

专家系统用于遥感图像处理 的方法研究*

易浩若 白黎娜 纪平

摘要 针对气象卫星监测森林火灾和遥感图像分类问题,论述专家系统用于遥感图像处理的方法,使用框架和规则的知识表示方法、匹配和以正向推理为主的推理机制、综合的控制策略、使用置信度处理不确定性和构造实用专家系统的方法。据此实现的软件模块,经实验数据检测,取得满意的结果。

关键词 专家系统、图像处理、遥感、林火监测

多年来,遥感图像处理的研究,已形成了一系列成熟的方法^[1],出现了一批高性能、高效率的遥感图像处理设备和软件。当前许多人正致力于研究把遥感图像的目视解译发展为计算机自动识别的相关技术和方法。为此,作者针对用气象卫星监测森林火灾及图像分类等实际问题,就专家系统用于遥感图像处理的方法进行了研究。

专家系统是人工智能科学的一个重要的应用领域。近年来,国内外在其理论研究和应用实践上都有较大进展。建造用于遥感图像处理的专家系统的技术关键可归结为:①对图像处理问题的归纳和抽象;②对领域专家知识的概括和描述;③与经典图像处理方法和传统计算机程序的衔接,等等。

上述关键问题与专家系统的知识表示、推理机制、控制策略及系统构成均密切相关,现论述如下。

1 方法研究

1.1 知识的表示

本研究采用框架和规则表示知识。框架主要用于表示事实和经验。其各槽、侧面的赋值方法有继承、子程序赋值、人机交互赋值等。

用气象卫星监测森林火灾分两步进行:第一,根据NOAA/AVHRR热红外通道(Ch₃)的点或域(即若干相邻点的集合)的探测值及其空间变化率、时间变化率等的异常,识别地面异常高温点。第二,根据森林火灾背景数据库、森林火灾规律等,识别森林火点和火灾

1993-04-23收稿。

易浩若高级工程师,白黎娜,纪平(中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091)。

*本研究由资源信息研究所专家系统应用研究组承担,得到该所的资金。王介一、陈永富参加了部分研究工作。

点。基于上述归纳,用框架进行描述,把监测中初步发现的异常点称为地面高温点,定义为父框架:

FRAME HT-SPOT	框架名 地面高温点
VALUE OF 5 CH;	槽 1 名 五个通道的值
CH _i : INTEGER [0 255]	侧面1.1名 通道三的值
COORDINATE: REAL[l r]	槽 2 名 座标值
REAL[t b]	
⋮	⋮

进而判断该点本次监测值是确实异常、或工业用火、还是尚属正常范围,分别称之为异常高温点、常年热点和正常点,且分别定义为子框架。这三类子框架的结构一样,仅个别槽值或侧面值不同,以异常高温点为例:

FRAME AT-SPOT _i	框架名 异常高温点
FATHER: HT-SPOT	槽 1 名 上一层父框架是地面高温点
VALUE OF 5 CH;	槽 2 名 五个通道的值
⋮	⋮
VALUES OF AREA;	槽 3 名 五个通道的域值
⋮	⋮
COORDINATE: REAL[l r]	槽 4 名 座标值
REAL[t b]	
BACKGROUND;	槽 5 名 背景信息
FOREST: ONE OF (YES NO)	侧面5.1名 森林
USE: ONE OF (TR,GR,FM,WT,...)	侧面5.2名 土地利用(树种、草地、农田、水面、...)
ELEVATION: INTEGER[500 4000]	侧面5.3名 海拔高度
ADM: (PRV,PRF,CNT)	侧面5.4名 行政归属(省、地、县)
F-D-LEVER: ONE OF (A,B,C)	槽 6 名 火险等级
⋮	⋮

再把异常高温点进一步分析判定为:某种形式的森林火点、草地火点、农业用火、无法判定的点等,分别称之为林火火点、非林火火点和可疑点,且分别定义为子子框架,等等。用多层子框架把知识表达得尽可能地完整。

