

05123



高等学校教材



人工智能基础

天津大学 孙雅明 编



高等学校教材

人工智能基础

天津大学 孙雅明 编

水利电力出版社

(京)新登字 115 号

高等学校教材

人工智能基础

天津大学 孙雅明 编

水利电力出版社出版

(北京三里河路 6 号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地质局印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 8.5 印张 175 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月北京第一次印刷

印数 0001—1370 册

ISBN7-120-02323-3/TM·600

定价 4.70 元

内 容 提 要

本书系统论述了人工智能的基本内容。全书共分五章：第一章介绍了人工智能的基本概念和研究的基本内容；第二章介绍典型的人工智能语言——TURBO-PROLOG 语言；第三章全面论述各种知识表示法；第四章系统论述了人工智能中问题求解的基本原理和推理策略；第五章介绍如何建造专家系统和专家系统在电力系统应用举例。为便于读者的深入学习和研究，全书在基本概念和重点内容处都配以相应例题。

本书是高等学校电类专业的本科高年级学生或研究生的选修课教材和自学参考书，亦可供从事人工智能和专家系统研究的教师和科技人员阅读和参考。

前 言

随着人工智能研究的深入发展，这门学科越来越引起世人的重视，各先进国家都在加快人工智能的实用化步伐。因此完全有必要设置人工智能方面的课程，它不单是扩大新知识，更重要的是可以训练建立思维模型的方法学。根据对非计算机专业的要求，由高等学校电力工程类教学指导委员会讨论通过编写《人工智能基础》教材。电力系统自动化编审小组于1989年通过该教材的编写大纲。该书稿前后经四次讲课试用和修改，最后于1991年11月在广州扩大会议上讨论通过。

由于本书是面向非计算机专业的学生，因此内容编排上侧重于基础内容，即论述人工智能的基本原理和方法，所以该书是以人工智能的知识表示方法和问题求解方法为核心（书中的第三、四章）编写的。在体系上把人工智能语言放在第二章是为了能对各章的例题进行阅读，用以掌握重点和基本概念。为了能把所学的人工智能内容紧密结合实践，在第五章中介绍了人工智能的重要分支——专家系统，及其在电力系统的应用例题。书中的有些内容来自于作者有关的科研项目，有些例题内容是取自所指导研究生的论文，并经过大量简化后编入的。遗憾的是由于篇幅的关系在知识获取和人工神经网络方面的基本内容未能列入。

本教材在编写过程中，一直得到电力系统自动化编审小组委员们的积极支持，原定本书参编人赵荣达因出国进修未能参加编写；本书是由华北电力学院研究生部杨以涵教授主审，他非常仔细认真地审阅，提出了有益的见解和许多宝贵的意见；在书稿讨论会上大家也提出了宝贵的意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者的水平有限，从事人工智能的教学和研究工作时间不长，书中不妥和错误之处在所难免，还恳请读者提出批评和指正。

作者

1992年10月

目 录

前 言	
第一章 绪 论	1
第一节 人工智能的基本含义	1
第二节 人工智能的研究核心	2
第三节 人工智能的研究内容	3
第四节 人工智能的发展前景	5
第五节 人工智能在电力系统的应用潜力	6
习题	7
第二章 人工智能程序设计语言	8
第一节 概述	8
第二节 TURBO-PROLOG 的基本语句	10
第三节 TURBO-PROLOG 的内部合一控制程序功能	14
第四节 TURBO-PROLOG 语法的基本概念	16
第五节 TURBO-PROLOG 程序的基本组成	21
第六节 TURBO-PROLOG 控制搜索的谓词	23
第七节 回溯与递归——PROLOG 的循环方式	27
第八节 表处理方法	30
习题	35
第三章 知识表示	38
第一节 知识表示的基本问题	38
第二节 谓词逻辑表示法	40
第三节 产生式规则表示法	51
第四节 语义网络表示法	60
第五节 框架表示法	63
第六节 过程性表示法	70
第七节 不确定性知识表示法	75
习题	82
第四章 问题求解	83
第一节 概述	83
第二节 搜索原理	85
第三节 逻辑演绎原理	93
第四节 推理过程控制器——推理机	94
习题	99

