

台风中心的旋转定位

王燕燕 叶臻 孙慰迟

(复旦大学计算机科学系, 上海 200433)

摘要 台风在大气中绕着自己的中心急速旋转、同时又向前移动的空气涡旋。由于台风中心集中了台风绝大部分的能量和含水量,也是台风破坏力集中的地方,因为台风中心的定位对于台风路径预测和灾害预报来说都是非常重要的。传统的台风中心定位方式精度低,误差大,难以满足实际需要。为了准确地进行台风中心的定位,根据台风卫星云图的数字化特征和台风运动规律,提出了旋转定位方式。它的理论基础是,根据运动学和台风学原理,台风虽然是非刚性物体,但是其中心部分可相对看成是刚体的运动,因为热带气旋中心具有转动矢量为零的特点。这样,在卫星云图序列动画中,找出前后两次相应特征点的轨迹,即可算出其中的转动原点,也就是转动矢量为零的点。由于该方法结合了云图特性和运动因素,因而提高了精度和合理性。由此可见,对于台风这样的运动物体,结合其运动特征的中心定位法是台风中心定位的必然方向。

关键词 序列动画 平动/转动 反馈

中图法分类号: TP391.41 P413 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)05-0491-04

Typhoon Center Locating Using Rotation Feature Matching Method

WANG Yan-yan, YE Zhen, SUN Wei-chi

(Department of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract Typhoon is a kind of atmosphere swirl which spins round its center and at the same time moves along rapidly. The center collects most of the energy and the water and is the place most destroy happens. Thus its location is very important for typhoon path prediction and disaster forecasting. Typhoon center location task is the continuous research of "eighth five-year project" presided by China Meteorological Administration. The tradition prediction method is poor of precision and its error is too great to meet practical requirement. According to the satellite cloud digital image feature and typhoon movement rule, researchers co-operate with experts in shanghai central broadcast bureau and advance a new method. In this paper, the rotation matching method is mainly discussed. The method is based on the fact that although the typhoon mass is a non-rigid object, the center area can be treated as rigid object and thus the center is one point with zero rotating vector. Thus in typhoon's sequence images, one can find the matching feature points and calculate the rotation center point which has the character of zero rotation vector. This method improves the precision and objectivity. To moving objects like typhoon cyclone, location method combining its moving feature is the certain reasonable way.

Keywords Sequence images, Translate/rotate, Feedback

0 引言

台风是大气中绕着自己的中心急速旋转、同时又向前移动的空气涡旋气流。由于它是一种发生在热带海洋上空强烈的气旋,因此又称热带风暴^[1]。它的产生受大气运动、地球自转偏向力和海面温度的

影响,由于种种限制,全球有两个主要的台风成长中心,一个是西太平洋,一个是大西洋。我国则濒临西太平洋地区,这里是全球热带气旋发生数目最多、势力最强的一个海区,它集中了全球36%^[2]以上的台风。由于台风运动速度快,能量大,常造成灾害性破坏,对我国工农业生产的影响十分巨大,因此预防和预报台风有着非常重要的实际意义。

由于台风的能力和特性主要取决于台风中心,因此台风中心定位是台风预防和预报中的一件重要的工作.目前,人类使用同步气象卫星来收集云图信息,并用来分析气象变化.其中使用卫星云图的一个重要任务就是定位台风中心.卫星接收到的云图是256色、频率约为1小时一幅的连续序列图^[3].一般用于定位的当前时刻云图,它的路径文件(已经确定了前时刻台风的中心位置)是已知的.而我们的任务就是根据这些数据来确定当前时刻的台风中心.

