文章编号:1006-7639(2005)-02-0050-04

纹理分析法识别静止卫星红外云图和监测汛期强对流天气系统

岳 平[1,2],刘晓云[2],郭良才[2],吕长虹[2]

(1.南京信息工程大学气象灾害国家重点实验室培育点,江苏 南京 210044; 2.甘肃省酒泉市气象局,甘肃 酒泉 735000)

摘 要: 根据空间灰度共现矩阵纹理分析原理, 制作卫星红外云图纹理分析法系统。选取 50 幅 2003～2004 年甘肃西部汛期对流性降水的 FY-2 红外云图,进行纹理特征量的计算和统计分析,并用甘肃省肃北县 2004 年 6 月 29 日 18 时的 FY-2 冰雹云的红外云图为个例进行检验。结果表明:该系统能够有效提取反映对流云团纹理特征的参数值;汛期强对流云红外云图的能量值接近 1,比惯性矩和熵的特征量大 2 个量级。

关键词: 纹理; 灰度共现矩阵;红外云图;对流 ;天气系统

中图分类号:P412.27 文献标识码:A

引 言

卫星云图是发现和监测天气系统的有效工具之一。美国在上世纪 70 年代,对静止卫星云图中云团的监测做了大量的研究, Fujita[1]利用电影动画胶片人为判断云团的移动。Endlish[2]和 Wolf[3]所研制的 SATS(SRI Automatic Tracting System)通过提取云团的特征量来监测对流云团。我国从 1969 年开始接收和利用国外的气象卫星资料, 在 20 世纪 70、80 年代,利用卫星云图,从天气学的角度,对影响我国的天气系统进行了全面的分析。文献[4～6] 对我国在卫星资料应用和处理领域开展的工作以及取得的丰硕成果进行了全面总结,主要包括:在台风和热带天气系统分析方面, 提出了台风的定位和强度估计方法,台风发生发展过程中的云型演变,赤道辐合带的特征及热带云团; 在中纬度天气系统分析方面,概括出了锋面和气旋的云型特征,尤其是在高空旋涡和梅雨锋结构等的研究方面工作更多、更深入;对高空急流、西南低涡和暴雨的降水云系特征等方面,也有相应的研究工作。特别是 1998 年我国发生了自 1954 年以来长江全流域最强的一次梅雨暴雨洪涝灾害,师春香等[7]用辐射亮度温度 T_{BB} 资料统计和分析了长江流域 4 个大暴雨时段中各自中尺度对流云团的特征,通过绘制的时间经度剖面图,较清楚地追踪到了梅雨期中的主要降水过程及其上的中尺度云团活动, 通过逐时的卫星云图及云顶亮温分析, 指出了梅雨锋上的 β 中尺度云团在地形及环境场的影响下,可以自东向西移动。郁凡等[8]对静止卫星红外云图上卷云与其它云类的纹理特征进行了比较,结果表明,用纹理分析法能够对静止卫星红外云图的云类进行识别。

强对流天气的监测和预报是短时预报的一项重要内容, 所产生的灾害性天气是汛期各种气象灾害中频率最高、灾害最严重的。但这类天气系统由于尺度小、时效短,加之西部地区气象台站稀疏,仅靠地面常规观测很难为预报提供及时的气象监测信息,而地球同步卫星能够提供大量的此类气象信息。因此利用 FY-2 气象卫星红外云图识别和监测汛期中小尺度降水系统十分重要。但是基层台站预报人员,尤其是地(市)、县两级台站的预报人员对卫星资料的释用目前仍停留在 20 世纪 70～80 年代的水平,即通过云图的宏观特征来直观地对各类云

收稿日期:2004-10-21;改回日期:2005-02-28

基金项目:酒泉市气象局创新项目(2003－05)资助

作者简介:岳平(1974-),男,甘肃静宁人,硕士,主要从事天气气候预报及研究.