由于框架、子子框架的FATHER槽把这些框架连成一个框架网络(图1),体现了知识的层次结构,确定了继承关系。如FF-SPOT_i框架的VALUE OF 5 CH槽、VALUES OF AREA槽等槽值从其上层框架AT-SPOT_i继承。这种表示方法利于检索、查找、节省存储空间。

规则一般表示为:IF(条件1)(条件2)⋯(条件n) THEN 结论/动作

用规则表示知识具有简单、明确、可理解性好等优点。

解决遥感图像分类问题时,把图像分类专家的知识,林学的规律和地面资料进行总结和概括,用规则来描述。例如:

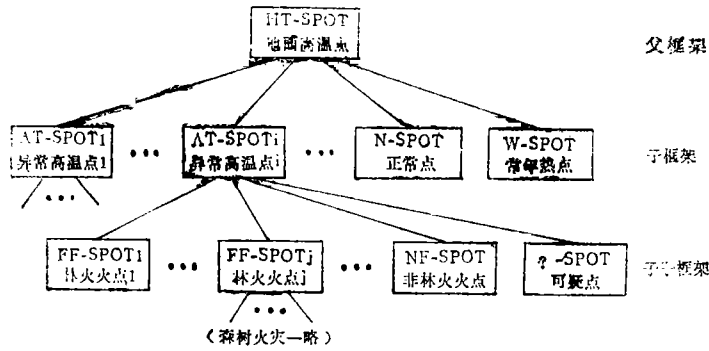


图1 框架网络

RULE2

IF &1. (SLOPE<x; DIRECTION OF SLOPE = SUNNY; ELEVATION≤y;
 cf>0.8);
 &2. (VALUE≤N1∧VALUE≥N2; cf>0.9);
 [min (&1.cf, &2.cf)]
 THEN THIS SPOT IS BELONG TO THE HARDWOODS-FOREST.

RULE 1

IF &S. (VALUE>N1∧VALUE<N2);
 THEN REMOVE &S

上述RULE 1 表示，如果用变量 &S代表的点或图斑的灰度值在由 N2 和 N1 定义的区域之外，则从当前待判定的点或图斑的集合里删除此点或图斑。RULE2表示，用&1、&2等多个变量描述同一点或同一图斑不同方面的属性和取值，如果变量&1所表示的那部分满足：坡度小于x，坡向为阳坡，海拔小于等于y，并且变量&2所表示的那部分满足：其取值在由N2和N1所限定的范围之内，则该点或图斑属于阔叶林类。

1.2 推理机制

框架网络中各框架之间由FATHER 槽构成其分别对各自父框架的继承关系，这种继承就是一种推理方式^[2]。当然用得更多的是用匹配进行推理。很多领域知识常用规则来表示，用规则表示知识时，本研究采用以正向推理为主、逆向推理为辅的推理机制。

框架的匹配是指两个框架的全部槽值或指定的部分槽值或侧面值逐一比较的过程。用气象卫星监测森林火灾问题中，对监测数据的异常点的求解过程（即推理过程）是：把异常点作为输入信息去激活知识库中相应的框架，形成初步假设，再进一步收集信息和进行判断，以决定确认或放弃该已激活框架，并逐层重复该过程直至最底层的框架，最终得出判断结论。对一待判点的推理过程见图 2。

以正向推理为主的推理机制多用于基于规则的系统。正向推理是以由数据推出结论的方式进行推理，即数据驱动的推理方式^[3]。

对遥感图像的点和图斑进行分类或进行识别时，利用类似上述RULE1的执行，可删除或加入部分点和图斑，以改变待分类或待识别的点和图斑的集合。利用类似 RULE2 的执行，把相应的地形、森林分布、土地利用等地面背景信息，和植被生长分布规律、森林生长分布规律，以及森林火灾分布、发生、发展的规律等领域专家的知识，一步步地用于进行分