旋转中心定位是一种根据从热带气旋中心区域的旋转结构,并从其运动估计和分析着手来进行定位的方法.虽然动态图象分析是目前进行卫星云图分析新的有效方法,它对云图分析的跟踪、预测都有实用价值,但也是也是难度最大的方法之一.因为动态图象的序列分析,目前还有很多问题尚未解决,尤其对于像云这类非刚体的运动,它的运动更复杂,形状也不时地在发生变化,加上现阶段我国卫星接收设备连续接受两幅云图的时间间隔仍很长(0.5h~1h)所以在旋转中心定位中,有必要提供良好的交互环境.

热带气旋的整体运动是平动和转动矢量的合成,虽然台风云图是非刚性的运动物体,但因为其中心区域大气压强高,密度大,而且高速运转,其中心区域在运动中的形变不大,故可近似看作是刚性物体运动.而且从理论上讲,由于热带气旋中心具有转动矢量为零的特点,因此如果能找到这样的点,即其转动矢量为零,那它就可能是台风中心点.一般,旋转中心定位只适用于台风中心点附近的特征云块的动态分析.因为在一段时间内,中心区域的云块变化远较外层云块要小,灰度变化也不是很大.另外,一般在台风中心附近,旋转运动可以等效为圆周运动,这样排除了平动的影响后,对应点就绕中心点做圆周运动,若圆心点的旋转向量为零,则其便是要寻找的气旋中心了.从数学上知,已知同心圆周上4点,要找出同心圆的圆心是很简单的,两条垂直平分线的交点就是圆心(如图1所示,其中,特征点已经消去了平移分量).这样台风中心的定位算法就集中在提取特征点、特征点的运动匹配、计算热带气旋中心这3个方面,其中,提取特征点就是要找出性能比较好的,有代表性的点;匹配技术就是指在下一帧图象中,寻找与前一帧图象上一些特征点相匹配的技术,并对下一帧图象作搜索,以寻找对应的结构,这方面的研究也有很多的成果^[4],如特征点选择和匹配的

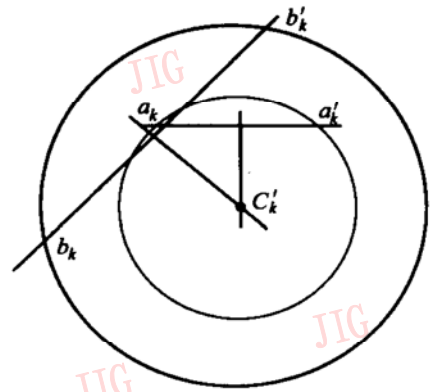


图1 旋转中心点算法示意图

Barnard 算法^[5]和经典的聚类分析方法 ISODATA 算法^[6],其中后者对形状不规则,且有很大形变的运动物体图象也有不错的效果,热带气旋中心就是根据得到的特征点及其匹配关系来进行计算,因为得到的点不能保证是理想的,所以还要采取一定的算法来优化.下面重点讨论这3方面问题.

1 选择特征点

对卫星云图图象 $f(x_i, y_i, t_{k-1})$, $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$, 首先选择一小的处理窗口 $W_{l,h}$, l, h 为处理窗口行和列的大小;然后根据台风云系具体的情况选择一阈值 T 将 $W_{l,h}$ 内图象进行二值化,从而增强出特征云块,同时计算出二值化后的 $W_{l,h}$ 内图象的形心 (C_x^w, C_y^w) , 并将其作为特征云块的特征点^[7]. 其中

$$C_x^w = m(1, 0) / m(0, 0)$$

$$C_y^w = m(0, 1) / m(0, 0)$$

$$m(u, v) = \sum_{x_i=1}^l \sum_{y_j=1}^h f(x_i, y_j) x_i^u y_j^v$$

由于形心具有良好的性质,而且计算复杂性不大,因此是最常用的特征点.除了形心外,还可以选取与4个方向相邻象素点的灰度方差最大^[3]的象素点为特征点.一般来说,选择的特征点应具有较好的不变性和能较好地适应几何变形,以减少匹配的复杂度.