图进行识别,缺乏客观性和定量性。为了更加准确地监测和预报汛期强对流天气系统,正确识别各云类至关重要,特别是对汛期强红外云团的客观及定量分析。在静止卫星红外云图上,发展旺盛的积雨云,由于生成的大气环流、云内气流及云体含水量等方面与其它云类有显著差异,因此导致云图纹理方面有明显区别。正是利用这个特点,本文用 VISUALC++6.0 高级编程语言制作“卫星云图纹理分析系统”软件,通过对图像的纹理进行分析来提取对流云图纹理特征,并据此来判断对流的强弱及制作预警系统。

1　气象云图纹理分析法

纹理是图像的一个重要特征,是物体表面灰度或颜色的某种变化,这种变化又与物体自身的属性有关,是某种纹理基元的重复。从视觉特征考虑,纹理可分为颗粒状、波动状、粗糙、平滑、规则和不规则等多种情况。但从纹理基元表现形式分析,纹理又可分为周期性纹理、准周期性纹理和随机性纹理 3 种。而纹理分析法是从对遥感图像分析技术中发展起来的。由于观测卫星的发射及大量卫星数据的广泛应用,空间信息的概念随之提了出来,而图像数据在空间分布上所包含的纹理信息是描述与识别气象卫星云图的一项重要依据。云图纹理分析就是提取图像的纹理特征,文中是用纹理分析法中的空间灰度共现矩阵纹理分析,提取气象卫星云图中强对流云(Cb)的云图特征,以应用于监测汛期中小尺度强对流天气和短时天气预报业务。

2　空间灰度共现矩阵及有关参数的物理意义

空间灰度共现矩阵[9~10],是建立在估计图像的二阶组合条件概率密度函数基础上的一种常用的重要纹理分析方法,描述的是在图像域 $Rx\times Ry$ 范围内,一对相距为 d、方向为 θ 的像素,灰度具有 i 和 j 层出现的概率,记为:$P(i,j\mid d,\theta)$,简记成 $P(i,j)$。

在图像中随机取 2 点 $A(k,l)$ 和 $B(m,n)$,使其间距为 d,2 点之间连线与轴的夹角为 θ,θ 取 0°、45°、90°、135°,点 $A(k,l)$ 和 $B(m,n)$ 所对应的灰度为 i 和 j。X 方向总像素为 Rx,记为:$Rx=\{1,2,\cdots,Nx\}$;Y 方向总像素为 Ry,记为:$Ry=\{1,2,\cdots,Ny\}$。本文给出了灰度共现矩阵常用的 4 个参数。

(1) 惯性矩

$$ASM=\sum_{i}^{Ng}\sum_{j}^{Ng}(i-j)^2\boldsymbol{P}(i,j)$$

惯性矩($0\leqslant ASM\leqslant 1$)反映图像纹理清晰程度。当 ASM 值越趋近于 1 时图像的沟纹越深;反之,图像的沟纹较浅,清晰程度差。夏季强对流云团是由于下垫面加热形成的,对流越旺盛,云顶沟纹越浅,空间灰度共现矩阵的参数——惯性矩量值越小。

(2) 能　量

$$CON=\sum_{i}^{Ng}\sum_{j}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j)^2$$

能量($CON\geqslant 0$)是灰度分布均匀性的度量,CON 越大,表明 $\boldsymbol{P}(i,j)$ 矩阵中像素的相差越大,灰度分布越不均匀。下垫面加热形成的对流云团,若对流系统越强,云顶高度越不一致,云顶灰度差异越大。因此强对流系统红外云图上图像灰度差异较大,空间灰度共现矩阵的参数——能量值越大。

(3) 熵

$$ENT=\sum_{i}^{Ng}\sum_{j}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j)\lg\boldsymbol{P}(i,j)$$

熵是度量图像纹理复杂程度的物理量,值域为:$ENT\geqslant 0$。如果图像充满着细纹理,则 $\boldsymbol{P}(i,j)$ 的数值近似相等,该图像的熵(ENT)具有的 值最大;反之,图像灰度均匀灰度共生矩阵中元素值大小相差悬殊,取值就相对较小。强对流天气红外云图纹理不均,因而空间灰度共现矩阵的参数——熵值较小。