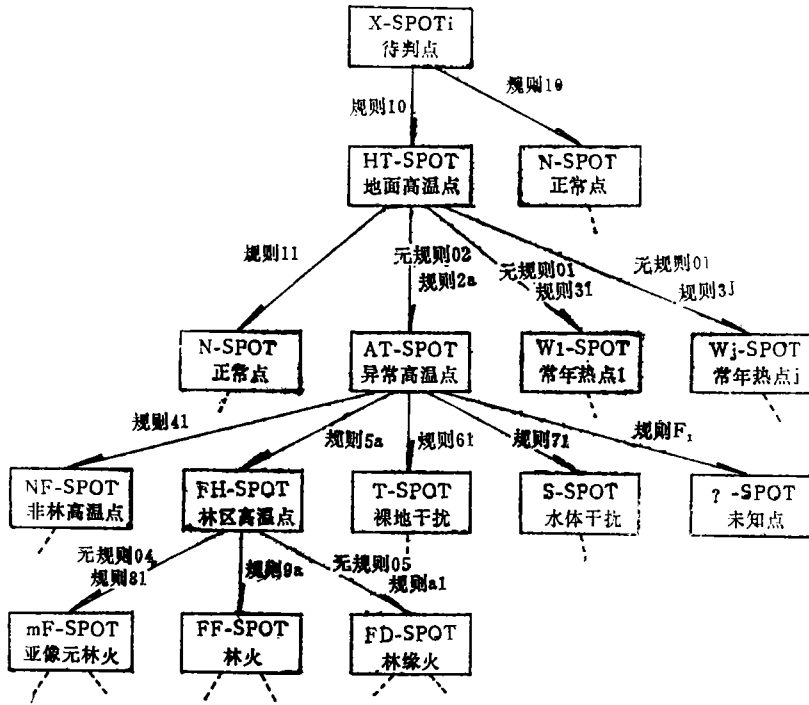


图2 推理网络

析和判断，得出对这些点和图斑进行分类或识别的结论。对不同的点和图斑的集合，反复执行上述过程，就可以完成对全幅图象的分类或识别。

1.3 控制策略(CONTROL STRATEGY)

是用于问题求解过程中构造一条省时的较佳推理路线。它是和推理机制密切相关，涉及专家知识的有效使用，决定专家系统运行效率的关键技术。人们利用元知识(METAKNOWLEDGE)的指导，进行启发式搜索(HEURISTIC SEARCH)，限制和缩小搜索空间，提高求解问题的效率^[3]。本研究采用一种综合的控制策略。

(I) 把控制知识表示为规则的形式，写成元规则。以用气象卫星监测森林火灾问题为例，有如下元规则：

```

meta rule 01                元规则 01
IF ( X-SPOT·COORDINATE—W-SPOTk·COORDINATE<H ) ; ( X-SPOT·
    VALUE—W-SPOTk·VALUE<I ) ,
THEN USE W-RULE
  
```

```

meta rule 02                元规则 02
IF ( X-SPOT·COORDINATE—F-G<H ) ,
THEN USE F-RULE; USE G-RULE; USE S-RULE,
  
```

⋮

元规则01表示，若待判定的异常点x的坐标与工业区某常年热点的坐标相近，且x点的各通道值与该常年热点的常规值相近，则只使用有关常年热点的目标规则。元规则02表示，若待

判定的异常点 x 的坐标在森林与草地交界线附近，则需使用有关森林的目标规则，有关草地的目标规则和有关森林边缘地带的目标规则。

目标知识的组织要与此相适应，尽可能地采用模块化结构，分类存放；把确实难于明确归类的规则，放入其它一类。这样，当逐一对待判点和图斑进行推理求解时，运行效率较高。

(I) 采用综合的冲突裁决策略。正如领域专家根据多方面的经验处理实际问题常有多种方法一样。知识库中关于求解同一问题的知识常不是唯一的，有时甚至有许多。这就使得有时多件事实或数据同时使某一规则的条件被满足，或者某一事实或数据同时使多条规则的条件被满足，即产生冲突。对于冲突的裁决，采用的策略是：