2 运动匹配

就现有的技术来看,匹配的方式不外乎如下3种:(1) 首先计算第1幅图象的某一个特征元素,然后在第2幅图象中寻找与其相关的特征元素,以便匹配;(2) 在两幅图象中计算出各自的一组特征元素,然后用图论和松弛迭代的算法来进行匹配;(3)

在两幅图象中计算出各自的一组特征元素, 然后使用一个相关函数来求出与其极大值对应的自变量集, 就完成一组匹配. 其采用的匹配算法如下:

(1) 互相关算法

虽然互相关方法可以避免特征点易发生的匹配错误, 同时其相关处理的窗口尺寸可以变化, 但由于其运算量很大, 而且对形变很显著的云块匹配精度也较差, 因此一般只适用于紧靠热带气旋中心且形变不大的云块.

(2) 不变矩算法

矩是灰度图象区域的一个重要特征. 它具有旋转、平移和比例不变性.

(3) 多层次方法

传统的光流计算只是在一个图象分辨率上进行, 其对时间间隔较大的图象就不适合了. 由于卫星云图相邻两幅连续图象的采样时间较长, 所以应考虑层次性的方法, 层次性的方法也是解决大位移最鲁棒性的方法.

(4) 交互式图象序列自动匹配方法

自动的匹配是非常困难的任务. 在系统中, 为避免陷入困难的自动匹配过程, 一个折衷的解决匹配问题的途径是采用启发式的方法, 比如相关系数, 不变矩等方法, 并通过人工干预, 选择可能的匹配窗口来执行相应的相关匹配运算.

交互式匹配算法如下:

(1) 对于两幅连续时刻 t_1, t_2 的运动图象 $P_1(x_1, y_1, t_1)$ 和 $P_2(x_2, y_2, t_2)$, 在 P_1 取特征窗口 A_{i1} , 并计算窗口内的特征点 (x_{i1}, y_{i1}) .

(2) 在图象 $P_2(x_2, y_2, t_2)$ 中, 用人工方法选取待匹配的区域 Q_{i2} .

(3) 在区域 Q_{i2} 中, 计算窗口 B_{i2} 与 A_{i1} 的互相关系数 R . 再比较所有的 R 值, 与其最大值对应的窗口 B'_{i2} , 即为候选的匹配窗口.

(4) 同样, 计算窗口 B_{i2} 和 A_{i1} 上的不变矩组, 再比较所有的判别函数

$$\left| \sum_{i=1,2,4,7} k_i M_i^{t-1} - \sum_{i=1,2,4,7} k_i M_i^t \right|$$

与其最小值对应的窗口 B''_{i2} 即为候选的匹配窗口.

(5) 比较两个候选窗口 B'_{i2}, B''_{i2} , 若 $B'_{i2} = B''_{i2}$, 则匹配成功, 否则, 该匹配失败. 转入步骤(7).

(6) 若匹配成功, 则可计算出匹配窗口内的相应特征点 (x_{i2}, y_{i2}) , 且点 (x_{i1}, y_{i1}) 与点 (x_{i2}, y_{i2}) 即为一对匹配特征点.

(7) 算法结束.

重复执行此算法, 就可得到多个匹配的特征点.

3 计算旋转中心

利用特征点的选择和匹配, 就可以获得特征云块在两幅卫星云图图象上的视差. 如果能够分解出特征点的平移分量和旋转分量, 那么利用两个特征点的运动信息就可以计算出热带气旋的旋转中心. 但是由于台风云图的形变很迅速, 因此通过上面方法得到的特征点不是理想状态下的特征点, 这就需要在进行计算的时候, 不能仅简单使用算法示意图上的理论算法, 而关键是要通过估算出特征点的平移运动分量和旋转运动分量来抵消掉平移分量. 由于通过动态图象分析仪可以获得特征点的视差或瞬时位置速度信息, 而没有足够的信息可以将其分解为平移分量和旋转分量, 所以本文利用了自动控制领域里的反馈概念来解决这个问题.

