经全国中小学教材审定
委员会2005年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

信息技术 · 选修5

人工智能初步

RENGONG ZHINENG CHUBU

祝智庭 主编



中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

信息技术 · 选修5

人工智能初步

RENGONG ZHINENG CHUBU

祝智庭　主编

中国地图出版社

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

本套教科书主编　祝智庭
本套教科书副主编　刘观武　任友群　高淑印
本册教科书主编　祝智庭
本册教科书副主编　王慧芳

责任编辑　沈万君
美术编辑　张　萌　　李　伟
审　　校　李　斌
复　　审　李俊生
审　　订　余　凡

经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过
普通高中课程标准实验教科书

书　　名	信息技术·选修5 人工智能初步
主　　编	祝智庭
出　　版	中国地图出版社
社　　址	北京市宣武区白纸坊西街3号
邮政编码	100054
电　　话	010-83543930
地图教学网	www.ditu.cn
印　　刷	
发　　行	新华书店
成品规格	210mm×297mm
印　　张	7.5
版　　次	2005年6月第1版　2009年12月第2版
印　　次	2019年12月　第13次印刷
书　　号	ISBN 978-7-5031-5271-9
定　　价	元（含光盘定价：5.00元）
批准文号	举报电话：12358

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

编写说明

本套教科书根据教育部《普通高中技术课程标准（实验）·信息技术》编写，经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过，供高中阶段学习使用。本套教科书共分六册：必修模块为《信息技术基础》，选修模块依次为《算法与程序设计》《多媒体技术应用》《网络技术应用》《数据管理技术》和《人工智能初步》。

整套教科书以“知识引领、活动穿插，任务引领、知识渗透，工具支持、资源配套，评估跟进、形式多样”为编写思路，从解决学生日常生活和学习中的实际问题入手，运用信息获取、加工、管理、表达与交流的基本方法，在主题活动、探究性学习等多种形式的学习过程中逐步提升学生的信息素养，从而实现知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观三个方面的培养目标。为了方便学习和创作，便于过程性评价，教科书引入了基于网络环境的“电子学习档案袋”。每册教科书附配套学习光盘（CD-ROM），从课本资料、视频教程、学生范例、技术扩展和学生自测系统等几方面为课程学习提供帮助。建立“信息技术学习网”服务网站，及时更新和拓展教学资源，为教师和学生提供教与学的支持；为便于教师运用电子学习档案袋、电子作品和在线考试平台等多种评价方式对学生的学习效果进行测评，网站还特别提供了相关软件和辅助资源。

自初审通过，本套教科书已在多个新课改实验区使用多年。为了进一步提高教科书的质量和普适性，在充分调研的基础上，2009年9月，我们组织人员对本套教科书进行了修订，力图更完善地呈现教科书的科学性、通用性和前瞻性。

本册教科书为选修5模块，供36学时使用。

本套教科书由华东师范大学教授、博士生导师祝智庭任主编，特级教师刘观武、华东师范大学教授任友群博士、天津市中小学教育教学研究室高淑印任副主编。

本册教科书主编祝智庭，副主编王慧芳，编写者王雁、林田、郭丽娟、张恺、高淑印、齐国英。

参与本册教科书修订的人员有王慧芳、张恺、李莉、陶勇。

欢迎广大师生通过电子邮件（infotech@sinomaps.com）与我们交流，提出意见和要求，指出差错或不足，共同推动信息技术课程和教材的建设。

天津市中小学教育教学研究室

中 国 地 图 出 版 社

2009年12月

微信公众号：电子课本大全

前言

人类是地球上最富有智慧的生命。

人类从不甘于做自然的奴隶，也从未停止过对理想的追求。

人类不是被动地适应客观世界，而是积极地、能动地加强自身的能力，认识和利用自然，逐步达到与自然和谐相处。

人类曾经幻想能像鸟儿飞翔在蓝天，像鱼儿遨游在海底，像猛虎力大无比，像猴子机敏灵巧，长着千里眼、顺风耳……当人类制造出种种机器，使这些愿望已经或正在成为现实的时候，人类又确定了新的目标——制造会“思考”的机器，让机器来担当那些需要人类知识、经验和智慧来完成的任务，比如下棋、看病、证明数学题……

制造会“思考”的机器是人类所面临的最具挑战意义的任务，因为它直接指向人类的本质特征——智慧。

人的大脑是如何工作的？动机、意识、灵感、顿悟等都属于人类特有的精神领域，机器能涉足这些领域吗？大脑是由物质构成的，大脑的活动能用人造的物质元件来实现吗？一旦我们能够赋予机器智慧，机器的智慧是否有可能超越人类？……

至今，这些问题还未得到圆满的解答，但是半个世纪以来，人类已经在解释和模拟人类智能的道路上迈出了一大步，人造的机器系统已经在某些方面体现了人类智慧（如人机对弈）。人工智能正在帮助我们剥去智能机器的一层层外壳，逼近那个令人神往的智慧之核。2017 年 6 月 15 日 11 时 00 分，我国成功发射首颗 X 射线调制望远镜卫星“慧眼”，展示了 21 世纪人工智能技术的新成就，表明了人类不断探索未知的决心和勇气。

学习人工智能知识，“经历”是最好的老师。我们将一起经历“人机对弈”“机器证明”……一起去感受人工智能的神奇魅力。这些经历，一定会令同学们无比激动，充满好奇，渴望去探秘。

当秘密破解之时，一连串的效应将会发生，同学们看问题的视角、思维方式、解决问题的能力以及个人的理想、志向乃至于自己在未来社会的角色定位必将发生巨大的变化。

微信公众号：电子课本大全

目录

第一单元　感受人工智能的魅力　1

第一节　敲开人工智能之门　2

第二节　畅游人工智能世界　7

第三节　智能机器与人类共同的未来（选学）　21



第二单元　用知识武装机器　25

第一节　知识　26

第二节　状态空间表示法　29

第三节　其他知识表示法　36

第三单元　神奇的机器专家　45

第一节　初识专家系统　46

第二节　专家系统基础　51

第三节　专家系统推理机制　59

第四节　专家系统开发工具　67

第五节　用“外壳”开发专家系统　75



第四单元　机器如何解难题　81

第一节　Prolog语言基础　82

第二节　趣味数学问题　90

第三节　经典智能问题　100

第四节　数据库查询问题　105

重要术语中英文对照表　113

微信公众号：电子课本大全

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

第一单元 Information Technology

感受人工智能的魅力

人类渴望制造一种机器，像人一样，能够完成各种工作。这个幻想与追求已经有三千多年的历史了。

据《列子·汤问》篇记载，公元前九百多年，周穆王西游途中遇到一位名叫偃师的工匠，偃师把一个能歌善舞的机械人献给穆王。这个机械人走起路来像人一样，一会儿昂首阔步，一会儿低头漫游，还会侧着脸和着旋律唱歌，扬起手合乎节拍地跳舞，活灵活现，使得穆王惊叹不已。

《三国演义》里有一段诸葛亮“六出祁山，七擒孟获”的故事，其中描写了诸葛亮发明的一种具有“智能”雏形的机器，人称“木牛流马”。木牛流马可以在崎岖的栈道上运送军粮，且“人不大劳，牛不饮食”，正是它解决了几十万大军的粮草运输问题，保证了“七擒孟获”的胜利。

机械人和木牛流马是我国早期关于智能机器的传说，时至今日，又有哪些智能机器诞生了呢?

让我们一起畅游人工智能世界，感受人工智能的魅力!

微信公众号：电子课本大全

第一节 敲开人工智能之门

本节我们将初步了解人类为模仿人脑思维能力走过的漫长历程，理解人工智能的含义，了解人工智能的主要应用领域。

一 我们身边的人工智能

人工智能（Artificial Intelligence，简称 AI）是计算机学科的一个分支，属于当代世界尖端技术之一。人类对人工智能的渴求可以追溯到很久以前，从古埃及的水晶起搏器到我国三国时期的木牛流马，无不体现了人类祖先对人工智能孜孜不倦的追求。随着社会的不断发展和科技水平的不断提高，目前已经设计出了形形色色的“智能”机器。



1 将身边具有“智能”的机器（产品或程序等）的名称填在表 1-1-1 中，并介绍给大家。



2 利用上学期所学的信息检索技术，查询这些机器（产品或程序等）利用了哪些人工智能技术，以及模仿了人类的何种智能，将结果填在表 1-1-1 中。

表 1-1-1 寻找身边的“智能”机器

序号	机器（产品或程序等）	模仿人类的何种智能
1		
2		
3		
…		



3 根据上表提供的信息，试着给人工智能下一个定义，填在下面的横线上，并和大家交流一下。

人工智能：_____

_____。

二 什么是人工智能

我国在《人工智能标准化白皮书（2018 版）》中提出“人工智能是利用数字计算机或者数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能，感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统”。

微信公众号：电子课本大全

早在17世纪中叶，德国数学家、哲学家莱布尼兹（Leibnitz）就曾想建立一种通用的符号语言，并用这种符号语言进行推理演算。

1854年，英国数学家乔治·布尔（George Boole）创立布尔代数系统，从而提供了实现思维演算化的工具。

1936年，图灵创立了计算机模型——“图灵机”。在此基础上，1946年诞生了世界上第一台通用电子数字计算机，这不仅大大提高了人类的计算能力，同时也为人工智能技术提供了试验平台。

1950年，图灵发表了一篇划时代之作——《计算机器与智能》。文章开宗明义地提出“我建议来考虑这个问题：机器能够思维吗？”。为了判断机器是否具有智能，图灵还设计了一个“模仿游戏”——著名的图灵测试。具体方法是：提问者、被提问者和计算机被分别隔离在不同的房间，提问者通过打字机提出问题，被提问者和计算机同时回答。经过若干问题的测试，如果提问者不能辨别回答者是人还是机器，就证明计算机已经具备了人的智能。图灵预言，总有一天计算机可以通过编程获得能与人类竞争的智能。

受图灵建议和预言的鼓舞，一些数学家、哲学家、心理学家、神经学家纷纷加入制造会思考的机器的行列，一个新的探索领域——人工智能研究由此展开，图灵也因此被誉为“人工智能之父”。

像许多新兴的学科一样，到目前为止，对人工智能还没有一种普遍认同的定义。这主要是由两方面的原因造成的：一方面，人工智能涉及的领域众多，如哲学、生理学、心理学、数学、机械、电子、计算机、信息等等学科，在不同的学科人们研究的侧重点不尽相同，因而给出的定义也各有侧重；另一方面，人工智能学科目前还处于探索和模仿阶段，有很多未解之谜，因而无法给出完整而统一的定义。尽管如此，人们对人工智能还是有一些说法的。

《辞海》对人工智能的界定为“用机器（主要指计算机）模拟类似于人类的某些智能活动和功能”。

《不列颠百科全书》（又称《大英百科全书》）则定义人工智能为“数字计算机或者数字计算机控制的机器人在执行智能生物体才有的一些任务上的能力”。

综合各种关于人工智能的解释，我们可以这样理解人工智能：

人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术以及应用系统的一门科学。人工智能是计算机科学的一个分支，它尝试了解智能的实质，并生产出一种新的能以相似于人类智能的方式做出反应的智能机器。人工智能研究领域的研究对象包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。



首款通过图灵测试的软件

2014年6月，英国雷丁大学宣布，由俄罗斯团队开发的人工智能软件尤金·古斯特曼（Eugene Goostman，一款聊天机器人软件的名称）在英国皇家学会举行的“2014图灵测试”大会上首次通过了图灵测试。

尤金模拟的是一个13岁的乌克兰男孩，“他”成功地被33%的评委判定为人类，成为首款通过图灵测试的计算机软件。

微信公众号：电子课本大全

三 人工智能发展的历史

1956 年，由美国数学家麦卡锡（John McCarthy）发起，在达特茅斯（Dartmouth）大学举行了以人工智能为主题的研讨会。这次会议被公认为人工智能学科诞生的重要标志，成为计算机科学史上的一个里程碑。

与其他新生事物一样，人工智能的发展虽历经坎坷，但也取得了许多令人振奋的成果。

人工智能诞生初期，科学家从游戏、博弈入手进行研究，开发了获得美国州际冠军的跳棋程序。1960 年麦卡锡研制出人工智能程序设计语言 LISP（List Processing Language）。1965 年，费根鲍姆（E.Feigenbaum）研制成世界上第一个专家系统 DENDRAL。20 世纪 60 年代后期，机器定理证明研究也取得了重大进展。

20 世纪 70 年代初，是人工智能研究的低潮时期，一些国家减少了支持研究的经费，但研究工作仍在继续。1972 年又一种重要的人工智能程序设计语言 Prolog 问世。1977 年费根鲍姆创立了知识工程学科，同时，一些实用专家系统也进入医学、军事等应用领域，并取得了经济效益。70 年代后期，人工智能研究渐渐走出低谷。

80 年代，推理技术、知识获取、机器学习和自然语言理解成为人工智能领域的热门研究课题，并且出现了商品化的翻译软件。美国物理学家霍普菲尔德（Hopfield）对人工神经网络的发现及研究掀起了人工神经网络的研究热潮。

90 年代，智能科学、智能技术研究进一步迈向实用阶段，研制出了实用智能信息处理系统、神经计算机等。90 年代中后期开始，互联网开始迅速普及并呈现出井喷式发展态势，以采集、存储及处理海量数据为目标的新一代计算基础架构和 " 智能 " 信息处理技术趋向成熟，并迅速显示出巨大价值，人工智能最终在 2012 年全面爆发。

尽管“理解人类认知与智能的机制是人类面临的最困难和最复杂的课题之一”（中科院院士李衍达语），但是 21 世纪对人工智能的研究显现出更加旺盛的生机，人们向更艰深的课题发起了进攻：多智能体、分布式智能、机器感知、虚拟现实、神经计算、智能信息网络、人机合作……人类就是这样，挑战自我，超越自我，永无止境。

