



辽宁省 春季降水预报 专家系统

费良玉 王振喜 (沈阳中心气象台)

专家系统是人工智能领域的一个重要分支，它能综合众多专家的高水平知识，为解决某一领域的问题提供专家水平的解决方法。目前，专家系统在气象预报方面已得到广泛的应用，并取得了一定的效果。为提高春季降水预报的准确率，我们在吸收省内外有关设计专家系统经验的基础上，建成了辽宁省春季降水预报专家系统(以下简称LSPRAS)。本系统的知识是以使用数值预报产品的经验为主，结合多年的天气分析经验归纳而成。在知识表达上，采取了表型结构，设置特征位，并用逻辑表达式来描写规则，增强了系统的知识表达能力及扩充能力。系统设计使用BASIC语言，并利用了dBASE II，在IBM-PC/XT微机实现。LSPRAS具备某些实时资料的一次性输入存贮，可以部分地完成规则的自动推理匹配，在1987年春季业务试用中，取得了较好的效果。

一、知识结构

1. 预报对象。本系统的预报对象是春季4—5月份24小时降水，并按业务规定分为小雨、中雨、大雨、暴雨等4级。

2. 知识内容。为使LSPRAS既与目前业务相适应，又优于单个预报员的经验，我们在决定知识内容时，充分注意到以下两点：①数值预报产品已基本取代了经验性形

势预报，成为业务预报的重要依据。②预报员已积累了使用数值预报产品的丰富经验，并且能集中多种信息，进行综合分析和科学(不是经验)决策。因此，我们确定LSPRAS的知识内容是以使用数值预报产品的经验为主，实时资料(天气图、云图、诊断分析等)的经验为辅，最终形成天气、动力、统计相结合的，多层次的预报知识。这就基本保证了系统的知识内容具有实用性、发展性、先进性和系统性等特点，为系统的扩展准备了条件。

3. 具体做法。在收集、总结、整理及验证再分析数值预报产品经验的基础上，利用1983—1985年4—5月日本数值预报图和天气图资料，根据本省的环境形势特点，确定分型知识，将春季划分为FSFE 02低压型、FSFE 03低压型、FSFE 02冷锋型、FSFE 03冷锋型、当天地面有低值系统型和不定型等6个天气型。然后按型确定降水有无、量级、落区的预报知识。我们还将一些经多年验证效果较好的指标公式编成子程序，存入子程序包，供推理机使用。另外，还归纳出一些解释知识，组建成解释规则库，对预报结论进行天气学解释，增强了预报解释的灵活性。

二、系统结构

专家系统的主要任务是逻辑推理，其推理路径不是由程序预先安排的，而是由现存环境和专家知识所决定的。因此，专家系统应具有较强的知识选择能力，它能根据不同的处理对象，选取不同的知识，构成不同的序列，从而确定不同的推理路径。另外，专家系统还应具备一定的学习能力。为此，我们侧重于解决以下两个问题：①合理地设计知识库的数据结构及推理机的推理结构，提高知识库增删、修改及扩充的灵活性。②力求模拟专家的预报思路，致力于提高系统的逻辑思维能力，部分地实现某些实时资料的一次性输入处理，解决某些规则的自动匹配问题，尽量减少人工干预，提高自动化水平。

