



人工智能 原理 及其实现

黄国兴 徐国定 编 汪燮华 审



RENGONGZINENG
YUANLI
JIQISHIXIAN



上海科学技术文献出版社

73.82
578

人工智能原理及其实现

黄国兴 徐国定 编
汪燮华 审

上海科学技术文献出版社

DL83/03
内 容 提 要

本书比较全面地介绍人工智能基本原理及其实现方法,力求缩短理论概念和具体实现间的差距。在介绍人工智能原理及具体实现的同时,介绍了程序设计语言 Prolog 的基本内容和编程方法,书中程序例子均可实际运行。

为利于教学及自学,书中附有一定数量的习题。本书可作为大专院校计算机专业及相近专业的教材,也可供有关科技人员作参考书之用。

人工智能原理及其实现

黄国兴 徐国定 编

汪燮华 审

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码:200031)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 205,000

1993年8月第1版 1993年8月第1次印刷

印数: 1—1,500

ISBN7-5439-0154-4/T·267

定价: 9.50元

《科技新书目》287-277

(沪)新登字 301号

7800148

前 言

人工智能是计算机科学的一门重要分支,是目前一个十分活跃的研究领域,已越来越受到人们的重视。近年来人们注重于把人工智能研究成果应用于实际。如何把诸如知识表示、推理方法、搜索算法等抽象方法用一种计算机语言来实现却并不是一件容易的事。

根据高等院校计算机科学系讲授该门课程的需要,我们编写了这本书。本书力求缩小人工智能理论及具体实现之间的差距,使理论学习和实际应用紧密结合,既能加深对理论的认识,又可提高设计实际应用系统的能力。由于人工智能所涉及的内容十分广泛,我们只能选择最基本的部分作为本书介绍的内容。

本书共分十三章,第二章至第五章介绍如何表示现实世界中的事实及规则,如何对数值及表进行处理等;第六、七章阐述了基于规则系统的控制结构及其实现方法;第八章介绍了不精确知识的表示及几种处理方法;第九章讨论状态空间搜索的主要方法;第十章介绍了如何用 Prolog 语言来实现这些搜索方法;第十一章涉及抽象技术在搜索和知识表示中应用;第十二章介绍了多约束条件问题求解中采用的三种常用技巧;第十三章对逻辑程序设计作进一步讨论。为便于教学,书中还有一定数量的习题。另外编写过程中所参考的文献资料一并列于本书的末尾,在书中不再一一列出。

本书的第一章至第八章由黄国兴编写,第九章至第十三章由徐国定编写。本书的编写得到汪燮华同志的帮助,在此表示衷心的感谢。书中如有不妥之处,恳请读者指正。

编者

1992.2.

目 录

第一章 引言	1
1.1 人工智能及其所涉及的领域	1
1.2 对人工智能的理解问题	5
第二章 事实的表示	7
2.1 谓词及谓词表达式	7
2.2 谓词类型	8
2.3 类型及其命名	10
2.4 性质谓词	11
2.5 关系谓词	12
2.6 语义网络类型的谓词	13
2.7 具有三个或三个以上参数的谓词	15
2.8 到底需要多少事实?	16
习题	16
第三章 变量及查询	18
3.1 对于事实的查询	18
3.2 单变量查询	19
3.3 匹配选择问题	20
3.4 多重条件的查询	21
3.5 表示否定的谓词表达式	23
3.6 几个查询例子及数据库的装入	24
3.7 回溯	25
3.8 较复杂的回溯例子	28
3.9 带有谓词 not 的回溯	31
3.10 生成-测试模式	32
3.11 回溯的实现	33
习题	35
第四章 规则的定义及推理	38

4.1	规则的定义	38
4.2	规则及事实的序	40
4.3	Prolog 程序与规则	41
4.4	延迟匹配问题	43
4.5	带有规则的回溯	44
4.6	传递关系	47
4.7	继承关系	48
4.8	传递性及继承性的实现问题	52
4.9	关于交通法规的具体实例	54
4.10	交通信号灯程序的运行	58
	习题	60
第五章	Prolog 中的算术运算及表处理	63
5.1	比较算符	63
5.2	赋值	64
5.3	关于 is 的可逆性	64
5.4	Prolog 中的表处理	67
5.5	某些表处理谓词的定义	68
5.6	与建立表有关的谓词	71
5.7	表处理谓词的组合及谓词定义的冗余性	74
5.8	例子	76
	习题	78
第六章	基于规则系统的控制结构	81
6.1	后向链控制结构	81
6.2	前向推理链	83
6.3	前向链结构的实例	85
6.4	混合控制结构	87
6.5	关于序的变化问题	90
6.6	分块控制结构	91
6.7	元规则	92
6.8	决策网络	93
6.9	并发控制结构	95
6.10	AND-OR-NOT 网络	97
	习题	99