(4) 相　关

$$COR=\frac{\sum_{i}^{Ng}\sum_{j}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j)^2-\mu_x\mu_y}{\sigma_x\sigma_y}$$

其中:

$$\mu_x=\sum_{i}^{Ng}i\sum_{j}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j);$$

$$\mu_y=\sum_{i}^{Ng}j\sum_{j}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j);$$

$$\sigma_y=\sum_{j}^{Ng}(j-\mu_y)^2\sum_{i}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j);$$

$$\sigma_x=\sum_{i}^{Ng}(i-\mu_x)^2\sum_{j}^{Ng}\boldsymbol{P}(i,j)$$

相关(COR) 用来描述 $P(i, j)$矩阵中像素的相似程度,是衡量灰度线性关系的特征量。如某图像具有水平方向的纹理,则图像在 $\theta = 0°$的灰度共现矩阵的相关值往往大于 θ 在 45°、90°和 145°的灰度共现矩阵的相关值。

3 卫星云图纹理分析系统简介

3.1 系统运行环境

气象部门的 MICAPS (气象信息综合分析处理系统)每小时提供一张静止卫星云图资料,为了能够更加充分利用气象卫星云图信息来监测汛期强对流天气,研发 卫星云图纹理分析系统" 十分必要。该分析系统由 VISUALC++6.0 编写完成,适用于 Windows95、98、NT4.0、Windows2000 和 Windows XP 等操作系统。

3.2 系统组成

该系统主要由云图显示部分和操作菜单 2 部分组成。主要操作菜单及其作用:1)" 打开云图文件"——读取 bmp 格式云图;2)" 计算特征"——计算云图纹理特征;3) 特征值显示拦。

该系统后台计算和前台界面均采用 VISUALC++6.0 面向对象编程语言处理, 系统运行稳定、界面优美、操作便捷。界面如图 1。

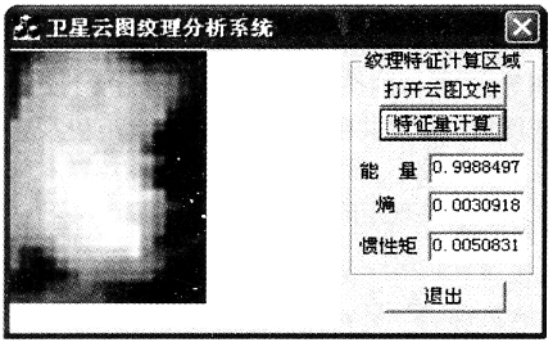

图 1 卫星云图纹理分析系统界面

Fig.1 Interface of satellite image analysis system

3.3 系统安装及操作

(1) 将编译后生成的可执行文件 cloud analysis.exe"拷贝到目标目录下,然后双击鼠标左键,可以得到图 1 界面。

(2) 用鼠标左键单击" 打开云图文件" 按钮,调用由 MICAPS 操作系统下发的红外云图, 选定要监测的地域 本文中均指酒泉地区) 的 bmp 格式图片。

(3) 用鼠标左键单击" 计算特征" 按钮,则在 卫星云图纹理分析系统"界面上相应各输出框显示如图 1 所示的空间灰度共现矩阵有关参数的具体数值。

(4) 计算完成后,用鼠标右键单击 退出"按纽即可结束操作。

4 系统检验和举例

4.1 对比分析

选取 50 幅 2003～2004 年汛期 FY-2 气象卫星提供的 bmp 格式的强对流系统红外云图,利用 卫星云图纹理分析系统"提取对流云的能量、熵和惯性矩 3 项的值。

表 1 中各值是在 50 幅汛期对流红外云图中随机抽取的 10 幅云图的灰度共现矩阵的特征量。由于强对流天气系统云顶高且灰度差别大, 因此,能量的值非常接近 1;熵和惯性矩的值接近零。根据前面对能量和熵的解释可知, 两者是负相关的特征量。这里对两者进行相关分析,可以得到它们的相关系数为 - 0.975(通过 0.01 信度检验)。

