

人工智能理论方法

● 原著 [美] Ranan B. Banerji

● 上海交通大学出版社



人工智能理论方法

[美] Ranan B. Banerji 著

袁天鑫 沈锦泉 等译
葛自良 吴修敬

上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

内 容 提 要

本书比较深入地介绍了用离散数学来描述、分析、求解游戏和难题等智能问题的一些方法。内容主要包括问题求解理论、单人游戏、双人游戏、启发式发现的自动化、机器学习等。另外,除了正文之外,书后还列出了许多离散数学和图论知识,每章末的习题也很有参考价值。本书可作为从事人工智能理论及其应用研究的科技人员、大专院校师生的参考书。

人工智能理论方法

出 版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 上海交通大学印刷厂

开 本: 787×1092(毫米) 1/32

印 张: 10.25

字 数: 227000

版 次: 1991年5月 第一版

印 次: 1991年5月 第一次

印 数: 1—1850

科 目: 245—325

ISBN7—313—00856—2/TP·13

定价: 2.65元

译 者 话

Ranan B. Banerji 所著的《人工智能理论方法》(Artificial Intelligence—A Theoretical Approach)一书比较深入地介绍了利用离散数学这个工具来描述、分析、求解游戏和难题等智能问题的一些方法。作者的目的显然是想通过介绍他本人及其同事的研究成果来说明人工智能和许多其他科学领域一样,是可以、也应该用数学来精确讨论的。我们读了这本书之后,感到作者只用到了离散数学这个工具,而并未涉及模糊数学、模糊逻辑等方法。其研究内容虽然包含了用于处理游戏和难题的问题求解理论、机器学习和自然语言处理等方面,但其面还不够宽。尽管如此,我们仍认为书中提出的一些处理问题的思想是很有启发的,问题的讨论具有一定深度,作者较好地将离散数学应用到了人工智能的理论研究,并取得了可喜的成果,目前国内还很少见到这类书。因此,虽然此书还有要求读者具有较好的数学基础和原书的可读性较差等缺点,我们还是花了一定精力将它翻译了出来,把它介绍给我国读者,以推动我国人工智能理论方法的研究。

参加本书翻译的有袁天鑫、沈锦泉、葛自良、吴修敬等副教授和付尧清、王健同志,张建中、王淦中、裘杰、钱允琪等同志也参加了本书的部分翻译工作。在本书的翻译过程中还得到了张钟俊教授的大力支持。由于我们的水平有限,译文的缺点、错误在所难免,希望读者批评指正。

译者 1991.3.于上海交通大学

前 言

本书基本上是由我以前所写的《问题求解理论》一书经过扩充和修改而成的。我在前一本书中提出一种观点，就是人工智能与其他许多科学领域一样，能够、也应该用数学来精确讨论。本书大部分内容限于我、我的同事和我在曾经执教过的CWR (Case Western Reserve) 大学的学生们所做的科研成果。在我看来，在本书的整个编写过程中，实际上我已经组织到了在人工智能领域中为数不多、认为需要数学精确性的人员中的大部分人员。

前一本书写好以后，有许多事情迫使我要重新修改那本书。特别是那本书的印数不够，并且我也收到了许多对那本书感兴趣的读者的各种意见，于是，我和我的出版者就觉得十分有必要出版一个新版本，而仅仅只重新印刷那本书是不够的。另外，无论是在问题求解，还是在学习方面，我们自己所做的工作也大大地前进了一步。再者，许多人工智能方面的研究人员，已经开始采用数学和精确的方法来研究人工智能，并在许多学校中已经取得了很多有效的成果。所有这些，都显得有必要扩充《问题求解理论》这本书。

同时我还认为，叙述的风格需要改变。在以前的书中，我注重于确信论述的公理特性基础，因此在读者（或我本人）的脑海里留下了结果是由公理得到的，而不是由技术术语表达的直观论证得到的印象。不过我仍感到那是应该做的——自从我写了前一本书以后的全部经验充分表明，精确是需要的，否则