第七章 基于规则系统的实现	102
7.1 后向链的实现	102
7.2 虚拟事实及缓冲区的实现	103
7.3 输入编码策略	104
7.4 输出编码策略	105
7.5 中间谓词	107
7.6 关于家庭室内电器装置实例的程序	108
7.7 基于规则系统的分划问题	112
7.8 规则循环混合法的实现	112
7.9 纯前向链控制结构的实现	114
7.10 带有“forall”及“doall”谓词的迭代方法	118
7.11 前向链的输入输出	119
7.12 元规则的实现	122
7.13 程序代码小结	124
习题	127
第八章 不精确知识的表示	129
8.1 概率方法	129
8.2 具有概率的规则	130
8.3 组合证据假设	132
8.4 在事件独立假设下与组合及或组合的实现	134
8.5 保守法	136
8.6 开放法	138
8.7 例子	140
习题	142
第九章 搜索	145
9.1 基本概念	145
9.2 基本搜索方法	147
9.3 启发信息, 估值函数和费用函数	149
9.4 搜索的特殊方法	153
9.5 搜索问题的一般讨论	155
习题	156
第十章 搜索的实现	159

10.1 搜索问题的定义	159
10.2 深度优先和宽度优先搜索法的实现	163
10.3 Prolog 语言的截断谓词	168
10.4 其它搜索法的实现	172
习题	180
第十一章 抽象	181
11.1 目的-手段分析法	181
11.2 知识的框架表示	187
第十二章 多约束条件问题的求解方法	195
12.1 引言	195
12.2 排列次序的调整	198
12.3 建立在依赖关系上的回溯方法	204
12.4 松弛法	206
习题	212
第十三章 逻辑程序设计的进一步讨论	214
13.1 引言	214
13.2 消解法	217
13.3 消解法的控制策略	220
习题	223
参考文献	223

第一章 引言

1.1 人工智能及其所涉及的领域

人工智能是计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学,语言学等多学科互相渗透而发展起来的一门综合性新学科。目前它属于计算机科学的一个重要分支。人工智能(Artificial Intelligence)这个词的产生,可以追溯到 1956 年夏季,在美国 Dartmouth 大学,由年青助教 J. McCarthy 和他的三位朋友 M. Minsky、N. Lochester 及 C. Shannon 共同发起,邀请了 IBM 公司的 T. More 和 A. Samuel, MIT 的 O. Selfridge 和 R. Solomonff 以及 RAND 公司和 Carnagic 工科大学的 A. Newll 和 H. A. Simon 共十位学者参加夏季学术讨论班,他们在会上第一次正式提出并使用了人工智能(Artificial Intelligence)这一术语,从而开创了计算机科学中一个新的研究领域。

关于什么是人工智能,学术界有各种各样的说法,因而要给出一个十分确切的定义似乎有些困难,但就人工智能的本质而言,它是研究如何设计一个计算机系统,使之能显示出具有某些人类智能活动的特性以延伸人的智能的科学。至于人类智能活动的特性,在目前我们所进行研究的人工智能范围内,大致包含如下几个部分:

1 自然语言处理

自然语言处理是人工智能早期的研究领域之一,目前在这个领域的研究也有了一些令人鼓舞的结果。例如,已经有能够从内部数据库回答用英语提出的问题的程序。这类程序,通过阅读文本材料和建立内部数据库,能够把句子从一种语言翻译为另一种语言,执行用英语给出的指令以及获取外部知识等等。其中有些程序甚

至能够在一定程度上翻译从话筒输入的口头指令。

当人类用语言互通信息时,他们可以毫不费力地进行极其复杂,但却几乎无需理解的过程。然而要建立一个能够生成和“理解”那怕是片言只语的自然语言计算机处理系统,却是非常困难的。困难的原因之一,是语言已发展成为智能生物之间的一种通信媒介,它可以在某些环境条件下,把“思维结构”从一个头脑传递到另一个头脑,而这两个头脑中都拥有庞大的且又高度相似的周围思维结构作为公共的文本。这些相似的,前后有联系的思维结构中的一部分,允许每个参与者了解对方,也拥有这种共同的结构,并能利用这种结构在通信“动作”中完成某些处理过程。语言用途的发展,为参与者使用他们巨大的计算资源及公共知识来生成和理解高度压缩和流畅的信息提供了机会。但语言的生成和理解,是一个极为复杂的编码和解码问题。一个能理解用自然语言来表达信息的计算机系统,看起来就象一个人那样,不仅需要有关上下文知识以及有关信息,而且还要能够利用这些知识进行推理。能理解口头的和书写的片断语言的计算机系统所取得的某些进展,其基础就是因为利用了有关表示上下文知识结构的某些人工智能思想,以及根据这类知识进行推理的某些技术。