按照上述要求，我们设计的 L S P R A S 系统结构（图1）由知识库（虚线所围部分）和运行程序两部分组成。

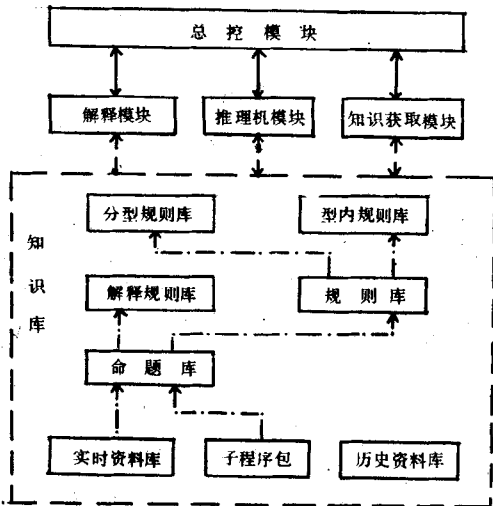


图1 系统结构

（一）知识库

本系统为三层知识库，共有8个子库，全部以文件形式存贮在软盘上，其结构分别介绍如下：

1. 命题库。存贮各种知识单体（命题），一条命题作为一个记录，共有508条记录。其结构举例说明如表1。特征位指明命题属性，

表1 命题结构举例

编号	特征位	地址位	含义位
1	C	1	天气型属不定型
38	O	1	运行输入区涡度值子程序
66	S	3	100-*: *502在3区有 >100的正涡度中心
77	r		FSFE03 低压中心>37°N
98	f		丹东南部有大雨,其他地区有小雨
501	j		水汽条件好

地址位指示联想地址，含义位则是命题意义的汉字说明。各种命题的意义说明见表2。

表2 命题意义说明

特征位	意义说明
C	天气型结论,地址位指出此种天气型所应使用的规则,即型内规则库记录号
O	一般子程序,地址位指出子程序在子程序包中的逻辑地址
S	自动求值命题,地址位为事先输入应比较的参数编号,含义位由*! *分隔成两部分,后者为汉字说明,前者为被比较参数,“>”在数字右侧为>比较,否则为<比较
r	一般性前提,地址位为空
f	最终结论,即预报结论,地址位为空
j	解释结论,地址位为空

2. 规则库。存贮供推理的专家知识，一个记录对应一条规则，共有267条规则。结构及举例见表3。特征位指出规则属性，结论

表3 规则结构举例

编号	特征位	结论位	解释位	逻辑式位
2	C	t ₂	4	$7 \wedge (9 \vee 10) \wedge (8 \vee 11 \vee 15)$
11	S	t ₃₈		
66	C	f220*f21	34	t ₂₁₉

位指明该规则推出的结论在命题库中的地址。前缀 t 表明结论为真，f 为假。若有多种结论，

以*号分隔。解释位指出对此规则作出解释的规则在解释规则库中的地址。逻辑式位为一条逻辑表达式，数字为命题地址。 \wedge 、 \vee 和 $|$ 分别表示逻辑运算AND、OR及NOT。规则的种类有两种。一种是永真规则，特征位以S表示，这种规则的结论永远为真，一般用于在推理过程中输入一批实时资料或进行数值计算时使用。另一种是条件规则，特征位是C，其结论是否成立，取决于该规则的逻辑表达式运算结果是否为真。因此，条件规则的逻辑推理过程就是逻辑运算过程。

3. 分型规则库。存贮做分型预报的规则。该库只有一条记录，结构如12 *25 *16 *34，数字为规则在规则库中的地址，*为分隔符。

4. 型内规则库。每条记录存放一个天气型所应使用的预报规则，共有6条记录。结构及符号意义同上。

5. 解释规则库。存贮解释知识。一条记录作为一条规则，结构同上，数字为命题库中的记录号。

6. 子程序包。存放用来输入实时资料或进行数值计算的子程序。

7. 实时资料库。存放实时资料。

8. 历史资料库。存放历史个例和系统运行过程中产生的信息，供知识获取模块作统计分析时使用。

从知识库结构上可看出，命题库由实时资料、子程序和一些基本命题组成，而各种命题的组合又构成了解释规则库和规则库，规则库中规则的组合构成了分型规则库和型内规则库。设计这种数据结构的好处在于：①推理机不直接与规则库联系，而是通过分型规则库和型内规则库与规则库间接地联系，这样通过安排分型规则库和型内规则库中规则编号的顺序就可控制推理流程。②知识库的调整也很方便，而且与推理机设计无关，这就基本保证了推理机与知识库的相互独立，提高了推理机的通用性。