第五章 专家系统.....	100
第一节 概述	100
第二节 建造专家系统的步骤	102
第三节 专家系统在电力系统中的应用举例——超高压变电站警报信息处理和流图解释的专家系统	103
参考文献	120

第一章 绪 论

第一节 人工智能的基本含义

人工智能 (Artificial Intelligence-AI), 简称 AI。AI 这一术语是 1956 年在美国的达德茅斯(Dartmouth)大学召开世界第一次 AI 会议上由麻省理工学院(MIT)的 John Mearthy 提议而使用的。首次公开发表使用的是 MIT 的 Marvin Minsky (人称“人工智能之父”), 于 1961 年发表论文题为“Steps Towards Artificial Intelligence”。AI 这一学科至今已有近 40 年历史, 在国际上已确认 AI 是当代高科技的核心之一。AI 是一个广义词, 各有说法, 要对 AI 作出准确的定义或给出一般性的定义是有困难的, 因此用基本含义描述: AI 是用机器 (计算机或智能机) 来模仿人类的智能行为, 故亦称机器智能 (Machine Intelligence)。在

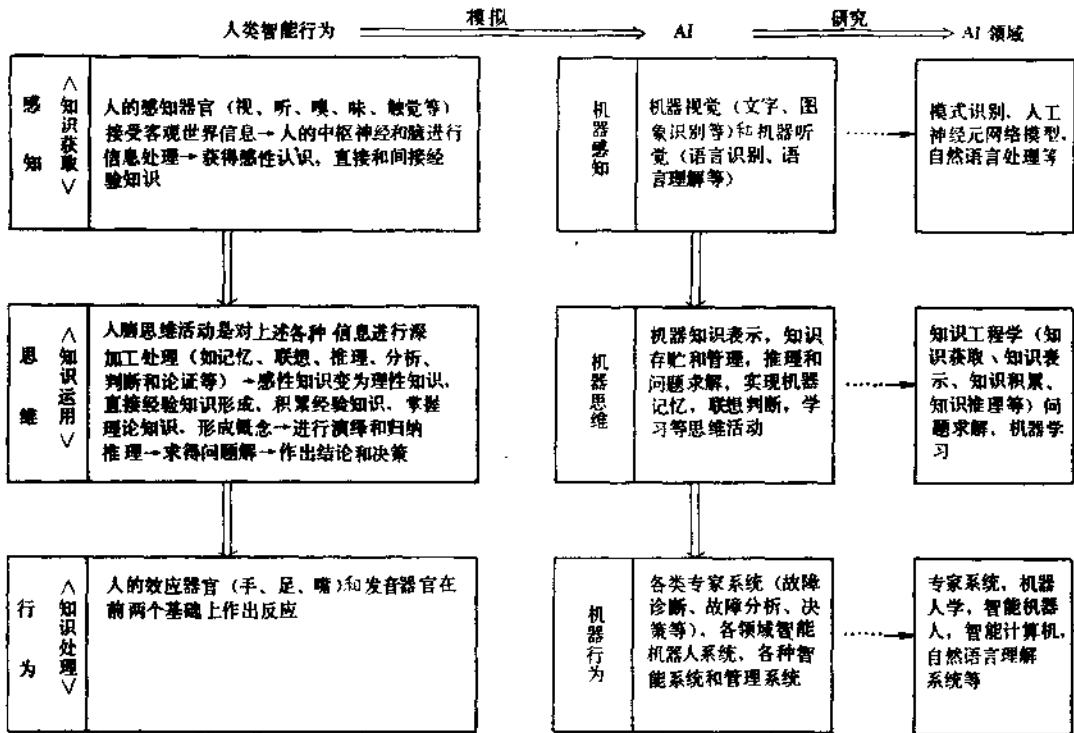


图 1-1 人类智能行为与 AI 研究的关系

这个含义中关键是如何理解人类的智能, “智能”词源来自拉丁语 Legere, 字面意思是采集、收集和汇集, 并由此进行选择。而 Intellegere 意思是从中进行选择, 进而理解、领悟和认

识。因此 AI 是要让机器进行收集、汇集、选择、理解、领悟和认识。按现今的所谓智能，是指人类在认识和改造客观世界的活动中，由思维活动和脑力劳动所体现的能力，即理解和解决问题的能力。