就容易作出错误的推测和出现明显的错误论证。但是我也清楚，在当前人工智能的习惯知识中，这是一种不入时的做法。在我以前的书中，所讲到的许多结果和方法可能仍未被读者看懂，因为那些也许只对结果感兴趣的读者被我的叙述风格击退了。

在本书中，我力图采取一个折衷办法来避免上述问题。我和我的同事们已找到了一个有效的办法，就是将我们的一些结果放到人工智能杂志中去发表，许多数学材料安排在附录中，而在本书的正文中仅仅只讨论一些主要结果。在某个结果表明了一种求解方法时或对直观论证提出反例是很重要时，我们常常仍会在本书的正文中给出其公理化论证。但是，论证风格仍然是非形式化的。

应该承认，有些时候我仍然是一个卖弄学问的教师，而不只是一个解释者。在本书的正文中，有些地方的论证过程与需要相比多了一点，我这样做是为了向读者介绍某些鲜为人知的、但却是非常有用的数学论证技术。我认为这是有必要的，因为我并没有假设我的读者应具有更多的离散数学知识。本书不像以前的那本书，在无意中假设了许多“数学成果”，因为本书主要是面向那些仅仅接触过离散数学的读者和计算机科学专业的本科生。基于同样的原因，我还用正文来解释和引深附录中的符号概念，而不只是结果的解释。我还力图通过应用例子和图，尽可能使得这种解释合读者的口味。

虽然我深信，已有一些学校在问题求解理论方面得到了重要进展，但是我们必须承认，其应用领域仍旧相当狭窄。因此每章后面的练习，与我的希望相比还相当不够。尽管如此，我还是希望本书能够作为人工智能的一本辅助教材。本书并不试

图成为人工智能领域的全面评述性著作，而只不过是某些技术和方法的评述，这些技术和方法至少已被作者或其他一些人作过专门的分析，但仍有可能存在差错。我相信只要稍作努力，我们就可把 Siklossy^[71] 的工作纳入我们的模式——或许将得到一些新认识。

虽然我们还没有讨论状态空间和简化方法^[74]之间的关系，Somalvico^[73] 格式化问题，但是可以证明这是正当的。我们希望讨论技术而不讨论模式，甚至在这里我们限于讨论那些由状态空间方法产生的技术。由 Amarel^[75] 开发的与/或树方法在这里也被略去了，我们等待着他们的主要应用领域的鉴证。

自从我的第一本书出版以来，应用人工智能已经有了重大的进展，这种进展包括整个知识工程^[35] 领域和语言识别^[80] 方面的工作，但忽略这些内容决不会降低它们在教育人工智能领域内的重要性。整个知识表示和利用范围的系统化论述的时机已经成熟，但是因为我在这方面做重要研究，因此它也被略去了。

我真诚地希望本书有足够的材料，使读者相信书中的观点是恰当的，但最终我还得依靠读者来弥补书中留下的不足之处。虽然我想继续我在这方面的努力，但是现有的科学研究的经济实力也许并不能使一个人的愿望总会实现。事实上，在1978年如果我没有机会到巴黎第 XI 大学执教 6 个月，那末我也许会感到要完成这本书是困难的。

因此，我要愉快地感谢大家的帮助。首先我要感谢在巴黎的朋友和同事，他们给了我巨大的支持，通过与他们的讨论，我对学习系统的理解大大地深入了，我虽然没有特意地列出国内外一些帮助我加深理解的同事们的名字，但我已在正文中提

到了他们当中的所有人。由于他们确实做了工作，因此是应该这样做的。

本书的前四章中所提出的许多概念，是我在合众国空军科研机构和国家科学基金的支持下在 CWR 大学所做的研究成果，最新的合同号分别是 AFOSR-71-2110 和 GJ-1135，从国家科学基金给 Temple 大学的批准号为 MCS-76-02001 的合同是用于进行第五章内容的研究的，我的巴黎之行是由国家科学基金批准提供旅费的，我在巴黎的生活费是由法国政府的 Secrétariat d'Etat aux 大学提供的。

