

# 基于纹理方向整体分布特征的 台风自动识别方法

郝玉龙<sup>1)</sup> 程宝义<sup>1)</sup> 范茵<sup>2)</sup> 张宏军<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007) <sup>2)</sup>(解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

**摘要** 为实现卫星云图上台风的自动识别,提出了一种基于纹理方向整体分布特征的台风云系图象自动识别方法.通过引入矢量矩的概念来表征图象纹理整体分布规律.该识别方法采用全局搜索方式,将一窗口在整幅图象上滑动,首先计算出窗口图象内各点的纹理方向,进而得出窗口图象的矢量矩,将矢量矩与阈值比较来判断整幅图象是否为台风云系图象.实验结果表明,该方法能够识别不同类型和不同发展阶段的台风云系图象,能够很好地将台风云系与其他干扰云系区分开,具有较广泛的适应性和较高的识别率.

**关键词** 图象识别 纹理分析 台风

**中图分类号**: TP391.41 P413 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)12-1319-04

## Auto-recognition of Typhoon Based on the Character of Layout of Texture Direction

HAO Yu-long<sup>1)</sup>, CHENG Bao-yi<sup>1)</sup>, FAN Yin<sup>2)</sup>, ZHANG Hong-jun<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Engineering Institute of Engineering Corps, PLA Univ. of Sci. &Tech. Nanjing 210007)

<sup>2)</sup>(Institute of weather PLA Univ. of Sci. &Tech. Nanjing 211101)

**Abstract** In order to auto-recognize typhoon on satellite pictures, an algorithm is proposed in the paper, which is based on the character of layout of texture direction. The texture direction of typhoon in the satellite pictures disposes with obvious character. A new conception named vector-square is introduced to measure the character of texture direction of an image. The process of how to calculate the vector-square is presented in detail. According the algorithm, a small window is slid throughout the image, at the same time, the texture direction of every pixel in the window and the vector-square of the window are worked out. The size of the sliding window can be adjusted automatically to cope with various typhoon images. Compared the vector-square with the threshold, it is clear whether or not it is a map of typhoon. The threshold of vector-square would be adjusted according the intensity of typhoon to enhance the adaptability of the algorithm. The result proved that the algorithm is accurate and widely available, which can recognize typhoons in different types and phases.

**Keywords** Image recognition, Texture analysis, Typhoon

## 0 引言

台风是一种强破坏性热带气旋,加强台风预报以减少损失,已成为人民迫切需要和气象业务当务之急.国内外科技工作者利用气象卫星云图在台风云系的自动识别方面已做了大量研究工作.李俊和周凤仙选用光谱辐射强度和纹理结构作为特征,采用动态模

糊聚类的方法进行台风云系的自动识别<sup>[1]</sup>;王耀生采用数学形态学提取结构基元,利用句法模式识别对台风云系进行自动分类与识别<sup>[2]</sup>;于波等利用统计的方法计算出台风云系图象的纹理特征,然后结合模糊判别技术,利用多层神经网络对台风云系图象实现自动识别<sup>[3]</sup>;Lee 同样也采用多层神经网络实现了台风云系的自动识别<sup>[4]</sup>.但上述识别方法准确率都不高,原因主要在于:上述方法都是基于台风云系的某一特定

特征,如纹理、形状等来对台风云系进行识别的,而台风是一持续时间较长的天气过程,在它自身的发生、发展、成熟、消亡的过程中,由于外部大气环流以及内部环流、水汽等差异的影响,使得台风云系在不同阶段表现出不同纹理、形状等特征,因此上述基于某一特定特征的识别方法在识别不同发展阶段的台风上表现出较大的局限性。

台风云系是由位于台风中心处的气流在上升过程中,以气旋形式向外辐散形成的,在图象纹理特征上表现为台风云系图象上各点纹理方向围绕台风中心以近似气旋的形式分布(如图 1 所示)。台风云图纹理方向的这种整体分布特性是由台风气流运动所决定的,是台风本质特征的准确体现。因此不管台风处于任何发展阶段,它的螺旋云带是否完整,都能根据图象纹理方向的整体分布特征来识别台风云系。本文引入概念图象矢量矩来表征图象纹理方向整体分布规律,并根据矢量矩的大小来自动识别台风云系。

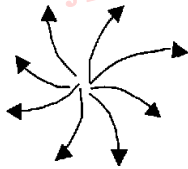


图 1 台风纹理方向分布示意图

### 1 算法描述

#### 1.1 纹理方向特征的提取

纹理方向特征的提取方法常见的有频谱分析法、灰度共生矩阵等<sup>[5]</sup>。设图象  $f(i, j)$  的傅立叶频谱为  $|F(u, v)|$ , 它的功率谱为