四 人工智能应用领域

作为一门新兴交叉学科，人工智能涉及的研究范围和应用领域十分广泛，主要应用在如下几个方面：

●博弈

博弈是一种竞争性很强的智能活动。人工智能通过对博弈的研究来检验某些人工智能技术是否能达到人类智能的水平。

●自动定理证明

证明或推翻数学中的一个猜想，不仅需要演绎推理能力，还需要直觉和技巧。自动定理证明就是要模仿人类的这种能力，它在人工智能中最早得到研究并被成功应用。

●专家系统

专家系统是具有某种专门知识与经验的程序系统，它能够模拟人类专家去解决复杂的问题，目前在人工智能研究中最有成效，也最为活跃。

微信公众号：电子课本大全

●自然语言理解

自然语言理解研究如何让计算机理解人的自然语言，让计算机能够“看懂”“听懂”甚至会“说”汉语、英语、法语……它涉及极其复杂的编码和解码问题。

●机器人

机器人指可以模拟人类行为的机器。人工智能的所有技术几乎都可以在它身上得到应用。一些配备了感觉器官和肢体、有一定“思维”能力、能正确执行命令的机器人已经出现在工业、探测、医疗以及体育竞技等许多领域。

●机器学习

知识是智能的基础。机器学习主要研究如何使计算机具有类似于人类的学习能力，使它能通过学习自动获得知识，不断自我完善。

●自动程序设计

自动程序设计包括自动生成程序和程序正确性验证两方面的问题。自动生成程序就是设计人员只需要求计算机“做什么”，不必教它“如何做”，它就能自动进行程序设计；程序正确性验证就是要有一种方法，能保证设计出的程序正确无误，这是一个比较困难的课题。

●人工神经网络

人工神经网络就是把大量简单处理单元联接成复杂的人工网络，用以模拟大脑神经系统的结构和功能。它是当前人工智能中一个极其重要的研究领域。

●模式识别

模式是关于一些事物主要特征的描述。模式识别主要研究如何使计算机自动进行模式归类，并利用这些模式去“看”和“听”，从而具有感知外部世界的能力。例如语音识别、指纹识别等都属于模式识别范畴。目前，模式研究已取得很多成果，并已成功地应用于刑侦、智能人机交互接口及网络信息安全等领域。

●智能检索

随着信息时代的到来，人类遭遇了“知识爆炸”的困境。为了摆脱这种困境，人们开发了智能信息检索系统，它能帮助人们收集、分析和筛选有价值的信息，避免被信息海洋淹没的危险。

随着科技的不断发展和研究的不断深入，人工智能所涉及的研究领域会越来越广泛。



我国在人工智能领域的应用案例

在国际信息技术公司相继发布人工智能开放平台的同时，国内的百度、阿里、腾讯、科大讯飞分别承担了自动驾驶、城市大脑、智慧医疗和语音技术国家级人工智能行业应用开放平台的建设。

百度与金龙汽车合作研发了一款无人驾驶小巴车，并于 2018 年 7 月实现量产。小巴车基于高精度地图和智能感知技术，能实时感知环境信息并根据地图数据规划路线。该车还能对车辆、行人的行为和意图进行预测，从而做出行车决策，以应对路面交通的变化情况。

阿里云 ET 城市大脑是目前全球规模最大的人工智能公共系统之一，可以对整个城市进行全局实时分析。截至 2017 年 10 月，杭州城市大脑接管了杭州

微信公众号：电子课本大全

128 个信号灯路口，试点区域通行时间减少 15.3%，高架道路通过时间节省 4.6 分钟。在主城区，城市大脑日均事件报警 500 次以上，准确率达 92%；在萧山区，已经实现了救护车等特种车辆的优先调度，到达现场的时间可缩短一半。

腾讯发布了一款人工智能医学影像产品——腾讯觅影。它是首款人工智能食管癌筛查系统，筛查准确率超过 90%；在肺结节方面，它可以检测出 3 毫米及以上的微小结节，检测准确率超过 95%。腾讯觅影还将与医学院和医疗机构合作助力更多病种检测。

科大讯飞语音识别的准确率达到 95%，其语音合成技术在 2017 年的国际语音合成比赛中成功摘得桂冠，实现了在该项比赛中的十二连冠。



1．表 1-1-2 中列出了人工智能研究的十个领域。利用互联网查一查人工智能还有哪些研究领域，顺序填在后面。

2．利用互联网了解人工智能各研究领域的重要研究成果，填到表 1-1-2 的“相关成果”栏中。

表 1-1-2 人工智能的研究领域及其重要成果

序号	研究领域	相关成果
1	博弈	
2	自动定理证明	
3	专家系统	
4	自然语言理解	
5	机器人	
6	机器学习	
7	自动程序设计	
8	人工神经网络	
9	模式识别	
10	智能检索	
11		
……		

3．随着技术的发展进步，未来的人工智能会是什么样？它将给我们的生活带来怎样的影响？

微信公众号：电子课本大全



第二节 畅游人工智能世界

本节我们将一起漫步于人工智能世界，了解它的发展历程，感受它的神奇与魅力。

本节我们选择几个有代表性的人工智能应用领域，来了解它们的发展情况。在这个过程中，同学们以小组或个人活动的形式，来亲身感受人工智能的独特魅力。

一 人机对弈

早在 1965 年，苏联数学家克隆罗德（Alexander Kronrod）就曾说过："国际象棋是人工智能的果蝇。"因为，遗传学是通过研究果蝇取得了进步，而人工智能恰恰是通过研究弈棋取得了长足的发展。由此可知，博弈是人工智能早期的研究热点，人机对弈是人工智能的一个重要实验场地。

一些著名的计算机科学家进行过人机对弈方面的研究工作，并且还提出了博弈的数学理论。20 世纪 60 年代，有人编写出了著名的跳棋程序和国际象棋程序，其中一些程序达到了可与国际象棋大师交手的水平。

棋手在走一步棋之前，总要考虑后面几步的走法，选择最有可能获胜的方案。有人以为，擅长高速计算的计算机可以毫不费力地计算出双方所有可能要走的棋步，选择最优的方案，从而比棋手更有胜算。事实上这是一个误区。假如每一步棋有 50 种可能可以选择，那么每一个回合就有 2 500 种可能的走法，如果向后看 5 步、10 步或更多步，即使使用最高速的计算机，也无法及时处理如此庞大的数据。

"深蓝"（美国 IBM 公司生产的一台超级国际象棋计算机）采用穷尽所有可能性的简单方法算出最佳走法而获胜。"深蓝"的胜利证明了计算机具有强大的计算能力。

人工智能程序阿尔法围棋（AlphaGo、AlphaGo Zero）能够战胜人类围棋世界冠军，是因为阿尔法围棋程序进行了大量的学习和训练。其下棋的原理是：首先用人类对弈的近 3 000 万种走法来训练阿尔法围棋的神经网络，让它学会预测人类专业棋手怎么落子；然后让阿尔法围棋跟自己对弈，进一步产生规模庞大的全新棋谱；最后利用搜索算法分析未来一定步数的落子情况，并判断在哪里落子赢的概率更高。

从跳棋、国际象棋，到下法更为复杂的围棋，围棋棋局的搜索空间越大，对弈难度也就越大。因此，研究人机围棋弈棋更具有挑战性。



1 从网上搜索并下载几个棋类游戏，分别运行后尝试对弈一下，然后回答下列问题。

1．目前哪些游戏可以实现人机对弈，哪些还不能？将答案填写在表 1-2-1中。

微信公众号：电子课本大全

表 1-2-1 棋类游戏软件

序号	游戏名称	能否实现人机对弈
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

2．将你认为最好玩的人机对弈游戏名称写在下面，说明理由并与大家分享。

_____

_____

小资料 人机对弈大事记

● 1958 年，名为“思考”的 IBM704 成为第一台能与人对弈的计算机，其“思考”速度为每秒 200 步。值得一提的是，最早完成“四色问题”自动定理证明的也是这种计算机。

● 1987 年，“深思”（Deep Thought）诞生，“思考”速度为每秒 75 万步，水平相当于拥有国际等级分 2450 分的棋手。1988 年，它击败丹麦特级大师拉尔森；1989 年，在与世界棋王卡斯帕罗夫进行的人机大战中以 0 比 2 败北。

● 1996 年，“深蓝”（Deep Blue）诞生，挑战卡斯帕罗夫，以 2 比 4 失利。

● 1997 年，“深蓝”拥有了更加高级的“大脑”，再次挑战卡斯帕罗夫，最终以 3.5 比 2.5 取得胜利。

● 2001 年，计算机“Deep Fritz”击败了卡斯帕罗夫和阿南德，以及克拉姆尼克之外所有排名世界前十位的棋手。

● 2003 年 1-2 月，“Deep Junior”与卡斯帕罗夫进行人机对抗赛，双方以 3 比 3 战平。

● 2003 年 11 月，卡斯帕罗夫与“X3D-Fritz”展开了一场精彩的人机大战，比赛以 2 比 2 的平局告终，这个结果再次将“电脑能否战胜人脑”的话题延续下来。

● 2004 年，中国首次举办国际象棋“人机对弈”比赛，国际象棋大师诸宸与一台名为“紫光之星”的笔记本计算机对弈两局，以 0 比 2 败北。

● 2016—2017 年，谷歌人工智能程序阿尔法围棋（AlphaGo、AlphaGo Zero）以绝对优势战胜人类围棋的顶尖高手。

小资料 卡斯帕罗夫与“深蓝”

1997 年，“深蓝”因击败世界象棋冠军卡斯帕罗夫而震动了整个世界棋坛。当时有人将“深蓝”与棋王卡斯帕罗夫作了一个有趣的对比，内容见表 1-2-2。

微信公众号：电子课本大全

表 1-2-2　卡斯帕罗夫与“深蓝”的比较

比较项目	卡斯帕罗夫	“深蓝”
身高	1.78 米	1.96 米
体重	80 千克	1400 千克
年龄	34 岁	4 岁
每秒思考的棋步	2 步	2 亿步
优势	随机应变能力强	记忆力强，计算平稳且不受环境干扰
缺点	思路容易受身体条件、情绪和周围环境的影响	随机应变能力差

二　语音识别

在《阿里巴巴和四十大盗》的故事中，只要阿里巴巴念一声“芝麻开门”，宝库的大门就会应声打开，那只是一个神话。现在用声音控制屋门开关已成为现实：一家电子公司推出了一间完全靠声音控制的“未来屋”。“未来屋”的主人回家时只要说出口令，门就会应声打开；如果要看窗外风景，只要说“拉开窗帘”，窗帘就会慢慢地拉开；说一声“看书”，书房的灯会马上打开；说一声“睡觉”，灯光就会熄灭，窗帘慢慢合拢……所有这些都离不开语音识别技术。

1. 语音识别技术简介

所谓语音识别，就是机器能够辨认并且理解人们所说的自然语言。语音识别是一门交叉学科，它涉及信号处理、统计学、语言学和认知心理学等众多学科。语音识别是模式识别的重要组成部分。

语音识别过程大致分为三个步骤：

① 语音特征提取：从语音波形文件中提取出随时间变化的语音特征序列。

② 声学模型与模式匹配（识别算法）：将获取的语音特征通过学习算法产生声学模型。在识别时将输入的语音特征同声学模型（模式）进行匹配与比较，得到最佳的识别结果。

③ 语言模型与语言处理：语言模型包括由识别语音命令构成的语法网络，也可由统计方法构成；语言处理可以进行语法、语义分析。

任务 2　从网上搜索并下载语音朗读程序，安装调试好后找一篇 30～50 字的文章让计算机“朗读”一下。试着回答以下几个问题，并将答案分别填在表 1-2-3 和 1-2-4 中。

1.“机器”的朗读与人类的朗读有哪些不同？

表 1-2-3　机器朗读与人类朗读的区别

序号	机器的朗读	人类的朗读
1		
2		
3		
……		

微信公众号：电子课本大全

2．假如机器以后能够像人类一样流利地“讲话”，我们能用它们做些什么呢？将你的结论填入表 1-2-4 中。

表 1-2-4 语音朗读程序的用途

序号	语音朗读程序的用途
1	
2	
3	



3 根据教师提供的人机对话网站，尝试与机器对话，思考并回答下列问题。

1．你对人机对话有什么样的感受？

2．你觉得机器真的能听懂你的问题吗？它为什么能够回答你的问题呢？

3．做一个游戏。三名同学为一组，其中一名同学设计三个问题（例如你叫什么名字，你来自哪里，等等），然后背对另两名同学提问。这两名同学中的一人独立回答问题，另一人则将问题输入人机对话网站的交互界面，并将网站反馈的结果告诉提问的同学。三个问题都回答完毕后，由提问者判断哪个同学是自己回答的，哪个同学是替机器回答的。最后看一看，有没有人不能分辨出计算机的答案。

2. 语音识别技术的发展趋势

语音识别技术的应用前景广泛。如今语音识别技术已经应用到各个领域，包括家用电器、通信、玩具和礼品业、家居自动化、生物识别、手持式个人商务设备、自动控制等等。应用方式包括：语音作为输入手段，如听写机；语音作为获取信息的手段，如语音查询、语音检索；语音作为控制方式，如语音拨号、声控家电；语音作为娱乐的方法，如声控游戏、语音玩具等。就像尼葛洛庞帝在《数字化生存》一书中写的那样：“在下一个千年里，我们会发现我们和机器说的话，与我们和人类说的话一样多，甚至比跟人类说的话还要多。”但我们也应清醒地看到，语音识别目前仍然是一项很不完善的技术，还需要研究人员和产品设计人员不断努力，推出更好的语音产品和语音技术解决方案来为人们的工作和生活服务。



4 选择一款语音识别软件进行语音识别练习，并将练习结果填写到表 1-2-5 中。

1．安装语音识别软件，在不建立语言模型的前提下朗读下面一段文字。

微信公众号：电子课本大全

人工智能是一门极富挑战性的学科，从事这项工作的人必须懂得计算机、心理学和哲学知识。人工智能涉及不同的领域，如机器学习、计算机视觉等等。总的说来，人工智能研究的目的就是让计算机能够像人一样思考。

