

南海珊瑚群礁遥感专家系统*

刘宝银 王岩峰

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

摘要 依据遥感信息及其相关联的地质、地貌、水文、气象等各种制约条件综合分析、归纳, 并运用新颖的遥感信息双树结构模型推理, 建立了南海珊瑚群礁遥感专家系统。通过光谱和像元空间关系及相关资料的综合运用, 对南海, 尤其是南沙海域不可入区的珊瑚群礁进行目标监测、识别与类型确认。

关键词 南海 珊瑚礁 遥感 专家系统

前言

南海面积达 $35 \times 10^5 \text{ km}^2$, 其岛礁众多的南沙海域由于众所周知的原因为人所瞩目, 因此对南海珊瑚群礁, 尤其对南沙群岛海域进行系统、全面的研究日趋重要。因无法得到其全面而连续的大气、海洋、地质等方面的实测资料, 加之研究程度较低, 为此研制的南海珊瑚群礁遥感专家系统引入了人工智能技术, 旨在利用遥感信息, 结合海洋、地质、水文、气象等多方面资料, 并经过目前所得到的实测资料的验证, 以常规推理机形式开发了这一专家系统。目前, 国内外尚未见有类似的研究报道, 因此本文是这方面研究的新探索。

1 系统设计

遥感信息以非线性动态映射的方式客观地反映观测区域表面的瞬时状况。这种同时具有时空性、精确性、模糊性和不确定性的信息, 若以传统的统计模型处理, 其结果不但不稳定, 而且与领域专家判读分析常有较大出入。该专家系统的主要功能是能够根据卫星遥感信息及其相关辅助数据, 自动识别目标类别, 并提供其他相关信息。整个系统建立过程示于图1。

专家系统是一种人工智能应用, 它以知识为核心。对此关于珊瑚岛礁信息则须由该领域的研究者中获取, 而且知识的获取与管理是决定整个专家系统水平的重要因素。知识获取包括知识表示和知识精练两个主要环节, 其中知识表示最为重要。一般来说, 知识表示即把描

本文于1996-02-12收到, 修改稿于1996-04-29收到。

* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 49371044)。

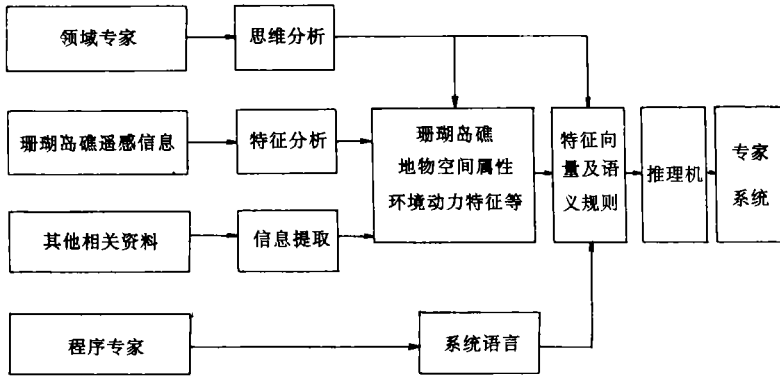


图1 珊瑚岛礁遥感信息专家系统

述规则、经验的自然语言抽象为数理逻辑语言，使得知识能输入计算机并储存在知识库中。

珊瑚岛礁为多要素自然综合体，具有在空间分布上的复杂性和在时间序列上的多样性，若经图像处理、组合和分类，一个专业的、经验丰富的解译员，将获取更为丰富的信息。南海珊瑚群礁遥感专家系统的建立过程是针对所获得的遥感信息资料，根据珊瑚礁所处的地理位置、周围水文地质条件、发育形状特征，结合珊瑚发育条件，加上专业解译经验，归纳提取珊瑚岛礁的特征向量，作为识别八类目标，即珊瑚岛、沙洲、复合环礁、独立环礁、独立礁体、环礁单个礁体、暗沙、暗滩及沉没环礁的识别向量，并将识别向量间的关系及判断过程转化为计算机能进行运算的语义规则，使不同要素间变成动力协调或统计协调，使时空缺测的变成时空连续的，同时采用问答方式反复测试该系统，不断重新组织、设计、优化来完成。