2 推理

推理是指从已有事实(称前提)推出新的事实(称结论)的过程。人类能够比较高效率地解决一些复杂问题,这除了拥有大量的专门知识外,还由于他们具有合理选择知识和运用知识的能力。关于知识的运用,一般称之为推理方式,而知识的选择过程,通常称为控制策略,它是控制推理过程如何进行以及在何种情况下采用何种推理方式的一些控制方法。传统的形式化推理技术,是以经典的谓词逻辑为基础,它与人工智能中早期的问题求解及难题求解的关系相当密切,在定理证明中的应用也十分广泛。谓词逻辑是指由一组已知事实根据公理系统必然会推出某些结论的演绎过程,称为演绎推理。演绎是人类思维的一种主要表现形式。基于算法的数值计算可以看作是一类特殊的演绎推理。近些年来,随着人

工智能研究的不断深入,人们逐渐发现严格的演绎方式已不够用,人类求解一些复杂问题的过程要比机械的演绎方式复杂得多,因而在推理领域形成了许多非经典逻辑的推理方式,对这些方式的研究也成了人工智能研究的重要内容之一。

3 专家系统

专家系统是人工智能的一个应用领域,它属于“应用人工智能”的范畴。专家系统和传统的计算机程序最本质的不同之处在于专家系统所要解决的问题一般没有算法解,而且经常要在不精确或不确定的信息基础上作出结论。它们中一些具有代表性的系统(如 DENDRAL、MYCIN、PROSPECTOR 等)可以使用户象与人类专门领域的专家进行对话一样进行所谓“咨询对话”,使用户的问题得到解决或解释。系统有时也会向用户提出某些建议进行某些试验以利进一步分析问题及解决问题。这些系统中的化学和地质数据分析、计算机系统配置、及医疗诊断等方面,其质量已经达到很高的水平。专家系统在各个领域的应用已经产生了很可观的经济效益,这也从另一个侧面促进了对专家系统的理论及技术方面的研究。开发专家系统的关键,是如何获取、如何表示及运用人类专家的知识,因而知识获取、知识表示及推理等领域,是研究的热点。

4 组合和调度问题

确定最佳调度或组合的问题是人工智能又一个令人感兴趣的领域。典型的例子就是所谓推销员旅行问题。这个问题是希望为推销员寻找一条最短旅行路线,使他能从若干城市中的某一市出发,每个城市只允许访问一次,然后回到出发的城市。对此类问题的较形式化的提法是:对由 n 个结点组成的一个图的各条边,寻找一条费用最小的路径,使得这条路径对这 n 个结点中的每一个只许穿行一次。在大多数这类问题中,可以从可能的组合或序列中选取一个答案,但组合或序列的范围相当大,以致可能产生所谓的“组合爆炸”,这时候计算机的存贮空间将会被耗尽。这些问题中有的是被计算理论家们称为 NP——完全性问题。计算理论家们根

据使用理论上最佳方法,计算所耗时间的最坏情况来排列不同问题的困难程度,而这种困难程度,是随着问题大小的某种度量(例如:推销员旅行问题中城市的数目,即为问题大小的度量)而一起增长的。一般把这种增长划分为按线性,多项式或指数方式增长。

从目前所知道并采用的最佳方法,求解 NP——完全性问题所耗费的时间随问题的大小按指数方式增长。至今尚不知道是否还有更快的方法存在。

人工智能在这一领域的研究者们研究过若干种组合问题的求解方法,为此发展了若干方法来延迟和缓和和不可避免的组爆炸,而这些方法对于处理其他一些组合爆炸倾向不怎么严重的问题,也是十分有用的。

5 感知问题

计算机视觉及声音处理,都属于感知问题。目前的研究是给计算机系统装上电视装置,以便能够“看见”周围的东西,或者装上声音输入系统以便能够“听见”讲话的声音。研究表明,对于复杂输入数据的有效处理要求“理解”,而理解则需要大量有关所感受到的事物的背景知识。在人工智能中研究的感知过程通常包含一组操作,例如在“视觉”问题中,可见的景物由传感器编码,并被表示为一个灰度值矩阵。这些灰度值由检测器加以处理。检测器搜索主要图象的成分,如线段,简单曲线及角度等。而这些成分又进一步被处理,以便根据景物的表面和形状来推断有关景物的三维物理信息。其最终目标是利用某个适当的模型来表示该景物。