2．建立语音模型，并再次朗读上面这段文字，比较一下前后两次有什么区别，由此得出结论。

表 1-2-5　语音识别实验结论

建立语音模型前	错误字数：	错误率：
建立语音模型后	错误字数：	错误率：
结论		

三　智能代理

图 1-2-1 中的这些卡通形象不是动画片中的角色，而是极富人性化、活泼可爱、身怀绝技的微软办公软件 Office 小助手。当我们初学 Office 时，它们会充当我们的学习向导；当我们遇到问题时，它们会为我们提供各种帮助。Office 小助手正是智能代理的一个实例。



图 1-2-1　Office 小助手

1. 智能代理简介

智能代理（Intelligent Agent，简称 Agent）是人工智能应用领域之一。它是一种具有高度智能性和自主性的软件单元，可以根据用户定义的规则，代替用户进行各种复杂的工作，并能推测出用户的意图，自主制定、调整和执行工作计划，所以人们又把智能代理称为“会思维的软件”。

智能代理的概念产生于 20 世纪 90 年代，其理论和技术涉及信息检索、计算机网络、数据库、数据挖掘、自然语言处理等领域。

2. 智能搜索代理

智能搜索代理不同于以往的信息检索系统。一般检索系统是基于“词”进行检索的，比如要从大量的文献中检索出有关“计算机”方面的文献，如果利用基于“词”的方法进行检索，就不能把有关“电脑”的文献检索出来，而“电脑”和“计算机”是同一概念。智能搜索代理采用基于概念的检索方法，就能通过分析、推理，搜索出更符合用户需要的结果，体现出高于一般搜索工具的“智能”。

一个好的智能信息检索系统应具有如下的功能：

① 能理解自然语言，允许用自然语言提出各种询问。

微信公众号：电子课本大全

② 具有推理能力，能根据存储的事实，演绎出所需的答案。

③ 拥有一定的常识性知识，以补充学科范围内的专业知识，并能根据这些知识演绎出更一般的答案来。

随着信息技术的迅速发展，智能代理的特性和功能也在不断扩展，目前，这项技术已经应用于商业、工业、农业、智能搜索、数字图书馆、电子商务和远程教育等众多领域。随着人工智能技术的不断发展，智能代理技术必将创造不可估量的效益。

任务5 选择一种搜索代理软件查找信息。表1-2-6中已给出了两个关键词，自己再选择几个，搜索后将表1-2-6填写完整。

表1-2-6 使用搜索代理查找信息

序号	搜索关键词	搜索结果数量	搜索结果保存文件名	搜索结果评价
1	超人			
2	热带植物			
3				
4				
5				

知识拓展

智能推荐引擎

智能推荐引擎常应用于电子商务、视频推荐和媒体咨询等领域。随着电子商务规模的不断扩大，电商平台上商品种类快速增长，消费者找到自己需要的商品很费时间。在浏览大量商品及无关信息的过程中，用户可能会因信息过载而流失。为了解决这些问题，个性化推荐引擎（见图1-2-2）应运而生。它能根据网站最热卖商品、用户所处城市、用户过去的购买行为和购买记录，自动完成个性化商品的选择过程，并将其推荐给用户，以满足用户的个性化需求。



图1-2-2 个性化推荐引擎

微信公众号：电子课本大全

四 机器翻译

利用计算机把一种自然语言转变成另一种自然语言的过程称为机器翻译（Machine Translation，简称 MT），机器翻译属于人工智能中的自然语言理解范畴。

语言不同是人际交流的一大障碍，20 世纪 40 年代，计算机科学家就开始了借助计算机跨越这一障碍的探索，即机器翻译研究。半个世纪以来，机器翻译研究经历了曲折的过程。迄今，已有一千多种翻译软件问世。图 1-2-3 是一个利用机器进行文章翻译的演示实例。

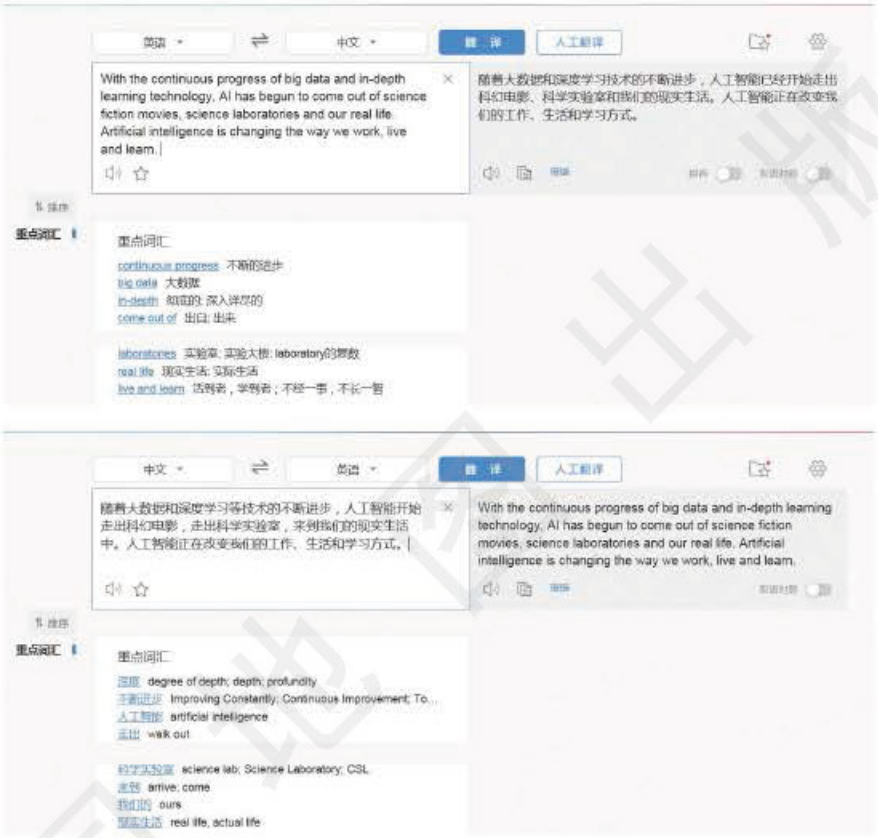

图 1-2-3　机器翻译演示实例

中国是世界上最早从事机器翻译研究的国家之一。1959 年我国第一个翻译系统——俄汉机器翻译系统在自制的第一台大型通用数字计算机上试验成功。



在手机上下载不同的翻译应用程序，将表 1-2-7 中的几个不同类型的英文句子译成汉语，对翻译的结果进行总结和评价。

评价等级标准如下：

好：语法正确，语义通顺，译文准确、连贯。

较好：语法语义有错误，但不影响理解，译文较连贯、准确。

差：错误较多，影响理解，不能正确传达原文信息。

微信公众号：电子课本大全

表 1-2-7 英译汉

英文类型		词汇、词组、多义词	例句	译文	评价等级
英语词汇	最常用词汇	doctor	He is a doctor.		
	常用词汇	college	Mary goes to college.		
	次常用词汇	zebra	I have seen a zebra in the zoo.		
英语词组	简单词组	catch up	He walked fast to catch up the train.		
	复杂词组	depend … on…	They will depend more on their parents.		
英语简单句			They became heroes.		
英语复合句			Show me what you have written.		
英语多义词		strong	This is a strong contrast. He has a strong body.		
英语句群			The book I am reading is very interesting, because it describes a foreign country which I am familiar with.		

五 符号运算

人脑是具有高度智能的复杂系统，它不必采用繁复的数字计算，就能灵活处理各种复杂的信息，能理解语言、图像，具有直觉、灵感和悟性等。对于怎样模仿人脑智能，人工智能专家有着不同的主张，其中有一种称为符号主义（Symbolicism）。

符号主义认为，人类的语言、文字、思维都可用符号来描述，思维过程只不过是这些符号的存储、变换和输入、输出而已，因此，思维过程的本质就是符号运算过程。

基于这种观点，有人编写了如 Mathematica 和 Maple 之类的一些数学软件。这些软件解决数学问题的方法不是数值计算，而是符号运算。这些符号运算软件凭借自己的优势已经应用到许多领域，如生物、化学、物理学、工程学、数学、社会学等学科。

下面，我们用 Mathematica 软件来求解代数题。

任务 7 在老师的指导下，了解 Mathematica 软件的使用方法，并试用该软件进行多项式运算和因式分解。

1. 使用 Mathematica 软件计算表 1-2-8 中的多项式。

在“表达式输入”一栏中写出各表达式在 Mathematica 中的正确输入形式，在“结果输出”栏中写出 Mathematica 的计算结果，如果结果中项数过多则按照幂次从高到低写出前 4 项。把所有运算过程存储为 math1.nb 文件，并提交给老师。

表 1-2-8 多项式的计算

表达式	表达式输入	结果输出
$(1+x)^4$		
$(2x-1)^2(1-3x+4x^2)$		
$(a-b)c-(bc-ac)^2$		
$(2x^2-3y^2)^2-x^2y^2$		

微信公众号：电子课本大全

2．执行表 1-2-9 中的多项式分解运算。把所有运算过程存储为 math2.nb 文件，并提交给老师。

表 1-2-9　多项式分解

表达式	表达式输入	结果输出
$(x+y)^5$		
x^8-1		
$36x^3-9x^2-4x+1$		
$x^2-4y^2+12yz-9z^2$		



Mathematica 软件的使用方法

（1）程序界面

Mathematica 程序界面默认显示为三个部分，如图 1-2-4 所示。

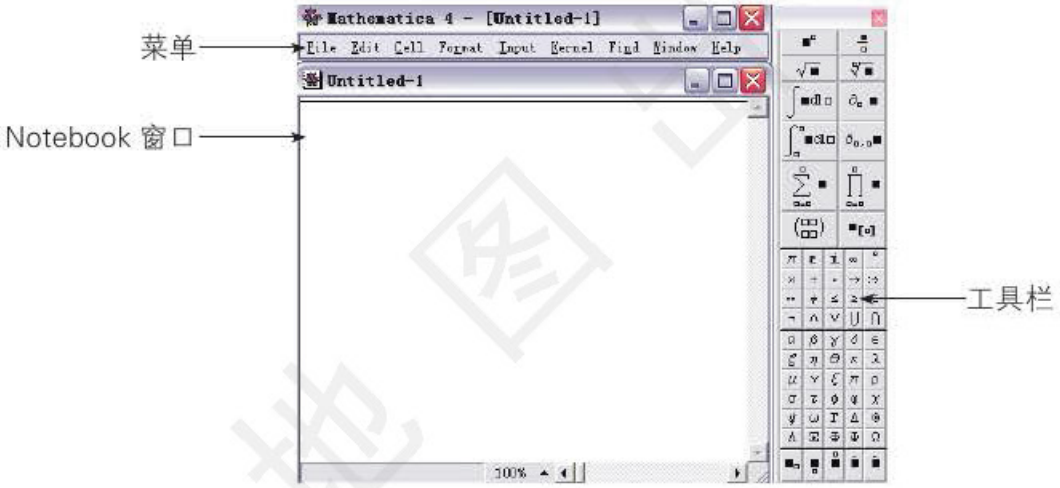

图 1-2-4　Mathematica 程序界面

（2）输入数据和运行

① 单击 Notebook 窗口，使其成为当前可用状态。

② 在 Notebook 窗口中输入表达式，例如“2 + 2”。

③ 按 <Shift + Enter> 键，系统开始计算并输出结果（如图 1-2-5 所示），这时可以看到输入和输出分别附上了次序标识 In[1] 和 Out[1]。

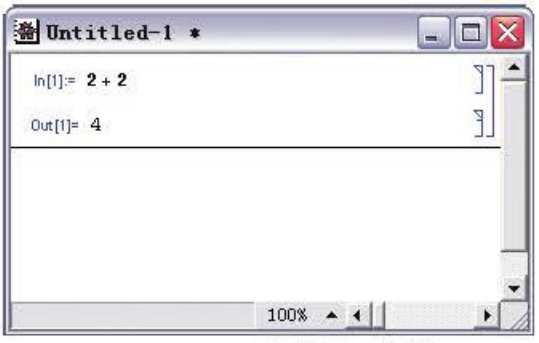

图 1-2-5　计算结果输出

微信公众号：电子课本大全

（3）保存文件

完成计算后，执行【File】→【Save】命令（或者按 <Ctrl + S> 键），按照系统提示存盘，Mathematica 文件的扩展名为“.nb”，称为 Notebook 文件。

（4）Mathematica 使用规范

① Mathematica 严格区分大小写。使用内建函数时，函数的第一个字母必须大写，如果函数名由几个单词构成，则每个单词的第一个字母必须大写。如：Expand[ ]，FindMinimum[ ]，……

② 在 Mathematica 中，函数名和自变量之间的分隔符使用方括号“[ ]”。

③ 常用函数表达式及其含义见表 1-2-10。

表 1-2-10 常用函数表达式及其含义

函数	含义
Expand[表达式]	按幂次展开表达式
ExpandAll[表达式]	全部展开表达式
Factor[表达式]	对表示式进行因式分解
Simplity[表达式]	把表达式化为最简形式

④ 一些数学符号的输入方式见表 1-2-11。

表 1-2-11 一些数学符号的输入方式

名称	数学表达方式	Mathematica 中的输入方式
乘	“×”，例如 a×b	“*”，例如 a*b
除	“÷”，例如 8÷2	“/”，例如 8/2
乘方	A^n，例如 a^2	A^n，例如 a^2
π	π	Pi



Mathematica 的主要功能和特点

Mathematica 的主要功能包括：

(1) 符号运算：其中包括初等数学、微积分、线性代数、解方程组四大类。

(2) 数值计算：具有众多的数值计算函数，能满足线性代数、插值与拟合、数值积分和微分方程的数值解、求权值、线性规划及概率统计等方面的常用计算需求。例如计算 π 的 300 位近似值，如图 1-2-6 所示。

