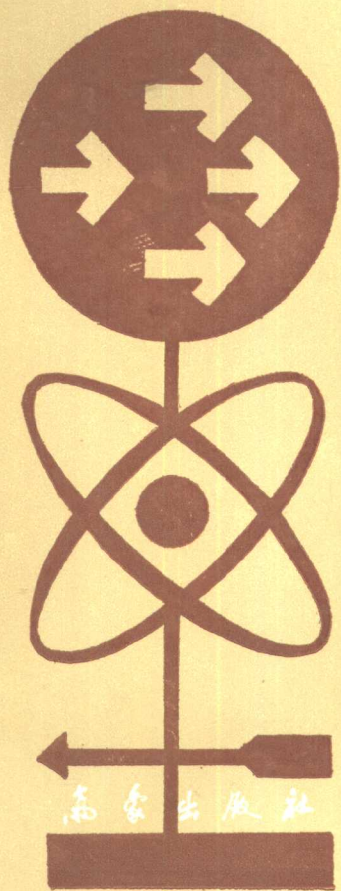


赵瑞清 王晖 邱涤虹编著

知识表示与推理

人工智能



知识表示与推理

赵瑞清

王 晖

邱涤虹

编 著

东 南 出 版 社

内 容 简 介

本书较全面地论述了知识表示、推理及它们的结合问题。其中介绍了一些我们自己的工作成果。

全书共分五章。第一章介绍目前已经为人们所用的知识表示方法；第二章介绍推理；第三章介绍具体推理模型；第四章介绍不精确推理；第五章介绍表示方法与推理的结合，即各种知识表示下的推理机的设计。

本书可作为计算机专业研究生和高年级本科生的参考教材，也可作为对人工智能、知识工程有兴趣的科学工作者及工程技术人员的实际工作的参考书。

知识表示与推理

赵瑞清 王 晖 邱涤虹 编著

责任编辑 黄丽荣

*

高等教育出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

中国科技情报所印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：11.375 字数：244千字

印数：1—2000

ISBN 7-5029-0678-9/TP·0029

定价：5.80元

前 言

“知识就是力量”已为人们所普遍接受，应运而生的“知识工程”也日益深入人心。它的一些子项（例如专家系统）已经取得了很大成绩，对人类做出了很大贡献。但是世界日益发展，不仅知识的类型日新月异的变化着、激增着，尤其其数量增加的速度更加惊人，所以如何处理知识就成为人们迫切需要解决的一个课题。

用计算机来处理知识，主要是三个问题：一是知识的获取；二是知识的表示；三是知识的运用。任何一个“知识工程”课题，处理不好这三个问题中的任何一个，那它将是一个“不成功”的产物。“知识工程”产生于60年代中期，人们经过30多年的努力，在上述三个问题上都取得了一定的成就。但就其整体而言，“知识工程”还是一门正在兴起的发展中的学科。三个问题中不论那个问题，离人们的要求还有很大距离，问题远远没有解决。因此，在本课题上，人们还大有用武之地。

本书全面地介绍知识表示与推理，也可说是针对上述三个问题中的后二个问题的。根据作者的实际体会及与多方人士的接触了解，人工智能工作者，尤其是初涉足者，对这些问题都有茫然之感，十分希望有这方面的著作，以作参考，为此作者力求满足人们这方面的要求，而写了这一本书。

本书第一章知识表示，比较简略的全面介绍这方面的方法与成就；第二章推理，介绍一般的推理方法及控制策略；

第三章推理模型，介绍具体的推理方法（模型）；第四章不精确推理，比较详细的介绍了知识工程中已有的不精确推理方法；第五章知识表示与推理的结合，主要介绍几种主要的知识表示方法下的推理机的设计方法。上述所有内容中，既比较广泛的介绍了前人的经验，也介绍了一些我们在工作中所取得的成果。

