

基于卫星遥感图象纹理特征的云类识别方法及软件设计

蔡 艳¹, 傅德胜²

(南京气象学院 1. 大气科学系; 2. 计算机科学与技术系, 南京 210044)

摘要:介绍了基于卫星遥感资料,运用纹理学识别云类的原理、方法及软件设计。理论与实际分析表明,不同的云类对纹理敏感,纹理特征量是识别云类的良好因子。软件设计充分考虑了模块化、可视化与交互性。

关键词:卫星云图;纹理分析;软件设计;云类识别

中图分类号: P409 文献标识码: A

图象纹理分析已在许多学科得到广泛的应用。如细胞图象、金相图象等均具有明显的纹理特征,分析它们的纹理结构,可以得到鉴别细胞性质的信息及反映金相结构的物理信息^[1]。气象卫星云图大多也是纹理型的。由于生成云的大气环流、云内气流、水汽含量等的差异,导致云的形态、密度、云顶高度的不同,在云图上反映出色调、分布及纹理的多样性。正确判别卫星云图中的云类特征可为人类提供丰富的天气信息,应用于天气分析、降水预报等领域,因而十分重要。郁凡等^[2]曾作过这方面的工作。本文根据数字化卫星云图的灰度分布,抽取纹理特征量,实现云的识别与分类。

1 云类识别原理

纹理(texture)是灰度或颜色二维变化的反映,通常体现了背景上物体的特征。纹理分析在物体特征抽取和模式识别中起重要作用。气象卫星云图多是纹理型的,在红外云图上,各种云类呈现的纹理特征完全不同,所以几种不同纹理特征的云类,如卷云、积雨云、积云和层云的机器识别就可以用纹理作为一大特征。

1.1 灰度共生矩阵

灰度共生矩阵(Gray Level Cooccurrence Matrix)反映了图象中任意两点灰度的相关性,根据它可进行纹理特征的抽取及分析。

设图象中任意两点 (k, l) 和 (m, n) ,其间距为 d ,两点之间连线与 x 轴之夹角为 θ , θ 取4个方向即 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$;点 (k, l) 、 (m, n) 所对应的灰度等于 i, j 。令 x 方向总象素为 N_x , y 方向总象素为 N_y ,最高灰度级为 N_g 。记为

$$L_x = \{1, 2, \dots, N_x\}; \quad L_y = \{1, 2, \dots, N_y\}; \quad G = \{0, 1, \dots, N_g\}.$$

定义 在图象域 $L_x \times L_y$ 范围内,两个相距为 d ,方向为 θ 的象素点在图中出现的概率为灰度共生矩阵,即

$$P(i, j, d, \theta) = \# \{[(k, l), (m, n)] \mid (L_x \times L_y)(L_x \times L_y)/d, \theta, (k, l) = i, (m, n) = j\}。$$

当方向 θ 等于上述 4 个值时

$$P(i, j, d, 0^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \mid (L_x \times L_y)(L_x \times L_y)/(k - m) = 0, \\ l - n = d, (k, l) = i, (m, n) = j\};$$

$$P(i, j, d, 45^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \mid (L_x \times L_y)(L_x \times L_y)/(k - m = d, l - n = -d \\ \text{or } (k - m = -d, l - n = d); (k, l) = i, (m, n) = j\};$$

$$P(i, j, d, 90^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \mid (L_x \times L_y)(L_x \times L_y)/k - m = d, \\ l - n = 0; (k, l) = i, (m, n) = j\};$$

$$P(i, j, d, 135^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \mid (L_x \times L_y)(L_x \times L_y)/(k - m = d, l - n = -d \\ \text{or } (k - m = -d, l - n = d); (k, l) = i, (m, n) = j\}。$$

$\# \{x\}$ 表示 x 集合的元素对数。在讨论中, d 值均取 1。为表达简明, 在下面的共生矩阵中, 略去 d 和 θ , 同时, 为使共生矩阵及特征值不受区域范围的影响, 对矩阵作正规化处理

$$P(i, j) = P(i, j) / R。$$

R 是正规化常数。本文中 $N_x = N_y$, 因此, R 取值如下,

$$R = \begin{cases} N_x(N_x - 1); & \theta = 0^\circ; 90^\circ \\ (N_x - 1)(N_x - 1); & \theta = 45^\circ; 135^\circ \end{cases}。$$