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2$$

将  $P(u, v)$  转换为极坐标  $H(\rho, \theta)$ , 其中

$$\rho = \sqrt{u^2 + v^2}, \theta = \arctan(v/u)$$

将频率平面上相同  $\theta$  径向上的谱成分作求和运算, 得到图象的径向谱能量  $s(\theta)$

$$s(\theta) = \sum_{\rho=0}^{\rho_{\max}} H(\rho, \theta) \quad (1)$$

由于周期性的灰度变化的方向  $\theta$  总是和纹理方向相垂直, 因此从  $s(\theta)$  随着  $\theta$  变化的曲线就可以判别图象纹理的方向性<sup>[6]</sup>。如果  $s(\theta)$  曲线在  $\theta = \alpha$  出现强度很大的峰值, 则说明图象中存在大量垂直于  $\alpha$  方向的纹理。相反, 如果  $s(\theta)$  曲线在各点的差异都不

大, 则说明图象纹理方向杂乱, 规则性差。图 2 是一幅纹理特征比较明显的图象, 图 3 是它的径向谱能量曲线, 由图 3 曲线可以看出,  $s(\theta)$  曲线在  $\theta = 3 \times \pi/4$  和  $7 \times \pi/4$  处存在 2 个峰值, 这主要是因为纹理方向是一条直线, 其在坐标系中, 对应于 2 个方向(两个方向间相差  $\pi$ )。台风云系中心处灰度较高, 边缘处灰度较低, 气流从中心向四周发散。为使纹理方向能够反映出气流的运动方向, 规定: 沿纹理方向灰度由高到低变化(简称原则 1)。这样一幅图象则对应唯一的纹理方向。对于图 2, 根据  $s(\theta)$  曲线以及原则 1, 可确定图象的纹理方向为  $\pi/4$ 。



图 2 纹理示意图象

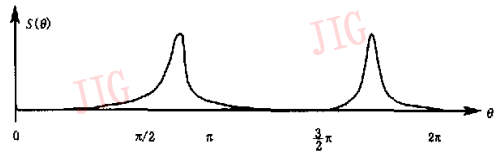


图 3 图 2 的  $s(\theta)$ - $\theta$  曲线

#### 1.2 纹理方向整体分布特征的提取

为表征台风云系周围点的纹理方向围绕台风中心, 以近似气旋的形式分布这一整体特征, 定义图象中心位置处的点为轴点  $F$ , 对于图象中的每一点  $i$ , 定义一属性矢量  $f_i$ ,  $f_i$  的方向为点  $i$  的纹理方向  $\theta_i$ ,  $f_i$  的大小为点  $i$  与轴点  $F$  的像素距离  $d_i$  的倒数。为表示图象纹理方向整体分布特征, 引入矢量矩这一新概念。

矢量矩  $W_F$ :

$$W_F = 1/d_i \times \text{sign}(\varphi_i) \quad (2)$$

$d_i = \sqrt{(F_x - i_x)^2 + (F_y - i_y)^2}$ , 其中  $F_x, F_y, i_x, i_y$  分别为轴点  $F$  与图象内任意一点  $i$  的  $x, y$  坐标。  $\varphi_i$  为点  $F$  到点  $i$  方向  $f_i$  与纹理方向  $\theta_i$  的夹角。(  $\varphi_i$  以  $f_i$  为起始边, 沿逆时针方向旋转)。  $\text{sign}(\varphi_i)$  为一阶跃函数,  $\text{sign}(\varphi_i) = \begin{cases} -1, & 0 < \varphi_i < \pi \\ 1, & \pi < \varphi_i < 2\pi \end{cases}$ 。若  $\text{sign}(\varphi_i) = -1$ , 则表示矢量矩有以  $F$  为轴点, 沿顺时针方向旋转的趋

势,若  $\text{sign}(\varphi)=1$ ,则表示矢量矩有以  $F$  为轴点沿逆时针方向旋转的趋势.

用轴点  $F$  到点  $i$  的距离的倒数  $1/d_{fi}$  来对矢量矩进行加权,使得距离因素在矢量矩的计算中得以体现. $d_{fi}$  越大,表明  $i$  点与轴点  $F$  的距离越大,则它们之间的相关性  $1/d_{fi}$  就越小,点  $i$  对轴点  $F$  的影响作用也越小;反之, $d_{fi}$  越小,表明点  $i$  与轴点  $F$  的距离越小,则它们之间的相关性  $1/d_{fi}$  就越大,点  $i$  对轴点  $F$  的影响作用也越大.

