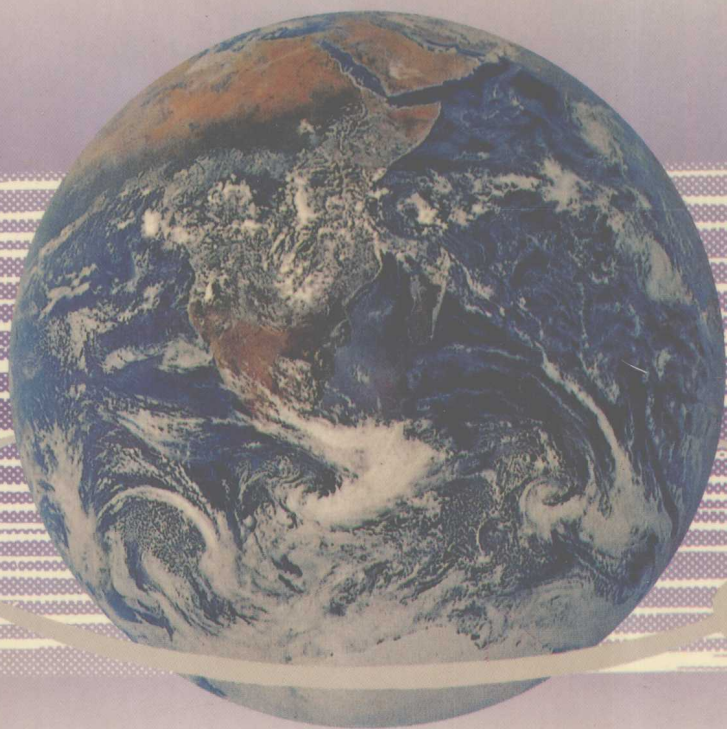


理科现代科技研究丛书

国家 863 计划智能计算机主题项目

不确定性推理技术

张师超 严小卫 著
王成名 聂文龙



广西师范大学出版社

理科现代科技研究丛书
国家 863 计划智能计算机主题项目

不确定性推理技术

张师超 严小卫 著
王成名 聂文龙

责任校对:肖向阳

广西师范大学出版社出版发行

邮政编码:541001

(广西桂林市中华路 36 号)

湖南省地质测绘印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:4.75 字数:110 千字

1996 年 6 月第 1 版

1996 年 6 月第 1 次印刷

印数:0001—2500 册

ISBN 7-5633-2222-1/O · 014

定价:(平)5.00 元

(精)10.00 元

前 言

人工智能方面的研究课题,以其特有的诱惑力吸引了许多学者和厂商投入大量的人力和物力.因此,这一学科发展极为迅速,并推动着其他学科的发展.

不过,在有些研究方向上,由于问题本身的复杂性,学者们对这些问题各抒己见或互相指责,甚至攻击.这也许与瞎子摸象一样,他们又各有根据.不确定性推理就是其中之一.符号逻辑、联结主义和基于例子的推理等三个学派之间互相攻击.当然,这种攻击是有益于学科的发展的.最近,这三个学派有合作的可能.

在国内,许多原先致力于不确定性推理方面的研究人员,在这场大批评中改变了研究方向.因此,近几年在不确定性推理方面的研究成果越来越少.我们一直坚持不确定性推理方面的研究,并连续在已召开的两届及继续将在南朝鲜召开的世界专家系统大型国际会议上发表文章.这说明,我们的研究工作得到了国内外同行专家的认可.鉴于我们人力和水平的限制,我们写这本书的主要目的是将我们不成熟的想法奉献给读者,并请读者与我们一道进一步深入探讨和研究这些不成熟的观点.当然,我们也可以毫不谦虚地说,这里面是有东西可做的.

本书的编写工作是这样的:严小卫负责第五章及第三、四章部分内容的编写,其他工作由张师超、王成名、聂文龙讨论完成.