由 AI 基本含义可知，AI 的研究领域是广泛的，它与其它学科是相互渗透的，属交叉学科，因此边界是模糊的，如在 AI 研究领域中的定理证明与数学、自然语言理解与语言学、认知模型与心理学、推理方法与思维学、机器人与机械学、模式识别与电子学、人工神经网络与生理学等都有交界。另外，从 AI 学科的发展历史也可知，它所包含的分支内容也在不断变化，既有分出去的，也有新增加的。

图 1-1 表示人类智能行为与 AI 研究的关系。

第二节 人工智能的研究核心

AI 研究的核心一直是 AI 学科发展中争论的问题之一。在此不准备对 AI 的发展史作阐述，提出此问题目的是为加深对 AI 研究本质的进一步理解。问题争论的基本原因是因为 AI 属交叉性学科，可以从不同学科的基点去研究。如图 1-1 所示，根据 AI 含义可把模拟人类思维活动过程作为研究目标，因此 Newell 认为思维规律是 AI 的研究核心，该观点来自哲学家 Aristotle，他认为在人的思维活动中形式逻辑是一切推理活动的核心，并且 Leibnitz 和 Boole 又进一步把形式逻辑符号化和数学化，从而能实现对人的思维进行运算和逻辑演绎推理。因此，早期代表人物是 Newell 和 Simon 等人，他们研究出通用问题求解 (GPS) 程序 (于 1969 年发表最后版本)，主要用于数学定理证明。后来又进一步研究通过计算机来模拟人类思维普遍规律，并且认为只需建立一个通用的万能的符号逻辑运算体系，就能求得问题的解答。但至今这样的万能符号逻辑体系并没有研究出来，其中存在的问题是没能充分利用定义域内的专门知识，即领域专家的积累经验和启发知识，这也是促进后来研究专家系统的推动力。在这期间，Nilsson 的观点则认为在符号逻辑运算体系中的逻辑演绎方法是 AI 的研究核心。

根据人类思维规律中以形式逻辑为研究核心暴露出来的问题，心理学家则主张直接研究人类在解决问题时的实际思维活动。他们认为人类的智能行为是建立在知识基础上的，即理解和解决问题的过程是依赖于人所具有的知识行事。这完全符合哲学家和自然科学家 Bacon 提出的观点。他强调人类智能行为中知识的作用，其名言是“知识就是力量”。具这种观点的代表人物是斯坦福大学的 Feigenbaum。他认为知识是 AI 的研究核心，人类的所有智能活动，即理解和解决问题的能力，甚至学习能力都完全靠知识，并于 1977 年的第五届国际 AI 大会上提出知识工程 (Knowledge Engineering, 缩写 KE) 的名词，后来 KE 成为 AI 领域有成就的分支之一，有人把 KE 称为应用 AI。KE 的目标是智能信息处理系统，开创了以知识为基础的专家系统 (Expert System, 缩写 ES)，即具有知识获取、知识表达、知识处理、知识运用的智能信息处理系统，它是以人实施的信息处理为模型来构造的。以 Feigenbaum 为代表于 1967 年研究出第一个 ES，名为 DENDRAL，它是根据质谱仪数据来推理未知化合物分子的化学结构，在化学结构分析中作出了重要贡献。