如图 2 所示, 在负反馈的闭环控制系统中, 通过比较输出量 y 和给定值 w , 以构成误差信号 $e = w - y$. 利用这个误差, 可以使系统趋向减少误差, 以使误差为零, 从而使输出量 y 达到趋于给定值 w 的控制目的.

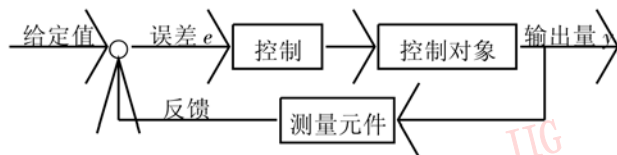


图 2 闭环控制系统示意图

同理, 在热带气旋的旋转中心定位中, 对于两幅连续时刻 t_{k-1}, t_k 的卫星云图图象 $P_{k-1}(x_i, y_j, t_{k-1})$ 和 $P_k(x_i, y_j, t_k)$, 已知 t_{k-1} 时刻的台风中心位置 C_{k-1} , 现在要求出最新时刻 t_k 的热带气旋中心. 这样, 利用前面所讨论的插值外推定位法, 就可计算出外推中心位置 C_k , 并将其作为给定的初始值, 同时可以假定热带气旋运动的平移矢量为 $u = \overrightarrow{C_{k-1}C_k}$. 假设在 t_{k-1} 时刻的图象 $P_{k-1}(x_i, y_j, t_{k-1})$ 中心附近选择出两个特征点 a_{k-1}, b_{k-1} , 利用特征点匹配, 在 t_k 时刻的图象中找到其对应的匹配点, 记为 a'_k, b'_k , 根据平移矢量 u , 就可以计算出抵消了平移矢量后的 a_{k-1}, b_{k-1} 在图象 $P_k(x_i, y_j, t_k)$ 中的匹配点记为 a'_k, b'_k . 这样在图象 $P_k(x_i, y_j, t_k)$ 中, 特征点 a'_k 对应于 a_k, b'_k 对应于 b_k , 之间只由旋转运动矢量 v 决定, 也就是说, 特征点 a'_k 和 a_k 位于以热带气旋中心为圆

心的同一圆周上,而特征点 b'_k 和 b_k 位于另一圆周或同一圆周上,此时只要求出线段 $a'_k a_k, b'_k b_k$ 的垂直平分线 l_k, m_k , 则 l_k 和 m_k 的交点,即为热带气旋的中心点 C'_k ,也是反馈系统的输出结果.其误差为 $e = |\overrightarrow{C'_k} - \overrightarrow{C_k}|$ (或表示为向量 $e = (\overrightarrow{C'_k} - \overrightarrow{C_k})$,说明得到的 C'_k 存在一定的误差,此时必须将误差 e 反馈至输入量,即利用误差 e 修正初始值 C_k ,重复以上的步骤进行迭代.停止迭代的条件为:①当误差 e 小于预先设定的误差范围 ξ ,则停止计算;②若在第 m 次迭代中得到最小误差 e ,且再经过 N 次迭代后,最小误差仍为 e ,则停止计算,并输出结果 C'_k .

旋转中心定位法的流程框图见图3.其中,变量 $temp$ 最初应赋予一个很大的值.