本书的一些内容的最初思想得到中国科学院数学所陆汝钤教授的指导,以后相继得到李国杰院士、张钹院士、李未教授、石纯一教授等的鼓励与支持;特别地,本书相当部分内容跟罗旭东博士、白硕教授、曹存根教授、邱桂友先生、张玉平博士后讨论过,他们提

出了许多有益见解;特别值得指出的是,罗晓沛研究员、萨师煊教授对我们的工作一贯给予支持与帮助;本书的出版是与广西师范大学出版社的余鑫晖编审及其他工作人员的支持与努力分不开的.对此,我们一并表示衷心感谢!

由于我们水平有限,书中肯定存在缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正.

张师超

1995年9月18日

目 录

第一章 知识表示及分类	(1)
§ 1 引言	(1)
§ 2 知识表示	(3)
§ 3 知识分类	(11)
§ 4 知识的语义	(15)
第二章 存在的一些问题	(17)
§ 1 引言	(18)
§ 2 经验知识的表示	(18)
§ 3 知识的单纯化	(24)
§ 4 工具的滥用	(25)
第三章 非确定性信息的处理方法	(26)
§ 1 引言	(26)
§ 2 概率方法	(27)
§ 3 MYCIN 的推理模型	(28)
§ 4 主观 Bayes 方法	(32)
§ 5 模糊集理论	(36)
§ 6 D-S 证据理论	(38)
§ 7 非数值方法	(43)
§ 8 非确定信息体的组合	(47)
§ 9 一个综合推理模型	(49)
第四章 带语义信息的知识表示方法	(58)
§ 1 知识的不确定性描述	(58)
§ 2 不确定的因果关系	(64)
§ 3 可信度与确定值的关系	(68)

§ 4 一个不确定性推理模型	(71)
§ 5 增强规则表示方法的新途径	(77)
§ 6 不确定性推理中的相容性	(84)
第五章 数值推理方法	(89)
§ 1 基本概念	(89)
§ 2 基于演绎矩阵的推理	(91)
§ 3 集合推理模型	(99)
§ 4 IRA 推理模型	(104)
第六章 预测中的应用	(117)
§ 1 引言	(117)
§ 2 FSM 结构及功能	(118)
§ 3 历史数据库及基于历史数据的预测	(120)
§ 4 用户接口	(121)
§ 5 预测控制系统	(122)
§ 6 解释预测	(123)
§ 7 可信度计算模块	(128)
§ 8 知识库	(130)
§ 9 确定值计算模块	(131)
§ 10 学习系统	(136)
参考文献	(141)

第一章

知识表示及分类

将知识表示在计算机系统中并便于做各种需要的处理是件困难的事. 它涉及到表示知识的完善性、详细性、真实程度等方面的能力; 以及对这种表达的简便性、有效性、易于操作和处理性等等的要求. 因此, 知识表示是计算机智能学中的重要研究课题之一. 另一方面, 要建立一个模拟人类专家智能活动的系统, 必须要了解或弄清楚人类专家的知识是什么? 或者什么样的东西才称得上是人类专家的知识? 知识的语义、使用方法等也应能理解. 由于这些方面被研究较早, 一些方法或模型已趋于成熟. 所以本章仅对一些常见的研究作简单的介绍.

§1 引言

由于知识表示是人工智能中极为重要的课题之一, 它一直是一个较为热门的研究课题. 至今, 已提出表示知识的方法有几十种甚至上百种. 对新的表示方法的研究仍在继续, 也有许多对已有的表示方法进行增强方面的研究. 较为常见的知识表示方法有如下几种:

- * 一阶谓词逻辑表示
- * 产生式表示或称为规则表示
- * 语义网表示
- * 框架表示
- * 基于范例(或实例)的表示
- * 神经元表示
- * 过程表示
- * 面向对象的表示
- * 特性表表示
- * “脚本”表示

要评价知识表示方法的优劣是件困难的事,这通常要从其表达能力、适用范围、有效性、应用领域、方便性、简单性等等多方面做比较.也许还应对其相应的推理机、知识获取方法等做比较.严格地说,每一种知识表示方法都有其优点也有许多不足,而且将任何一种知识表示方法的优点在另一种知识表示方法中完全体现是极为不容易的.