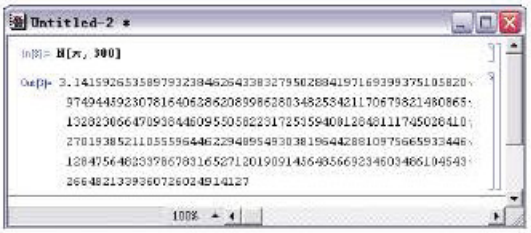

图 1-2-6 π 的 300 位近似值计算

(3) 绘图：能绘制各种二维图形（图 1-2-7 所示）和三维彩色图形（图 1-2-8 所示），自动化程度很高。

微信公众号：电子课本大全

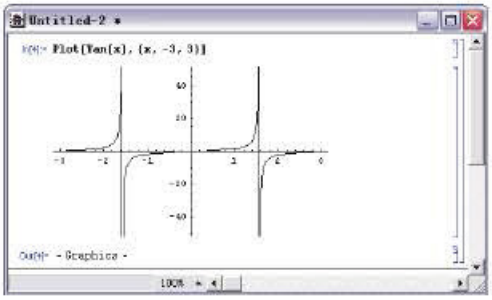

图 1-2-7　绘制二维图形

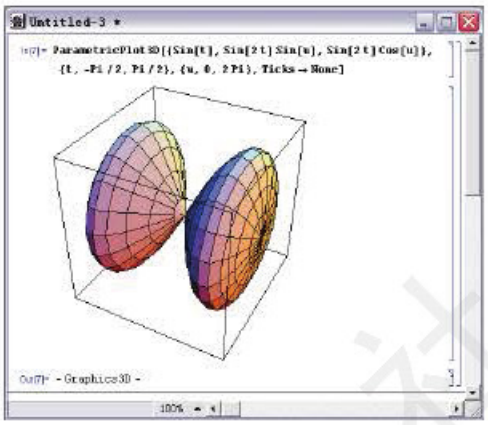

图 1-2-8　绘制三维图形

(4) 编程：用户可以自己编制各种程序，开发新的功能。

六　机器证明

机器证明是人工智能领域最早进行研究的课题之一，对人工智能的发展产生过重要的影响和推动作用，并得到了成功的应用。

1. 机器证明初探

数学证明一直被认为是一项需要智能才能完成的任务。证明定理时，不仅需要有根据假设进行演绎的能力，而且需要有某些直觉和技巧。例如数学家在求证一个定理时，会熟练地运用专业知识，精确判断出哪些定理将会起作用，并把大问题分解为若干小问题分别独立进行求解。如果计算机能够代替人类进行定理的证明和推导，我们就可以说计算机具有了某种智能。因此机器定理证明很早就受到人工智能研究者的关注，并取得了一些重要成果。

1956 年，艾伦·纽厄尔（Allen Newell）和西蒙（Herbert Simon）等人首先取得突破，他们使用自己编写的程序 Logic Theorist 证明了《数学原理》第二章中的 38 条定理，并于 1963 年证明了该章的全部 52 条定理，走上了用计算机程序模拟人类思维的道路。

机器证明就是让计算机自动证明定理。其实质是：在给出前提 P 和结论 Q 的情况下，证明命题“如果 P 真则 Q 真”的正确性。一般来说，直接证明这样的命题很困难，在机器定理证明中通常采用反证法。

一方面，机器证明的研究工作能帮助人们更清楚地理解推理过程；另一方面，许多领域的问题如医疗诊断、信息检索等，都可以应用定理证明的方法来解决。因此，机器证明的研究具有普遍意义。

2. 机器证明的发展历史

1956 年，纽厄尔和西蒙等人开始机器证明研究，并获得初步成果。

1958 年，美籍华裔科学家王浩在 IBM704 计算机上用 3-5 分钟证明了《数学原理》有关命题演算的全部 220 条定理，接着又用几分钟证明了该书中 85% 带等式的谓词演算定理。1959 年，他仅用 8.4 分钟就证明了以上全部定理。

1959 年，IBM 公司的格伦特尔（Gelernter）研制出平面几何证明程序。

1965 年，鲁滨逊（Robinson）提出了与传统的自然演绎法完全不同的消解法，当时被

微信公众号：电子课本大全

认为是一项重大突破，由此掀起了研究计算机定理证明的又一高潮。

1976 年，美国数学家阿佩尔（K.Apple）和哈肯（W.Haker）借助于计算机成功地证明了“四色猜想”，这是机器证明首次解决了人工证明所没有解决的重要难题。

1977 年，中国数学家吴文俊证明了初等几何主要定理的证明可以机械化。1980 年，他用一部微型计算机分别在 20 和 60 个机器小时内发现了两个几何学的新定理，引起了学术界的关注。

1983 年，美国数学学会将自动定理证明的第一个“里程碑奖”授予王浩，以表彰他在数学定理的机器证明等方面作出的杰出贡献。

3. 机器证明软件

目前，机器证明软件的开发和利用已经达到了一定的水平，尤其在教学、科研等方面，许多软件已经得到了广泛的应用，例如“几何专家”“几何画板”等。

“几何专家”是一个动态几何作图与定理自动证明软件，由中科院张景中院士和周咸青、周小山等人一起于 1992 年研制而成，是世界上第一个“几何定理可读证明的自动生成”软件。它可以方便快捷地生成各种几何图形、函数图像、平面曲线与轨迹图形，可用于平面几何、解析几何和函数的学习与教学。

下面我们以“几何专家”软件为例，体会一下机器证明的方法和过程。

任务 8 使用“几何专家”证明命题“三角形的三条高所在的直线相交于一点”，了解机器证明软件的工作过程和特点。

启动程序，程序界面如图 1-2-9 所示。

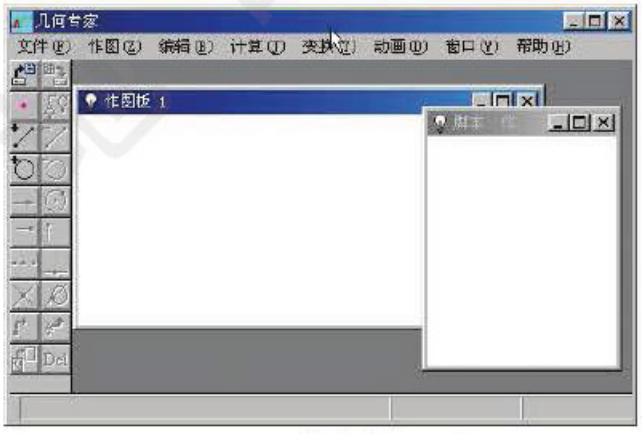

图 1-2-9 “几何专家”程序界面

在作图板中制作需要证明的图形，步骤如下：

① 选择“作自由点”工具，在“作图板”中制作三个点，分别为 A、B、C。

② 选择“作垂足”工具，依次单击 A、B、C 三点，制作 A 到 BC 的垂线 AD。

③ 选择“作垂足”工具，依次单击 B、A、C 三点，制作 B 到 AC 的垂线 BE。

④ 选择“作线交点”工具，依次单击 A、D 和 B、E 四点，生成 AD 和 BE 的交点 F。

⑤ 执行【作图】→【选结论】→【两线垂直】命令。

⑥ 依次单击 A、B 和 C、F 四点，生成红色线段 AB 和 CF。此时作图板如图 1-2-10 所示。

微信公众号：电子课本大全

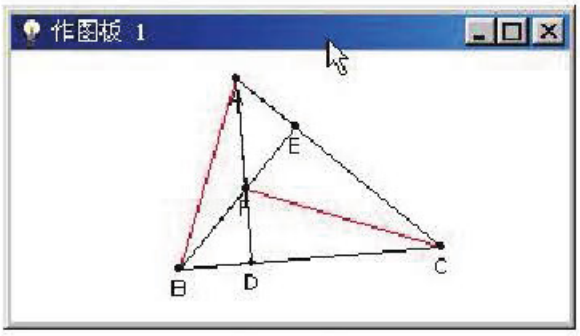

图 1-2-10　绘制图形

在证明器中产生命题并证明，具体操作步骤如下：

① 执行【窗口】→【打开证明器窗口】命令。

② 单击证明器窗口中的【图→命题】按钮，生成命题，如图 1-2-11 所示。

③ 单击【证明】按钮，机器开始证明，证明结束后出现证明过程和结论，如图 1-2-12 所示。

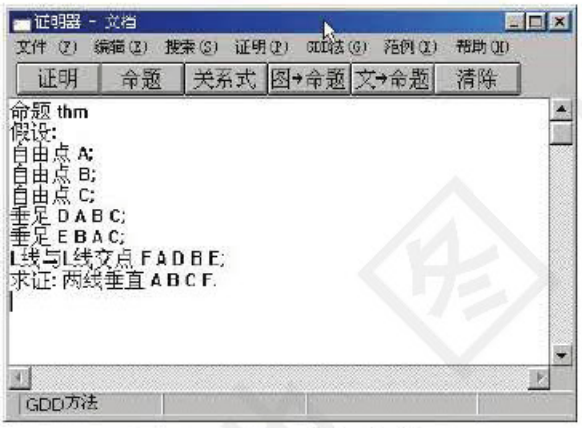

图 1-2-11　命题生成图

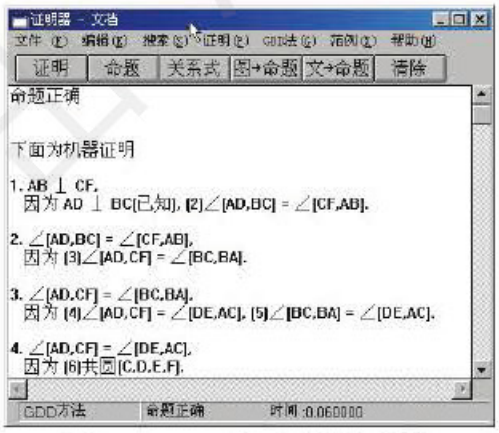

图 1-2-12　证明过程和结论

④ 保存文件

执行【文件】→【保存】命令，将证明步骤文字存储在文件 zm1.txt 中。



9　从以下三个命题中任选一个进行证明，并将证明过程文字保存在文件 zm2.txt 中。图形的制作可参看软件的帮助手册。

（1）证明平行四边形的两条对角线相互平分。

（2）证明在三角形 ABC 的外接圆上任意一点向三角形的三边所作的垂足共线。

（3）从三角形 ABC 的两边 AB 和 AC 向外（内）作正方形 ADEB 和 AFGC。证明从点 A 到线段 BC 的中点的连线垂直于直线 DF。

4. 中国科学家在机器证明领域的重要贡献

我国科学家在机器证明领域作出了重要贡献。如中国科学院院士吴文俊创立了几何定理机械证明的新方法，开拓了机械化数学的崭新领域。他用计算机程序发现了两个新的几何定理，他所创立的关于几何定理机器证明的方法在国际上被誉为“吴氏方法”。

自从 20 世纪 70 年代末吴文俊院士提出几何定理自动证明的方法以来，中国学者在这方面的研究可谓异彩纷呈，硕果累累，屡获国内外大奖。1991 年，中国科学院院士张景中

微信公众号：电子课本大全

及杨路等人发明了“L类几何定理证明器”，它采用代数方法进行论证，可以在一台简单的计算机上判断命题的正误。1992年，张景中、周咸青和周小山发明了“消点法”，成功设计了世界上第一个“几何定理可读证明的自动生成”软件——“几何专家”，这在当时是世界上最新、最好的几何定理证明软件。他们在计算机上证明了600多条较难证明的平面几何和立体几何定理，使定理的机械证明迈上了一个新台阶。

小资料

吴文俊院士简介

吴文俊（图1-2-13），1919年5月出生于上海，1940年毕业于上海交通大学，1949年获法国国家科学研究中心博士学位，是中国科学院数学与系统科学研究院研究员、著名数学家、中国科学院资深院士、第三世界科学院院士。

吴文俊院士的主要成就表现在拓扑学和数学机械化两个领域。他为拓扑学做了奠基性的工作。他提出了“数学机械化”思想，做出了许多原创性的贡献。他的示性类和示嵌类研究被国际数学界称为“吴公式”“吴示性类”“吴示嵌类”，至今仍被国际同行广泛引用，享誉世界，影响深远。

2001年，吴文俊院士与“杂交水稻之父”袁隆平一起获得首届国家最高科学技术奖，并由江泽民主席亲自颁奖。



图1-2-13 吴文俊院士

实践与思考

1．在“信息技术学习网”的“人工智能初步”栏目里下载rjdz.rm文件后播放，观看《人机大战》的录像。录像中介绍了我国人机大战的发展状况和机器博弈的相关知识，还有对我国人机对弈的参与者——国际象棋大师诸宸的采访。

2．使用Mathematica软件求解中学课本中的三道习题，并通过实践总结一下此软件的特点和优点。使用一种文本编辑工具制作一张如表1-2-12所示的表格，将找到的数学题目、解题过程、题目出处填入表格中，并将自己的结论写在表格的下方，最后保存文件到电子学习档案袋中。

表1-2-12 使用Mathematica解题

序号	习题	Mathematica中的执行过程	题目出处
1			
2			
3			

Mathematica软件的特点和优点：_____

_____。

3．截至2018年底，我国65周岁及以上人口已占全国总人口的11.9%。对我国严重的人口老龄化趋势以及人民日益增长的养老服务需求，机器人能帮我们做些什么？把你对这个问题的研究结果保存在电子学习档案袋中。

4．从计算机或手机上下载自己感兴趣的智能代理软件，安装并使用。和同学们一起设想并讨论一下，智能代理技术可以应用到我们生活的哪些方面。

微信公众号：电子课本大全

第三节 智能机器与人类共同的未来（选学）

机器人三大法则：
1. 机器人不得伤害人类，或坐视人类受到伤害而袖手旁观。
2. 除非违背第一法则，机器人必须服从人类的命令。
3. 在不违背第一法则及第二法则的情况下，机器人必须保护自己。

人工智能科学的研究目标是让计算机具有人类的听、说、读、写、思考、学习、适应环境变化、解决各种实际问题等能力。如果人工智能的研究目标实现了，集各种“技能”于一身的超人就会诞生，它一定是与人类外形相仿，但在很多方面都要强于人类的机器人。它会是我们的朋友，还是敌人？