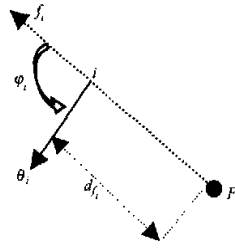


图 4 矢量矩的定义

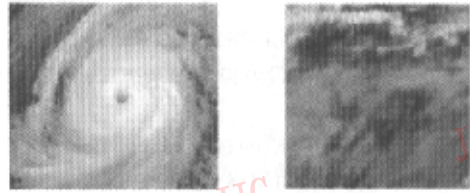
定义图象矢量矩  $W$  为图象中,除中心点以外所有点围绕中心点旋转的矢量矩之和的绝对值.图象大小为  $M$  行  $N$  列.

$$W = \left| \sum_i^M \sum_j^N \frac{1}{\sqrt{(M/2-i)^2 + (N/2-j)^2}} \times \text{sign}(\varphi_i) \right| \quad (3)$$

其中  $i, j$  为图象中任意点  $P$  的坐标,  $i \neq M/2$ , 且  $j \neq N/2$ ,  $\varphi_i$  为中心点  $P$  到点  $R$  的方向与纹理方向的夹角.  $W$  表示出图象内所有点(不包括中心点)围绕中心点旋转的总趋势大小.  $W$  取绝对值表明只关心这种总趋势的大小,而不关心它的方向,即旋转总趋势是顺时针方向,还是逆时针方向,因为判断台风只需要知道旋转趋势的大小就足够了.

为验证矢量矩表征纹理方向整体分布趋势的作用,取一幅台风云系图象(图 5(a))与一幅非台风云系图象(图 5(b))分别计算它们的矢量矩.

经计算得,台风云系图象(图 5(a))的矢量矩为 0.213,非台风云系图象(图 5(b))的矢量矩为 0.04. 选取 100 幅含有台风云系的图象以及 100 幅不含台风云系的图象,分别计算图象矢量矩的最大值,得到台风云系图象的最大矢量矩分布曲线以及非台风云系图象的最大矢量矩分布曲线如图 6 所示. 从图 6 可知,台风云系图象的最大矢量矩与非台风云系图象的最大矢量矩有着不同的分布特征. 因此选择一合适阈值  $K$ ,便可根据图象最大矢量矩与  $K$  的大小



(a) 台风云系图象 (矢量矩 0.213) (b) 非台风云系图象 (矢量矩 0.04)

图 5

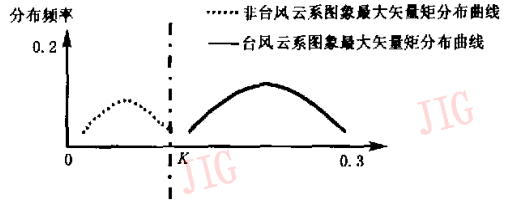


图 6 台风云系与非台风云系图象矢量矩分布曲线对比图

关系来自动识别台风.

### 1.3 算法流程

基于纹理方向整体分布特征的台风自动识别,其基本思想是:首先计算出图象内各点的纹理方向,然后用一滑动窗口在整幅图象上滑动,计算滑动窗口内图象的矢量矩,根据矢量矩与阈值的大小关系来识别该图象是否为台风云系图象.

台风自动识别算法可分为下面几步:

(1) 图象的预处理 主要包括云图除噪、校正等处理.

(2) 图象分割 由于台风云系的云层较高,其在卫星云图上表现为较深的灰度.根据台风云系的灰度特征可将卫星云图不可能存在台风的低灰度图象区域分割出.这一步主要是为了减少识别过程的计算量.分割后的结果图象仍包含完整的台风云系,所以不影响台风云系纹理方向整体分布特征的提取.

(3) 将分割后的图象划分成  $32 \times 32$  pixels 的小网格图象,计算每一网格图象的纹理方向,并将此纹理方向作为此网格图象内各点的纹理方向.在计算网格图象的纹理方向时,网格窗口的大小很重要,根据统计,台风云系的尺度范围要大于  $32 \times 32$  pixels.因此网格窗口大小设为  $32 \times 32$  pixels 可以保证不会将台风云系全部划到某一网格内,避免因此而产生的纹理方向计算错误.为适应台风的复杂多样性,在算法中采用自适应的方法.如果求得网格图象的  $s(\theta)-\theta$  曲线的峰值与曲线的均值之比小于某个阈

值,则说明网格图象的纹理比较杂乱,原因在于网格窗口过大,此时,可将此网格窗口再进一步细分为原来的1/4,但为保证纹理方向的物理意义,网格窗口不应小于 $8 \times 8$ pixels.

