

文章编号: 1672-8785(2010)03-0011-04

基于红外卫星云图的台风中心自动定位方法研究

李 妍^{1,2} 陈 希² 费树岷¹

(1. 东南大学自动化学院, 江苏南京 210096 ;

2. 解放军理工大学气象学院, 江苏南京 211101)

摘 要: 台风中心定位一般依靠气象专业人员采用人工手动方式进行, 自动化程度不高, 效率低。本文利用单幅红外台风云图, 根据台风运动特征以及天气学诊断原理, 建立了基于红外卫星云图的云运动矢量主方向提取方法; 在此基础上, 根据台风密闭云区近似为圆的几何形状, 构建了以圆的几何特性为约束的台风中心自动定位最优目标函数, 求得了解析解, 实现了有眼和无眼台风的自动定位。用这种方法对 2005 年“海棠”台风多个时次的红外卫星云图进行了台风中心自动定位仿真。该方法的定位精度较高, 可作为台风中心自动定位的良好技术手段。

关键词: 红外卫星云图; 台风中心; 自动定位; 最优目标函数

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.03.003

Study of Automatic Location of Typhoon Center Based on IR Satellite Cloud Images

LI Yan^{1,2}, CHEN Xi², FEI Shu-ming¹

(1. School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. The College of Meteorology PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: The typhoon center is usually located manually by meteorologists. This location method has a low degree of automation. According to the movement characteristics of typhoon and the meteorological analysis theory, a single infrared satellite cloud image is used to establish a method for extracting the dominant cloud movement vectors. On this basis, the optimal target function for locating the typhoon center automatically is set and resolved. The automatical location of the typhoon with an eye or without an eye is realized. The method is used to simulate the automatical location of the center of typhoon “HAITANG” in several cloud images obtained in 2005. The result shows that this method has a high location accuracy and can be used as a good technical means for the automatical location of typhoon center.

Key words: IR satellite cloud images; typhoon center; automatical location; optimal target function

1 引言

台风中心位置的确定, 对于台风路径和灾害性台风天气的预测具有十分重要的意义^[1]。

利用静止卫星云图对台风进行实时监测是最可靠、最有效的手段之一。目前, 台风中心位置的确定, 主要是依靠专业人员利用气象卫星云图, 结合多种仪器的实时观测资料, 采用人工方式进

收稿日期: 2009-10-30

基金资助: 国家自然科学基金重点基金 (60835001)

作者简介: 李妍 (1974-), 女, 辽宁本溪人, 硕士学位, 主要从事信息的智能化处理和控制在。 E-mail: lgdxcx_ly@yahoo.com.cn

行的^[1]，这在很大程度上增加了预报员的工作量。为了提高台风中心定位的客观化、定量化和自动化水平，近年来，利用静止卫星云图对台风中心进行自动定位已成为研究的热点。

目前，利用卫星云图对台风中心进行定位大致可分为两类。(1)通过提取台风的形态特征进行定位：Jun-Heng Yeh^[2]将云图数据按灰度值分级表示，通过对每一灰度等级进行二值化、数学腐蚀及区域增长进行处理，得到了台风云系的可能运动方向及螺旋云带形态特征；Q.P. Zhang^[4]和P. Wang^[3,5]则从红外与可见光云图的时间序列中提取了台风云系的运动特征和旋转形态特征；刘凯等人^[6]则是先提取台风的螺旋云带形态特征，然后再采用螺旋线拟合进行定位的。这些方法主要对台风云系的形态特征进行了描述，但台风是一种复杂的天气系统，在不同阶段具有不同的形态特征。针对台风云系在云图中表现出的多变性和形状的复杂性，很难依据统一的形态特征实现客观的定量描述和参数的自动提取。(2)利用动态图像分析方法进行定位：王燕燕等人^[7]将台风运动看作是刚性物体的运动，在卫星云图序列动画中，找出前后两次相应特征点的轨迹，根据热带气旋中心具有转动矢量为零的特点计算出中心点。该方法需人工干预，而且由于气旋中心并非刚体，因此会受到云图数据采集频率的严重制约。