“机器人三大法则”出自美国作家阿西莫夫（Isaac Asimov）为科幻小说《我，机器人》（I，Robot）所写的《引言》（1950）。阿西莫夫笔下的机器人不是人类的敌人，而是人类忠实的奴仆和朋友。作家所向往的是以人类为代表的“碳文明”与机器人为代表的“钢铁文明”的和谐共存。



1 你认为人类和未来的机器人相比较，各有哪些优势？仿照表1-3-1中的例子将你的想法填入表中，并写下你的结论。

表1-3-1 未来机器人与人类优势比较

序号	比较的方面	人类占优	机器人占优
1	举重		√
2	跑步		√
3	背诵		√
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

微信公众号：电子课本大全

结论：_____

_____

_____

_____。



2 想象一下到2050年，人类与机器人共同生活在地球上，那将是什么样子？以“2050年的一天”为题目，通过文字或图画的形式，将你的想象表达出来，展示给同学们。

虽然机器在体力等诸多方面早已超越人类，但它们能彻底“征服”人类的前提，是要能够全方位地超越人类。也许，心智是捍卫人类尊严的最后一块领地了，机器能否在这块领地上有所突破呢？以目前的技术水平，恐怕还很难说机器何时会在心智上超越人类，但是我们至少可以问：机器能掌握人类的智慧吗？或者，用那个更著名的提法：机器能思考吗？

大脑最主要和独特的功能是进行思维。以人类当今对其自身智能的认识，思维主要有三种类型：逻辑思维、形象思维和顿悟思维。逻辑思维指人们对各种信息的理解、分析、综合、判断以及推理能力；形象思维是人们进行图像识别、语言理解时用到的能力，这是人脑在更高的级别上对信息进行处理的一种方式；顿悟思维则是潜意识向意识的突然沟通，是灵感的突然爆发，对于这种思维方式，人类至今仍然了解得很有限。

除了思维能力之外，人类的智慧还包括对外界的感知力、记忆力和创造力等。感知力是我们进行认知活动的前提，记忆力是运用知识进行思维的基础，而创造力则是人脑对知识成果的最终运用，是人类进步的源泉。

在这些构成智慧的要素中，机器仅在记忆和逻辑思维方面占有一定的优势。然而，即使是机器拥有的这些优势，也未必能成为它超越人类智慧的有利条件。举个例子来说，一个理想的存储设备（机器），如果不发生损坏，一旦它“记住”某样东西是不会有“遗忘”的。然而遗忘对于人类来说，确实是一件平常得不能再平常的事情。正因为有了遗忘，人们可以忽略一些价值不高或者不真实的信息，提高思维效率，更重要的是，遗忘是产生人类情感的一个重要因素，而这是一部机器绝对办不到的。

有人认为，如果有一天机器真的具有了足以“征服”人类的智慧，那么这种机器必然是高度拟人的结果，例如生物计算机或者神经元计算机。这样的机器，虽然在外形上与人不同，但本质上已经与人无异了。即使这一天真的到来了，那仍然是“人类”征服了“人类”，“机器征服人类”只不过是一个现代科技的神话罢了。

目前智能机器的研究还处于初级阶段，许多功能还不完善。但是科学家们已经取得了许多成果，其中很多已投入实际应用。在使用中我们发现，智能机器的出现的确大大延伸了人类的活动范围，改善了人类的生活质量。甚至在某些工作领域，智能机器已经可以替代人类的工作，特别是那些危险的工作。随着人工智能的不断发展，越来越多的智能机器将会被制造出来，人们也就不得不重新思考机器能否超越人类以及能否与人类共存这两个问题。

首先，机器人会超越人类吗？应该说，这是一个困扰人类许久的话题。对这个问题，每个人都有自己的看法，但是绝大多数人认为机器人很难真正超越人类，因为到目前为止，

微信公众号：电子课本大全

所有的“智能”机器所具有的智能，仍然不能称为真正的智能，特别是机器人还不能像人一样思考。而人类不同于地球上其他生物以及机器的最大区别不在体力，而在于能思考，因为思考是智慧的源泉。

其次，机器人能与人类和谐共存吗？伴随人工智能的发展，这个问题开始受到人们的关注，目前存在两种截然不同的观点：悲观派认为目前机器人还只是机器，但是它们的耐力和体力等已经超过人类，如果有一天它们真的具有了像人类一样的“智慧”，就有可能背叛人类，造成悲剧，就像许多科幻电影描绘的那样；乐观派则认为机器人是人类培养出来的，人类在赋予它们智慧的同时，也会赋予它们爱心和真诚，教会它们辨别真善美与假恶丑，所以，它们会和人类和睦地生活在一起，同人类组成一个和谐快乐的大家庭。



脑科学与人工智能

脑科学是研究人脑产生认知、情感和意识的工作机制的科学。对人工智能的进一步研究，人们意识到自身对大脑的工作机制了解得很欠缺，人类试图更深入地认识人类智能，以便进一步推动人工智能的发展。人工智能就是要发明模拟大脑的工具，因此，人工智能也属于工程学范畴。科学和工程相互交织、互相促进，从而对人类社会产生更大的影响。

人类大脑是一个输入、输出信息的器官，视觉系统是大脑中最大的感官系统。人的整个视觉系统从眼睛开始直接连向大脑的内核，在大脑内部形成了非常复杂的回路，这里面有很多组件——神经元，它们像是大规模集成电路中的一个个电容器。大脑的不同部分可以与视觉系统中的不同器官进行沟通。因此，要研究大脑的工作机制，需要综合心理学、解剖学和脑科学等多学科的知识，通过共同构建知识库，以促进人工智能的进一步研究。



肥皂膜计算机

50多年前，英国数学家库朗(R. Courant)和罗宾斯(H. Robbins)设计了一种“肥皂膜计算机”来解决一个复杂的图论问题。这个问题是，画出任意平面上五个给定点之间两两相连的总长度最短的连线(可以添加附加点)。按照常理我们知道，两点之间直线最短，因此可以推断构成连线的是直线段而不是曲线。但仅仅这些还不够，要寻找这些线段的最佳长度和位置，必须进行复杂的计算。

“肥皂膜计算机”采用了一种完全不同于计算的方法，它的结构十分简单，仅由两块木板组成，两块木板之间钉着5枚圆钉(如图1-3-1所示)。人所需要做的，只是将这块木板浸入肥皂水中，再捞起来，这样，圆钉之间连接着的肥皂膜，就自然形成了这道题的解(如图1-3-2所示)。

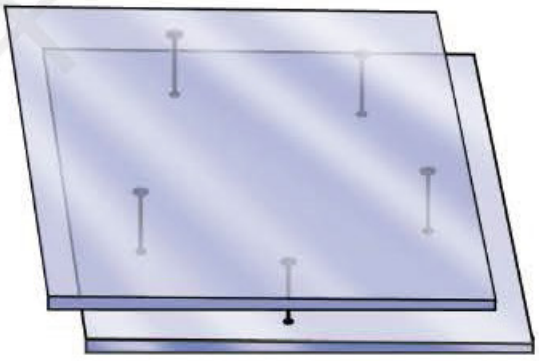

图1-3-1　肥皂膜计算机

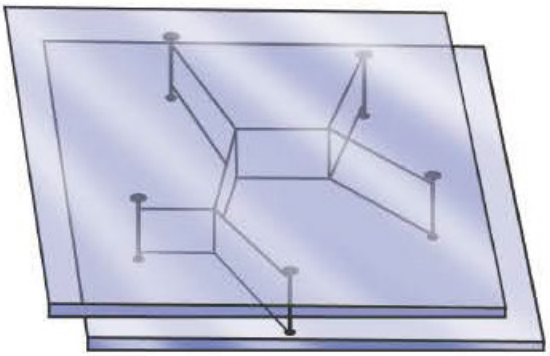

图1-3-2　利用“肥皂膜计算机”解题

微信公众号：电子课本大全

如果使用机器来解这道问题，它要依靠加大时间和空间的投入来对抗问题的复杂性，这种从技术角度的改进最终会达到机器的极限。而人类却能够以复杂性和多样性来对抗复杂性。简单地说，“肥皂膜计算机”在求解一元二次方程上无能为力，但用在这里显然非常适合。人类巧妙地利用自然赋予液体的表面张力特性，不经过任何运算就解决了这个问题。

有人说，“肥皂膜计算机”岂不是另一种形式的“智能机器”？这就要看如何理解“智能”了。我们的观点是：如果机器是“人工”的，那么它就不是“智能”的；如果机器是“智能”的，那么就很难说它是“人工”的。对于失去了逻辑系统和机械运算的机器，例如“肥皂膜计算机”，我们只能认为它是“半自然的”。换句话说，是自然界神奇的物理定律帮助人们获得了这道题的解。无论如何，机器的“思考”不过是人的作品，而人类的心智却是自然的杰作，其复杂程度是无与伦比的，机器达到人类的水平尚且不行，又何谈“超越”呢？



1．人工智能已经进入我们的生活，它究竟能为我们带来些什么？对于这个问题，你是如何考虑的？

2．未来机器人真的会拥有与人类一样的智慧，甚至超越人类吗？对于这个问题你是怎么想的？

3．如果机器人将来真的获得了与人类一样的智慧，你觉得它们与人类能和谐共存吗？

4．每位同学在上述三个问题中选择一个自己感兴趣的问题作为课题，先把自己的想法写下来，通过电子学习档案袋与其他同学交流，然后再阅读教科书，并上网查询相关信息，反思自己的认识，进行深层次的思考，最后根据自己的思考过程和结论写成一份报告，发表到电子学习档案袋中。

5．以“智能机器与人类共同的未来”为主题进行网上大讨论。

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

第二单元 用知识武装机器

Information Technology

掌握自然界发展规律的人的知识本身就是一种巨大的力量。一位哲学家说过：“达到人的力量的道路和达到人的知识的道路是紧挨着的，而且几乎是一样的。”这一观点被后人表达为著名的口号——“知识就是力量”。

在我国，人们常爱用“学富五车，才高八斗”来称誉一个人的知识渊博、才学高深。

知识是智慧和力量的源泉，人工智能系统也是用知识“武装”起来的系统。构建一个具有推理能力的智能程序系统，首先要总结某一特定领域内专家的知识和经验，并将它们以机器可以识别和利用的形式存储在计算机中。这样，系统才能具备解决复杂问题的才智。

为了使计算机变得聪明、能干，科学家们想到了一系列办法。1977 年费根鲍姆创立了一个新学科——知识工程，目的就是探索计算机中有关知识表示、获取、存储、传输、应用的理论和技术。

微信公众号：电子课本大全

第一节 知识

要想使机器能够模拟人类的智能行为，首要的问题是要让机器具有知识。本节我们将了解知识的概念、知识的分类和知识的表示方法等基本问题。

在日常生活中，解决任何问题都离不开知识。拥有知识的多少和运用知识的能力直接决定了一个人解决问题的水平，因而成为解决问题的关键。但什么是知识，知识有哪些特性，它与平常所说的信息有什么区别和联系呢？

一 信息、数据和知识

在日常用语中，信息主要指音信、消息等。《辞海》对信息的定义为：信息指对消息接受者来说预先不知道的报道。

随着社会的发展，信息层出不穷，越来越多，对人们生活的影响越来越大。

信息需要以某种形式加以描述，数据就是描述信息的符号记录，它以文字、图形、图像、声音等形式出现。在日常生活中，数据无处不在。

数据是信息的载体，它本身没有确定的意义；信息是数据在特定场合下的具体含义。将二者结合，就能实现对某一事物或场景的描述。一些数据在某一场合表示一种意义，在另一种场合可能又表示另一种意义。如“我想起来了”这句话，可以表示“我要起床了”，也可以表示“我记起了（某件事）”。

泛泛的信息往往不能作为判断、决策和行动的依据，信息必须经过加工、分析、处理，才能成为可以“为我所用”的信息，这样的信息就是知识。也就是说，知识是可以用于解决问题的有组织的信息。知识反映了客观世界中事物的特征及事物之间的联系，如，“雪花是白色的六边形结晶体”，这句话描述了事物的颜色、形态等物理特征；“风波一浩荡，花树已萧森”，这句诗则说明了事物之间的因果关系。

二 知识的特性

知识具有以下特性：相对正确性、不确定性、可表示性和可利用性。

1. 相对正确性

知识是人类认识客观世界的结晶，并且受到实践的长期检验。因此，在一定的条件环境下，知识一般是正确的，是可信任的。但是，这里“一定的条件环境”是必不可少的。比如“人定胜天”有一段时间曾经被认为是真理，但随着自然界对人类的报复愈演愈烈，保护自然已经成为目前人们的共识。

微信公众号：电子课本大全

2. 不确定性

由于现实是复杂的，信息可能是精确的，也可能是不精确的、模糊的，因此知识并不总是可归结为“正确”与“错误”两种结果，在“对”与“错”之间还会有许多中间状态。如“如果发烧，则可能是患了感冒”，这一知识就具有不确定性。

3. 可表示性和可利用性

知识可以用适当形式如语言、文字、图形等表示出来，之后便可以被存储和传播。知识的可利用性更是不言而喻的，因为我们每天都在利用知识解决各种问题。

三 知识的分类

从不同的角度进行分类，知识有不同的类型。根据知识的作用及其表示方法，可以将知识分为事实性知识、过程性知识和控制性知识。

1. 事实性知识

事实性知识用于描述概念、事实，以及事物的特性、状态等。例如：

“扫描仪是一种图形输入设备。”

“一年有春、夏、秋、冬四季。”

这些都属于事实性知识。

2. 过程性知识

过程性知识用于指出如何处理与问题相关的信息，如何求得问题的解，如描述实验步骤，求解某类问题的算法等。也就是说，过程性知识告诉我们如何做某件事。

3. 控制性知识

有关如何选择相应的操作、演算以及行动的比较、管理和决策的知识称为控制性知识。例如问题求解中的推理策略、搜索策略等都属于控制性知识。

四 知识的表示

知识的表示实际上就是对知识的一种描述或者约定。在人类社会中，语言和文字是人们表达思想、进行交流和传播知识的重要媒介；在计算机中，二进制表示法是计算机存储、运算和处理各种信息的基础；在数学领域，采用数字、运算符及其组成的函数表达式等形式，使数学运算、定理证明得以有序进行；在化学领域，元素符号、分子式是知识传递的基本要素。

