位置。

3 实验结果与分析

文献[5]使用稀疏矩阵方法进行 n 次迭代，程序的时间复杂度为 $O(n)$，用最小二乘法拟合圆曲线程序具有线性复杂度，因此，本文定位程序的时间复杂度为 $O(n)$，其中，n 为 Snake 模型获取的轮廓点个数。本文定位算法运行速度较快，符合气象业务实时性的要求。

本文实验所用数据为 1 224×1 223 红外云图，采自上海市卫星遥感与测量应用中心。本文使用 2008 年 6 个台风每隔 6 h 共 125 张台风云图，这些图像覆盖台风从生成到衰退的不同生命期。为检验算法的精度，本文使用上海台风研究所提供的最佳路径数据做比较[7]，并且把该数据作为台风实际位置。定位精度能够满足要求(偏差在 30 km 以内)，平均可以达到 10 km~12 km 左右或更好，定位结果见表 1。

表 1 台风中心定位结果

编号	图像编号	平均偏差/km	台风名称
0808	16	10.33	Fung-wong
0809	10	10.28	Kammuri
0812	23	10.17	Nuri
0813	39	10.11	Sinlaku
0814	16	7.86	Hagupit

台风“黑格比”(Hagupit)利用本文算法估计路径和台风所 CMA-STI 最佳路径[7]比较，如图 1 所示。图 2 和图 3 分别给出台风“鹦鹉”(Nuri) 2008 年 8 月 19 日 3 时和台风“森拉克”(Sinlaku) 2008 年 9 月 13 日 3 时的 2 张云图定位结果图。

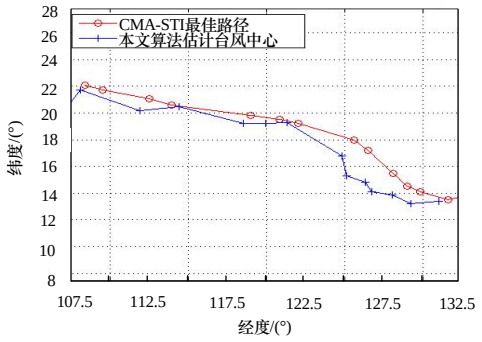


图 1 台风“黑格比”的路径比较

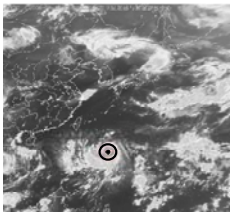


图 2 台风“鹦鹉”云图定位

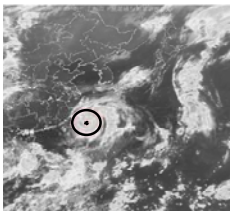


图 3 台风“森拉克”云图定位

4 结束语

本文针对台风云图的特点，提出基于红外云图的台风中心智能定位方法，该方法实验结果理想。本文使用传统 Snake 模型存在的缺点是：其初始轮廓必须靠近图像中感兴趣目标的真实边缘。因此，下一步研究的方向为：使用 GVF Snake 等模型寻找更好的阈值选取算法，提取更加精确的云墙特征。

参考文献

[1] Dvorak V F. Tropical Cyclone Intensity Analysis Using Satellite Data[R]. Washington D. C., USA: The National Oceanic and Atmospheric Administration, Tech. Rep.: NESDIS 11, 1984.

[2] Zhang Q P, Lai L L, Sun W C. Intelligent Location of Tropical Cyclone Center[C]//Proc. of the 4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics. [S. l.]: IEEE Press, 2005.

[3] 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 Geosciences and Remote Sensing, 2008, 46(11): 3574-3580.

[4] Pao Tsang-Long, Yeh Jun-Heng, Liu Min-Yen, et al. Locating the Typhoon Center from the IR Satellite Cloud Images[C]//Proc. of ICSMC'06. [S. l.]: IEEE Press, 2006.

[5] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models[J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321-331.

[6] Lee R S T, Liu J N K. An Elastic Contour Matching Model for Tropical Cyclone Pattern Recognition[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2001, 31(3): 413-417.

[7] 上海台风研究所. CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集[EB/OL]. (2009-04-20). http://www.typhoon.gov.cn/data/.

编辑 陆燕菲