对于粗纹理, 其灰度共生矩阵中的数值较大者较集中于主对角线附近, 而对于细纹理, 数值较大者却散布在远离主对角线处, 因此灰度共生矩阵可初步反映图象的纹理特征。

1.2 云图的纹理特征量

灰度共生矩阵反映了纹理特征的统计性质, 纹理特征量是对图象纹理特征的度量, 由灰度共生矩阵, 可抽取以下纹理特征量。

(1) 角二阶矩

$$ASM = \sum_i^{N_g} \sum_j^{N_g} P(i, j)^2。 \quad (1)$$

是图象灰度分布均匀性的度量。当灰度共生矩阵中元素 $P(i, j)$ 分布较集中于主对角线附近时, 说明局部区域内图象灰度分布较均匀, 从图象整体看, 纹理较粗, ASM 值相应较大; 反之, ASM 值较小。

(2) 对比度(主对角线惯性矩)

$$CON = \sum_i^{N_g} \sum_j^{N_g} (i - j)^2 P(i, j)。 \quad (2)$$

可理解为图象的清晰度, 即纹理清晰程度。对于粗纹理, $P(i, j)$ 的大数值集中于主对角线附近, 此时 $(i - j)$ 较小, 相应的 CON 值也较小; 对于细纹理则有较大的值。

(3) 相关

$$\left. \begin{aligned} COR &= \left[\sum_i^{N_g} \sum_j^{N_g} ij P(i, j) - \mu_x \mu_y \right] / (\sigma_x \sigma_y), \\ \mu_x &= \sum_i^{N_g} i \sum_j^{N_g} P(i, j); \quad \mu_y = \sum_j^{N_g} j \sum_i^{N_g} P(i, j), \\ \sigma_x^2 &= \frac{1}{N_g} \sum_i^{N_g} (i - \mu_x)^2 \sum_j^{N_g} P(i, j); \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N_g} \sum_j^{N_g} (j - \mu_y)^2 \sum_i^{N_g} P(i, j) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

用来衡量灰度共生矩阵的元素在行(列)方向的相似程度。

(4) 熵

$$ENT = \sum_i^{N_g} \sum_j^{N_g} P(i, j) \lg P(i, j) \quad (4)$$

当灰度共生矩阵中 $P(i, j)$ 数值均相等时, ENT 值最大; 反之, 若 $P(i, j)$ 的数值之间差别很大, ENT 值较小。所以能被用来度量图象的纹理特征。

对于每一方向的灰度共生矩阵, 都可计算以上 4 个特征量; 对于 4 个方向的灰度共生矩阵, 每个特征都有 4 个不同方向的值。令 $M(\theta)$ 为某个方向的特征值, $M(\theta)$ 为相应特征值均值, 则可得到角二阶矩、对比度、相关、熵的均值为

$$\left. \begin{aligned} CON &= \frac{1}{4} \sum CON(\theta), & ENT &= \frac{1}{4} \sum ENT(\theta), \\ COR &= \frac{1}{4} \sum COR(\theta), & ASM &= \frac{1}{4} \sum ASM(\theta). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

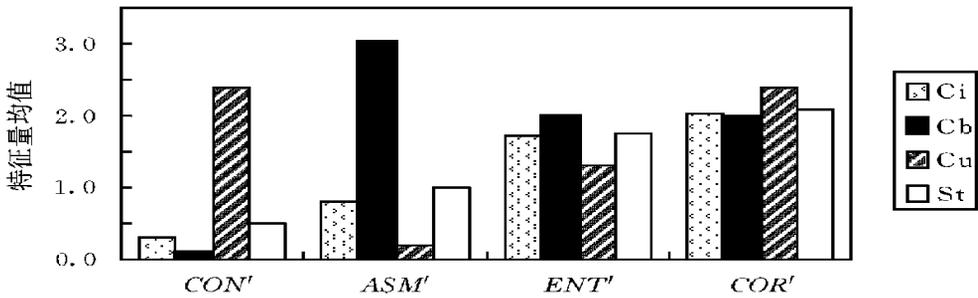


图 1 一组不同类型云样本的各纹理特征量均值

Fig. 1 Values of the texture features averaged over a sample of cloud images for types of cloud

(5) 特征量分析

从图 1 中可看出, 不同类型的云, 某些纹理特征量差异十分明显。在云图上, 我们所看到的积云一般是积云群, 由于高度不一, 形状不规则, 造成边界不整, 纹理起伏。而积雨云多为块状或云团。对于相距较小的像素点, 积云的灰度级差异大, 积雨云的灰度级差异小, 所以它们的 CON 差异大, 但另外的某些纹理特征量差异不明显。因此, 云的分类判别不能完全为单因子判别, 而须组成多因子分类方程。