同样，以什么方式表示知识也是人工智能领域中的核心问题。开发一个高水平的人工智能系统，首先需要解决如何将人类专家的经验、技巧以计算机可以理解和利用的方式表示出来，并存储在计算机中，用知识“武装”计算机。

人工智能研究中的知识表示方法主要有状态空间表示法、产生式表示法、谓词表示法、与或树表示法和框架表示法。

对于同样的知识，可以采用多种表示方法，但采用不同方法表示知识可能会带来不同的效果。建立智能系统时究竟应该采用何种知识表示方法，没有统一的标准。一般来说，

微信公众号：电子课本大全

选择知识表示方法应从以下几个方面考虑：

1. 能否充分表示知识

首先要确定所选的表示方法能否充分描述相关领域的事实、规律等知识。这就需要人们深入掌握相关领域的知识，充分了解各种知识表示方法的特点，才能根据不同任务选择适当的知识表示模式。

2. 是否适于推理

人工智能系统主要用于推理，因此所选用的知识表示必须适合推理。例如产生式系统就比较适合推理，普通的数据库则适于浏览、查询，而不适合推理。

3. 是否便于知识获取、维护和管理

让计算机获得“专业知识”，最简单的方法是人工将知识输入到知识库中。一个新建成的智能系统不会十分完善，在对一定数量的案例进行处理后，可能会发现原有知识的质量和性能存在某些问题，需要增补新知识，修改原有的知识。因此在确定知识表示模式时，应充分考虑知识库维护与管理的方便性。

4. 是否易于加入启发性知识

计算机解决复杂问题需要一些与问题相关的特定知识来引导求解过程，这类知识称为启发性知识。选择易于加入启发性知识的表示方法，有利于提高问题的求解效率。

5. 表示方法是否自然

如果所选用的知识表示方法自然，那么编写、阅读和调试程序就会比较容易，但是越接近自然语言的知识表示方法，计算机处理起来速度越慢，所以人们往往要对表示方法和处理效率进行平衡，选取一个折中方案。



1. 试举出生活中一些常见的事实性知识和过程性知识的实例。

2. 脑图（Mind-mapping）也叫思维导图，是一个挖掘大脑潜能的强有力的图解工具。它运用包括词汇、图像、数字、逻辑、韵律、颜色和空间感知等手段，使人类思维可视化。请使用关键字“脑图”进行搜索，从相关网站下载一个“脑图”软件，运行这个软件，你会对人工智能的发展产生一些联想。请你将感想写出来，保存在电子学习档案袋“我的感受”中。

微信公众号：电子课本大全

第二节 状态空间表示法

状态空间表示法是人工智能中最基本的形式化方法，经常用于问题求解。本节将介绍状态空间表示法的三要素、状态空间搜索策略及其在九宫格问题中的应用。

一 状态空间

状态空间是人工智能问题求解的一种基本表示法。为了说明这种方法，需要介绍状态（State）、操作符（Operator）以及状态空间图（State Space Chart）这三个基本概念。

1. 状态

状态用来描述事物在某一特定时刻的某些特征。它可以表示成一个 n 元有序组：

$$S=[t_1, \cdots, t_i, \cdots, t_n]$$

式中使用变量 t_1 到 t_n 代表某些特征，变量 t_i 称为该状态 S 的一个状态分量。在两个状态中，只要其中任何一个状态分量不同，就可以认为这两个状态不同。

我们以九宫格问题为例，在一个 3×3 的棋盘中摆放 8 个数码（如图 2-2-1 所示），然后移动相关数码，移动过程中只允许将空位旁的数码移向空位，最终要使 8 个数码摆放到如图 2-2-2 所示的目标位置。问至少需要移动几次可以完成。

1	3	
8	2	4
7	6	5

图 2-2-1 初始位置

1	2	3
8		4
7	6	5

图 2-2-2 目标位置

上面两图可以看成是棋盘布局在两个重要时刻的状态：初始状态和目标状态。在这个例子中，由于我们关心的是 8 个数码和一个空位的位置，因此就把这些位置作为状态分量，初始状态 START 和目标状态 GOAL 用 n 元有序组表示就是：

START=[空位在第 1 行第 3 列，1 位于第 1 行第 1 列，…，8 位于第 2 行第 1 列]
GOAL=[空位在第 2 行第 2 列，1 位于第 1 行第 1 列，…，8 位于第 2 行第 1 列]

用自然语言作为每个状态分量的值，计算机是无法理解的，所以，解决实际问题时要利用字母和符号来定义每个状态。

2. 操作符

使问题从一种状态转换为另一种状态的手段称为操作符或算符。

分析前面的九宫格问题，在解题过程中，可能需要移动全部 8 个数码，每个数码又可能朝上、下、左、右 4 个方向中的任何一个方向移动，这样，就需要定义 32（8×4）个操

微信公众号：电子课本大全

作符。

如此多的操作符，使用起来非常麻烦，而且有些可能根本用不到。怎么化繁为简呢？让我们换个角度思考：根据题目要求，每个数码只能向它旁边的空位移动，这样，每次数码被移动，都相当于空位向相反方向移动。这样，最多定义 4 个操作符就够了。它们是：空位上移、下移、左移、右移。

操作符常常用“如果……则……”语句来描述，如“空位左移”操作可以表示为“如果空位所在列的序号大于 1，则令空位的列序号减 1”。传统的逻辑运算符和数值运算符也可以作为操作符，因为它们完成的工作也是状态转换。

3. 状态空间图

由问题的全部状态及一切可用操作符所构成的集合称为问题的状态空间。一般用一个三元组表示：

$$(S,F,G)$$

其中 S 是问题的所有初始状态构成的集合，F 是操作符的集合，G 是目标状态的集合。状态空间的图示形式称为状态空间图。状态空间图中的每个节点（node）表示一个状态；每条边表示一个操作，它表示问题从一种状态转换为另一种状态，这条边是有方向的。如果应用操作符可以将状态 a 转换为状态 b，那么，就可以用一条边连接节点 a 和 b，且称 a 为 b 的父节点，b 为 a 的子节点。没有父节点的节点称为根节点，没有子节点的节点称为叶节点。

我们仍然以九宫格问题为例，将图 2-2-3 中其余的状态节点补充完整，就可以得到九宫格问题的状态空间图。其中 S_1 是 S_3 和 S_4 的父节点，S_3 和 S_4 是 S_1 的子节点，S_3 和 S_4 同时也是兄弟节点。S_0 是根节点，S_6 为叶节点。用状态空间图表示知识，可以使问题描述和问题求解过程都更加直观。

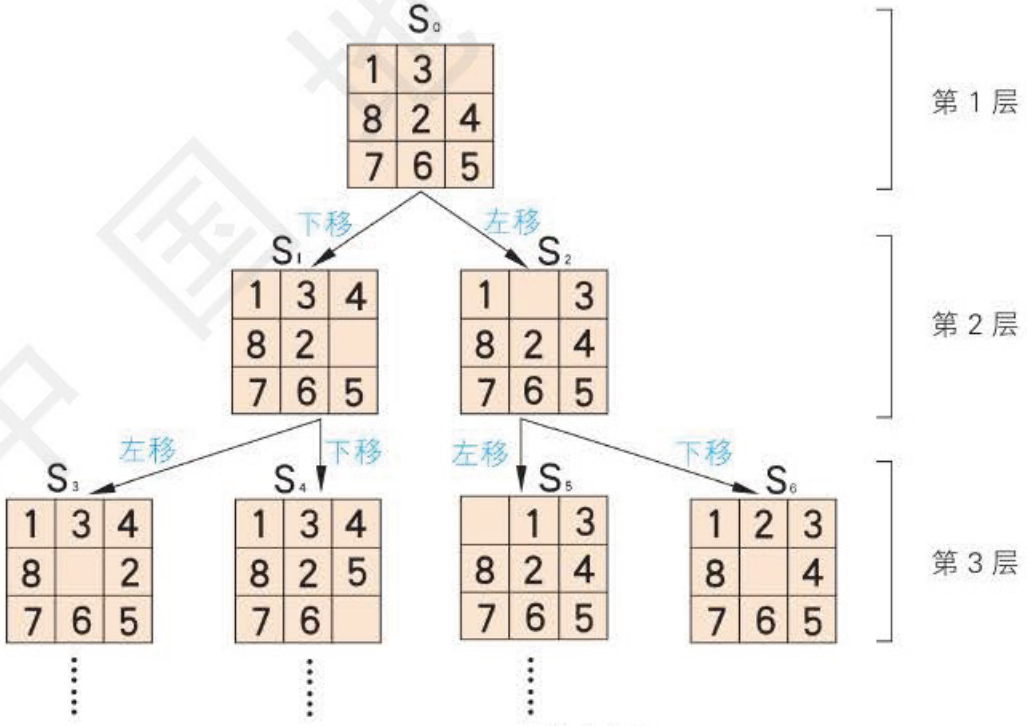

图 2-2-3 状态空间图

微信公众号：电子课本大全

二　状态空间搜索

如何利用状态空间图求解问题呢？在状态空间图中，如果有一条从初始状态节点到达目标状态节点的连通的路径，则称此问题有解。从初始状态到目标状态的首尾衔接的这组边构成问题的一个解，例如图 2-2-3 中从 S_0 到 S_2 再到 S_6 这条通路就是问题的一个解。这种利用状态空间图寻求问题的解的过程称为状态空间搜索。

在九宫格问题的状态空间图中，每个节点表示移动一次数码后的棋盘布局，节点 S_0 和 S_{25} 分别表示初始状态 START 和目标状态 GOAL，节点 S_i 表示第 i 种状态，如图 2-2-4 所示。于是九宫格问题的求解过程就转化为在下面图中寻找从节点 S_0 出发到达节点 S_{25} 的路径问题。

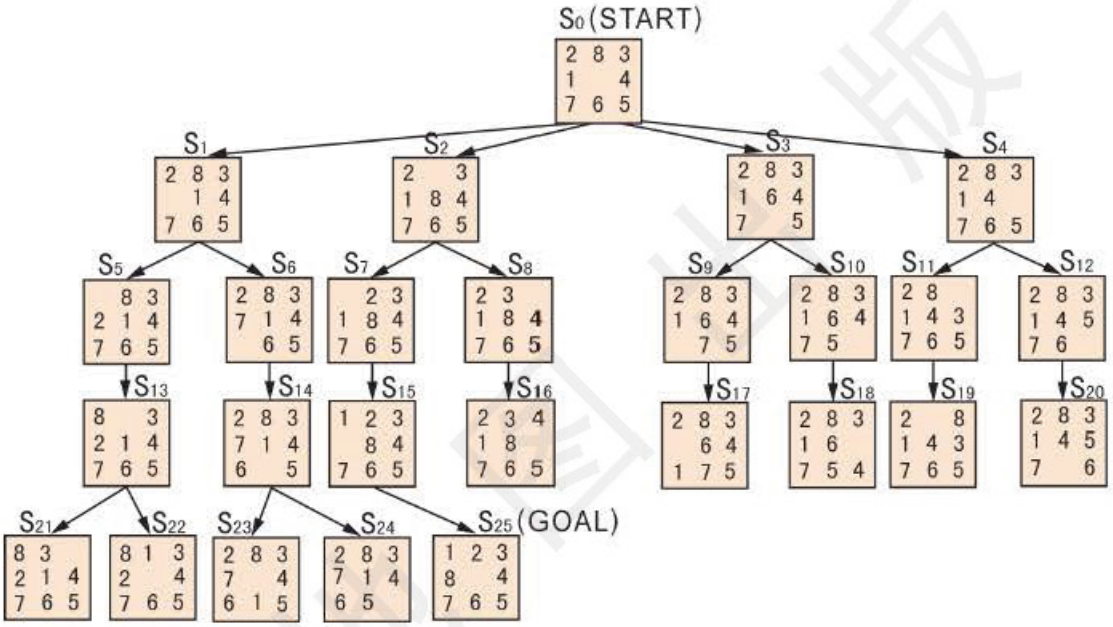

图 2-2-4　九宫格问题的状态空间图（局部）

对于状态空间图，我们可以用 (S_i) 表示第 i 种状态，这样，可以把图 2-2-4 简化为图 2-2-5 所示的形式。

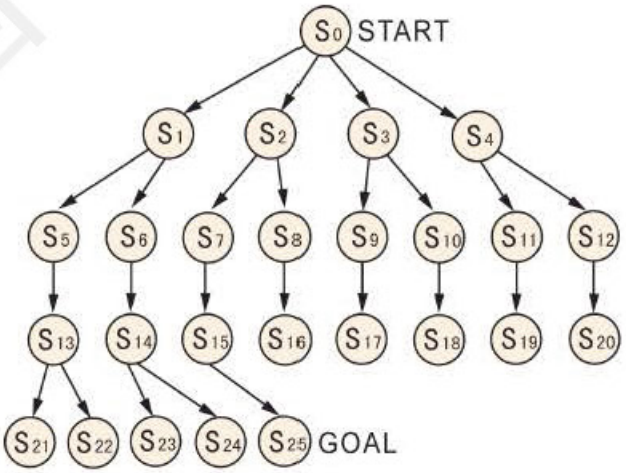

图 2-2-5　九宫格状态空间图简化图（局部）

九宫格问题共有 9! = 362880 个状态，图 2-2-5 中只画出了求解过程搜索经过的状态。

微信公众号：电子课本大全

任务 1 打开配套光盘，在“课本素材”的“软件”（kbsc\soft）文件夹中找到程序 Winep-code.exe。运行这个程序，弹出九宫格游戏软件窗口，如图 2-2-6 所示。这就是九宫格游戏的一个求解程序。