以上两种观点都是从人类思维活动的思维学和心理学的特性出发,通过计算机软件进行宏观的智能功能模拟,把客观世界构成形式模型,在 AI 发展史上称为功能派或心理学派。

另有一派是从人脑的生理结构出发,认为大脑是一个智能问题求解系统,应把大脑构成形式模型,研究模拟思维活动的机理结构,即神经细胞、神经网络和脑模型的硬件结构系统的研究,因此称结构派或仿生学派。这方面初期研究成果有:神经网络模型,它是通过神经网络的几种基本逻辑元件来组成的;感知机,它是模仿视觉,通过学习功能进行模式识别的脑模型。后又研究出联想机,它是模仿脑的联想功能(联想记忆、联想识别以及联想推理)。当时由于受其它学科领域技术限制,在 70 年代后期研究进展不大。因人脑是由 10^{11} 个神经细胞构成的巨大神经网络系统,它是研究智能计算机的重要依据。80 年代中期以来又再度掀起神经网络(Neural Networks, 缩写 NN)的研究热潮。1987 年在美国召开了第一届神经网络国际会议,NN 的研究和应用已涉及到各学科领域。NN 硬件方面研究如美国 MIT 研制的联结机,它具有高速并行处理功能,是模拟人脑思维活动的复杂网络系统。因大脑的信息处理是串行方式和并行方式相结合的,一般认为感知信息输入和行为信息输出是并行工作方式(“冯·诺曼”计算机只能是串行工作方式),而大脑皮层的高级思维活动,如推理是串行工作方式。从而推动了第六代神经计算机的研究,ANZA 是美国 HechtNielsen 神经计算机公司研制的通用神经计算机协处理器,还有基于英国 Inmos 公司 Transputer 处理器的神经计算机。在 NN 模型理论研究方面提出了约 40 种 NN 模型,主要有 Hopfield、BP、Kohonen 等模型,所开发的支持多种 NN 模型软件已有市场产品,并取得令人鼓舞的效益。

在 AI 研究进程中,不管是哪种观点、哪个派,都表明 AI 研究是极困难的。Mecarthy 曾说过“AI 的所有主要问题都是困难的”。因此,还有待 AI 研究者付出巨大的努力。

第三节 人工智能的研究内容

由于本书作为非计算机专业类本科生和研究生选修课教材,因此不可能全面展开讨论,只能介绍 AI 基本概念和基本原理的主要部分,并结合 AI 在电力系统的应用来巩固和理解。为了对 AI 有整体了解,在此就 AI 的研究内容作简要阐述。

一、基本原理

(一) 知识获取(Knowledge Acquisition, 缩写 KA)——研究机器如何从各种知识源获取知识的问题

根据知识源的不同,机器获取知识的途径可有直接或间接两种方式。

机器直接获取知识是指机器直接接受客观世界的自然信息,并进行信息处理加工,如机器感知(机器视觉和机器听觉等)。机器视觉是机器能进行文字、图像识别和物景分析,从而获取知识;机器听觉是通过对声音识别和语言识别来获取知识。另外还有通过机器对话(自然语言对话和机器阅读对话)来获取知识,它是在机器视觉和听觉的基础上,再经

机器思维和机器行为（自然语言生成）来构成，这样获取的知识类型可更扩展，如经验知识等。以上涉及 AI 领域的研究内容是模式识别、自然语言理解等。

机器间接获取知识是指人机交互式的知识传递。根据知识获取自动化程度可划分为：人工知识获取、半自动知识获取和自动知识获取三种。

人工知识获取是较常用的方式，它是由人通过计算机键盘与计算机进行人机交互式的知识传递。这种方式下知识获取过程为：求解问题的确定；问题域知识概念化和建立知识基本模型；有效知识表示模式。

半自动知识获取是以智能编辑器为知识获取辅助工具，进行人机交互式的知识传递。在 AI 系统开发中，知识获取问题是最困难和最棘手的问题。首先要把问题域的各种知识源传递给 AI 程序设计员掌握，因此 AI 程序员必须与问题域的专家、工程技术人员、用户之间进行知识信息交换。由于受 AI 程序员对问题理解能力因素的限制，特别是领域专家的一些直觉知识很难准确地描述，也有虽然已获得知识，但受 AI 语言限制难以充分表达，因而会影响知识的确定性、有效性，以及会出现知识之间的一致性等。智能编辑器可免去 AI 程序员与具有问题域的知识人员之间的中间知识传递，而由问题域的知识人员直接与机器交互式传递知识，自动生成知识库，提高获取知识的可靠性，减少错误。这类半自动知识获取的学习策略是，仍需具有问题域知识的人当教师来指导学习，故称指导注入式学习（Learning by advice-talking）。

自动知识获取是指 AI 系统在运行过程中，能对处理过的问题实例进行探索、归纳和总结，获取新的经验知识或启发式知识，发现新知识。其相应学习策略是示例学习（Learning from Example）、类比学习（Learning by Analogy）、发现式学习（learning by Discovery）等，这种学习具有一定的创造性。