为了客观、定量地描述不同形态的台风云系特征、实现台风中心位置参数的客观量化及自动化计算，本文首先根据台风运动特征以及天气学诊断原理构建了卫星云图的云运动矢量主方向自动提取方法，实现了台风云系的有效、定量描述；在此基础上，以圆的几何特性为约束，建立了台风中心自动定位的最优目标函数，通过求解自动计算出了台风中心位置；最后，通过用北半球的台风呈逆时针方向旋转这一物理过程对台风中心位置进行约束，实现了台风中心准确的自动定位，并进行了仿真实验。

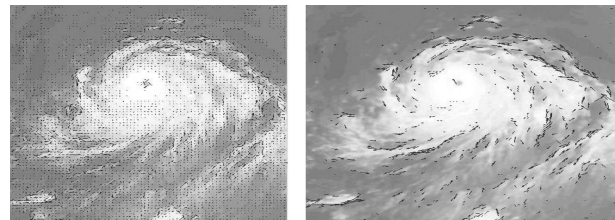
2 台风中心的自动定位方法

本文的数据来源于FY-2C卫星的红外通道(波长为 $10.5\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$)，利用这些数据对观

测区域可实施多时次的频繁监测，在重大灾害性气候(台风、洪水)预报中可发挥不可替代的作用。利用FY-2C卫星的红外通道图像进行台风中心自动定位的方案如下。

2.1 自动提取红外云图中的云运动矢量主方向

台风顶部的云运动矢量与云图灰度梯度的切线矢量具有很强的相关性^[1,2,8,9]，由云图的灰度梯度可计算云运动矢量的方向 θ_{ij} 。云运动矢量的角度定义为以正北方向为零度，顺时针旋转进行确定， θ_{ij} 满足 $\theta_{ij} \perp \phi_{ij}$ ， ϕ_{ij} 为灰度梯度的方向。图1(a)为从2005年7月16日03时的FY-2C卫星云图中通过计算得到的云运动矢量分布图，图中的蓝色箭头代表云运动矢量。从图1中可以看出，云运动矢量分布杂乱，不能有效地表征云运动矢量场的分布特征。



(a)

(b)

图1 (a)从2005-07-16 03:00:00 FY-2C卫星云图中获得的云运动矢量分布特征图像；(b)从2005-07-16 03:00:00 FY-2C卫星云图中获得的云运动矢量主方向分布图

为了提高自动定位的准确度以及提取云运动矢量场的主要分布特征，对云运动矢量场进行主方向自动提取：对于 $N \times N$ 个像素组成的卫星云图区域，中心点 (m, n) 的角度由 N^2 个点的角度决定，即满足 $\sum \Delta\theta_{ij} \rightarrow \min_{\theta_{mn}}$ 约束，其中 θ_{ij} 为 N^2 个点的云运动矢量角度，而 $\Delta\theta_{ij} = \min\{|\theta_{ij} - \theta_{mn}|, |\theta_{ij} - \theta_{mn} - 360^\circ|\}$ 。图1(b)中的蓝色箭头即为2005年7月16日03时FY-2C卫星红外云图中的云运动矢量主方向，从中可以看出台风的旋转特性以及位于北半球的台风是按逆时针方向旋转的，可对台风的运动特征有效地进行定量描述。

2.2 台风中心自动定位最优目标函数的构建及求解

依据台风密闭云区具有类似圆形的性质, 以圆的几何特性为约束, 根据云运动矢量主方向应与台风密闭云区半径相垂直的原理, 建立台风中心自动定位的最优约束目标函数:

对于云图中的任一点 $X_i = (x_i, y_i)$, 在半径 R 内计算圆心 $X_o = (x_o, y_o)$ 的目标函数为

$$\min_{x,y} = \sum \langle r'_i, d_i \rangle^2 \quad (1)$$

$$r_i = (x_i - x_o, y_i - y_o)', d_i = (\cos \theta_i, \sin \theta_i)' \quad (2)$$

约束条件为

$$\|X_i - X_o\| < R \quad (3)$$

令:

$$\begin{cases} \xi = \sum \sin^2 \theta_i \\ \gamma = \sum \sin \theta_i \cos \theta_i \\ \beta = \sum \cos^2 \theta_i \\ s_1 = \sum (x_i \cos^2 \theta_i + y_i \sin \theta_i \cos \theta_i) \\ s_2 = \sum (y_i \sin^2 \theta_i + x_i \sin \theta_i \cos \theta_i) \end{cases} \quad (4)$$