本书由赵瑞清编著第二、三、四章及第五章的第一节；由邱涤虹编著第一章及第五章的第四节；由王晖编著第五章的第二、三节。

由于水平所限，不当之处在所难免，敬请各位专家、读者批评指正。

编著者

1989年4月

目 录

前言

第一章 知识表示	(1)
§ 1 概述	(1)
1.1 什么是知识表示	(1)
1.2 知识的类型	(3)
1.3 知识的表示和利用	(5)
1.4 知识表示发展简史	(9)
§ 2 知识表示方法	(11)
2.1 自然语言表示	(11)
2.2 数据处理和传统数据库系统	(12)
2.3 程序设计语言	(17)
2.4 逻辑表示	(18)
2.5 语义网络	(19)
2.6 框架表示	(21)
2.7 产生式系统	(23)
2.8 语义原语	(26)
2.9 过程表示法	(28)
2.10 直接表示法	(30)
2.11 知识表示语言	(30)
2.12 知识表示系统	(34)
§ 3 小结	(36)
第二章 推理	(40)
§ 1 演绎推理与归纳推理	(41)
1.1 演绎推理	(41)

1.2	归纳推理	(44)
1.3	演绎推理与归纳推理的区别	(46)
§ 2	精确推理与不精确推理	(47)
§ 3	推理策略	(48)
3.1	正向推理	(49)
3.2	反向推理	(53)
3.3	混合推理	(55)
3.4	双向推理	(56)
3.5	元控制	(57)
第三章	推理模型	(58)
§ 1	使用算法的推理技术	(59)
1.1	王浩算法	(59)
1.2	海伯伦定理	(67)
1.3	鲁滨逊消解原理	(87)
1.4	消解原理的改进	(100)
§ 2	启发式推理技术	(114)
2.1	基本概念	(115)
2.2	基本搜索策略	(122)
2.3	启发式搜索	(135)
§ 3	匹配	(148)
3.1	索引匹配	(148)
3.2	变量匹配	(149)
3.3	近似匹配	(151)
3.4	过滤匹配	(152)
§ 4	并行推理	(153)
4.1	任务的分解与排序	(153)
4.2	OR并行	(155)
4.3	AND并行	(156)

4.4 协作组的组成	(156)
§ 5 其它技术	(157)
5.1 元推理	(157)
5.2 非单调推理	(161)
第四章 不精确推理	(174)
§ 1 概述	(174)
1.1 证据(断言)的不确定性	(174)
1.2 知识的不确定性	(175)
1.3 静态强度与动态强度	(175)
1.4 不精确推理中要做什么	(177)
1.5 工程方法与控制方法	(178)
§ 2 带可信度的不精确推理	(178)
2.1 静态强度与动态强度的表示	(178)
2.2 不确定性的传播算法	(186)
2.3 一个计算实例	(189)
§ 3 主观Bayes方法	(191)
3.1 主观Bayes方法下的知识表示	(191)
3.2 不确定性的传播算法	(193)
3.3 一个计算实例	(202)
§ 4 模糊集理论	(208)
§ 5 证据理论	(219)
5.1 基本理论	(219)
5.2 一个具体模型	(226)
5.3 一个计算实例	(231)
§ 6 发生率的计算	(236)
6.1 纯数值结构的限制	(236)
6.2 基本理论与方法	(238)
6.3 一种实现方案	(240)

6.4 维持一致性	(242)
§ 7 带重要性分层阈值	(247)
7.1 知识表示模式	(247)
7.2 分层阈值	(250)
7.3 不精确性的传播算法	(253)
7.4 一个例子	(255)
第五章 知识表示与推理的结合	(259)
§ 1 产生式表示法及其推理机的设计	(259)
1.1 一般形式	(259)
1.2 例子	(262)
1.3 推理机的设计	(263)
1.4 问题与讨论	(288)
§ 2 语义网络表示法及其推理机设计	(290)
2.1 表示的一般形式	(290)
2.2 语义网络表示之例	(291)
2.3 语义网络的实现和推理	(299)
2.4 问题与讨论	(306)
§ 3 框架及其推理	(306)
3.1 框架	(307)
3.2 例子	(315)
3.3 框架的推理	(317)
3.4 讨论	(322)
§ 4 逻辑表示法及其推理机的设计	(326)
4.1 使用逻辑程序表示知识	(326)
4.2 用 Prolog 实现逻辑程序设计	(332)
4.3 使用非经典逻辑处理知识	(340)
4.4 小结	(350)
参考文献	(352)