上述机器间接知识获取方法在 AI 研究领域中的内容为：机器学习，专家系统开发工具。

（二）知识表示（Knowledge Representation，缩写 KR）——研究如何在机器中表示知识的方法学问题

构造任何 AI 系统，在知识获取初级阶段是根据确定的问题域，把有关问题域的各种知识源经各种传递方式汇合到 AI 程序员，然后进入概念化阶段，该阶段要进行的工作有：对求解问题进行子问题分解；研究各问题涉及的定义、概念及相互关系；各知识的层次关系和因果关系；给定的信息和数据内容；专家的经验知识、启发知识和联想知识等。知识表示阶段是在概念化阶段所建立的求解问题基本模型基础上，把所确定的知识假设空间结构和数据特征结构，变换成一定的表示形式，且必须是机器可能接受的表示形式，因此该阶段实际是知识的模型化或形式化阶段。由于不同特性的知识描述，所用的表示模式不同，而且同一个问题亦可用不同的表示方法，但它们在效能上是有差异的，因此要用一定原则去评估知识形式化工作。在 AI 中知识表示研究也是一个最基本的内容。现已有十几种表示方法，常用的有：产生式规则表示法；过程性知识表示法；特征表表示法；框架结构表示法；语义网络表示法等。

（三）问题求解（Problem Solving，缩写 PS）——运用存贮于机器中知识形式进行相

应知识处理的问题

求解问题的能力是衡量智能的重要尺度。在 AI 中问题求解应与传统程序的问题求解严格区分开。传统程序的问题求解是依靠建立数学模型和相应的算法进行。而 AI 中的问题求解是由思维规律和心理学出发建立模型，因此 AI 的问题求解是运用已有知识去推出结论，故推理方式与知识表示形式有密切关系，一般用搜索原理或逻辑演绎原理，在所构造问题域的空间内进行问题求解。搜索原理策略有宽度优先搜索、深度优先搜索、启发式搜索、博弈树搜索等。逻辑演绎是反复运用归结原理求解。

全部知识推理过程是由控制器或推理机来引导实现，其基本控制策略有正向、反向、双向混合推理。

问题求解是 AI 研究领域的核心课题之一，因 AI 研究领域中许多分支课题都与它密切相关，如自然语言理解、模式识别、数学定理证明、智能机器人、机器学习、专家系统等都涉及问题求解。

二、AI 语言——知识处理的工具

任何 AI 系统的构成必须有相应的语言。其作用是为了表达人类的思维活动，把问题域经形式化的知识有效地传递给机器，便于对求解问题基本模型的表示。自 AI 发展以来，由于应用领域广泛，对语言的要求也有所不同，至今已有 10 多种 AI 语言可供使用，如 LISP, SAIL, KRL, PROLOG, OPS5, OPS83 等。目前较广泛应用的是 LISP 和 PROLOG 两种。

三、AI 的应用研究

AI 的应用研究是指根据 AI 原理构成的智能信息处理系统，或称智能系统，它是专家系统、神经网络、模糊控制三者的总称，是在知识获取和知识表达基础上，通过问题求解策略进行知识信息处理，求得问题的解答，或作出决策，或作出行为反应等。由于 AI 学科本身具有广泛性特点，因此 AI 的应用研究也已深入各个学科和领域，并取得显著成果。随着 AI 学科的发展已形成许多新的重要分支，如专家系统，智能机器人系统，自然语言理解系统，模式识别系统，机器学习系统，智能控制系统等。

第四节 人工智能的发展前景

自 AI 发展以来，已显示出无比强大的应用潜力，特别是 AI 的重要分支，如专家系统 (Expert System——ES)、机器学习 (Machine Learning)、机器人学 (Robotics)、智能计算机 (Intelligent Computer) 等都获得巨大经济效益和社会效益，如 1967 年由斯坦福大学 (SU) 的 Feigenbaum 领导研制的 DENDRAL 化学结构分析专家系统，每天都为各国数百个用户进行化学结构分析；1979 年斯坦福国际研究所 (SRI) 研制的 PROSPECTOR 已发现了价值 1 亿美元以上的钨矿；1980 年由卡内基—梅隆大学 (CMU) 和数字仪器公司 (DEC) 联合研制的 RI 和 XCON 系统，它可根据用户定货单来确定 VAX 计算机必需的硬件配置，每年可为 DEC 节约 1500 万美元；1981 年 SU 开发的 EURISVKO (具有机器学习) 专家系统，在海军模拟作战和大规模集成电路设计中得到实际应用，是 AI 中第一个获