对式 (2) 求解, 台风中心位置坐标的解析解为

$$\begin{cases} x_o = (\xi s_1 - \gamma s_2) / (\beta \xi - \gamma^2) \\ y_o = (\beta s_2 - \gamma s_1) / (\beta \xi - \gamma^2) \end{cases} \quad (5)$$

图 2(a) 中蓝色的圆圈代表通过式 (5) 初步确定的台风中心, 但初步确定的圆心并没有考虑台风旋转运动方向的物理约束: 位于北半球的台风应是按逆时针方向旋转的, 位于南半球的台风应是按顺时针方向旋转的。因此, 图 2(a) 中多处出现了蓝色圆圈 (蓝色圆圈代表初步确定的台风中心)。由于我们所利用的卫星云图的表示范围为中国大陆区域, 需将按顺时针方向旋转确定的台风中心去除。

2.3 台风中心的精确定位

由于最优目标函数只考虑了圆的半径应与其切线相垂直这一约束, 未考虑位于北半球的台风云运动矢量是按逆时针方向旋转的 (如图 2(b) 所示) 这一物理现象, 应对台风中心进行精确定位, 去除不合理的计算位置, 算法步骤为:

(1) 以初步确定的台风中心位置为圆心、 R 为半径作圆, 计算云运动矢量主方向逆时针和顺时针旋转的个数;

(2) 物理过程约束: 考虑在北半球的台风云系中逆时针云运动矢量主方向为主导的主要特征, 建立以下约束条件:

$$\begin{aligned} & Anti_Num(i) / (Anti_Num(i) \\ & + Close_Num(i)) > p \end{aligned} \quad (6)$$

式中, i 代表圆的个数, $Anti_Num(i)$ 、 $Close_Num(i)$ 分别为每一个圆中逆时针和顺时针云运动矢量主方向的个数。 p 代表逆时针云运动矢量主方向所占的比率, 经过这样的条件约束后得到的台风中心及其所确定的圆符合北半球台风逆时针旋转的状况。

(3) 确定台风中心位置。对用上述方案处理后的台风中心位置进行平均并将其作为中心, 在半径内再进行搜索, 按式 (1) 和式 (6) 计算中心点的坐标, 此点即为精确定位后的台风中心位置, 结果如图 3 所示。蓝色圆圈代表定位的台风中心, 它正好与云图中的台风眼区重合。

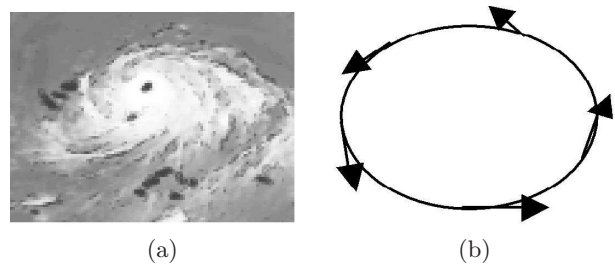


图 2 (a) 根据 2005-07-16 03:00:00 FY-2C 卫星云图初步确定的台风中心分布示意图; (b) 北半球台风的风场方向示意

3 仿真实验

采用本文提出的自动定位算法, 参数 R 取为 70 个像数, p 为 85%, 对 2005 年 07 月 15 日 06 时至 2005 年 07 月 17 日 06 时的逐时次“海棠”台风的 FY-2C 卫星云图进行了台风中心自动定位。图 4、图 5、图 6 分别为 2005 年 7 月 15 日 7 时、2005 年 7 月 16 日 7 时和 2005 年 7 月 17 日 7 时的台风中心自动定位的结果图, 其余图略, 其中的矢量为云运动矢量主方向, 十字中心为定位的台风中心位置。