近年来,许多学派互相指责和批评,通常是全盘否定某一种知识表示方法.例如,思维是基于符号逻辑的还是基于联结主义的.我们认为,这种争论和批评越多越激烈就越好,它有助于知识表示方法的完善和增强.只要不走极端并经常进行“批评与自我批评”,就不难建立一种好的知识表示方法.不过,许多原先着手某种知识表示的研究的学者在这种争论和批评中改变了研究方向,只有为数不多的执著者仍在辛勤地耕作.好在坚持研究的学者恰好是支持该方法的精英,他们能正确地对待和处理批评,用唯物辩证的观点去看待问题,敢于献身所热爱的研究.因此,我们也相信,一种更好的知识表示方法不久将被建立.

令人鼓舞的是,今年许多著名专家学者抛开前嫌,一起坐下来做深入的讨论和研究,并确认了一些发展方向.这无疑给人工智能

所面临的“危机”注入了新的生机。另外，各国各地的学者也在组织一些形式和非形式的讨论会，研究人工智能中的知识表示方法，推动了人工智能的进一步发展。

本章先介绍几个经典的知识表示方法，然后讨论知识的分类，最后讨论知识的语义。

§ 2 知识表示

尽管已有的知识表示方法很多，但没有一种包打天下的表示方法。本节介绍几种在智能系统中用得较多的表示方法：一阶谓词逻辑、产生式系统、语义网络、框架。其他的知识表示方法可从有关文献查阅。

§ 2.1 一阶谓词逻辑

一阶谓词逻辑是最早且最主要的用于人工智能的知识描述方法之一。运用符号逻辑公式人们可以描述事物的对象、性质、状态和关系等。例如，“桂林山水甲天下”，“桂林在广西的北部”，“广西师大校园坐落在桂林”，“全州是桂林的县”等。用一阶谓词逻辑表示方法将它们描述成如下命题：

甲天下(桂林山水)

在(北部, 桂林, 广西)

坐落在(广西师大校园, 桂林)

县(全州, 桂林)

在上面例子中，像“桂林山水”，“北部”，“广西”，“全州”等称为个体词。个体词是指思维对象的词。上面的个体词是具体的对象，一般，这种个体词是采用英文小写字母表示的个体常项并被称为常量。另外一种个体词称为变量，它是一个可在一个称为论域的范围內任意取值的变量，通常用 x, y, z, t 等小写字母表示。应注意常

量和变量的表示符号不要混淆.

像“甲天下”,“在”,“坐落在”,“县”称为谓词.谓词是指思维对象(即个体词)的性质或多个对象之间的关系.谓词通常以大写字母 P, Q, R 等表示.有 n 个个体词的谓词 $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 叫 n 元谓词,若 P 表示像上面“甲天下”等这类谓词称之为谓词常项;当 P 表示为不确定的谓词时,称为谓词变项.若 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 间确实存在关系(或性质) P 时,我们称命题 $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为真,否则称命题 $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为假.

上面所看到的例子可以认为是一些简单的事实或称为谓词公式.如果使用谓词演算中的逻辑联结词“与($\wedge$)”,“或($\vee$)”,“非($\neg$)”和“蕴含($\rightarrow$)”等运算组合这种简单谓词公式,可得到一些更为复杂的谓词公式.例如,“水是无色无味的液体”可表示为:

无色(水) $\wedge$ 无味(水) $\wedge$ 液体(水).

为了表示更多的知识,还可使用谓词演算中的函数、量词等表达知识.所谓的函数是指从一个或多个个体域到另一个个体域的映射,即思维对象与思维对象之间的关系,通常用 f, g 等小写字母表示.所谓的量词是指对思维对象数量上的限制.量词有全称量词 $\forall$ (指“所有的”对象)和存在量词 $\exists$ (指“至少有一个”对象).在一阶谓词逻辑中,量词只对个体变项起量化作用.如果它还对全体的集合项、谓词、函数作量化,则称之为高阶谓词逻辑.

一阶谓词逻辑成为最早和使用最多的知识表示方法的主要原因是因为从 Plato 的三段论开始,认为人的思维是一个逻辑推理过程.由于逻辑的公理系统的完备性保证了结论的正确性,其演绎形式易于机械化.