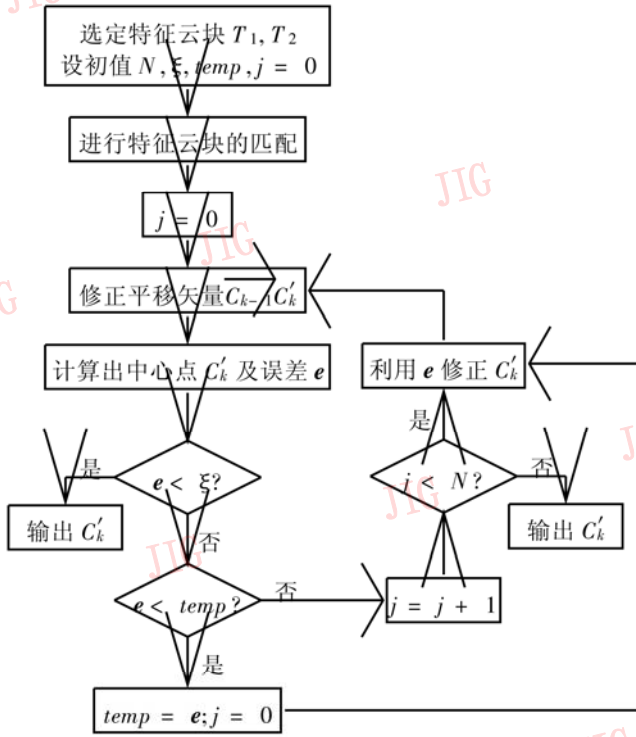


图3 旋转中心定位法流程框图

用本文方法对1997年第11号台风8月17日20时和21时的卫星云图进行试验所获得的数据(经纬度坐标)如表1所示(其中迭代停止的条件采用了前面所述的第②个条件, N 的值取为8,实验中共迭代了10次).

表1 用本文算法计算得到的1997年第11号台风20~21时台风中心经纬度坐标

	经度	纬度
20时云块特征点1	125.9°	25.6°
21时云块特征点1的对应点	125.6°	25.4°
20时云块特征点2	125.5°	25.7°
21时云块特征点2的对应点	125.4°	25.2°
计算得到的旋转中心点	125.7°	25.4°
《台风年鉴》21时实况	125.9°	25.4°

由于本算法考虑了台风云图运动中的相关性,因而相对于传统方法只利用前面时刻台风路径的外推点和当前时刻云图形态进行分析来说,更为合理,尤其对于前后两帧运动差异较大的台风卫星云图来说,由于外推点本身误差较大,因此以它为标准进行当前时刻台风中心点的预测,其误差将不能满足精度要求.目前,从用本文算法对以往的热带气旋所做的实验来看,实验结果还是比较理想的,其定位的精度能够满足要求(30km以内),一般可以达到22~23km左右或更好.当然限于手上的资料,目前实验的次数还不够多.由于非刚体的分析本身就是有相当难度的,而且台风云图在两次数据采集间的形变相当严重,因此给本算法带来了很大困难,为解决此问题,一方面有待于非刚体的研究的深入,以便带来理论上的突破,另一方面就是通过提高数据采集频率,即减少两次卫星云图数据采集之间的时间间隔,以克服卫星云图形变带来的误差,也是行之有效的方法.

参考文献

- 1 王志烈,许以平. 台风[M]. 北京:气象出版社,1979.
- 2 中国科学院大气物理研究所,中央气象局气象台等. 卫星云图使用手册[M]. 北京:农业出版社,1975.
- 3 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979.
- 4 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京:科学出版社,1992.
- 5 Barnard S T, Thompson W B. Disparity analysis of images[J]. IEEE Trans, Pattern Anal. Mach. Intell., 1980, PAMI-2(4): 333~340.
- 6 Endlich R M, Wolf D E, Hall D J et al. Use of a pattern recognition technique for determining cloud motions from sequences of satellite photographs[J]. Journal of Applied Meteorology, 1971, 10: 105~117.
- 7 吴敏金. 图象形态学[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1991.



王燕燕 1978年生,1999年获复旦大学计算机系学士学位,现为复旦大学计算机系硕士研究生.主要从事图象处理及计算机网络方面的研究工作.

叶臻 1973年生,1999年获复旦大学计算机系硕士学位.主要研究方向为遗传算法、图象处理.

孙慰迟 1946年生,复旦大学计算机系副教授.主要研究方向为模糊数学、人工智能、图象处理等.