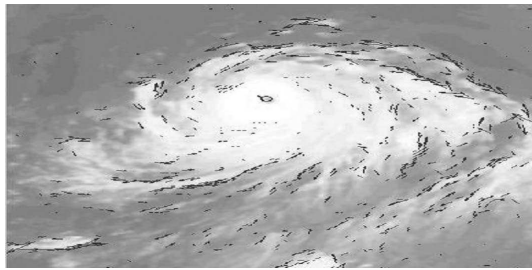


图3 对2005-07-16-03时的FY-2C卫星云图精确定位后得到的台风中心结果图

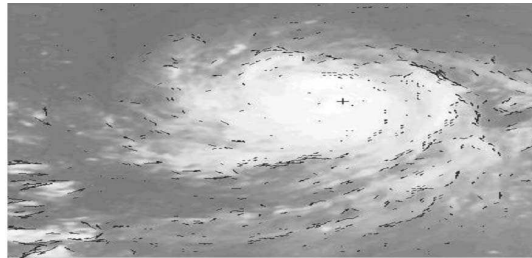


图4 2005-07-15-07时的台风中心自动定位结果图

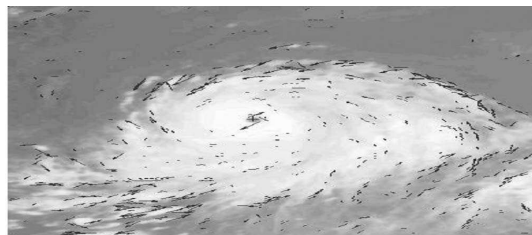


图5 2005-07-16-07时的台风中心自动定位结果图

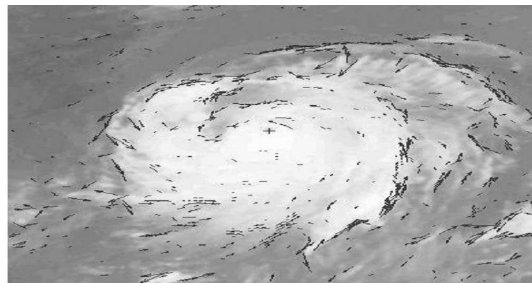


图6 2005-07-17-07时的台风中心自动定位结果图

本文的算法在综合考虑台风运动学原理和台风形态特征的基础上建立了台风中心定位的最优目标函数。通过求解可得到台风中心的位置,克服了传统手工定位方法的不确定性,具有自动化程度高、定位精度高的优点。

4 结束语

本文利用红外卫星云图对台风中心位置进行精确定位,建立了一种通用性好,实用性强,自动化、智能化程度较高的算法,实现了有眼和无眼台风的自动定位:

1. 根据台风以及天气诊断学原理,提出了基于红外卫星云图的云运动矢量主方向提取方法。

2. 依据台风密闭云区具有类似圆的几何形态,以台风云运动矢量主方向与圆的半径相垂直为约束,构建了台风中心自动定位的最优目标函数,并求出了解析解。

3. 将位于北半球的台风呈逆时针方向旋转这一物理过程作为约束条件,对台风中心进行精确定位,

4. 仿真实验表明,用本文提出的算法可对台风中心位置进行精确自动定位,且定位的精度较高。下一步,将对目标函数进行改进,以进一步提高定位精度。

参考文献

- [1] 陈渭民. 卫星气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [2] Tsang-Long Pao, Jun-Heng Yeh, Min-Yen Liu, et al. Locating the Typhoon Center from the IR Satellite Cloud Images [C]. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2006: 484-488.
- [3] P Wang, P L Yamg, W L Li, et al. Extracting the Rotation Feature of the Developing Typhoon [C]. in Proc. 4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Conference on Machine Cybernetics, 2005(8): 5229-5234.
- [4] Q P Zhang, L L Lai, W C Sun. Intelligent Location of Tropical Cyclone Center [C]. in Proc. 4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2005(1): 423-428.
- [5] P Wang, P L Yamg, W L Li, et al. An Elastic Contour Matching Model for Tropical Cyclone Pattern Recognition [C]. IEEE Trans on International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2001: 413-417.
- [6] 刘凯, 黄峰, 罗坚. 台风螺旋云带骨架跟踪方法的研究 [J]. 计算机工程, 2001, 27(10): 52-154.
- [7] 王燕燕, 叶臻, 孙尉迟. 台风中心的旋转定位 [J]. 中国图像图形学报, 2002, 7A(5): 491-494.
- [8] Scorer R S. *Cloud Investigation by Satellite* [M]. Ellis Horwood, 1986.
- [9] A I Aleksanin, M G Aleksanina. Quantitative Analysis of Thermal Sea Surface Structures on NOAA IR Images [C]. in Proceedings of CREAMS'2000, 2001: 158-165.