专利的 AI 软件, 是 AI 研究的关键突破。80 年代机器人学的研究得到很大发展, 它是模式识别和自然语言理解进一步综合的成果。工业机器人已广泛应用于各工业部门。由于机器人不受环境干扰, 不需睡觉, 动作精确, 可使生产率大幅度提高, 例如装配汽车机器人已被广泛采用。智能机器人也已开始应用, 如采苹果机器人, 它可以判断是否成熟, 并能在三维空间中活动。

另一个重要的分支是 80 年代初期美、日等国家开始智能计算机 (第五代计算机) 的研究。各国都投入大量的入力和财力, 把此项研究放在战略性的地位, 目前已取得重大的进展。我国在 AI 领域的研究虽然起步较晚, 但从目前研究水平看已接近国际水平。

可以预见, 90 年代将是 AI 的应用研究全面展开的时代, 智能计算机将在实际应用领域有重大突破并将发挥巨大作用, NN 以及 NN、ES 和 FS (Fuzzy System) 三者结合研究热将继续, 人类将随 AI 研究的深入进入脑力劳动自动化的新时代。

第五节 人工智能在电力系统的应用潜力

由于大规模电力系统一般具有先进的自动控制水平, 且电力系统研究的大量问题已具备相应的数学模型和数值算法, 因此在 AI 早期对电力部门的吸引力不大。随着专家系统 (ES) 应用的巨大成功亦启发电力部门研究人员去尝试, 很快发现 AI 在电力系统的应用潜力也是很大的, 同时加上电力系统具备 AI 应用的技术基础, 因此 AI 在电力系统的应用研究发展很快, 表 1-1 是国际大电网会议工作组对 15 个国家 68 个用于电力系统的 ES 的调查。由表可知, 在故障诊断、警报处理和恢复控制的开发应用占重要比例, 其原因:

表 1-1 68 个用于电力系统的 ES 调查表^[1]

分类	规划			监视			控制			系统分析		教育仿真		其它	
	运行规划	装备设计	系统规划	故障诊断	警报处理	事故评估	正常控制	紧急控制	恢复控制	静态分析	动态分析	辅助教育	仿真器	负荷管理	和污染等
任务目的															
百分比	10.2	3.1	1.0	13.3	13.3	9.1	11.3	4.0	12.3	12.3	1.0	1.0	2.1		
合计	14.3			35.7			27.6			13.3		3.1		6.0	

(1) 电力系统运行中最关键的问题是在出现事故时要求迅速恢复处理, 限制事故扩大。故要求运行人员能正确判断事故原因和迅速恢复处理。但由于电力系统可靠、安全地运行, 难于给予运行人员获得判断事故和恢复处理的经验知识, 特别还受事故时环境和人员素质因素的影响。因此在事故时, 运行人员有个“智能参谋”, 它具有故障诊断、事故分析和提出恢复决策的能力, 这是极为必要的。

(2) 设备的故障诊断, 如变压器故障诊断和发电机故障诊断的 ES, 这类设备多数是根据监视数据与经验数据进行综合分析比较后, 得出故障性质和部位, 无法建立数学模型。这类问题恰好是 ES 的优势。

(3) 大规模电力系统的调度中心,在事故时的警报信息量极大,5min内可达2000个信息,屏幕显示将会产生滚屏,已超出人的反应能力。若对大量警报信息进行智能处理,显示其中最关键的警报信息,为运行人员事故分析及时提供有效的依据是极为重要的。

习 题

1. 人工智能的基本含义是什么?
2. 试述人工智能学科的性质。
3. 试述人类智能行为所包含的内容。
4. 试述人工智能研究中的功能派和结构派的主要区别。
5. 根据人类智能行为的内容而构成的人工智能基本原理的内容是什么?