表 1 酒泉地区汛期对流云主要特征量分析值

Tab.1 The species data of convective cloud image over Jiuquan region in flood season

	惯性矩	熵	能 量
1	0.0030	0.0080	0.9968
2	0.0051	0.0043	0.9983
3	0.0041	0.0056	0.9981
4	0.0035	0.0050	0.9983
5	0.0033	0.0047	0.9983
6	0.0031	0.0048	0.9983
7	0.0038	0.0031	0.9989
8	0.0038	0.0048	0.9981
9	0.0019	0.0042	0.9985
10	0.0068	0.0049	0.9981

图 2 中,横轴表示能量(从左向右减小),纵轴表示熵(从上向下减小),通过两者在矩形中的位置可以直观得到红外云图所对应的对流性天气系统的强弱。将 卫星云图纹理分析系统"计算得到的纹理特征量对应地点绘在矩形中,左下方区域代表强对流天气,且越靠近左下角天气越剧烈;右上方区域代表相对弱的对流系统, 越靠近右上角对流越弱。其物理意义可以通过能量和熵与对流强度的关系来解释:对流越强,能量值越大,越逼近左下方,相应的熵值越小,也逼近左下方;反之,对流越弱,两

项确定的点越靠近右上方。

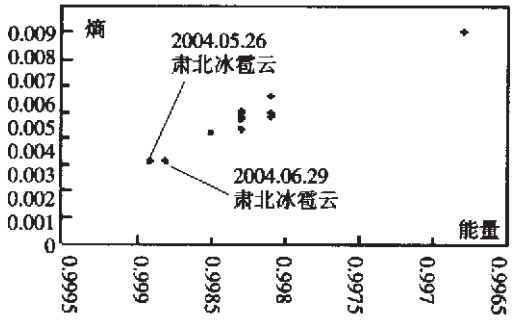

图 2　对流云图能量和熵的关系

Fig.2　The relationship between energy and entropy of convective cloud images

4.2　个例检验

图 2 中给出了 2004 年 5 月 26 日和 6 月 29 日临近降雹时的两幅 FY-2 红外云图用纹理分析法得到的能量和熵值确定的点。显然,冰雹云是在对流性天气系统中对流十分旺盛的条件下形成的,因此云顶高、云顶灰度梯度大,图像的能量和熵确定的位置更靠近左下角区域。

从 2004 年 6 月 29 日 08 时 500 hPa 高空天气图(图略)判断,酒泉市当天受浅高压脊前西西北气流控制,南部高原上有弱的西南气流;经过午后的局地加热,下午 14 时肃北站地面观测时,沿祁连山有发展的积云;从当天 14～18 时的静止卫星云图动画上看,沿祁连山有比较白亮的对流云团在缓慢北移。下午 18:26～18:28,位于祁连山脉西端的肃北县地面观测站出现降雹现象,降雹时间持续了 3 min,测得最大冰雹直径为 4 mm。对于缺少天气雷达、探空站点稀疏的西部台站,采用常规观测手段和预报方法来监测以及预报此类天气现象具有相当大的难度,而强对流天气的监测和预报又是汛期业务工作的一项重要内容。

本文运用"卫星云图纹理分析系统",提取这次强对流天气系统 18 时的 FY-2 静止卫星红外云图特征量,我们发现能量值为 0.9988,熵值为 0.0031。通过对冰雹云红外云图的空间灰度共现矩阵分析,可以知道,对流性天气系统越强,对应的红外云图的能量值越大(趋近 1),熵值则越小(趋近 0),因此,采用该系统来监测和预报汛期局地强对流天气具有很好的效果。

5　小　结

(1) 通过用灰度共现矩阵分析法可以得到静止卫星红外云图对流云的纹理特征量,从而可以定量地对识别对流。

(2) 天气系统对流越强,反映在空间灰度共现矩阵纹理分析特征值上面时,能量这项越大,越逼近 1;熵相反,越逼近 0。

(3) 从云图中提取的能量和惯性矩两项值,对监测和识别汛期强对流天气具有实际的意义,尤其是西部台站稀疏地区。

(4) 本系统提取的红外云图纹理特征量为基层气象台站预报人员客观定量地识别和判断汛期强对流天气系统提供了一种方法和工具。

参考文献:

[1] Fujita T ,Bradbnry D L, Murino C, et al.A Study of Mesoscale Cloud Motions Computed from ATS-!And Terrestrial Photographs, SMPR [Z]. Res. P a p .71,University of Chicago.1968,25.