整个感知问题的关键是,形成一种精炼的表示以取代难以处理的、极其庞大的而又未经加工的数据。最终表示的性质和质量取决于感知系统的目标。不同的系统有不同的目标,但所有系统都必须把数量巨大的感知数据压缩为一种易于处理的和有意义的描述。

6 机器人学

人工智能研究中日益受到重视的另一个分支是机器人学,其中包括对操作机器人装置程序的研究。这个领域所研究的问题,从

机器人手臂的移动到实现机器人目标的动作序列的规划方法。现在正在工业界运行的众多“机器人”，都是一些按预先编好的程序执行某些重复作业的简单装置。然而一些并不复杂的动作控制问题，表面上看来并不需要很多智能，例如，即使是小孩也能顺利地通过周围环境，操作电灯开关、玩具积木及餐具等，但机器人如要完成这些任务，就要求具备在求解上述这类问题时所应具有的能力。这种能力实际上包含了较多的智能。

机器人和机器人学的研究，促进了许多人工智能思想的发展，由它所引发的一些技术，可以用来模拟现实世界的状态，描述从一种状态转变为另一种状态的变化过程。它对于如何产生动作序列的规划及怎样监督规划的执行有了较好的理解。复杂的机器人控制问题迫使人们发展了一些方法。如先在可以忽略某些细节的高层进行规则，然后再逐步在细节越来越重要的低层次进行规划。人工智能所研究的领域十分广泛，上面所提到的一些领域都是十分有意义的，然而在具体实现上都存在困难的领域。由于研究者的不断努力，对于在这些领域所取得的成就，还是可以用程序来实现，而这些程序对于进一步研究及发展已有的成果都是十分有意义的。为此，把人工智能领域中常用的基本原理用程序来一一描述并加以实现，或许能为许多涉足人工智能领域的同行们提供具体的研究工具。在本书中，我们着重介绍推理、规划及专家系统三个分支领域。我们对于其他三个领域也有所顾及，但不作重点介绍。

1.2 对人工智能的理解问题

人工智能中的一些技术及有关思想，比起计算机科学中其他一些分支似乎更难理解。特别是对某些概念及技术上的细节，需要更进一步的了解时困难似乎会更多些。这一方面是由于计算机科学领域中某些一般原理在人工智能领域中不怎么适用，另一方面也因缺少必要的实际例子来阐述人工智能的一些基本原理，以加深人们的理解。为此，本书中力求对人工智能的基本原理进行比较详细的介绍，并用一些实际例子来说明这些基本原理。虽然有些例

子所占的篇幅较多,但为了说明基本原理的需要,本书中仍按实际情况原原本本的介绍,这样对读者的帮助也许会更些。由于有关人工智能程序的复杂性及其非过程性,因而限制了程序员对于程序运行过程的了解。一般的人工智能程序中,程序员设置程序运行的初始条件,但一旦程序运行后程序员往往很难预料将会得到什么结果。这说明用于处理人工智能问题的程序设计语言,例如:Lisp,Prolog 等与传统的高级语言的程序风格有较大的差别。用传统高级语言编写的程序,程序员对于程序每一步运行的说明,意味着编程者预见到每一步应达到什么样的结果,而这对于人工智能技术却是比较难做到的。人工智能另一个令人比较费解的问题是它所面临的对象往往涉及到好些不精确知识的描述或者是精确与不精确知识两者混合的描述:这类描述在处理时与传统的数值方法有很大的差异。可以这样说,人工智能较多地涉及的是逻辑方面的处理,而不是数值处理。人工智能这个领域,总的说来有许多问题尚不甚清楚,在这些问题的研究领域内还存在着不少困难。我们希望有志于这一研究领域的人能鼓足勇气,努力攀登,“天才是百分之五的灵感加上百分之九十五的汗水”,只要我们不懈的努力,一定能达到胜利的彼岸。

第二章 事实的表示

为了使计算机系统显示人类的某些智能特性,人们必须对此类计算机系统“灌输”人类的许多常识。事实上,做这种“灌输”的工作是有一定难度的,因为有些在人类看来是显而易见的知识,若要使计算机系统也具备这样的“智能”水平却是十分不容易的。

现实世界中,有各种各样不同的知识,如果不是从认识论的角度对知识进行深入探究,知识可以粗略地分成两类,一类是事实,另一类则是推理过程。事实是关于现实世界中存在的真实的事物;而推理过程,则表明了如何由事实之间的互相关系进行推理的方法,由于事实比过程容易表示,故先向大家介绍事实的表示,到第四章再介绍有关过程表示的一些具体方法。