第二章 人工智能程序设计语言

第一节 概 述

一、AI 程序设计语言

人类是通过自然语言来表达思想、知识、学习、交流等。为实现 AI 用机器模拟人的智能行为，显然，必须有适合于 AI 的知识获取、知识表示、知识推理的语言，编写相应的智能程序，以构成 AI 系统，即知识信息处理系统。广义地讲，任何语言都能实现 AI 程序设计，但问题是能否充分表现出 AI 的研究性能和目标，这是人们关心的核心问题。下面在讨论 AI 程序与传统程序的区别中，可以进一步理解研究 AI 语言的必要性。

自 AI 发展以来，由于 AI 应用领域的广泛性，已有十几种语言被应用，它们都是根据适用于所研究问题领域知识描述和处理而提出的。如 IPL 语言是早期 AI 的表处理语言，它接近机器语言，用起来不方便。LISP 语言从早期到现在经多次改进，一直被广泛应用。它是函数型语言，在 AI 程序中数据结构是表结构，因此核心是表处理。在 LISP 基础上发展的语言有 PLANNER 和 KRL 语言。PLANNER 语言便于面向目标的推理，而 KRL 语言适于框架知识表示。PROLOG 语言是在 AI 中影响最大的语言，它是基于演绎推理的逻辑型语言。OPS 语言属通用知识表示语言，因它不偏向特定问题的求解策略或知识表示，在 AI 中应用也不少，现开发有 OPS83 的 ES 工具。其它语言不再赘述。

根据统计，在 AI 系统中应用最广泛的语言有：LISP 占 28.1%；PROLOG 占 25.0%。本章主要介绍 TURBO-PROLOG 语言。

二、AI 程序与传统程序

由于 AI 系统的目标是实现人的智能行为，因此 AI 程序的结构与传统程序的结构是有本质区别的。对人类而言，其行为是根据知识行事，求解问题能力也表现在如何灵活、有效地运用大脑中的知识。为此，AI 系统的程序结构要求采用三级层次，即数据库级、知识库级和进行知识处理的控制级。但传统程序则为数据和程序两级结构。两种程序的差异见表 2-1。

表 2-1 中所列 AI 程序与传统程序间的差异，必须用相应的语言结构来支持，以充分体现 AI 系统所要求的性能。这就是建立 AI 语言的必要性。

三、PROLOG 语言发展概述

PROLOG 是 PROgraming in LOGic 的缩写。1970 年由英国帝国理工学院的 R. Kowalski 提出该语言的理论，至 1972 年由法国马赛大学的 A. Colmerauer 和 P. Roussel 及其研究小组研制成第一个实用 PROLOG 系统，后来英国爱丁堡大学对 PROLOG 的开发和应用研究工作尤为突出。首先在欧洲得到广泛的应用，处领先地位。1977 年英国爱丁堡大学的 D. Warren 开发了 DEC-10 PROLOG，进一步完善了 PROLOG 语言。在 70 年代美

国则热衷于 LISP 语言的研究和开发工作，广泛使用 LISP 语言。80 年代开始转向 PROLOG，并且开发研究极为迅速。值得提出的是，1981 年日本宣布要用 PROLOG 语言作为第五代计算机的核心语言来研究和开发，并制造 PROLOG 计算机。继而 PROLOG 在微机上得到开发应用，如 Micro-PROLOG，TURBO-PROLOG，前者是解释型的，后者是编译型的。TURBO-PROLOG 是于 1986 年由美国 Borland International 公司为 IBM PC 研制的，版本不断更新，功能更完善，已在微机上广泛开发应用。国内也已有相应的汉化版本。