(4) 自适应阈值  $K$  的选取 矢量矩表征台风云系周围点的纹理方向围绕台风中心以近似气旋的形式分布这一整体特征,台风强度越大,台风云系周围点的纹理方向整体分布特征越明显,因此在选取阈值  $K$  时,有必要根据台风云系的强度特征对分割阈值  $K$  进行动态调整,取台风云系图象内所有像素点的灰度平均值作为台风强度的测度.取1000幅台风云系图象为样本,在图象中选取以台风中心点为中心,大小为 $128 \times 128$ pixels的图象区域,分别计算该区域的台风强度测度和矢量矩,建立起台风云系图象强度测度与矢量矩间的映射关系曲线(如图7所示).识别时先计算出图象强度测度,然后根据台风云系图象强度测度与矢量矩间的映射关系曲线得出相应的矢量矩,此值即为矢量矩自适应阈值  $K$ .

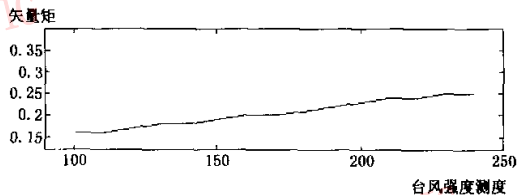


图7 图象强度测度与矢量矩间的映射关系

(5) 将 $128 \times 128$ pixels的窗口在图象上滑动,由于图象内任意一点的纹理方向在第3步中已计算出,因此可求得在每一位置滑动窗口的矢量矩.根据第4步得到矢量矩自适应阈值  $K$ ,若矢量矩大于自适应阈值  $K$ ,则可判定图象在此位置存在台风.

## 2 实验结果与分析

为验证算法的普遍适用性,选取500个样本图象进行自动识别试验,样本图象中包含有眼台风、无眼台风,处于发生、发展、成熟、消亡等各阶段的台风以及100幅高层云的干扰图象.对500幅图象的识别实验结果统计,400幅台风云系图象的识别率为89.4%;误识率为2.7%.台风漏识的原因主要是一些台风处于消亡阶段,台风云系支离破碎,使得台风云系图象的纹理方向整体分布特征不明显;误识的原因在于某些高层云受外界环境气流的作用发生卷曲,使得云系纹理方向的分布呈现一定的规律性,从而对

识别产生较大干扰.

## 3 结论

充分利用台风云系图象的纹理整体分布特征的算法,与以往其他基于单一的形状、纹理特征的识别算法相比,纹理整体分布特征更能够反映台风运动的本质特性,因此算法能适用于识别不同类型以及不同发展阶段的台风,并且具有更加广泛的普遍适用性和更高的识别准确率.

### 参考文献

- 李俊. 气象卫星台风云图的自动识别与应用[J]. 应用气象学报, 1992, 3(4): 402~409.
- 王耀生. 卫星云图的计算机自动分析与识别[J]. 气象, 1994, 20(6): 233~237.
- 于波. 模糊神经网络在云系中的识别[J]. 气象, 1996, 22(1): 452~455.
- Jonathan Lee, Ronald C. Weger, Sailes K. Sengupta. A neural network approach to cloud classification[J]. IEEE Trans. On Geo. And Remote Sensing, 1990, 28(5): 846~855.
- Peleg J, Nato R, Harley R *et al.* Multiple resolution textures analysis and classification[J]. IEEE Trans on Pami, 1985, 6(4): 518~523.
- 方如明, 蔡健荣, 许例等. 计算机图象处理技术及其在农业工程中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.



郝玉龙 1977年生,现为解放军理工大学工程兵学院博士研究生. 主要研究方向为图象处理、视景系统仿真.



程宝义 1944年生,现为解放军理工大学副校长,教授,博士生导师. 主要研究方向为地下空间环境控制、智能建筑.

范茵 1965年生,1996年在南京航空航天大学获博士学位,现为解放军理工大学气象学院副教授. 主要研究方向为图象处理、计算机视觉.

张宏军 1963年生,1999年在南京理工大学获博士学位,现为解放军理工大学工程兵学院军事仿真教研室主任,副教授. 主要研究方向为军事系统建模与仿真,发表论文20余篇.