

# 地震预报专家系统ESEP/PC中的类框架与规则知识表示法

庄昆元 王炜 黄冰树 夏仕华 (安徽省地震局)

摘

要

根据地震预报领域知识的特点,在地震预报专家系统ESEP/PC中设计了规则/框架、类框架和一般规则三种知识表示方法。本文着重论述了后两种知识表示方法。对于类框架知识表示法其结构与框架一致,但是对框架中的各属性之间还可以具有某些逻辑关系;在一般规则知识表示法中,规则的结论部分为地震预报的时间、空间和强度目标,由断言框架或框架的逻辑组合而成;而前提部分则由字符串构成,它可以是一个或多个可选择前提,前者可称为Y/N型规则,而后者称为选择型规则。系统还通过实例阐述了这两种知识表示法的应用。

## 一、引言

使用Turbo-PROLOG语言在IBM-PC微机上实现的地震预报专家系统ESEP/PC (Expert System for Earthquake Prediction on Personal Computer) 是国内外首次将专家系统技术引入到地震预报领域中的一个成功实例。地震预报是目前互输入必要的信息就能获得推理结果。

## 五 结束语

开发实用的专家系统是一项复杂的智力劳动和实践性过程,需要有丰富的领域知识和精炼的知识表示方法,同时也离不开高效能的软件环境。面向对象程序设计的特点使人们有可能以较快的速度完成一个专家系统的原型,然后逐步补充新的模块使其功能不断完善。本文是对实际土木工程课题应用OOP技术建造知识库专家系统的一次尝试。这里将初步结果和肤浅体会提出来,目的是向国内软件行家们请教,以期进一步提高,同时也希望对促进工程界应用OOP技术有所帮助。

最后,对易荣同学在震害估计专家系统的程序设计、调试及Smalltalk/v软件开发中做了大量的工作表示衷心的感谢。

## 主要参考文献

- [1] Smalltalk/v Tutorial and Programming Handbook, digitalk inc. 1986
- [2] 彭智勇, Smalltalk-80及其实现《计算机科

stem for Earthquake Prediction on Personal Computer) 是国内外首次将专家系统技术引入到地震预报领域中的一个成功实例。地震预报是目前

学》1988年第2期

[3] 金淳兆等, 面向对象的设计方法及有关语言的讨论《计算机科学》1989年第4期

[4] 周樾, 面向对象的设计风格及有关语言的特性 同上

[5] 陆伟民, 微机专家系统的结构与 设计《电脑学习》1986年第6期

[6] H. Adeli, Expert System in Construction and Structural Engineering, Chapman and Hall, 1987

[7] G. Powell, An Object-Oriented Approach to Computer Aided Reinforced Concrete Design, 3rd International Conference Computing in Civil Engineering, Canada 1988

[8] Lu Weimin等An Expert System for Evaluation of Earthquake Damage on RC Building Based on Production Rules, 同上

全世界都在关注和探索的一门新兴学科。我国的地震科学家自1966年河北邢台7.2级地震以来经过二十多年的研究和实践,获得了大量丰富的资料和一些有益的预报方法与经验。但是这门学科还处在发展初期,我们对地震孕育过程及其规律的认识还很肤浅,地震预报还处在经验预报阶段,在这种预报水平下曾成功地预报了1975年海城7.3级地震和其它一些地震;但对唐山7.8级地震却未能作出明确的短临预报。

知识表示是建造专家系统的关键环节,专家系统建造的成功与否与其密切相关。通常应根据领域知识的特点选择相应的知识表示方法。知识表示方法的成功须根据以下三条标准确定:(1)表示专家知识的能力。要求能确切地表达各类领域知识;(2)易于描述和维护知识,即在计算机内部能够很简练地表达、修改和更新领域知识;(3)使用方便、调用迅速。