2 系统结构^[2,5]

专家系统组成如图2所示。

推理机是专家系统运用知识对数据进行推理的核心，它控制着知识库中的知识对数据库中的数据进行推理操作，从而得出结论。具体过程是将珊瑚群礁

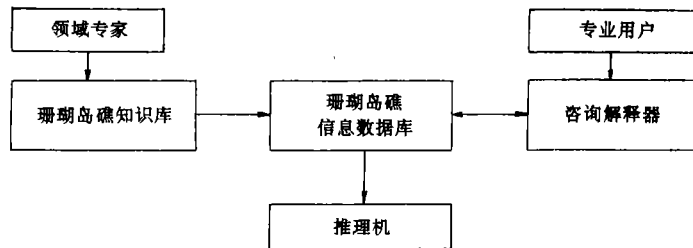


图2 系统构成框图

的各类经验知识存入知识库中，并以 IF THEN 结构形式将规则提供给推理机。用户通过推理机使提供的数据经过针对系统的初始化后，沿着知识库中的规则所经历的推理路径，采用正向推理达到最终结论。所有的原始资料采用特征编码的形式和结论一起存入数据库，以备随时查询。另外，还可通过咨询解释器了解整个推理过程及查询有关专业名词。

2.1 知识库结构

本专家系统中珊瑚岛礁知识的表达是通过产生式规则进行的。IF〈前提〉THEN〈结论〉。每条规则都对应着一定的可信度。

根据珊瑚礁发育条件、各类资料数据的同化结果及判读遥感卫星图像时所见时段的高低潮位的不同图像特征,总结出26个(A~Z)特征向量作为目标识别的依据.具体内容见表1.

表1 珊瑚岛礁特征向量

特征向量	具体内容	特征向量	具体内容	特征向量	具体内容
A	地壳与海平面相对稳定	J_i	物质来源	S_i	点礁状况 ⁽⁹⁾
B_i	潮位状况 ⁽¹⁾	K_i	东北季风	T_i	水下礁脉信息
C_i	目标背景反射率 ⁽²⁾	L_i	礁坪漏湖状况 ⁽⁵⁾	U_i	漏湖水反射率
D_i	目标反射率	M_i	礁坪发育方向	V_i	漏湖水深状况 ⁽¹⁰⁾
E_i	目标边缘信息灰度	N_i	目标区位与礁坪关系 ⁽⁶⁾	W_i	环状礁体对称状况
F	环礁中单个礁体	O_i	目标区位与主风向关系 ⁽⁷⁾	X_i	环礁发育方向、形状
G	独立礁体 ⁽³⁾	P_i	目标形态	Y_i	环礁发育指数
H_i	礁坪面积	Q_i	口门状况 ⁽⁸⁾	Z	信息模糊
I_i	礁(体)坪干出状况 ⁽⁴⁾	R_i	漏湖形状		

(1) 系指高、低潮位.高、低潮位直接影响珊瑚礁体的时-空特性.(2) 不同礁体四周陡缓与否,使之水深与水色不尽相同,导致其反射率有所差异,用以判别礁体水平方向的发育.(3) 除复合环礁礁体外的礁体通称为独立礁体.(4) 当低潮位时,礁(体)坪露出水面的区位及其空间尺度.(5) 以礁坪发育方向、形状、宽度及其连续性与南北差异、出露高度等来判别环礁内、外侧坡度之大小、发育方向、岛屿在礁坪上的位置与大小以及造礁生物提供物质数量、发育的进程、外侧有无水下礁脉延伸等;以漏湖的大小、深浅、形状、宽窄、有无点礁与口门来判别环礁发育主要方向及其进程是否是典型环礁等.(6) 系指珊瑚岛、沙洲、口门与漏湖水深等与礁坪的关系.(7) 系指珊瑚岛、沙洲和迎风礁体与主风向的关系.(8) 系指口门的宽窄、长度、深浅及其所在环礁上的部位与多寡等.(9) 在漏湖中有无点礁、点礁的多寡、分布格局、出露状况等.(10) 漏湖中最大与最小水深及其分布、主要水深区与平均水深等.