①新知识优先；②特殊知识优先；③只允许一条规则在同一数据上执行一次。

第①、②条是由于新的和特殊的知识比其它知识更适用，更接近具体结论。第③条是防止死循环的发生。

1.4 不确定性的处理

由于遥感数据分辨率的限制和信号干扰，由于地面背景信息不全及其更新永远落后于实际变化，由于植被、森林的生长分布规律和森林火灾规律多存在离散性，必须处理由于数据（事实）和知识（规则）的不可靠性带来的不确定性问题。鉴于不确定性推理理论尚不完善和实用性较差，必须充分调查领域专家的知识，以事实、规则的先验概率为基础，借鉴置信度（Certainty Factor; CF）方法来处理不确定性问题^[3]。用CF（其取值在0.0~1.0）来表示事实和规则的可靠程度。

利用气象卫星监测森林火灾需处理很多不确定性问题。判定地面高温点时，需从CH₃是高值的那些点中排除无植被、植被稀疏的裸露地面的反射点、水面反射点、NOAA/AVHRR数据的噪声点等。根据这些点的取值范围、所含象元个数及其与已知地表物的座标、形状等条件的符合程度，可确定相关结论的CF值。判定林火火点时，需从异常高温点中排除农业用火、草地火等非林火火点。由于每年都有林木采伐和绿化造林，森林分布是动态的。在这些地区和森林边缘地带，推理常是非单调的。根据林火和非林火各自的时间分布和地域分布的规律等条件可确定相关结论的CF值。最后取CF值最大的结论作为对该点判定的最终结论。

1.5 使用专家系统开发工具和混合语言编程构造实用的专家系统

(1) 在经典遥感图像处理方法和传统计算机程序功能的基础上建造专家系统。遥感图像处理专家系统不是取代已具备较强功能和达到相当高水平的经典方法和传统程序，而是在充分利用其已有成果的基础上，着重处理目前尚难于解决的那部分问题。

(2) 优先使用专家系统开发工具建造专家系统。因为它已具备知识表示的外壳，具备基本的推理机制，可减少开发工作量，成功的开发者甚至于能使工作量缩小一个数量级。针对待解决的问题，只要选择适用的开发工具，使用得当，就能够建造相当成功的实用专家系统。

(3) 用混合语言编程实现各功能模块，用模块化结构建造实用系统。

2 试验和结论

作者用OPS83专家系统开发工具初步实现了上述诸方法，用C语言实现了对气象卫星数

据的常规处理^[4]，实现了C语言程序模块与OPS83程序模块之间的接口。进而用这些模块构成一个具备各项基本功能的专家系统。该系统可用菜单或命令行形式驱动，处理气象卫星数据，识别林火，自动输出对各指定点的判断结果。系统的数据流程见图3。

用国家气象局卫星气象中心提供的1987—05—07、1992—05—20、1992—10—15、18四轨数据对该系统进行了检测，其判断率和运行效率均较为满意。现选择我国东北等地区12个有代表性的域（每个域由5×5象元组成），共计300组数据，把系统分析识别的输出结果列于表1。所用的森林分布、土地利用等信息由人机交互方式赋值。系统正确判断出全部157个无火正常点，正确判断出全部25个草地火点，正确判断出67个林火点，漏判13个弱林火点，正确判断出37个干扰点，对2个可能是干扰的点没能做出判断。经分析认为，如能进一步扩充和细化判断规则，并具备相关地区更加充分的背景信息，其判断率将能进一步提高。

为便于对照，用传统方法和程序对这四轨数据进行增强处理，用ch₁、ch₂、ch₃三个通道的数据进行假彩色合成，目视判读。将结果列于表1，表明用专家系统自动识别的输出结果优于传统方法和程序加目视判读得出的结论。