逻辑表示方法的主要优点是:(1)符号简单,描述易于理解.(2)自然、严密、灵活、模块化.(3)具有严格的形式定义.(4)每项事实仅需表示一次.(5)具有证明过程中所使用的推理规则.(6)利用定理证明技术可以从老的事实推出新的事实.主要缺点是:(1)难

于表示过程式和启发式知识。(2)由于缺乏组织原则,利用该方法表示的知识库难于管理。(3)由于是弱证明过程,当事实的数目增大时,在证明过程和谓词逻辑中决定使用哪条规则时可能产生组合爆炸。

§ 2.2 产生式系统

产生式系统也称为规则表示。它早在 40 年代就由逻辑学家 Post 提出,在 60 年代由 Newell 和 Simon 等人做了进一步的研究和发展,并且该表示方法被用于斯坦福大学建立的第一个专家系统 DENDRAL。产生式系统由知识库、数据库和推理机三个部分组成。知识库由写成规则形式的领域知识组成;数据库是事实和断言的集合;推理机是问题求解的策略集合。

一个产生式规则(简称为规则)的一般形式为:“IF〈条件〉 THEN〈动作〉”。简记为:

〈条件〉→〈动作〉

其符号形式为:

$P \rightarrow Q$.

一般地,规则的形式定义如下:

$\langle \text{rule} \rangle ::= (\text{IF} \langle \text{antecedent} \rangle \text{ THEN } \langle \text{action} \rangle)$

$\langle \text{antecedent} \rangle ::= (\text{OR} \{ \langle \text{condition} \rangle \}^+)$

$\langle \text{condition} \rangle ::= (\text{AND} \{ \langle \text{condition} \rangle \}^+)$

$\langle \text{action} \rangle ::= (\text{OR} \{ \langle \text{consequent} \rangle \}^+, \langle \text{certainty-factor} \rangle)$

产生式的主要优点是:(1)模块性。(2)易于增加、删除、更新信息。(3)自然性。(4)有利于表示启发式知识,特别是允许利用领域知识直接指导演绎过程。(5)易于保持动作所产生变化的踪迹。(6)有利于控制说明性和过程性命题之间的相互作用。其主要缺点是:(1)难于维护大型系统之间的模型块。(2)规则之间的约束及相互作用导致低效率。(3)在问题求解过程中难于追踪控制路径。(4)产

生式是纯相关的,因此不能提供灵敏的解释。

利用产生式系统作为知识表示的实际系统有许多。例如,Wat-
terman 的玩牌系统,Shortlife 的 MYCIN 系统,Davis 的知识获取
TEIRESIAS,具有启发式搜索的 AM 数学发现系统,Vere 的关系
产生式系统,Arderson 的学习系统,美国电报电话公司的机场航
空管制业务支持系统 AIRPLAN,麻省理工学院的分布处理系统
MACSYMA,斯坦福研究所的矿脉勘查系统 PROSPECTOR,日
本东京大学的医疗诊断系统 MECS-AI 等等。

目前关于产生式系统的研究重点是:

- 扩充条件和动作的表示能力。
- 对知识库中的规则进行分类和编址。
- 解决产生式规则的发生冲突的问题。
- 选择适当的推理方向。
- 产生式系统的敏感性(即对环境的变化很快地响应)、稳定性(即执行相对长的行动序列的能力)。
- 开发具有自学习(自修改)能力的系统。
- 控制能力的形式化和原语词汇问题,即哪些规则是最基本的。产生式系统的研究是目前 AI 中的一个重要问题。

§ 2.3 语义网络

语义网络是 Quillion 和 Raphael 在 1968 年提出的,它以网络形式表达人类知识的结构。语义网络是一个用结点和带标记的有向边构成的图,其中结点表示对象,带标记的有向边表达了该边的两个端点间的语义联系。一个节点可能表示一个复杂的对象,该对象可以用另一个语义网络来描述,即语义网络的结点可以是一个更细的语义子网络。例如,有关人的一部分知识可用下列语义网络(图 1.1)来表示:

在上图中,圆形圈中信息是对象,方框中信息是属性。一个结

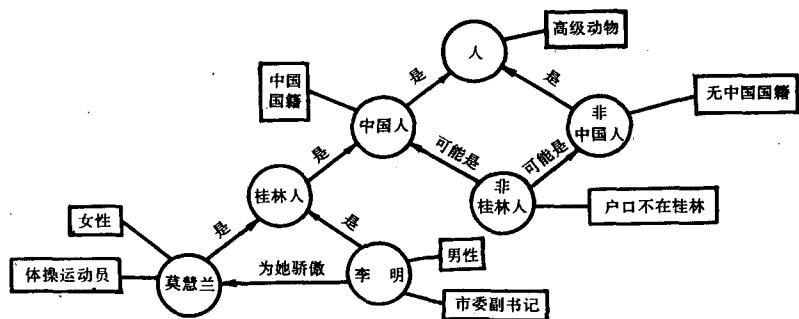


图 1.1

点是由圆圈中的对象和该对象拥有的属性组成,一般下一层结点能继承、修改或补充上一层结点的属性值。例如“李明”只标了“男性”和“市委副书记”两个属性值,但在该语义网络中可以从该结点的上下层结点推出他还有“户口在桂林”,“中国国籍”和“高级动物”三个属性。而“人”本身有属性“高级动物”,他被“男性”和“女性”进一步补充了其含义。可见,语义网络能较好地表达对象间的语义关系。

上述这种语义网络 SN 可形式地描述为:

$$SN = \langle V, E \rangle$$

其中 V 是结点的有限集合; E 是联结 V 中结点的带标识的有向边的集合。

语义网络的主要优点是:(1)重要相关性能被明确地清晰地表示出来;(2)相关事实可以从其直接相连的结点中推导出来,而不必遍历整个庞大的知识库;(3)能利用“IS-A”和“Subset”链在网络中建立性质继承层次;(4)易于对继承层次进行演绎;(5)能够利用少量的基本概念的记号建立状态和动作的描述。其主要缺点是:(1)不能保证网络操作所得的有效性;(2)对于网络不存在标准的

术语和约定,语义解释取决于操作网络的程序;(3)网络的搜索需要强有力的组织原则。

关于语义网络的研究工作开展得很多.在认知心理学方面,除 Quillian 外,Anderson 和 Bauer, Rumelhart 和 Norman 等提出了基于网络的各种记忆模型.在计算机科学方面,Raphael 的 SIR 系统是建立在特性表的网络基础上. Winsor 所用的网络是为了表示和学习有关积木布局的信息. Simon 讨论了自然语言处理中网络的用法. Woods 讨论过早期语义网络的某些逻辑演算能力. Hendrix 提出了分块语义网络表示法. 关于语义网络的研究仍在深入进行,例如,目前正在研究网络结构的语义学:什么是结点的真正含义? 是否存在统一的方式表示一种思想? 时间及信念如何表示? 特性继承的规则是什么? 等等.

自然语言处理和数据库管理等领域中都有语义网络应用的例子,实际应用系统有许多,如 Anderson 和 Bower 的 HAM 系统, Norman 的 LRN 系统, Simon 的自然语言理解系统, Fiks 的 TORUS 系统, Hays 的含有描写的系统. 最近带有时间信息的语义网络系统也有很多.

§ 2.4 框架

框架理论是美国著名学者 M. Minsky 在 70 年代初建立的一种知识表示方法. 框架是一种描述某种形态的数据结构,它由一组槽所组成. 一般,框架可形式地表示如下:

Frame: Frame-name

Slot-name-1: Aspect-11 <value-111, value-112, ..., value-11m>

Aspect-12 <value-121, value-122, ..., value-12n>

...

Aspect-li <value-li1, value-li2, ..., Value-lij>

...

Slot-name-t:Aspect-t1 <Value-t11, value-t12,..., value-t1s>_{...}

Aspect-t2<Value-t21, value-t22, ..., value-t2l>

...