1.3 分类方程

本文从实际资料中选取大量样本计算了不同类型云的各特征量, 并根据专家对样本光谱、颜色、纹理信息的分析确定不同云类的各特征量标准。

模式识别初期, 先对样本进行各特征量的单因子云类识别, 得到各特征量的单因子识别吻合率。因 4 种吻合率有差异, 因此识别云类应构造多因子分类方法, 并根据各特征量的不同吻合率赋予不同的权重参数, 吻合率高的特征量权重重大, 吻合率低的特征量权重小。通过对样本的反复多次试验, 最终确定权重参数。

多因子分类方程为

$$fuc = \alpha_1 N(CON) + \alpha_2 N(ASM) + \alpha_3 N(ENT) + \alpha_4 N(COR) \quad (6)$$

式中权重系数 $\alpha(i=1, 2, 3, 4)$ 分别为 0.45、0.40、0.09、0.06; N 为特征量项。以对比度为例,

$$N(CON) = \begin{cases} U_1, & P_0 < CON < P_1; \\ U_2, & P_1 < CON < P_2; \\ U_3, & P_2 < CON < P_3; \\ U_4, & P_3 < CON. \end{cases} \quad (7)$$

不同纹理特征量所取权重不一样, 是因为不同纹理特征量对云类的敏感程度有异。

2 软件设计

系统软件模块结构如图 2 所示。软件系统界面以弹出式主菜单为中心, 各菜单选项为立体按钮, 中文提示。用户按各项菜单和详细的屏幕提示, 可逐步完成各项功能。系统汉字字模点阵取自 UC DOS 的汉字库, 为提高运行速度, 本软件自行建立了实用汉字小字库。

2.1 图象预处理

卫星云图接收系统在制作终端产品时, 一般都在原图上套加了经纬线、海陆边界、河流等信息, 并用不同于周围的灰度表示。为进一步提高纹理抽取的质量, 采用下述方法对云图进行预处理, 以消除人为附加信息。

在 x 轴方向, 对于每个象素 $g(i, j)$, 令

$$a = [g(i + 1, j) + g(i - 1, j)] / 2 - g(i, j);$$

$$b = g(i + 1, j) - g(i - 1, j)。$$

计算表明, 当 $a > 4$ 且 $b < 2$ 时, 点 (i, j) 被认为是线条噪声, 于是

$$g(i, j) = [g(i + 1, j) + g(i - 1, j)] / 2。$$

y 方向处理方法相同, 只要将 i, j 调换即可。

经上述处理后, 除经纬交叉点, 附加信息都已去除。对剩下的孤立噪声点可用超限领域平均法去除。对每个象素点 $g(i, j)$, 令 \bar{V} 为其周围 8 个象点的平均值, 若 $\bar{V} - g(i, j)$ 大于某一线值, 就认为该象素点是“噪声点”, 相应地 $g(i, j) = \bar{V}$ 。

2.2 图象显示

软件设置屏幕分辨率为 640×480 , 16 色显示, 而原始资料为 8 bit (256 级) 灰度图象, 所以本文实现了对云图的 16 色彩色显示和灰度显示。

为提高图象显示速度及方便以后的数据处理, 先将图象数据文件通过内存缓冲区全部装入扩展内存中, 设定内存缓冲区大小为 512 字节, 利用循环结构依次装入。使用时, 每次可从扩展内存中向内存缓冲区移入一行数据, 并显示于屏幕上。在 BIOS 中断 INT 15h 中有在基本内存和扩展内存之间完成数据块传送的扩充 87h 子功能。

VGA 系列图形卡有 256 个彩色寄存器, 它们构成一张颜色对照表, 每个寄存器 18bit, 红、绿、蓝三原色各占 6 位, 三原色亮度值的不同组合便组成各种彩色, 灰度显示时屏幕象素只有亮度变化而无色彩区别, 灰度色调由彩色寄存器中的颜色值按下式组合而成。

$$\text{灰度} = \text{红色} \times 30\% + \text{绿色} \times 59\% + \text{蓝色} \times 11\%。$$

计算出灰度数据后, 重新写入彩色寄存器, 分别代替红、绿、蓝三原色的亮度值, 从而实现彩色显示到灰度显示的转换。

另外, 图象大小为 512×512 , 屏幕不能显示完整云图, 因此, 系统设计了屏幕滚行和移屏

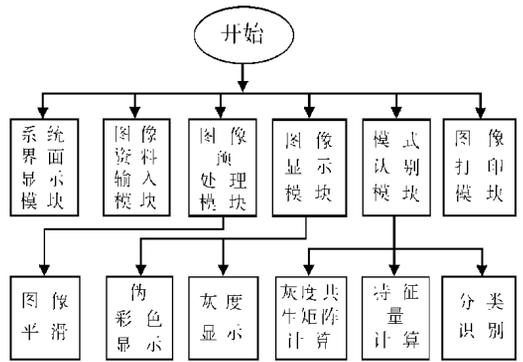


图 2 软件模块结构图

Fig. 2 Schematic of software

功能,并有详尽的功能键提示。

2.3 模式识别

经过上述的预处理后,对云图划分网格($25 \times 25, 50 \times 50$),然后计算灰度共生矩阵、特征量及分类方程,实现自动分类,并以数字形式将结果显示于屏幕。