第一章 知识表示

在所有的知识工程中，知识表示的重要性是不言而喻的。它的质量直接影响着运用它的系统的质量。正因为如此，知识表示的研究是人工智能研究者的热门课题。

在这一章中，第一节是对知识表示的一般介绍；第二节是对各种知识表示方法进行简要的论述；第三节对存在的问题及今后的研究重点等问题提一些看法。

关于各种知识表示的详细情况以及在某种知识表示之下，推理机的设计，我们留在第五章论述。

§ 1 概 述

1.1 什么是知识表示

知识表示是人工智能(AI)中最重要的问题之一。专家系统需要领域专家知识以达到专家级的问题求解水平；计算机视觉系统为了完全解释景物，需要知晓它所“看”景物的特征；没有应用环境知识(领域知识)及有关听众的知识，自然语言理解系统不可能恰当地理解它们所处理的句子和词汇。人工智能对知识的强调导致了以专家系统(Expert System)为代表的知识工程的兴起，各种基于知识的系统(Knowledge-Based System)如雨后春笋般不断涌现。知识工程主要研究知识的处理。如何表示和管理知识以便使智能系统最好地利用是知识工程的关键问题。因此，知识工程的出现大大地

促进了知识表示的发展。目前,知识表示不仅成为AI的一个重要分支,而且已经形成了一个独立的子领域。

关于知识表示的研究虽然已经有许多年了,但是对于什么是知识目前尚无统一严格的定义。人们对于数据、信息、知识等的定义各有看法。通常关于知识一般存在以下几种定义:

(a) 知识是经过削减、塑造、解释、选择和转换的信息。

(b) 知识是由特定领域的描述、关系和过程组成的。

(c) 知识 = 事实 + 信念 + 启发式。

在知识定义的问题上争论得最多的是知识和数据的区别。事实上,知识和数据的区别完全是定义问题。一般认为数据描述与具体对象和状况相关的事实,而知识则描述一般对象和状况集合中的关系。

表示是为描述世界所作的一组约定,是知识的符号化过程。即表示是将知识编码成一种适当的数据结构。知识表示则是将关于世界的事实、关系、过程等编码成为一种合适的数据结构。即知识表示是将数据结构和解释过程结合起来,如果在程序中以适当方式使用,将导致程序产生智能行为。同一知识可以采用不同的表示方法。但是在解决某一问题时,不同的表示方法可能产生完全不同的效果。因此,为了有效地解决问题,我们必须选择一种合适的表示方法。知识表示主要是选择合适的形式表示知识。即寻找知识与表示之间的映射。它研究的主要问题是设计各种数据结构。即知识的形式表示方法;研究表示与控制的关系;表示和推理的关系以及知识表示和其他领域的关系。知识表示的目的在

于：通过知识的有效表示，使人工智能程序能利用这些知识作出决策、制定计划、识别状况、分析景物以及获取结论等等。

1.2 知识的类型

对于不同的人工智能工作者，对于知识表示各有其感兴趣之点。本书主要从专家系统的角度来考察知识表示的有关问题。由于专家系统的知识库通常包含不同的各类知识，例如关于对象的知识、关于过程的知识、常识性知识、以及关于目标、动机、原因、时间、动作等等知识，因此专家系统又常常称为基于知识的系统或知识基系统。图1.1.1 给出了知识基系统中知识库中可能存贮的各类知识。