我要感谢巴黎大学和 Temple 大学提供了有效的打印设备，还有打字员花了大量的辛勤劳动打出了令人满意的打印稿，特别是值得向 Jackie Harris 和 Paige 牧师等提出致谢，巴黎的 Bonardell 女士和 Thuillier 与 Bouvier 女士，她们担任了我在巴黎逗留期间的全部秘书工作，Lois Davies 在人民大学的有限条件下帮助解决了为加速打印工作所遇到的全部问题，Mary McCutcheon 所做的最后工作是无法估价的，所有这些，我在此一起表示感谢。

Ranan B. Banerji

目 录

第一章 问题求解理论

1.1 引言	1
1.2 游戏和难题	2
1.3 思考与经验：产生启发式的两种方法	4
1.4 生成语言	11
1.5 本书的编排	15
练习	16

第二章 难题或单人游戏

2.1 概述	18
2.2 基本结构	19
2.3 定义	22
2.4 评价与搜索策略	25
2.5 搜索策略——定义与讨论	29
2.6 一个评价的近似方法	31
2.7 不用评价的搜索策略	34
2.8 同态映射与可加问题	42
2.9 由消除差异得到解：通用问题求解器	50
2.10 可加问题中的差异	61
练习	67

第三章 双人游戏

3.1 引言	71
3.2 游戏、策略与评价	72
3.3 近似获胜策略：“与或”树和位置游戏	79

3.4	游戏的同态性和可减游戏	92
3.5	谨慎策略, 图游戏与核	99
3.6	与复合游戏同态的游戏	107
3.7	可分解结点的广义化	113
3.8	部分 D-同态及它的组成: 减少距离启发式方法	119
3.9	用半周期性的结构计算图中的核	125
3.10	Misère 游戏	134
	练习	143

第四章 启发式发现的自动化: 表达与学习

4.1	引言	146
4.2	描述问题状态和模式的语言	148
4.3	学习——启发式发现自动化的工具	155
4.4	学习玩位置游戏	160
4.5	构造差异序列和可分解图	162
4.6	用传统的模式识别来学习游戏——Samuel 的西洋象棋	182
4.7	函数的约束搜索: 离散问题的另一种求解方法	185

第五章 在一种灵活的描述语言中进行学习

5.1	引言	192
5.2	一种灵活的描述语言	195
5.3	识别与评价的正确性: 一种用作为程序设计语言的描述语言	202
5.4	正集中: 一种学习算法	206
5.5	关于描述语言和学习的某些讨论	220

附录

A.1 基本定义.....	225
A.2 问题和图.....	231
A.3 游戏.....	256
A.4 启发式发现.....	301
A.5 学习.....	305
参考文献.....	307

第一章 问题求解理论

1.1 引言

本书有两个目的：第一，我们打算给一个问题求解和学习特殊理论，它是研究人工智能的基础；第二，在能展现问题求解特征的理论上，我们将讨论一些实际问题或已被提出的一些计算机程序。

在过去的 20 年中，已经编写出了许多用来显示特殊问题中的智能特征的程序。例如，已经有能自动地改进下棋过程的游戏程序，已经编写出了相当好的下棋游戏程序和有助于分析与综合有机化学、理解基本英语、甚至推导数学公式的程序。我们的任务是要了解上述程序的基本要点，这些要点虽然与所讨论的问题结构无多大关系，但在自然界中却比较普遍。全书将指引我们讨论这种与问题相独立的算法设计。不管我们在这方面能做到什么样的程度，对于那些与程序有联系的问题，我们还是能有效地处理的。

我们需要一种与问题的领域相独立，并足够方便和精确的讨论用的语言。在此，我们选择了离散数学语言（它需要借助于形式逻辑符号），这种语言能满足上述要求。为了达到一般意义上的精度要求，我们将限于讨论那些能满足精度要求，并且其问题的独立性能被分解的程序和方法。还有，我们并不去描述许多看上去十分完美的启发式方法，这主要是因为无法成功地用足够精确的术语去描述它。在我们的研究中发现，当我

们用数学术语来表示某个猜测时,许多引起混乱的原因就消失,并且许多错误的猜测就会立刻被发现。我们知道,大家熟知的一些数学概念——在这里按我们的要求作了适当的修改——通常是有帮助的。