图 2-2-6 九宫格程序运行界面

可以按照下面的提示操作：

① 设置初始状态和目标状态。

② 单击【自动计算】按钮，程序自动算出从初始状态到目标状态所需要的最少步骤。

③ 单击【初始状态】按钮，程序将当前状态设置为初始状态。

④ 单击【下一步】按钮，则棋盘上的数码就会移动一格，继续单击，直至当前状态变为目标状态。

任务 2 我们做一个翻硬币的游戏，找三枚硬币，使其排列处于“正、反、正”的状态（如图 2-2-7 所示），每次只能翻动一枚硬币，看看恰好操作三次能否把硬币置于“正、正、正”或“反、反、反”的状态。如果可以，在表 2-2-1 中记录成功操作的过程。



图 2-2-7 翻硬币游戏

表 2-2-1 翻动硬币过程

翻转次数	翻转哪枚硬币（左、中、右）	三枚硬币的状态
第 0 次		正、反、正
第 1 次		
第 2 次		
第 3 次		

微信公众号：电子课本大全

任务 3　对于翻硬币问题，我们引入三元有序组 (q_1,q_2,q_3)，“$q_i=1$”表示第 i 枚硬币处于正面，“$q_i=0$”表示第 i 枚硬币处于反面。所以初始状态就可以表示为 (1,0,1)，目标状态为 (0,0,0) 或者 (1,1,1)。请同学们根据三枚硬币的八种组合状态将表 2-2-2 填充完整。

表 2-2-2　八种组合

序号	状态
1	(0, 0, 0)
2	(0, 0, 1)
3	(0, 1, 0)
4	
5	
6	
7	
8	

任务 4　用状态空间图求解翻硬币问题。

我们用 Q_0、Q_1……Q_7 分别表示三枚硬币的八种组合状态，即 (0,0,0)、(0,0,1)、(0,1,0)、(0,1,1)、(1,0,0)、(1,0,1)、(1,1,0)、(1,1,1)。用 f_i 表示翻转硬币的操作（f_1：翻动 q_1；f_2：翻动 q_2；f_3：翻动 q_3）。这样，就可以画出硬币翻转问题的状态空间图了，如图 2-2-8 所示。

Q_5 是初始状态，Q_0 和 Q_7 都是目标状态。如果要求从 Q_5 恰好经过三步到达 Q_0 或 Q_7，能够依次写出满足要求的三个操作符号就得到问题的一个解，否则无解。同学们通过状态空间图找出问题的答案，并填入表 2-2-3 中。

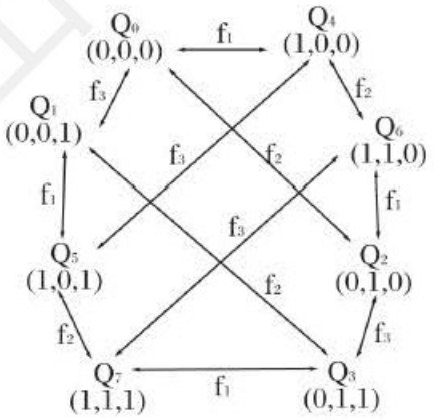

图 2-2-8　翻硬币游戏状态空间图

表 2-2-3　问题求解的答案

	Q_5 到达 Q_0 的路	Q_5 到达 Q_7 的路
是否有解		
操作符号		

二　求解九宫格问题

九宫格问题共有 362880 个状态，要在这么多状态中漫无目的地找到问题的一个解并不是一件容易的事。在这种情况下必须采用某种搜索策略来解决问题。深度优先搜索和宽度优先搜索可作为搜索策略求解九宫格问题。

深度优先搜索首先从初始节点开始，在其子节点中选择一个节点进行考察，若不是目标节点，则再在该子节点中选择一个节点进行考察，一直如此向下搜索。当到达某个子节点时，如果该子节点既不是目标节点又不能继续扩展，则选择其兄弟节点继续考察，直到

微信公众号：电子课本大全

找到目标节点或者搜索失败。

宽度优先搜索则是从初始节点开始，逐层对节点进行扩展并考察它是否为目标节点，即必须处理本层的每一个节点后，才可以处理下一层节点，直到找到目标节点或者搜索失败。

搜索状态空间图就是寻找一条从初始节点到达目标节点的路径。下面我们分别用深度优先和宽度优先这两种搜索方法来尝试求解九宫格问题。

1. 深度优先搜索求解九宫格问题

图 2-2-9 给出了采用深度优先搜索策略搜索九宫格状态空间图的解题示意图（限制搜索深度为 4）。

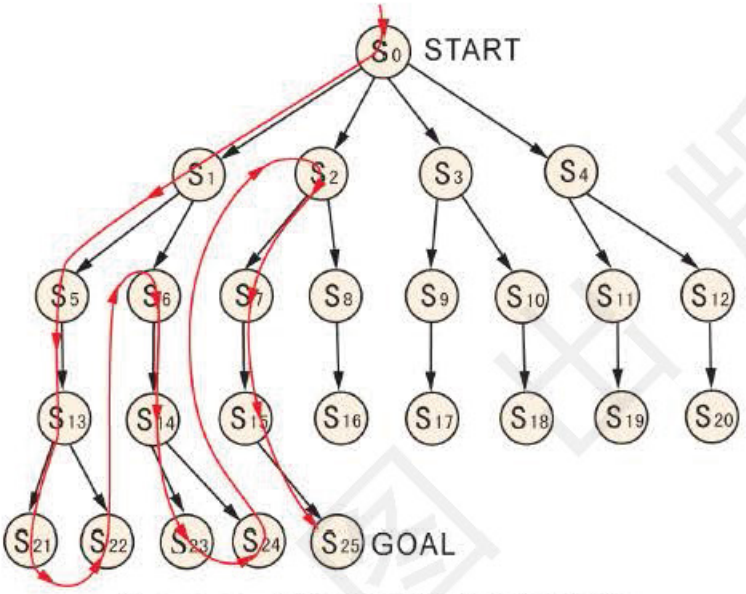

图 2-2-9 深度优先搜索解九宫格问题

在图 2-2-9 中，S_0（START）是起始状态，S_{25}（GOAL）是目标状态。从初始状态到目标状态依次访问的节点是 S_0（START），S_1，S_5，S_{13}，S_{21}，S_{22}，S_6，S_{14}，S_{23}，S_{24}，S_2，S_7，S_{15}，S_{25}（GOAL）。那么，找到的满足要求的路径是：S_0（START）→ S_2 → S_7 → S_{15} → S_{25}（GOAL）。

2. 宽度优先搜索求解九宫格问题

图 2-2-10 给出了采用宽度优先搜索策略搜索九宫格状态空间图的解题示意图。

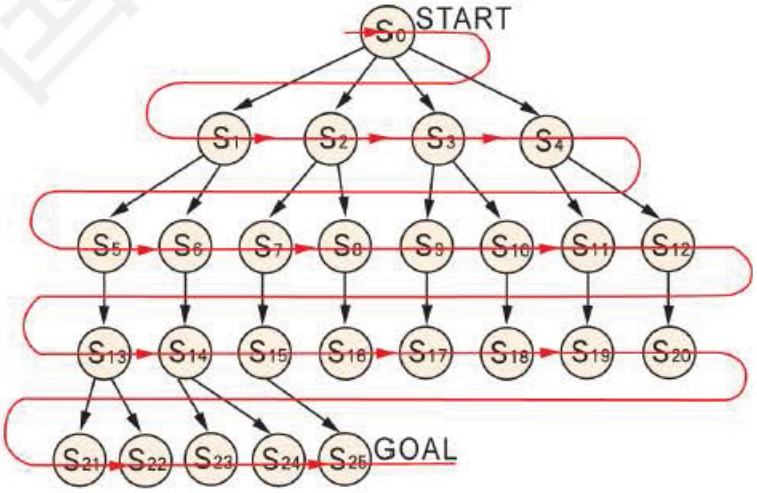

图 2-2-10 宽度优先搜索解九宫格问题

微信公众号：电子课本大全

图 2-2-10 中，访问图中节点是按照节点下标依次增长的顺序进行的，即 S_0（START），S_1，S_2，S_3，…，S_{23}，S_{24}，S_{25}（GOAL）。通过宽度优先搜索方法解决九宫格问题的答案是：S_0（START）→ S_2 → S_7 → S_{15} → S_{25}（GOAL）。



1．设有三根钢针，在 1 号钢针上穿有 A、B 两个金片，A 小于 B，且位于 B 的上面，如图 2-2-11 所示。现要求把这两个金片全部移到 3 号钢针上。按规定每次只能移动一片，任何时刻都不能使 B 片位于 A 片的上面。请采用状态空间方法表示该问题。

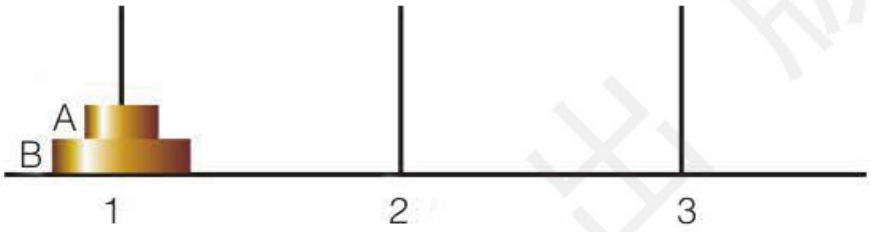

图 2-2-11　移动金片问题

2．在图 2-2-12 中，设初始节点为 a，目标节点为 k，分别进行深度优先搜索和宽度优先搜索。请你把搜索路径填入表 2-2-4 中。

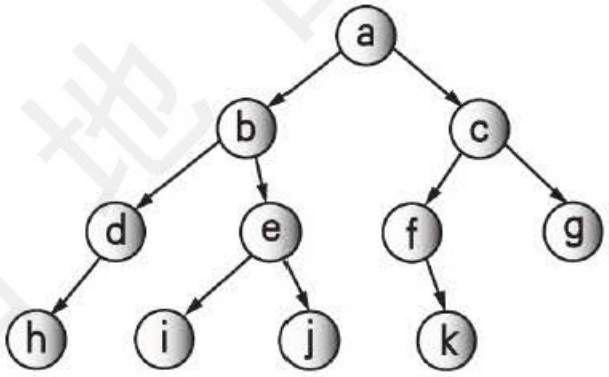

图 2-2-12　状态空间图

表 2-2-4　搜索路径

搜索策略	搜索路径
深度优先	
宽度优先	

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

第三节 其他知识表示法

除了状态空间表示法外，知识表示方法还有多种。这些知识表示方法各有不同的特点，在建立智能系统时，可根据它们各自的特点选择单种或者多种组合运用。本节重点介绍产生式表示法、谓词表示法、与或树表示法和框架表示法以及它们各自的特点。

一 产生式表示法

产生式是早期专家系统普遍采用的一种知识表示方式，至今仍然广泛应用。产生式这个词来源于一种自动机——波斯特机，它是 1943 年由美国数学家波斯特（E.Post）提出的一种计算模型，主要由全局数据库、控制策略和若干规则构成，其中每一条规则称为一个产生式规则（Production Rule，简称产生式）。

1. 产生式的基本形式

产生式的基本形式为：$P \rightarrow Q$

其中，P 是产生式的前提（条件），Q 是结论或者一组操作。产生式的意义是，如果前提 P 被满足，那么可以推出结论 Q 或者执行 Q 表示的一组操作。它也可以表示成“if P then Q”或者“如果 P 则 Q”的形式。

产生式通常用于表示具有因果关系的知识，例如，规则常使用产生式表示。当一个产生式的前提包含多个条件时，可以表示为“如果 P_1 且 P_2……且 P_k 则 Q”。

下面的一组产生式描述了识别动物时使用的一些规则：

规则 1：如果 动物产乳 则 动物是哺乳动物。

规则 2：如果 动物有犬齿和爪 且 动物是哺乳动物 则 动物是食肉目。

有时还会把规则的结论或操作放在句子前半部分，把条件放在句子后半部分，这样表示的规则称为逆序规则。

如，规则 1 用逆序表示：

规则 3：动物是哺乳动物 如果 动物产乳。

事实一般是陈述性的语句，表示某种客观现实或状态。产生式规则的前提就是一个（一组）事实，而结论则是一个（一组）事实或操作。如：

事实 1：今天是星期天。

事实 2：我今天在家休息。

规则 4：如果 今天是星期天 则 我今天在家休息。

2. 产生式系统

把若干事实和一组产生式放在一起，再通过控制器使它们互相配合，协同工作，以此

微信公众号：电子课本大全

来求解问题，这样的系统称为产生式系统。

产生式系统由综合数据库、规则库和控制系统三部分组成，其基本结构如图 2–3–1 所示。

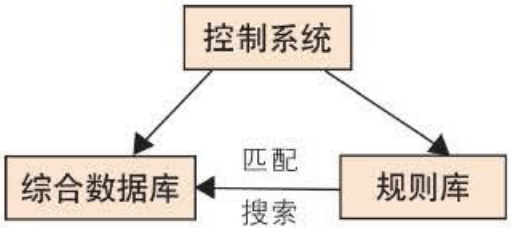

图 2–3–1　产生式系统的基本结构

●综合数据库：也称为事实库，它存放当前已知的知识信息数据，包括推理过程中形成的中间结论知识。

●规则库：存储一组描述相应领域知识的产生式规则，这些规则是关于问题状态转换、性质变化等过程型的知识。

●控制系统：又称为推理机构，由一组程序组成，负责控制整个产生式系统的运行，实现对问题的求解。

产生式系统的工作原理是：系统按照某种次序扫描综合数据库，如果其中某个事实与一个规则的前提相匹配，则相应的规则被激活，如果同一时刻激活多条规则，则控制系统决定优先应用哪条规则，并将应用所选规则得到的新的事实添加到综合数据库中。重复上述过程，直至问题得到解决，或者没有规则可以匹配，系统才终止运行。这种方法叫做“搜索—匹配”法。

小资料　产生式的应用

产生式表示方法已成为人工智能中应用最多的一种知识表示模式，许多成功的专家系统都是用它来表示知识的。如费根鲍姆等人研制的化学分子结构专家系统 DENDRAL、肖特里菲（E.H.Shortliffe）等人研制的诊断感染性疾病的专家系统 MYCIN 等。