目前地震预报领域知识大体可分为三类。一类为单项预报方法的知识,它包括地震学和前兆各类预报方法的异常与地震对应关系方面的知识;另一类为确定单项预报方法异常证据可信度方面的知识;第三类为综合预报知识,它包括了各类异常时、空变化总体特征与地震对应关系方面的知识。这三类知识所需描述的对象与特征差异较大,因此系统采取了三种不同的知识表示方法。关于第一类知识,系统提出并使用了“规则/框架”知识表示方法。这种知识表示的断言描述用框架表示,知识以规则为骨架,规则的前提和结论则由断言框架的逻辑组合而成。文章<sup>1)</sup>已详细论述了这种知识表示方法。本文将着重论述后两类知识表示方法。对于第二类知识,系统设计了类框架表示方法。由于影响各类异常可信度的因素较多,并且各因素之间可能还具有不同的逻辑关系,为此系统对每个异常项目(预报指标)都建立了以其为根节点的信度属性组成的树(框架),树中各节点(属性)间可具有不同的逻辑关系,对叶节点需进行值描述。该表示方法是对框架表示的进一步扩展,因此称其为类框架表示法。对第三类知识,系统提出并使用了“Y/N型规则”和“选择型规则”知识表示方法。上述知识表示方法能够准确与简练地表达地震预报领域的各类知识,实际使用效果良好。

## 二、知识的类框架表示

在ESEP/PC中这种知识表示方法主要用于表示确定证据可信度方面的知识。该系统采用MYCIN不精确推理模型<sup>[1]</sup>,由MYCIN模型可知,证据信度的确定对整个推理结果起着十分重要的作用。为保证系统推理结果的一致性,如何为那些经验不甚丰富的预报人员提供一套确定证据可信度的方法就显得很有必要。通常,影响各异常证据可信度的因素较多,并且它们还具有一些不同的逻辑关系。为此系统对每项预报指标(异常项目)都建立了一棵以其为根节点的信度属性组成的树(框架),树中的各节点(属性)可具有不同的逻辑关系,一些节点还可由另一属性树构成,对所有叶节点需进行值描述。该表示方法是对框架的进一步扩展,它可以定义框架中各属性的逻辑关系,因此将其称为类框架表示法。该表示方法在形式上可定义为:

〈证据信度属性树〉 ::= en(〈标志〉, 〈证据信度名〉, 〈M—属性〉, 〈AND—属性〉, 〈O—属性〉)

〈标志〉 ::= 〈整型数〉

〈证据信度名〉 ::= 〈字符串〉

〈M—属性〉 ::= {〈信度属性名〉}<sup>+</sup>

〈AND—属性〉 ::= {〈信度属性名〉}<sup>+</sup>

〈O—属性〉 ::= {〈信度属性名〉}<sup>+</sup>

〈信度属性名〉 ::= 〈字符串〉

〈信度属性值描述〉 ::= vn(〈信度属性名〉, 〈值域表〉, 〈信度表〉)

〈值域表〉 ::= {〈字符串〉}<sup>\*</sup>

〈信度表〉 ::= {〈实型数〉}<sup>+</sup>{〈表达式〉}<sup>+</sup>

在证据信度属性树中,“证据信度名”表示需确定信度的异常项目名代码,其确切含义可在字典中表示。在信度属性树中的其它三类属性表中的各元素即为影响证据信度的各有关因素,各属性还可继续下分,由另一属性树构成,这里的“标志”即为在信度属性树中的层次数,不同属性表中的元素及其它们之间具有不同的逻辑关系。其中“M-属性”表中的各元素的值为相乘关系;“AND-属性”表中各元素逻辑关系相“与”,其值为取小关系;“O-属性表”中各元素逻辑关系相“或”,为可选属性,其值为取大关系。各属性表中的元素求值后,它们之间的逻辑关系为:“M-属性表”与“AND-属性表”及“O-属性表”之间的值是相乘关系。

对处于叶节点的信度属性需进行信度属性值描

1)庄昆元、王炜、黄冰树、夏仕华,地震预报专家系统ESEP/PC中的知识表示与知识获取,1989.12.