2.4 软件设计

灰度共生矩阵的计算涉及多重循环,数据量较大,因此要求尽量降低算法的复杂度,提高效率。本算法对二维数组中一对组合的概率进行统计后,即可知别处的同一组合的概率值,所以对相同组合仅需统计一次,减少了计算量,提高了效率。图3为统计灰度共生矩阵流程。

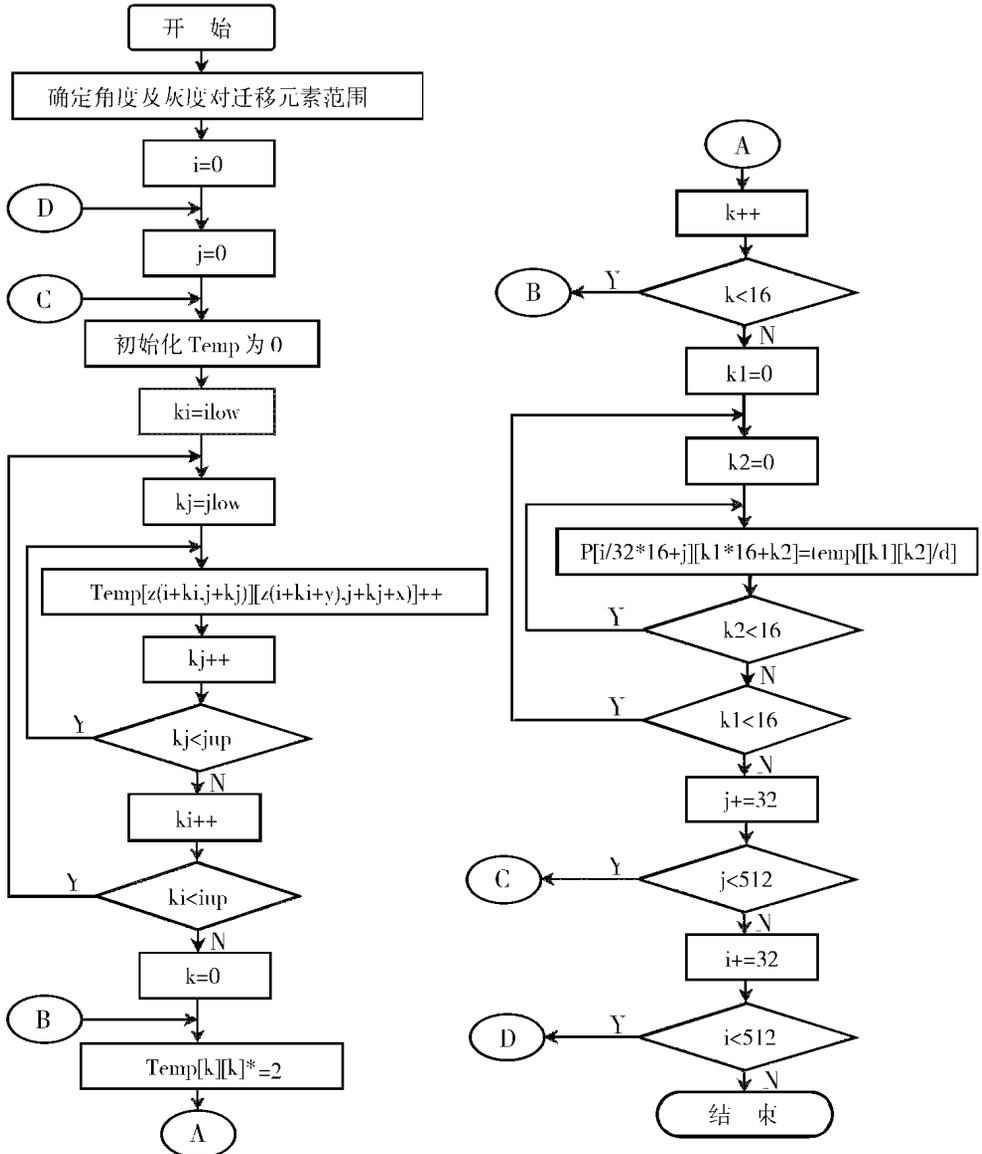


图3 统计灰度共生矩阵流程

Fig. 3 Flow chart for computing gray level co-occurrence matrix

3 实例分析

本文选取了多幅卫星云图, 对云图划分网格, 运用(8)式进行预处理之后, 运用(6)(7)式计算纹理特征量, 进行单因子识别, 然后运用分类方程进行识别, 结果较好, 与专家判断吻合率达 80% 以上, 表明本文所取的纹理特征量用于云分类是有效可行的。部分计算结果见表 1。