表 2-1 AI 程序与传统程序的差异

传统程序	AI 程序
1. 以数据为处理对象	1. 强调符号处理
2. 知识表现在建立数学模型和算法	2. 按求解问题的思维规律和心理学建立知识模型，加入启发式知识以简化问题的求解
3. 模型和算法的精确性决定解或优化解的精度	3. 根据所建知识库寻求问题的满意解答，可以是精确的或一定可信度的不精确解答
4. 知识隐含于整个程序中，即知识与数据演算融合在一起不可分离，为此知识不易扩充、增删和修改	4. 知识是显式表示于知识库中，故知识与知识处理具有相对独立性，知识与控制级知识是可分离的，便于知识扩充，增删和修改，可具自学习能力
5. 程序的执行为顺序过程，是可预知的	5. 程序执行过程是无法预知的，要求语言具模式匹配和高度交互技术。它是按照问题求解要求，从知识库选择所需知识，形成问题解的序列，表现其智能性
6. 不能对程序过程和结果进行解释	6. 知识库中包含相应知识的解释结构，运行中采用“黑板”。因此可把求解问题过程进行解释，可使用户了解“为什么”，这种透明度，增强了用户对 AI 系统的可接受性
7. 问题求解主要方法是数值仿真技术	7. 问题求解是知识处理技术，如搜索策略和推理策略

由于 PROLOG 语句简洁，表达能力强，具有描述性语言的优势，已被广泛应用在 AI 各领域中，如专家系统、自然语言理解、定理证明、抽象问题求解等。

四、PROLOG 语言的特点

PROLOG 语言具有如下特点：

1. PROLOG 是逻辑型描述性语言

大家熟知的 BASIC、FORTRAN、PASCAL、FOXBASE 等高级语言都属过程性语言。这些语言在程序编写上是过程性的，即要求程序员具体写出每一过程的步骤和对数据如何进行操作的要求。可以把它看成是程序员在逐条命令计算机“如何做”，因此过程性语言属命令型。

而 AI 要求非过程性语言。PROLOG 是非过程性的描述性（或陈述性）语言，是说明问题求解的逻辑语言。该语言要求程序员描述与求解问题有关的对象及其间关系的已知事实，定义问题有关对象及其间因果关系的规则。可见，编程强调描述对象（或事实）之间的逻辑关系，而不必去指定求解问题的详细步骤。它仅要求程序员告诉计算机“做什么”，

至于如何做则是计算机本身的事。这是 PROLOG 优于 LISP 的重要之处。LISP 虽非过程性语言，但不是描述性语言，而是应用式语言。

2. 数据和程序的结构统一

PROLOG 提供统一的符号结构，称为“项 (tern)”。这样，不管数据和程序都用“项”为基本单位来构造，且整体结构采用树型结构。

3. 仅三种句型，语法规则简单

4. 易于编程和可读性强

PROLOG 是以一阶谓词逻辑（下面再定义）为基础，接近自然语言描述方式。一阶谓词逻辑是描述关系的形式语言，它强调描述被处理对象及其间的逻辑关系，因此易编易读。程序执行过程自动形成逻辑推理过程，不必规定计算机执行的次序。但要说明，一阶谓词逻辑也只能模拟人类部分逻辑思维，而不是全部。许多非规范逻辑如模糊逻辑、时间逻辑等，还有待进一步研究。

5. 适于与并行处理机统一

PROLOG 被用作第五代计算机的核心语言。

6. 具有自动模式匹配和回溯的操作机制

PROLOG 具有自动模式匹配和回溯的操作机制，是 AI 模仿人在问题求解中的比较、记忆等的基本控制操作。

第二节 TURBO-PROLOG 的基本语句

一、PROLOG——以一阶谓词逻辑为基础的形式语言

用 AI 语言来表示陈述性知识，有以谓词为中心和以对象为中心两种类型。前者强调客观世界中对象与对象之间关系的组成，如 PROLOG 就是强调被处理对象及其间的逻辑关系。后者是强调客观世界是由对象的集合组成，对象之间是通过信息传递发生关系的，如 LISP 就属于函数型。

PROLOG 的逻辑方法实际是谓词逻辑派生出来的，以一阶谓词逻辑为基础的形式语言。而谓词逻辑是为改变命题逻辑的局限性而提出的。有关命题逻辑和谓词逻辑的基本理论在知识表示中还要详述，在此只对 PROLOG 语言的表示形式作概念性简述。凡具有“真”或“假”意义的断言（或陈述句，或事实）在逻辑中称为命题，如：王玲喜欢音乐。命题逻辑是以命题为基本组成，是研究命题及其间关系的符号逻辑系统，通常用单个大写字母表示命题，如：

A: 王玲喜欢音乐。

B: 刘芳喜欢音乐。

C: 运算放大器是线性集成元件。

⋮

N: 断路器在“合闸”位置。