[2] Endlish R M, Wolf D E,Hall D J, et al.Use of a pattern Recognition technique for Determing Cloud Motions from Sequence of Statel-litePhotographs[J]. J appl Meteor, 1971, 10:105-117.

[3] Hall D J, Endlish R M, Wolf D E, et al. Experiments in Automatic Cloud Tracking Using SMSGOES Data[J]. J Appl Meteor, 1977,16: 1219-1230.

[4] 陶诗言,方宗义. 气象卫星资料在中国天气分析和预报上的应用[J]. 大气科学,1979, 3(3):239-246.

[5] 方宗义,许健民,赵凤生,等.中国气象卫星和卫星气象研究的回顾和发展[J]. 气象学报, 2004, 62(5):550-562.

[6] 吕达仁,王普才,邱金桓,等.大气遥感与卫星气象学研究的进展与回顾[J]. 大气科学, 2003, 27(4):552-565.

[7] 师春香,江吉喜,方宗义,等.1998 年长江大水期间对流云团活动特征研究[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3):279-286.

[8] 郁凡,刘长盛,肖稳安,等. 静止卫星红外云图上卷云与其它云类纹理特征的比较 [J]. 南京大学学报 (自然科学), 1985,34(3): 350-358.

[9] 傅德胜, 寿亦禾. 图形图像处理学 [M]. 南京: 东南大学出版社. 2002. 349-361.

[10] 张宏林.Visval C++ 数字图像模式识别技术及工程实践 [M].北京:人民邮电出版社,2003(第二版).453-475.

(下转第 63 页)

The Sandstorm Database System Introduction in Arid Region in Northwest China

CHEN Xu-hui[1] , LU Deng-rong[1] , FENG Jian-ying[2]

(1. Lanzhou Central Meteorology Observation ,Lanzhou 730020, China;
2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Using the microsoft access database system, a database of sandstorm in arid region in Northwest China has been created . We designed system of data mining (data mining machine), data maintaining ,data querying and data interface by C/S programming structure under database environment. When normal user doesn't know data format ,the data mining machine can achieve data querying and statistics according to any condition by visual interface ,and process data by all kinds of algorithms and come up with user needful data sequence. This system can output querying results by graph ,text file ,mapping file and so on . The new data can be appended by the data maintaining system easily.

Key words: sandstorm; database; client server; data mining

(上接第 53 页)

Identification Geosynchronous Satellite Infrared Image and Detection Violent Convective Weather System in Flood Season by Textural Analysis Technique

YUE Ping[1,2], LIU Xiao-yun [2], GUO Liang-cai[2] , LU Chang-hong[2]

(1. Nanjing University of Information Science & Technology KLME, Nanjing 210044, China;
2.Jiuquan Meteorological Bureau, Jiuquan 735000, Gansu, China)

Abstract: Based on the textural analytic theory of gray scale co-occurrence matrix, the geosynchronous satellite IR image analytic system was made. Fifty pieces of FY-2 IR image, which attended by violent convective weather in the west areas of Gansu province in flood season from 2003 to 2004, were selected to compute the inertia, entropy and energy quadrature. A hail case ,which happened on 29th June,2004, was selected to validate the software system. The results show that the geosynchronous satellite IR image analytic system is good for monitoring violent convective weather system, and for the convective weather system, the getparms value of the energy is closed to the value one . On the contrary, the values of the inertia and entropy are closed to zero, the getparms value of the energy is two scalar higher than those of entropy and entropy.

Key words: texture; gray level co-occurrence matrix; IR image; convection; weather system