述。其中“信度属性名”表示该属性的代码名，其确切含义也同样在字典中表示。对值描述的构成实际上类似于特征表的形式，其中“值域表”相当于自变量；而“信度表”则相当于应变量。“值域表”中的各元素为字符串代码，而“信度表”中的元素则由两种形式表示，其一为与“值域表”相对应的信度值，为实型数；其二为相应的函数表达式，执行时可根据自变量的取值计算得到相应的可信度。

例如关于“孕震空区”预报指标的信度属性树及其值描述在ESEP/PC中表示为：

```

cn(2, "gap-cf", [{"T"}, {"R"}, {"N"}, {"N3"}, {"No"}, {"shape"}], [ ])
vn("R", sr(["R" >= 3.0", "R: 2.5-3.0", "R: 2.0-2.5", "else"], rv([1, 0.6, 0.3, 0]))
:
    
```

```

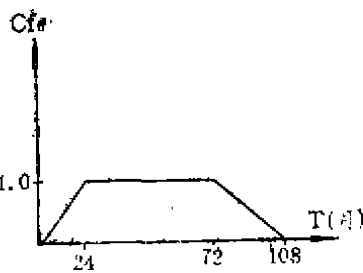
vn("shape", sr(["very good", "good", "ordinary", "not too bad", "bad"]), rv([1, 0.75, 0.5, 0.25, 0]))
vn("T", sr(["T < 24", "24 <= T <= 72", "72 < T < 108", "T >= 108"], sr(["T/24", "1 - (108-T)/36", "0"])))
    
```

上述信度属性树中“AND-属性表”中共有5个元素，“M-属性表”中仅有一个元素。这表明孕震空区异常证据的信度将由上述6个因素确定，它们分别为：①空区形成期间的应变释放速率与对比期之比R；②空区形成期间的空区外部频次与内部频次之比N；③空区周围M<sub>3</sub>≥3级地震个数N<sub>3</sub>；④空区周围围空地地震个数No；⑤孕震空区图象形态Shape；⑥空区形成时间T。对这6个属性需进行值描述，其“值域表”与“信度表”的含义分别为：

①空区形成期间的应变释放速率与对比期之比R	≥3.0	2.5—3.0	2.0—2.5	其它	
cf <sub>1</sub>	1.0	0.6	0.3	0	
⋮					
⑤孕震空区异常图象	很好	好	一般	不太好	差
cf <sub>5</sub>	1.0	0.75	0.5	0.25	0

⑥空区形成时间T(用梯形函数表示)

$$cf_6 = \begin{cases} T/24 & T < 24(\text{月}) \\ 1 & 24 \leq T \leq 72(\text{月}) \\ (108-T)/36 & 72 < T < 108(\text{月}) \\ 0 & T \geq 108(\text{月}) \end{cases}$$



在上述6项“信度表”中，前5项表中元素为实型数，其逻辑关系相“与”，第6项表中元素为函数表达式。cf<sub>6</sub>以函数形式体现了空区形成时间对证据信度的影响，通常当孕震空区刚开始出现时，可信程度一般较低，随着时间增长，则可信程度增高；当时间达到一定程度时，其可信度为1.0；同样当空区持续时间太长后仍无地震发生，则该空区为孕震空区

的可信度应降低；当时间长到一定程度后，其可信度降为0。使用该函数的目的是为了当各类异常证据在时间上的不一致性较大时，其结论较为合理。

系统实际运行时，将以人机对话的方式选择属性表中的属性，对“值域表”中的元素进行选择、赋值，从而求得相应的信度值，系统将根据各属性的逻辑关系计算得到该异常证据可信度。在本例中系统根据各表的逻辑运算关系按下式确定孕震空区异常证据的可信度：

$$CF(E) = cf_6 \cdot \min\{cf_1, cf_2, cf_3, cf_4, cf_5\}$$

### 三、知识的一般规则表示

在地震预报中除经常使用大量的地震学和前兆单项预报知识外，还有一部分反映各类异常在时空变化总体特征方面的知识。但在具体预报过程中，一些经验不甚丰富的预报人员可能对这类知识有所忽视或者对某些具体特征指标记忆不清。为此系统对这部分知识以规则的形式表示，为区别对第一类知识的规则/框架表示方法<sup>1)</sup>，将其称为一般规则表示。系统运行时将对这类规则的前提事实进行提示，用户通过回答“Y/N”或对提示问题进行选择的方式来使用这部分知识，这部分知识的前提部分