(二) 运行程序

LSPRAS的运行程序由总控模块、解释模块、推理机模块、知识获取模块等4个子模块构成。其中推理机模块、知识获取模块与知识库的通讯是双向的，而解释模块是单向的，即只能调用知识，不能反馈信息。

总控模块控制推理机模块、知识获取模块和解释模块，对系统进行初始化，显示功能选择菜单。解释模块输出所使用的全部知识，根据现存环境及所用知识选择解释规则推理，得出解释结论输出，对预报进行天气学解释。推理机模块根据现存环境选取适当的知识进行逻辑推理，得出最终结论后打印输出，并且保存推理过程中产生的信息。知识获取模块用来建立、查询和修改各种库，根据历史工作情况定期地对知识库进行统计分析，提出修改建议，在专家的指导下对知识库进行修改。

三、推理机设计

LSPRAS采用二层的反向精确推理。其工作时，首先生成一个命题状态表，用来标识命题库中各命题的状态，接着访问分型规则库，选取分型规则进行推理，做出分型预报，再根据预报结论，访问型内规则库，调出该天气型相应的规则推理。在推理过程中，若得出中间结论，就继续选择知识处理，直至推出预报结论。

规则的处理流程见图2，推理机选中一条规则后，先确定其属性，永真规则不需要推理，按其结论做相应处理后重新选择规则。结论无值的条件规则需要进行逻辑推理。

由于本系统推理的关键在于如何实现对逻辑表达式的运算。为此，我们采用了存贮栈技术，设计了由三个子模块组成的逻辑推理器（虚线所围部分）来实现对条件规则的逻辑推理。

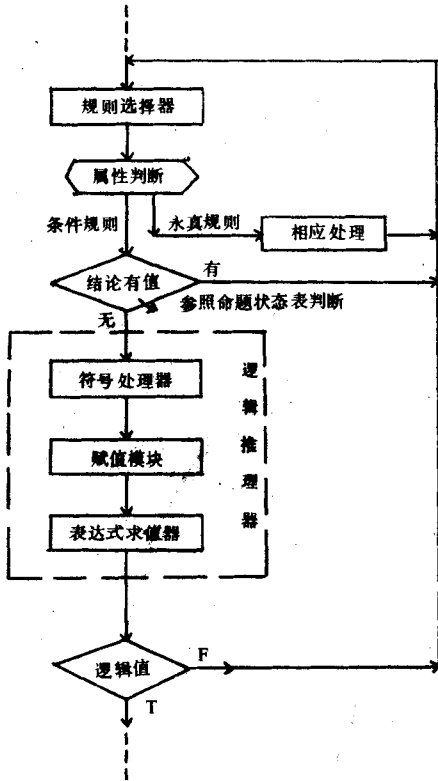


图2 规则处理流程

1. 符号处理器。将规则中的逻辑表达式转换成无括号的后缀逻辑表达式。

2. 赋值模块。对无括号后缀逻辑表达式中的命题赋以逻辑值。逻辑值的来源有三种方式：①人机对话；②推理机根据输入的部分实时资料自动求值；③命题状态表中有值。

3. 表达式求值器。对无括号后缀逻辑表达式进行运算。

当一条规则的逻辑表达式运算结果为真时，就称这条规则是匹配的，其结论成立。否则重新选择一条规则再进行推理，直至推出预报结论。如果所有的规则都不匹配，系统给出无规则提示。规则的处理过程举例说明见图3。假设逻辑表达式中命题逻辑值的完全指派是：(7、9、10、8、11、15)→(T、T、T、F、F、F)，则最后运算结果为真，说明此规则是匹配的，结论成立。