2.1 谓词及谓词表达式

为了表示客观世界中的事实,需要一种具体的表示语言,人工智能领域中使用好多种语言来表示知识,例如,语义网络表示,框架表示等。一阶逻辑表示法是人工智能研究中最先使用,也是使用最为普遍的方法。所谓一阶逻辑,或一阶谓词逻辑,是指不允许对谓词符号或函数符号进行量化的谓词演算。与一阶谓词逻辑相对应的一种计算机语言是 Prolog 语言,在本书中用其来具体实现人工智能领域中的一些核心原理。Prolog 的语法书写和谓词逻辑十分接近,因而具有先天的优势。目前,该语言正在被越来越多的人工智能领域的研究者所接受。

Prolog 中的谓词表达式由谓词名称及若干个参数所组成,这些参数由一对圆括号括起,参数之间用逗号分隔。谓词名及参数可以是字母或数字的各种组合,但谓词名的第一个字符必须是小写字母。(后面会讲到以大写字母开头的字符串,常常表示 Prolog 中

的变量),下划线“_”也算一个字符,在 Prolog 语言中,使用下划线能使程序的可读性更好。下面一些例子都是谓词表达式:

```
p(x)
q(y,3)
r(alpha,-2584,beta)
city(monterey,california)
tuvwxy(abc,345)
noarguments
pi(3.14159)
long_predicate_name(long_argument_name,3)
```

类似上述这些谓词,都可以方便地存入计算机,并可以分别表示现实世界中为真的那些事实。关于这些谓词表达式的语义,我们所面临的问题是确定这些谓词所表示的比较合理而又前后一致的解释及如何把它们互相联系起来的一些方法。这个问题解决得越好,从这些事实中得出的某些结论会更合理。

2.2 谓词类型

谓词可以表示任何事物,但事实上谓词是可以按它们的特性进行分类的。表 2.1 给出了谓词的一些主要类型的特征。

表 2.1 谓词类型

	类型谓词	性质谓词	关系谓词	数据库谓词	函数谓词	概率谓词
参数个数	1	2	2	1 个或多个	2 个或多个	一个或多个
参数性质	某事物	某事物 及某特性	两事物	某事物 及其特性	最后一个 为其他参数的 操作结果	最后一个 参数为事实 可信的概率
描述的 语义	给出事 物所属的 某种分类	给出某 事物的某 个特性	描述两 事物之间 的关系	类似于数 据库中一个 记录的形式	描述一种 函数映照	最后一个 参数值为其 前一个参数 是否为真的 概率
例子	ship (kennedy) vehicle (ship)	color (kennedy, gray) location (kennedy, 14n35e)	part_of (kennedy, u_s_navy) a_kind_of (kennedy, ship)	ship (kennedy, gray, 14n35e, 16feb85)	sum(3, 4, 7)	color (kennedy, gray, 0.8)

上述这些谓词与我们常见的某些程序设计语言,如 Pascal 及 Ada 等中的数据类型有点相似,在人工智能领域,由于人们要把现实世界中各种各样的事实输入计算机,因而其类型也就比一般高级语言中的数据类型要多得多。例如,希望计算机系统能了解一些有关海军船只的情况,可以输入:

```
ship(enterprise).
```

来表示“企业号”(enterprise)是一艘军舰。(谓词一律用小写字母,其后的句号是谓词的结束符),该谓词也可以解释成 enterprise 是类型“ship”的一个实例。其他诸如:

```
ship(kennedy).
```

```
ship(vinson).
```

都是关于“ship”的实例,因而 ship 是一个类型谓词。我们也可以利用这类谓词来表示其他一些事实。

```
plane(p54862).
```

```
plane(p79313).
```

表示代号为 p54862 及 p79313 的两架飞机;

```
commodore (r_h_shumaker).
```

```
president (r_reagan).
```

表示 R. H. Shumaker 将军及 R. Reagan 总统;

```
university (naval_postgraduate_school).
```

```
university (standford_university).
```

表示两所大学;

```
day_of_week (monday).
```

```
day_of_week (tuesday).
```

```
day_of_week (wednesday).
```

则表示一周中的日子这样一种概念。

在现实世界中,一件事物可以从属于一种以上的类型。例如:

```
ship (enterprise).
```

```
american (enterprise).
```

除此之外,一种类型还可以有子类型,例如:

```
carrier (vinson).
```

```
ship (carrier).
```

即表示 vinson 号是一艘航空母舰,而航空母舰当然也是船。