在结构上较为简单,为简单的事实,由字符串构成,结论部分结构与规则/框架知识的结论部分一致。即用框架表示断言,结论部分则由断言框架或其逻辑组合而构成。在**地震预报专家系统**中,系统的推理目标是对地震发生的时间、地域或震级三个目标的预报,并且对每个目标进一步分解为若干子目标。如对震级确定了三个子目标:  $\{M_1 \geq 7, M_2: 6-6.9, M_3: 5-5.9\}$ , 对时间确定了九个子目标:  $\{中期, T \leq 2年, T \leq 1年, 短期, T \leq 3月, T: 15-30天, T: 7-15天, T: 3-7天, T \leq 3天\}$ , 对震震地区的目标则为所预报的区域。根据用户回答方式的不同,系统提出了两种类型的一般规则。

(一)“Y/N”型规则表示

该表示方法在形式上可定义为:

- Y/N规则 ::= Kn(〈序号〉, 〈标志〉, 〈前提〉, 〈结论〉)
- 〈序号〉 ::= 〈整数〉
- 〈标志〉 ::= 〈整数〉
- 〈前提〉 ::= 〈字符串〉
- 〈结论〉 ::= {〈框架〉}
- 〈框架〉 ::= fra(〈项目名〉, {〈断言〉})
- 〈断言〉 ::= as(〈属性名〉, 〈值描述〉, 〈可信度〉) | 〈框架〉

这里“序号”表示此类规则在知识库中的序号。“标志”为区分本规则为全局知识或局部知识的标志,当为1时为全局知识,为2时则为局部知识。“前提”用字符串表示,表达向用户提示的内容,用户通过回答Y/N使前提为真或假,当前提为真时结论成立。如ESEP/PC中的规则6表示为:

```
Kn(6, 2, "Do short-term anomalies just distribute along with the tectonic belt in this region", fra("earthquake", [as("e-time", el(["mid-term", "T <= 2 y", "T <= 1y", "short-term", "T <= 3 m", "15-30 d", "7-15 d", "3-7 d", "T <= 3 d"], rcf2([0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.1, 0, 0.05, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]), as("ms", el(["Ms <= 7", "Ms: 6.0-6.9", "Ms:
```

200—300Km,	则未来发震震级目标可信度	(0.1, 0.05, 0)
100—200Km,	则未来发震震级目标可信度	(0, 0.07, 0.03)
100Km左右,	则未来发震震级目标可信度	(0, 0.03, 0.07)

四、结束语

知识表示是建造专家系统的关键环节,专家系统的质量与水平与其密切相关,实际建造专家系统

```
5.0-5.9"]], rcf2([0.07, 0, 0.03, 0, 0, 0]))))
```

该规则表示:如果在震异常区域内的短期异常沿构造带分布,那么发生地震的时间目标可信度为:短期(CF=0.1),  $\leq 3$ 个月(CF=0.05);震级目标可信度为:  $M_1 \geq 7$ (CF=0.07),  $M_2: 6-6.9$ (CF=0.03)。

(二)选择型规则表示

该表示方法由〈选择前提〉与〈选择结论〉两部分组成,在形式上可定义为:

- 〈选择前提〉 ::= db-n(〈序号〉, 〈前提〉, {〈子前提〉})
- 〈序号〉 ::= 〈整数〉
- 〈前提〉 ::= 〈字符串〉
- 〈子前提〉 ::= {〈字符串〉}
- 〈选择结论〉 ::= db-f(〈子前提〉, {〈子结论〉})
- 〈子结论〉 ::= {〈框架〉}

在〈选择前提〉中的“序号”表示该规则在知识库中的序号,“前提”表示该规则的总前提,“子前提”为供用户选择的前提。当用户选择某“子前提”后,系统则从〈选择结论〉中根据“子前提”得到相应的结论,结论部分结构同前。如该知识库中规则1表示为:

```
db-n(1, "The concentrative range of mid-term anomalies", ["R >= 200-300 Km", "R: about 100-200 Km", "R: about 100Km"])
db-f("R >= 200-300 Km", fra("earthquake", [as("ms", el(["Ms > 7", "Ms: 6.0-6.9", "Ms: 5.0-5.9"]), rcf2([0.1, 0, 0.05, 0, 0, 0, 0]))))
db-f("R >= about 100-200 Km", fra("earthquake", [as("ms", el(["Ms > 7", "Ms: 6.0-6.9", "Ms: 5.0-5.9"]), rcf2([0, 0.07, 0, 0.03, 0]))))
db-f("R >= about 100 Km", fra("earthquake", [as("ms", el(["Ms > 7", "Ms: 6.0-6.9", "Ms: 5.0-5.9"]), rcf2([0, 0.03, 0, 0.07, 0]))))
```