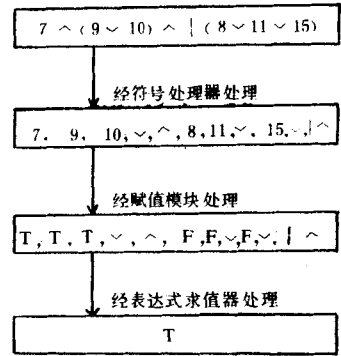


图3 规则处理过程

四、试用结果及讨论

LSPRAS经过1987年4—5月投入业务使用预报结果见表4。

表4 试用结果

项目 \ 结果	晴雨预报	降雨预报	中雨以上过程
预报次数	51	27	7
成功次数	43	21	4
准确率	43/51=84.3%	21/27=77.7%	4/7=57%

根据全省28个站单独评定结果，由公式

$$\sum_{i=1}^{28} i \text{站成功率} / 28, \text{ 得出落点成功率为} 37\%.$$

试用期间，有10天系统给出无规则提示。

在系统的研制及使用过程中得出如下几点体会：

1. 专家系统属边缘性科学，因此，为使系统有较好的应用效果，专家与软件设计者必须密切配合。系统的设计应以实用性为基本点，尽量使系统向专家靠拢，以保持专家的推理意图。

2. 用逻辑表达式描写规则接近于人的通常语言及表达方法，可以清楚地描述专家的预报思维过程。

3. 将经验指标公式编成子程序作为知识单体写入规则，增强了系统的知识表达能力

(下转26页)

(上接15页)
及推理能力。

为使LSPRAS在业务工作中发挥更大的作用,对今后的工作设想如下:①不断完善知识获取模块,提高系统的自学习能力。②扩充知识库,提高系统的历史概括率。增加雷达、卫星云图方面的新知识,吸取综合分析经验。③增加推理方式(如:不精确推理),完善解释模块,实时资料库和历史资料库,逐步实现实时资料输入的自动化。

参 考 文 献

- 【1】张廷治、王述舜、邱锦莉,辽宁暴雨预报专家系统(LHRESI),北方暴雨预报专家系统文集,1986年。
- 【2】〔美〕N·J·尼尔逊,人工智能原理,科学出版社,1983年。
- 【3】戴洪华,气象专家系统基础,中国科学院大气物理研究所,1986年。
- 【4】莫绍授,数理逻辑,高等教育出版社,1984年。
- 【5】C·L·Liu,离散数学基础,人民邮电出版社,1984年。
- 【6】〔西德〕H·H·莫勒,数据结构与程序设计技术,科学出版社,1984年。

松毛虫发生规律及其预报 方法研究通过鉴定

本刊讯 由朝阳市气象研究所周广学主持的“松毛虫发生规律及其预报方法研究”课题,1988年10月6日通过省局鉴定。参加鉴定的省气象和林业方面的专家认为:该项研究成果具有较好的实用性,业务上有推广价值,在国内同类研究中达到了先进水平,在我省林业病虫气象研究中属首次成果。

(刘素珍)



表7 本溪暴雨档案卡

DATE	TIME	CENTER	Rmax	R/10	RD-hmax	PEAK	DISC	DISAST
07/20/81	20.00-08.55	w t s	100.0	90.0	40db.15km	10.0	10.0	13000
08/08/81	08.00-23.55	w w w	55.0	10.0	40db.08km	50.0	40.0	1000

整个系统操作简便,层次分明,逐级深入,图文并茂。共管理三十余个程序,二十余个数据库,库结构可由用户所需修改,不断完善。

四、小 结

本检索系统包括内容较多,功能较强,检索方便。本文重点说明了检索暴雨相似天气系统的方法,其他内容未作详述。

利用读数进行编码,再用编码选择相似,

这是一个复杂的计算和分析过程,而这些复杂的工作,完全是利用微机按程序自动完成的。需要人工做的事只是对各系统读数的一次性输入,所以我们并不感到工作量的繁多。

值得提出的是,由于对天气图数字化处理需要人工读数的工作量甚大,根据我们现有力量还难以对全图和更多项目进行读数。但是,如果投入必要的人力和时间,再进一步提高本检索系统的功能是可以办到的。