知识库中的这些知识按其在智能程序问题求解过程中的

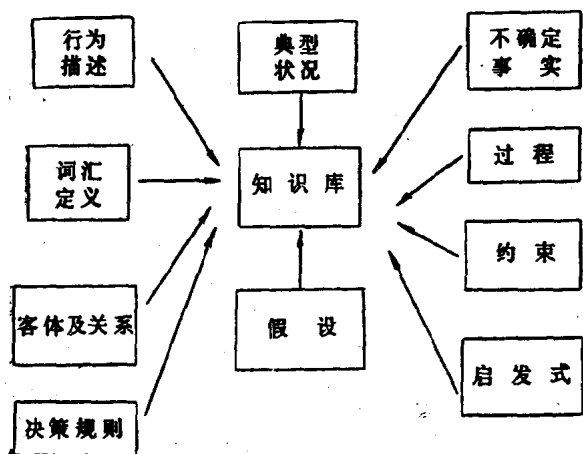


图1.1.1 知识库中可能存贮的各类知识

作用通常可分为如下几类：

- 说明性知识。说明性知识描述具体问题以及问题求解当前状况的知识。即它描述与对象相关的事实、动作、事件等。例如：“鸟有翅膀”、“鸟会飞”、“赵老师给小王一本书”等。说明性知识不但描述对象，而且还能描述对象的范畴或类。另外，说明性知识不仅需要描述事件本身，而且还需要描述事件的因果关系、时间顺序等。

- 问题求解知识。问题求解知识主要指与领域相关的知识。这些知识通常看起来是过程性知识，它说明如何处理与问题相关的数据以获得问题的解。例如：“如果太阳辐射强，且有低空急流存在，并且稳定指标接近界限，则潜在的大气不稳定性有利于暴雨的形成。”问题求解知识即领域知识是专家系统的关键所在。它是人工智能程序能达到专家水平的重要原因。

- 控制知识。控制知识主要描述问题求解的策略，控制问题求解的过程。控制策略通常有状态空间搜索、约束传播、问题归约等。这在下面章节中还要详细讨论。

- 元知识。元知识是关于知识的知识。即关于我们所知道些什么的知识。例如，我们通常知道我们在某些方面知识的范围、来源，某些信息的可靠程度，以及某些事实的相对重要程度。一般说来元知识可分为两类：一类是关于我们所知道些什么的元知识，这些元知识刻划了领域知识的内容和结构的一般特征。另一类是关于如何运用我们所知道的知识元知识。这类知识通常是为了描述问题求解的推理方法，以及为解决一个特殊任务而须完成活动的计划、组织和选择。

描述上述知识的方式有许多，下面将要详细讨论。一般而言，对于任何知识都可以利用F·Hayes-Roth提出的知识三维空间来定性描述。知识三维空间包括知识的范围、知识的目的，以及知识的有效性。范围由具体到一般，目的从说明到指定，有效性由确定到不确定。图1.1.2给出了知识的三维空间的描述。下面给出知识空间中某些点的例子。例

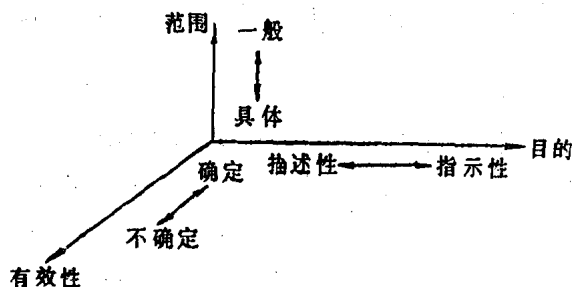


图1.1.2 知识的三维空间

如：“狗是一种哺乳动物，”该命题为真且只有很有限的应用范围，因此将其作为具体的、描述性的和确定的知识单元。“狗有四条腿”，该命题是具体的、描述性的和不确定的。因为有的狗可能只有三条腿。“为了证明X是狗，证明X的父母是狗”是具体的、指示性的和确定的。“为了得出 $P(X)$ 成立，表明 $\sim P(X)$ 是不可能的”是一般的、指示性的、确定的。“现实事物是可观察的”是一般的、描述性的、不确定的。

1.3 知识的表示和利用

专家系统和人工智能程序与传统程序的区别主要在于强

调“知识”。在专家系统中采用了称为知识依存型的系统设计方法。当然，这并不是说以前设计的许多应用程序没有使用“知识”，而应该说，以前设计的系统是以各种领域知识为基础的各式各样的系统。但是，在这些系统中，知识和利用知识的机构混为一体，在问题求解过程中哪个部分需要什么知识、以及如何利用这些知识并不明确。而与此不同，专家系统或基于知识的系统则强调将知识和利用知识的推理机构加以区分。也就是说“知识的表示方法”和“知识的利用方法”是不同的。