规则的含义为:如果中期异常集中区的范围为:

$M_1 \geq 7$   $M_2: 6-6.9$   $M_3: 5-5.9$

时应根据领域知识的特点设计或选择相应的知识表示方法。本系统针对三类具有不同特征和需要的地震预报领域知识分别设计了“规则/框架”、“类框

## 关联索引式知识表示及其正反混合推理

朱 浩 (解放军第92医院微机室)

邓德顺 (厦门大学计算机科学系)

### 摘 要

尽管基于规则的专家系统已有不少,但这种知识表示法在表达大范围临床医学知识时却有一定困难和不足。本文提出一种新的关联索引式知识表示方法,可以很方便地表示这种大范围的临床医学知识,且表达效率较高。也讨论了以这种知识表示方法为基础的正反混合推理,这种推理方式具有并行推理的特性,同时还考虑和处理了每个证据的全部意义,从而能动态地产生和处理多个暂时目标。这较为符合临床专家的诊断过程。

### 一、引 言

医疗诊断是专家系统应用领域之一。继MYCIN之后,相继推出了许多其它系统<sup>[1]</sup>,它们大多数都使用基于规则的知识表示法来诊断某一系统范围内的疾病,即整个疾病树的某一小子树,如细菌感染性疾病、风湿病、肿瘤等。之所以采用基于规则的知识表示,是因为一般认为临床医学知识主要是经验性的,这种知识较宜用规则表示。但是,临床上各种疾病及其症状数量颇为繁多,形成一个多因多果的巨大因果网络,若要构造一个具有较全面专业知识的专家系统,真正体现出专家系统的实用价值,那么基于规则的知识表示法便显得力不从心,这表现在:①一条规则的规模有限,难以表述一个症状或疾病的全部有关知识,②规则是固定不变的,而医

疗诊断是证据不充分推理,所缺省的证据因人而异,随机不定,具有很大的自由性,③医疗诊断是一种并行推理,对每一个症状都应同时考虑到与该症状相关的所有疾病,必须并行处理每个症状的全部意义,这在诊断过程的初期阶段尤为重要,因此,在每一推理阶段都动态地存在着多个可能目标。而基于规则的专家系统其推理方法一般是假定单一目标,逐条启动规则线性地推进的,无法做到全局并行推理。对于上述不足,一些晚些发表的系统如INTERNIST-1, CASNET改用了网络式知识表示。虽然知识库性能有了较大改进,但仍不是全局并行推理<sup>[2,3,4]</sup>,本文介绍笔者设想并用的一种新的知识表示方法及相应的正反混合并行推理,其效果较好。

架”和“一般规则”三种知识表示方法,这三种方法对断言的描述除“一般规则”中的前提部分以外,都采用框架表示,其中“规则/框架”表示方法是以规则为骨架,规则的前提与结论都是由断言框架或它们的逻辑组合而成;而本文所论述的“类框架”表示法其结构与框架一致,但是所描述的各属性之间还可根据需要具有某些逻辑关系;“一般规则”表示法中规则的前提为字符串,而结论部分与“规则/框架”表示相同,这三种知识表示方法都是对现有的一些知识表示方法作进一步改进与扩充后得到的,目前

尚未见有这类表示方法的报导。系统还提供了这几种知识表示方法的编辑、维护功能。这三种知识表示方法可以十分简炼与确切地表达地震预报领域的各类知识,实际使用效果良好。

地震预报专家系统ESEP/PC由安徽省地震局与吉林大学计算机系合作完成,已于1989年11月通过国家地震局组织的专家技术鉴定。赵瑞清教授审阅了本文并提出了宝贵意见,借此表示衷心感谢。

### 参考文献

[1]赵瑞清,专家系统原理,气象出版社,1987。