表 1 多次降水过程的特征量值(积云)

Table 1 Values of the texture features derived from cloudy images (cumulus) for 9 precipitation processes

降水过程	ASM					CON				
	0 °	45 °	90 °	135 °	ASM	0 °	45 °	90 °	135 °	CON
93080300	0.232	0.271	0.301	0.225	0.257	2.647	2.539	2.730	2.711	2.657
94080422	0.250	0.220	0.264	0.292	0.256	2.593	2.540	2.603	2.633	2.592
94080423	0.252	0.217	0.230	0.263	0.240	2.602	2.543	2.578	2.652	2.594
94080500	0.249	0.220	0.242	0.255	0.241	2.486	2.540	2.510	2.595	2.533
94080501	0.220	0.232	0.237	0.252	0.235	2.507	2.552	2.530	2.585	2.543
97072521	0.209	0.243	0.255	0.230	0.234	2.711	2.825	2.741	2.886	2.790
97072522	0.211	0.240	0.237	0.228	0.229	2.692	2.803	2.767	2.775	2.784
97072601	0.256	0.222	0.234	0.297	0.252	2.752	2.733	2.842	2.797	2.781
97072620	0.256	0.211	0.233	0.292	0.248	2.637	2.603	2.704	2.725	2.676
过程平均	0.237	0.230	0.248	0.258	0.243	2.625	2.631	2.667	2.707	2.657

降水过程	COR					ENT				
	0 °	45 °	90 °	135 °	COR	0 °	45 °	90 °	135 °	ENT
93080300	1.985	2.113	2.047	2.217	2.091	1.057	1.113	1.096	1.122	1.097
94080422	2.210	2.177	1.998	2.133	2.129	1.132	1.224	1.189	1.177	1.181
94080423	2.177	2.194	2.073	2.121	2.141	1.129	1.231	1.177	1.179	1.179
94080500	2.323	2.189	2.232	1.993	2.184	1.305	1.234	1.190	1.282	1.252
94080501	2.317	2.190	2.119	2.057	2.171	1.300	1.225	1.200	1.287	1.253
97072521	2.229	2.274	2.332	2.119	2.238	1.099	1.110	1.192	1.166	1.142
97072522	2.304	2.299	2.330	2.212	2.286	1.103	1.134	1.188	1.190	1.154
97072601	2.168	2.343	2.232	2.272	2.253	1.117	1.203	1.154	1.177	1.663
97072620	2.188	2.305	2.344	2.292	2.282	1.175	1.163	1.188	1.184	1.178
过程平均	2.211	2.231	2.190	2.157	2.197	1.157	1.182	1.175	1.196	1.178

4 结 语

本系统实际是将数字图象处理方法应用于卫星云图识别上。根据卫星云图上不同类型的云的纹理特征, 利用对比度、熵、相关、角二阶矩等来识别云类, 效果良好, 具有可行性, 有效开发利用了卫星遥感云图。软件界面美观简洁, 使用方便, 有良好交互性。

参 考 文 献

- [1] 岗萨雷斯 R C, 温茨 P 著. 数字图象处理. 李叔梁等译. 北京: 电子工业出版社, 1983
- [2] 郁 凡, 张培昌, 陈渭民. GMS 双光谱云图云分类微机处理系统[J]. 南京气象学院学报, 1992, 15(1): 92 ~ 102
- [3] 夏德深, 傅德胜编著. 现代图象处理技术与应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 1997
- [4] 严建新. C 语言编程技巧程序集[M]. 北京: 电子工业出版社, 1993

CLASSIFICATION OF CLOUDS BASED ON SATELLITE DATA AND ITS PROGRAM DESIGN

CAI Yan¹ FU De-sheng²

(1. Department of Atmosphere Sciences, NIM, Nanjing 210044;

2. Department of Computer Sciences and Technology, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Based on satellite images data, the paper presents a method and its principle for identifying cloud types by using texture. The program design is discussed. The theory and application indicate that different kinds of clouds have different texture features, and texture is the good factor for the classification of clouds. The modularization, visualization and interaction are considered in the program design.

Keywords: satellite cloud image; cloud texture analysis; program design; cloud classification