我们力求使讨论保持数学上的严格性,并且我们将集中突破一些显而易见的问题。不过,我们将把这些数学上很严格的结果放到附录中去,在本书的正文中仅仅保留一些重要的和说明性的讨论,除了明显地需要之外,我们将力求在这些讨论中使用最少的符号。

1.2 游戏和难题

近几年来,人工智能的实践者们(无论是在人工智能团体之内还是以外)都遵循着这一点,就是都把主要精力集中在游戏和难题的研究上,以此来代替对实际问题的研究。因为本书亦将集中精力讨论游戏和难题,因此我们有必要说明一下这种做法的合理性。

在过去,通常是这样来说明其合理性的,那就是我们发现,在大多数情况下,实际生活问题是一种不能以计算机所接受的方式表示的模糊形式,这是因为它们所包含的许多因素在本质上是非数字化的,它们并不能用某种取决于实际说明数目的数学方法精确描述。当然,除了微积分和实代数之外,还有许多数学方法可被选来表示实际问题。但直到今天,在这方面的努力还是初步和零碎的。还有,用于描述实际问题的一些常用术语的定义还不能精确地被理解,因此在这方面还需作充分的努力。

同时，在人工智能的发展史中，我们已认识到当游戏和难题被精确和确当地公式化之后，它们就具有许多实际问题的重要特点。大部分游戏和难题在本质上也是非数字化的，并且它们的行为也不能精确地预测，这是因为它们并不满足已知的数学或数据处理方法。因此，当我们学会了怎样求解难题之后，我们就应将所学到的知识用于求解实际问题，并希望在此过程中能加深对问题求解过程的认识。一部分研究工作还要求我们仿效人类问题求解的主观行为——如一部分心理学研究，我们知道，最近在这方面的研究工作已取得了重要成果。但是，本书的目的不在于讨论这个研究领域。

就上述关于研究游戏和难题的前两个目的来说，有些结果还没有被推得。虽然许多求解难题和游戏的计算机程序已被编写出来，并且具有多种有效的性能，但是，要开始把求解难题的方法转变成求解实际问题的方法，两者距离还很远，仅只有很少一部分方法可有效地从求解一种难题转变到用于求解另一种难题。从这种失败中，我们所得到的关于问题结构和能成功地用于问题求解的方法结构之间的关系的认识并不多。

本书所讨论的研究工作正在着手进行，但是，就我们已求解问题的数量来说，还没有多到足以使我们了解问题求解方法及其特点的程度。再一次指出，我们之所以讨论难题和游戏，主要是因为其具有很好的成形特点。不管怎样，我们看到，能够将所得到的结果转变成可用于处理实际问题的希望是比较大的，因为通过利用得到的研究成果，我们可把处理一个问题的方法转变成用于处理另一个问题的方法。

我们相信这是有可能的，因为我们是针对问题的结构来进行研究的。在离散数学中，有关这方面的研究结果相当丰富，

我们就借用这种方法来指导我们的思维以及组织和表示我们的思维结果。人工智能的主要思想是推导问题求解方法，而大多数实际的人工智能研究工作是开发与问题高度地相关的程序。我们相信，本书所得到的结果，就其所使用的方法来说，并不是根据一个问题，而是根据一类智能问题被推导出来的，我们已经针对可以用不同方法处理的一类问题推导出了一些技巧。在任何时候，都会出现这种情况，就是一个有用方法虽被找到，但它往往并不与我们所研究过的方法相适应。为此，我们想分离出那些能使方法变得有效的被求解问题的特征，并且我们想推导出一种技术，它可用来区分出问题的这种特征。因此，我们的结果除了为了适用于特殊问题及其求解之外，还希望能将求解方法转变到可用于全部问题的求解。但是很明显，在数学领域中，并不存在一般的、与问题相独立的有效求解方法。因此，对于已被开发出来并能广泛应用的问题求解程序，我们能进一步做的工作是推广和扩充已在不同类型问题中成功地应用的某些技术的领域。因此，我们的研究工作与问题的独立程度要比过去更大，我们有理由相信，在一定程度上，我们所研究的技术与求解方法与作为其基础的智能难题和游戏的关系比较小。