为明确起见，我们为知识的利用给出一个定义。所谓知识的利用是指从知识库中调用和取样一片合适的知识进行推理，它包括对给定的问题求解任务提供一种合适的知识结构。

关于是否区分知识表示和利用的争论由来已久，可以上溯到McCarthy—Hayes对于认识论和启发式的合适程度不同的分析（这里不详细讨论）。实质上，知识的表示和利用是知识表示同一内容的两个不同方面。即性能和能力（Performance—competence）。所谓能力是指表示应该具备表达领域问题所需要的各种知识的能力。所谓性能是指推理的效力。

我们都知道，知识库是一种数据结构，它存贮有关领域世界的知识。而知识库是依赖于表示模式（Representation Scheme）的，知识库是根据表示模式建立的。表示模式提供了对数据结构解释和操作的方式。因此，在专家系统设计中，表示和推理构成了最关键的问题。而为专家系统的知识表示和推理提供密切的结合和良好的折衷正是本书的旨意。

为了表达各类知识和提供良好地问题求解方式，在我们

建立知识库时，通常会遇到如下问题：

- 在知识库中如何为明确的知识提供一种结构？
- 如何编码规则以利用知识库中的知识推出新的知识？
- 何时以及如何控制问题求解中的推理？
- 如何形式的说明知识库的语义？
- 如何处理不完全的知识？
- 如何抽取专家知识并形成初始知识库？
- 随着时间的推移，如何获取新的知识？

上述这些问题从广义上来讲，是知识的利用问题。如果将其看成是狭义的定义，那么下面我们将讨论广义的知识利用。

广义地说，知识的利用可分为三个阶段：（1）获取更多的知识；（2）从知识库中检索有关事实；（3）在问题求解中对这些事实进行推理。

获取 我们通常把学习作为知识的累加，而事实上这个过程并不是简单的把新的知识加入大脑，它涉及到某些复杂地心理方式（这方面有兴趣的读者可参看Piaget的《适应：吸收和调节》一书）。人工智能程序常常在新数据结构加入数据库之前对之进行分类，以便在以后的使用中能很快的检索到。并且，在许多系统中，新老结构相互影响作用，这样有可能影响先前能适当执行的任务。再者，知识获取要求表示模式的形式对人类是自然的，即容易为作为知识源的人类专家所接受。如果在知识获取过程中不考虑这些问题，那么，新增加的事实或数据结构将不会增进系统问题求解的能力。即不会增加系统的智能行为。

检索 确定哪些知识与给定问题相关在知识库增大时是

一个十分重要的问题。人类在此问题上有着不可思议的水平。与此相关的许多表示模式就是直接根据人类记忆方式提出的。人工智能程序中关于检索的基本思想是链接和归并。如果在推理任务中，已知一种数据结构需要另一种数据结构，则在两者之间设置一个明显的链。如果好几个数据结构一般在一起使用，则将其组合成一个较大的结构。

推理 当系统要求做一些未被明确告知如何做的事情时，它必须进行推理。即从已知的事实中推出所需知道事实。例如，假设信息检索程序仅仅知道“知更鸟是鸟，”和“鸟有翅膀”。系统知道这些事实意味着它包含有数据结构和过程能回答下述问题：

知更鸟是鸟吗？ 是的。

所有的鸟是否都有翅膀？ 是的。

如果我们问“知更鸟有翅膀吗？”系统为了回答此问题必须进行推理。随着问题复杂性增加，系统具备这种能力变得十分重要。

在给定知识表示方法的情况下，应该采用何种推理方法才能使推理简单、明了？目前存在许多种推理方法，如形式推理、过程推理、类比推理、元级推理等。关于这些推理方法第二章将详细讨论。

关于知识应用有两点值得注意：第一，它们是相关的。当获取新知识时，系统必须考虑在以后推理中如何检索和应用。第二，对于大多数专家系统设计者，效率是一个十分重要的问题。虽然人工智能研究者对各种表示模式在心理学上的正确性十分关心，但迄今尚不能证明一种表示模式在体现人类记忆的某些方面优于另一种模式。目前尚不存在知识表