Aspect-ta <value-ta1, value-ta2,..., value-tab>

槽或侧面的取值可以是二值逻辑的真或假,可以是实数值,可以是文字以及其他的定义域,也可以是对另一个框架的调用.因此可以建立框架之间的各种关系,这种槽的名称可被用于标识各处关系的语义.

现在,我们用“歌曲《我的中国心》”举例来说明使用框架表示知识的形式.

Frame:歌曲《我的中国心》

作词:黄 霏

作曲:王福龄

创作时间:19XX

演唱者:(张明敏,李四,王二,.....)

流行时间:[1982,1984]

内容含义:(海外华人对祖国的思念,华人爱中国之心,.....)

曲词配合:很好

从上例看出,框架中槽的取值是多样的,可以详尽地表示知识的各种属性.可以认为这是一种有前途的知识表示方法.

框架表示方法的主要优点是:(1)有利于期望制导的处理.(2)在给定的状况下,通过设计能决定其本身的可利用性或者提供其他框架.(3)知识组织的方式有利于推理.主要缺点是:(1)许多实际情况与原型不符.(2)对新的情况不易适应.

框架表示一直是较为热门的研究课题.基于框架表示的实际系统有许多,如Bobrow的自然语言理解系统GUS(它使用了框架表示),Goldstein和Roberts的自动调度系统,Sfetik和Fried-

land 的分子遗传学规划实验系统等等。

目前关于框架研究的重点是:框架对大规模知识系统的组织意义,表示结构对实际认识的意义,表示系统付诸实践的问题等等。

§ 2.5 不确定性知识表示

给人的第一感觉似乎是表示不确定性知识这个问题本身是很含糊的。这是因为,只有提供了形式化的解释,样例和例外等才能明确一个非确定的概念。仅由有限个符号组成的任何形式表示均具有预先确定的且精确的解释而只能表示精确的概念。为使之有用,任何一个这种表示必须满足以下要求:

(1)与解释的实际概念的相似性;

(2)简单。

直觉上,它建议我们抛弃精确性的要求,即允许对句法实体作精确的解释。但我们不能对这种表示做有意义的符号处理,这是因为数学上的形式处理都是针对精确问题的,而这类问题被非完全地表示成已知世界模型。

若一个决策系统要从众多的候选结论中选出一个较好的,它应该对领域空间的状态有所了解。因为一个候选结论可能因状态的不同而有不同的效果。因此,为能获取一个最佳的选择,状态信息是必要的。而现实世界中状态方面的信息大多数是非确定的、模糊的。对于这种非确定性或模糊的信息的处理,人类专家能在不同环境采用不同策略、不同方式、不同程度等非常灵活的方法。若要让计算机模拟人类专家这种智能行为,我们就应有相应的表示非确定信息、推理等机制。

很长一段时间,贝叶斯模型一直是非确定性信息的表示和推理的主要方法。后来又有几种处理非确定信息的数学模型提出,第三章中将逐一它们进行介绍。

§ 3 知识的分类

知识可按其含义分为：事实、规则、规律、方法和理论等。若从知识的存在形式来分，又可分为精确知识和不精确性知识。若按使用形式可将知识分为元知识和领域知识。采用不同的形式或程度，知识的分类有不同。尽管如此，我们若要使用好知识就应对知识的各种不同类型有所了解。这一小节对接上述形式分类的各种知识作一个简单的描述。

§ 3.1 事实

事实是客观世界中存在的事物的一种简单描述。这种知识不包含有任何变量，它是永真命题。例如：

毛泽东生于 1893 年 12 月 26 日

$1+2=3$

台湾是中国不可分割的一部分领土

范国锡曾经是一位教师

一年有四个季节

等都是事实。它们表达了一个实际存在的客观事物的某个确定的属性值。

§ 3.2 规则和规律

规则是指可以分解为前件和结论两部分的那种具有因果关系的知识，其一般形式有两种：

若 A 则 B

若 A 则 B ，否则 C

由于一条规则的结论又可能是另一条规则的前件，因此，规则之间可形成一条因果链。根据这种因果关系可以求解一些问题。