1.3 思考与经验：产生启发式的两种方法

作为本书后面部分的一个准备，我们用两个例子来说明能对我们求解给定问题产生启发式的考虑方法，一旦这些启发式被得到，我们就可将它们编写成程序，从而得到一个问题的求解系统。正如我们在前面已经指出的，这里我们将主要着眼于能

由计算机程序来产生启发式本身的程度。

在下面几章中，我们将分离出用来推导启发式的一些技术，每一种技术可得到一类启发式，并且它们已被手头的各种问题的特性参数化（如果这个术语可被用于离散型问题）了，这样，启发式的产生器基本上就是估计这些参数，下面两个例子将说明，我们所指的一类启发式及其参数是什么意思。

考虑表示在图 1.3.1 上的难题，我们将它称为 傻盘 (fool's disk)。

48-284

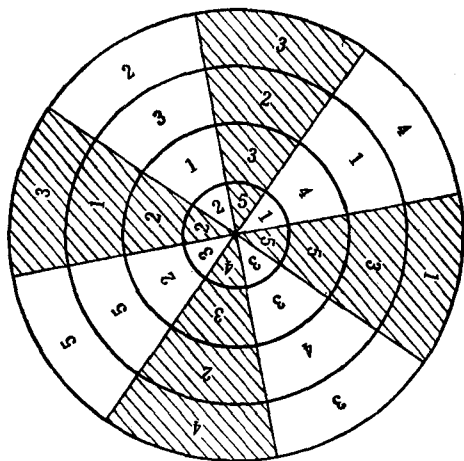


图 1.3.1 傻盘难题。它有四个大小不等，以同一点为轴心的圆盘组成，每个圆盘上有八个预先排列好的数，要求转动圆盘，使得沿每条半径的四个数字加起来等于12，从文中可知怎样方便地求解该问题。

四个圆盘可绕其公共中心旋转，并且在每个圆盘的周边上有八个数字，要求转动圆盘，使得沿每条半径的数字加起来都12。

为试验的总数和求解此问题所包含的差错虽然是有限的，但是下面的论述将引出一种相当直接的搜索过程。

我们可注意到，如所有沿半径的数字和为 12，则在图 1.3.1 上画有阴影线的“交叉”部分的数字和就是 48。正如该图所表示的，它们的和是 48，如果此和不是 48，那末，我们可转动某些圆盘使其和数为 48。当我们转动圆盘时，必须注意到，如果转动 90° 或 180° ，那不会改变阴影部分内数字之和的值，因此，以 45° 角转动四个圆盘中的一个或几个可使其和数达到 48，这就导致了我们要从 24 个不同组合中选择一或几个就行了。

一旦得到阴影部分的和数，下一个目标就应该是使得沿直径方向的数字之和为 24。同样， 180° 的转动并不会改变沿直径方向数字之和。另外， 45° 转动将会破坏沿轮辐方向，也就是沿直径方向的数字之和，因此仅仅只有试验 $\pm 90^\circ$ 的转动，这要附加上 24 次试验。一旦沿直径方向的数字之和达到了 24，那末为了求解该难题就只要试验 180° 的转动就够了。这样，从所有可能的 8^4 次的试验中，我们经过 72 次试验就可得到该难题的解。

我们在这里所讨论的这类启发式，是以问题的两个特征为基础的。第一，任何一个获胜位置有一个特点，即沿着每条半径的数字之和为 12，它包含了另一个特点，例如沿每条直径的数字之和为 24，和每个交叉部分的数字之和为 48，但是，这些另外特征，除了它们是同时发生之外，并不是获胜位置的特点。此外，该难题肯定允许的一种转动是那些既不会引入也不会移去上述所包含的那些特点的移动。因此，我们可以一个一个地引入这些特点，每一次只有少数一些移动要被试验，因为其中的某些移动会因移去某个特点而无用，和另一些移动它们可能会移去已被引入的某些特征而很危险，这样，就有下面这种求解