通过研究和分析，认为：

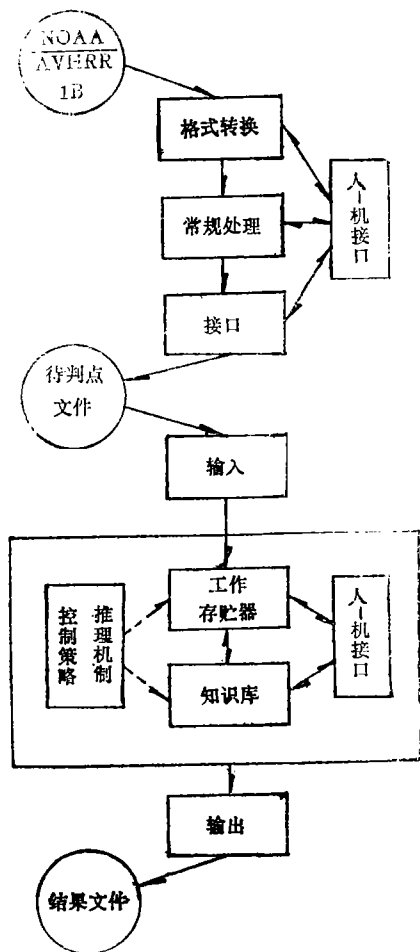


图3 专家系统数据流程图

表1 两种方法判断结果对照

NOAA数据接收时间 (年一月一日)	数据对应区	核实结论	专家系统法			传统程序+目视判读法	
			样点数	输出结果	简单描述	判断结论	简单描述
1987—05—07 (NOAA—10)	大兴安岭	特大森林火灾	18	✓	高强度林火	✓	清晰可见三大片火场轮廓和上百公里烟
			9	✓	火场外		
			23	✓	烟下林火		
			25	✓	火区附近林地		
(NOAA—10)	黑龙江以北原苏联境内	森林火灾	12	✓	林火	✓	清晰可见多片火场和多处淡烟
			13	✓	火场外		
(NOAA—10)	原苏联东部	水体	11	✓	水体外射NOAA·CH3	符证实	边界清晰的区域呈高温状
			14	✓	地斑		

续表

1992—10—15 (NOAA—11)	大兴安岭	草地火	11	✓	草地火点		大小不等的邻近火点多处, 一处有几公里长的烟
		(计划火烧)	39	✓	火场周围	✓	
	内蒙东部	无/少植被区	25	✓	无/少植被地表反射	待证实	离散分布的区域, 呈高温状
1992—10—18 (NOAA—11)	大兴安岭	森林火灾	2	✓	杯火		可见小火点及少许烟
			23	✓	火场周围	✓	
	嫩江西部	草地火灾	14	✓	草地火		清晰可见火区和数十里长烟
			11	✓	火场外	✓	
内蒙东部	尚未核实		2	未知	呈高温状的点现有知识无法判断		呈高温状的点
			23	✓	无火地区	待证实	
1992—05—20 (NOAA—11)	大兴安岭	森林火灾	12	✓	云下火点(强)	✓	可见云下火区
			13	✓	云下林火(弱)		

注: “✓”表示正确结果, “×”表示不正确结果。

(1) 把专家系统建造在充分运用遥感图像处理的经典方法和传统程序的成果的基础上, 可进一步优化遥感图像处理结果, 提高图像分类精度, 提高森林火灾判准率等。

(2) 建造遥感图像处理专家系统是实现遥感图像目视解译向计算机自动识别发展的一种先进、可行的途径。

参 考 文 献

- 1 许殿元, 丁树柏. 遥感图像信息处理. 北京: 宇航出版社, 1990.
- 2 林尧瑞, 张俊, 石纯一. 专家系统原理与实践. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- 3 黄可鸣. 专家系统. 南京: 东南大学出版社, 1991.
- 4 龚家龙. NOAA卫星1B磁带的数据处理和墨卡托图象. 遥感信息, 1987, (3): 18~20.

Research Method for Remote Sensing Image Processing Using Expert System

Yi Haoruo Bai Lina Ji Ping

Abstract Aiming at the solution for forest fire monitoring and remote sensing image classification with NOAA data, the use of expert system for these problems have been explored. The procedures for establishing the practical expert system are as follows: frame and rule are used for knowledge representation; reasoning mechanism of matching and the forward reasoning; synthetical control strategy; certain factor is used to represent the uncertainty. After testing, the software model proved to be satisfactory.

Key words expert system, image processing, remote sensing, forest fire monitoring

Yi Haoruo, Senior Engineer, Bai Lina, Ji Ping (The Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF Beijing 100091).