2.2 黑箱分析

数十个特征向量的提取是建立在珊瑚发育条件及遥感图像判读的基础之上的,而其中珊瑚礁的环境动力条件对珊瑚礁的成长发育所起的作用,以“黑箱分析”的一般模式概括,即

$$Y = H[X(t)],$$

式中, $X(t)$ 为含有时间性的动力环境自变量; Y 为珊瑚礁发育类型的因变量; $H[\]$ 为整个环境对自变量的“改造过程”和“改造程度”,作为系统本身具备的 averages、定常的、宏观的、综合的效应.它具备一种相对粗略的系统识别能力,再加上专业领域的图像判读经验,可以完成对目标的识别.采用字母编码,主要目的是方便用户,同时简化了程序.

2.3 遥感信息双树结构及其可信度处理

在遥感图像中由于采样的时间对应潮水位的高低不同,目标的灰度和表现形态也就不同,所表现的珊瑚礁信息有所差异,因而在目标识别和分类时就需要加以区别.所用的双树推理机就是根据高低潮位呈现不同信息而采用两个树推理并最终得出结论的珊瑚礁体识别方法,例如在识别复合环礁时的双树结构如图3所示.

采用的双树推理针对的主要范围是高潮位时水下模糊物体,包括暗沙、暗滩和沉没环礁.

推理机中的每条规则都有其可信度,这种可信度是建立在大量数据统计的基础之上的,而对于双树推理,可信度的处理就有别于一般.为此采用了 MYCIN 模糊推理模型.根据该模型,

结合双树推理可得综合可信度 CF_{do} ：

$$CF_{do} = CF_1 + CF_2 - CF_1 CF_2.$$

组合的可信度较单一可信度有所增长，这是因为有两个树的结论共同支持的结果。

2.4 知识库的建立

可采用编辑软件对知识规则进行增加、删除、修改工作，最后经系统编译后运行。知识工程师和专家间需不断地进行讨论，用尽可能准确的逻辑形式以求最好地表达出专家的思维过程。

2.5 知识库的管理和维护

由于知识库是客观事实规律的反映，难免有错误存在或不全面，因此，需要在实际应用中，对知识库中的规则不断地进行检验、修改和扩充。目前本系统尚处于被动维护阶段，日后将逐步完善为半自动维护。另外，“面向对象”的编程方法也使知识库维护性能提高，其主要思想就是将数据与对数据的操作进行封装，以对象为基本构件组织知识，使整个专家系统的知识库结构性强、层次清晰、便于管理。

2.6 信息数据库的建立

数据库是通用化的、综合性的、具有最小冗余度和较高数据与程序独立性的、由软件系统集中管理的数据集合。数据库应包括空间数据库和属性数据库。为使各种数据源提供的数据能满足数据库对数据精度、格式和编码形式的要求，数据采集应遵守以下原则：

- (1) 一般只存储基本的原始数据，不存储派生数据。根据应用的频率，实现最小的冗余度。
- (2) 分类、分级应采用和参照主管权威部门制定的专业分类、分级标准。
- (3) 输入数据库的数据以经过主管部门实测、验证的可靠数据为主。
- (4) 明确数据的采集范围、采集数量、采集精度、采集时段和采集方式。

3 系统的应用及意义^[3,4]

南海珊瑚群礁遥感专家系统的软件全部是自己编写的，在PC-486/66汉化环境下运行。整个组成除了推理机部分外，还包括数据库管理部分（含有增加、修改、查询、打印等功能）及咨询部分（含有推理咨询和术语咨询）。系统运作如图4所示。

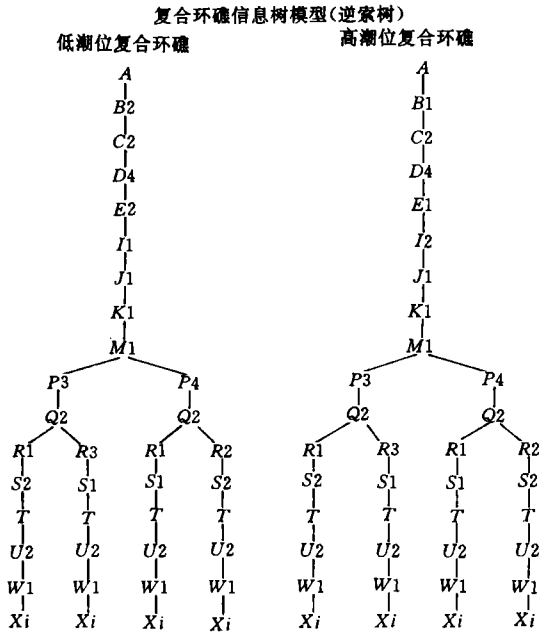


图3 复合环礁信息双树结构

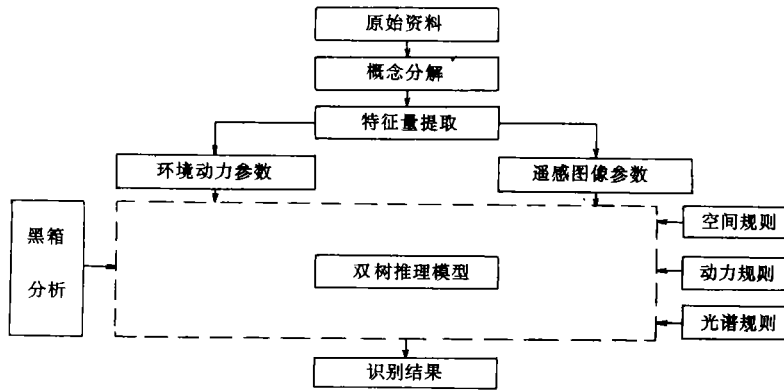


图4 系统运行图示

表2 南海海域珊瑚岛礁专家系统应用状况

目标类别	实际状况	误判数	判对率 (%)
珊瑚岛	18	0	100
沙洲	15	1	93.3
复合环礁	5	0	100
独立环礁	39	0	100
独立礁体	13	1	92.3
环礁单个礁体	56	3	94.6
暗沙、暗滩	17	2	88.2
沉没环礁	14	0	100

利用该系统对南海海域的177个岛礁进行了目标分类, 其结果如表2所示。

表2表明通过专家系统的分类, 较原先的判读在精度上有较大的提高, 其中的关键在于南海珊瑚群礁遥感专家系统引进了各种相关辅助资料, 从原来的光谱数据的单一像元分类变成光谱、像元空间关系与相关资料的综合分类。如原来对岛和沙洲进行分类时, 往往容易混淆, 而通过

专家系统进行识别, 则只需通过 H 类特征向量即可区分; 又如在判别环礁类别时, 原先缺乏一个衡量参数, 当引进了环礁发育指数 (Y 类特征向量) 和潟湖水的反射率 (U 类特征向量), 提供了一个可比标准, 使得在形态上极相似的封闭型独立环礁和台礁化环礁得以区分。

4 结语

综上所述, 目前尚未看到与本研究相同的工作, 随着信息源的不断丰富、人工智能技术的不断提高以及本系统的逐步完善化, 尤其通过世人瞩目的我国的南沙群岛的应用, 该专家系统使珊瑚岛礁遥感信息的研究更加深化, 并拓宽了它的研究内容。

参考文献

- 1 Paul Siegl 著, 谭东风译. 实用专家系统指南. 长沙: 国防科技大学出版社, 1991, 82~92
- 2 庄越挺, 何志均. 一个专家系统开发环境核心的设计与实现. 计算机应用与软件, 1993, 10, 1~6
- 3 向发灿. 陆地卫星影像分类专家系统研究. 遥感信息地物理解模型及其应用. 北京: 煤炭工业出版社, 1993, 58~63
- 4 马蔼乃, 周长发. 地理专家系统的试验研究. 地理学报, 1992, 47, 252~259
- 5 Suwa M, A C Scott. An approach to verifying completeness and consistency in a rule-based expert system. The AI Magazine, 1982, Fall., 16~21