二　谓词表示法

1. 谓词表达式

谓词与人类自然语言比较接近，可以方便地存储到计算机中，便于计算机应用知识进行推理。因此，谓词成为人工智能中的一种重要的知识表示方法。

谓词演算也是一个用于推理的运算系统，在这个系统中定义了运算对象（一些事实）和运算符（语句连接词），如用“∧”表示“并且”，用“∨”表示“或者”，用“…→…”表示“如果……那么……”。

谓词表达式（下面简称谓词公式）的一般形式为：$P(X_1, X_2, X_3, \cdots)$。

这里 P 是谓词，变元 X_i 是主体或客体。通常，主体即是一个句子的主语，客体是句子中的宾语。谓词公式中有时不出现客体，只有一个或几个主体。

谓词公式可以表示事物的状态、性质等事实性的知识，也可以表示事物之间的联系，

微信公众号：电子课本大全

如因果关系。

用谓词公式表示知识时，首先需要定义谓词，指出每个谓词的确切含义，然后再用连接词把有关的谓词连接起来，形成一个意义表达完整的谓词公式。

下面是几个谓词表达式的示例：

●张立买了一台计算机

buy(Zhangli,computer)，其中“buy”是谓词，“Zhangli”即句子的主语，是公式中谓词的主体。

●北京是个城市

city(Beijing)

● 2 是一个偶素数

even(2) ∧ prime(2)

●学生应该守纪律

student(x) → discipline(x)

●如果一个数是整数，那么它不是偶数就是奇数

integer(x) → even(x) ∨ odd(x)

2. 用谓词公式表示机器人规划问题

谓词具有很好的知识表达能力，下面来看看如何用谓词公式描述一个复杂问题。

问题描述：有一个机器人（Robot）位于 c 处，两张桌子 A 和 B 分别位于 a 处和 b 处，桌子 A 上有一个积木块（Box），如图 2-3-2 所示。机器人的任务是：从 c 处出发，将积木

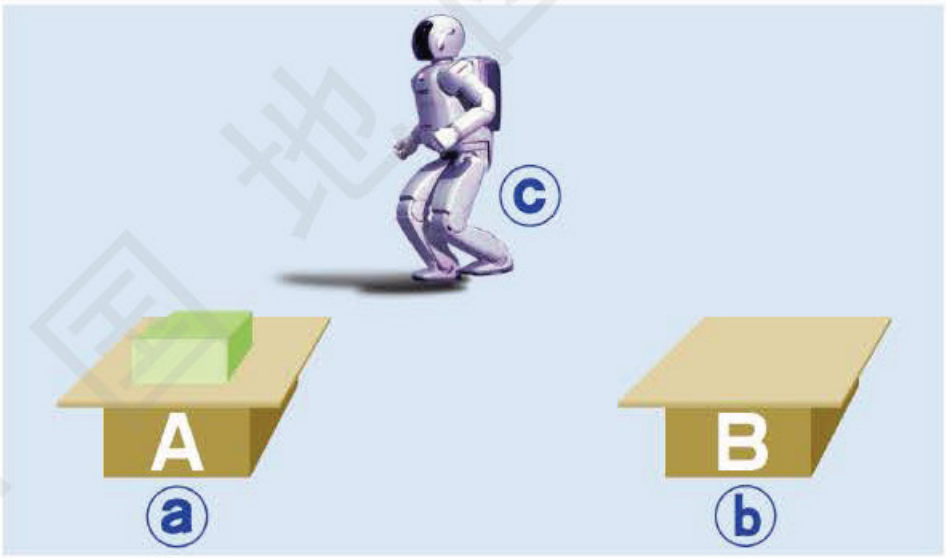

图 2-3-2 机器人规划问题

块从桌子 A 移到桌子 B 上，然后再回到 c 处。

怎样用谓词描述机器人的行动规划呢?

(1) 首先定义谓词

Table(x)：表示 x 是桌子

At(x,v)：表示 x 在 v 处

On(x,w)：表示 x 在 w 上

微信公众号：电子课本大全

Goto(u,v)：表示机器人从 u 处走到 v 处
EmptyHanded(x)：表示 x 手中是空的
Holds(x,y)：表示 x 从桌上拿起 y
Set-Down(x,y,z)：表示 x 将 y 放到 z 上

(2) 用谓词公式描述初始状态

A 是桌子：Table(A)
B 是桌子：Table(B)
桌子 A 在 a 处：At(A,a)
桌子 B 在 b 处：At(B,b)
积木块 Box 在 A 上：On(Box,A)
机器人在 c 处：At(Robot,c)
机器人手中是空的：EmptyHanded(Robot)

(3) 用谓词公式描述目标状态

A 是桌子：Table(A)
B 是桌子：Table(B)
桌子 A 在 a 处：At(A,a)
桌子 B 在 b 处：At(B,b)
积木块 Box 在 B 上：On(Box,B)
机器人在 c 处：At(Robot,c)
机器人手中是空的：EmptyHanded(Robot)

(4) 用谓词公式描述机器人的动作序列

为了完成任务，机器人要依次执行下面五步操作：
① 机器人从 c 处走到 a 处：Goto(c,a)
② 机器人从桌上拿起 Box：Holds(Robot,Box)
③ 机器人从 a 处走到 b 处：Goto(a,b)
④ 机器人将 Box 放到 B 上：Set-Down(Robot,Box,B)
⑤ 机器人从 b 处走到 c 处：Goto(b,c)

(5) 记录机器人动作引起的变化

我们用一个表来存储描述状态的相关事实。每当机器人完成一个动作从而引起状态的变化时，就会对表作相应修改（即添加和删除某些谓词公式）。

例如，在初始状态，表中有如下谓词公式：

Table(A)
Table(B)
At(A,a)
At(B,b)
On(Box,A)
At(Robot,c)
EmptyHanded(Robot)

中国铁道出版社

微信公众号：电子课本大全

机器人完成动作①，即从 c 处走到 a 处，对应这个动作，对表执行下面的增、删操作：删除 At(Robot,c)，添加 At(Robot,a)。

机器人完成动作②，即从桌上拿起 Box，对应这个动作，对表执行下面的增、删操作：删除 On(Box,A)，删除 Empty Handed(Robot)，添加 Holds(Robot,Box)。

这个规划还不完整，下面请同学们来继续完成制定机器人动作规划的工作。



为机器人完成任务做个规划：考虑机器人工作的步骤，并用谓词公式写出机器人操作的序列（不必写出如何删除和添加表中的选项），填入表 2-3-1 中。

表 2-3-1 机器人动作规划

操作序号	描述机器人操作	用谓词公式表示
1		
2		
3		
4		
5		
6		
……		



谓词表示法的系统应用

目前使用谓词表示法表示知识的系统主要有：

（1）格林（B.Green）等人研制的 QA3 系统，这是一个通用系统，适用于求解化学方面的问题。

（2）菲克斯（Fiks）等人研制的 STRIPS 系统，这是一个机器人动作规划系统，具有问题应答及规划求解的能力。

（3）菲尔曼（Filman）等人研制的 FOL 系统，这是一个机器证明系统，用一阶谓词的推理法则进行自然演绎推理。

尽管谓词表示法在很多人工智能系统中得到应用，但它也有一定的局限性，比如描述问题越细，系统推理的速度越慢，效率越低。

三 与或树表示法

与或树是一种用来表示知识的图，是一种常用的知识表示方法，是分析复杂问题的一个直观化工具。与或树图形像一棵倒置的树，图中的节点自顶向下依次为根节点、分支节点、叶节点。

微信公众号：电子课本大全

1. 与树

将复杂的大问题分解为一组简单的小问题，将小问题再分解为更简单的小问题。如果最小的问题都解决了，那么复杂的大问题也就解决了。在与或图中，这种分解关系称为与关系，表示这种与关系的树称为与树，如图 2-3-3 所示。



图 2-3-3　与树

2. 或树

将较难的问题转换为几个较容易的等价问题。如果这几个较容易的问题里有一个解决了，就相当于解决了原有的难题。这种转换关系称为或关系，用来表示这种或关系的树称为或树，如图 2-3-4 所示。



图 2-3-4　或树

在实际应用中，与树和或树一般是混合使用的，这样的树称为与或树。下面我们用一道几何证明题的求解来说明与或树的含义。

求证：图 2-3-5 中的四边形 ABCD 与四边形 EFGH 全等。

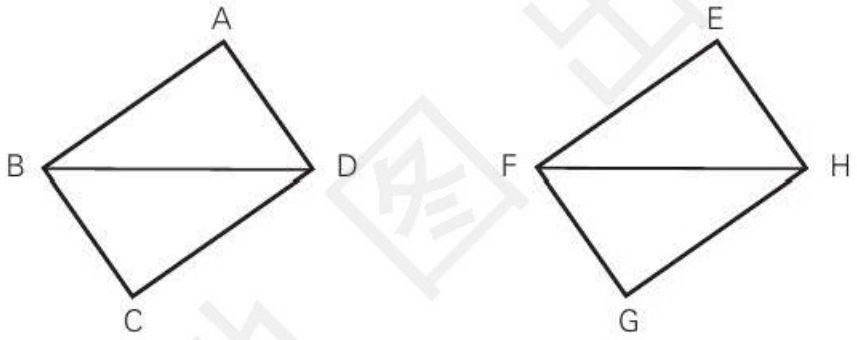

图 2-3-5　两个四边形的全等问题

求解过程的与或树如图 2-3-6 所示。

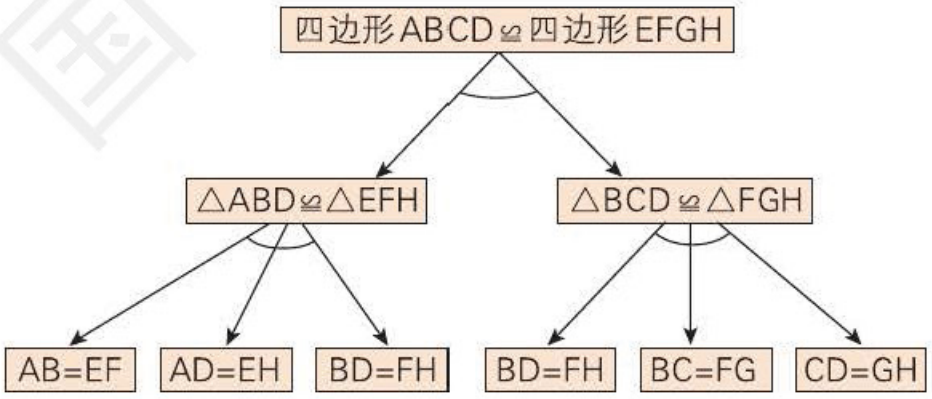

图 2-3-6　求解过程的与或图

利用与或树表示知识，特别适合提供定理证明和专家系统的解决方案。很多定理证明软件采用的正是搜索与或树的方法来实现自动定理证明的。

微信公众号：电子课本大全

四 框架表示法

心理学的研究结果表明，人们在日常活动中理解和判断新情况、新问题时，经常要用到以往经验中积累的知识。这些庞杂的经验知识以一定的组织形式保存在人们的记忆中。

例如，当一辆汽车从眼前驶过时，我们总能先抓住它最重要的特征：颜色、品牌、类型、长度……由于掌握了描述一辆汽车所需要的知识，我们就可以在脑海里快速保存一个新事物的印象。类似的事例说明，人们试图用以往的经验来分析解释当前遇到的情况，人们在脑海里保存以前的（直接或间接的）经验，不是记住每一个具体事件，而是记住一类事件的共同特征。计算机也可以以一种通用的形式存储以往的经验，这就是我们将要介绍的框架（Frame），其表示知识的方式使用的是框架表示法。

框架是一种描述对象（如一个事物、一个事件或一个概念）属性的数据结构，由框架名和一组用于描述框架各方面具体属性的槽（Slot）组成。每个槽有一个槽名，槽名下面有对应的取值，称为槽值或填充值。在比较复杂的框架中，槽的下面还可以进一步区分为多个侧面，每个侧面又可以有各自的取值，作为对槽的进一步说明。

框架的一般形式是：

```
FRAME  < 框架名 >
        槽名 1：槽值 1
        槽名 2：侧面名 21：侧面值 21
                侧面名 22：侧面值 22
                ……
                侧面名 2m：侧面值 2m
        ……
        槽名 n：侧面名 n1：侧面值 n1
                侧面名 n2：侧面值 n2
                ……
                侧面名 nk：侧面值 nk
```

槽值和侧面值可以是数值或字符，也可以是另一个框架名，还可以是由其他槽值计算获得的值。

例如，用框架表示人，其结构如表 2-3-2 所示。常见的关于自然灾害报道的新闻稿框架如表 2-3-3 所示。

表 2-3-2　描述人的框架

FRAME：人	
姓名	王明恕
职业	大学教师
身高	178 cm
体重	70 kg
年龄	35 岁

微信公众号：电子课本大全

表 2-3-3　描述自然灾害的框架

FRAME：地震	
地点	唐山
日期	1976 年 7 月 28 日
强度	7.6 级
人员伤亡	死亡人数：XX 万人 受伤人数：XX 万人
财产损失	直接损失：X 亿元 间接损失：XX 亿元



框架与面向对象语言中的对象和类有异曲同工之妙。现在，对象和类已经被程序设计人员所熟悉，并被广泛利用。



几种知识表示方法比较

知识表示的问题是人工智能研究的核心问题之一。适当选择和正确使用知识表示方法会极大地提高人工智能求解问题的效率。

知识表示方法很多，本单元介绍了其中的五种，它们是状态空间表示法、产生式表示法、谓词表示法、与或树表示法和框架表示法。这五种表示法各有特点，比较如下：

● 状态空间表示法是一种基于解空间的问题表示和求解的方法，以状态和操作符为基础。在利用状态空间图表示时，从某个初始状态开始，每次应用一个操作符，从一种状态变换为另一种状态，直到达到目标状态为止。由于这种方法容易出现过多的状态，因而只适用于表示比较简单的问题。

● 产生式表示法的优点具有模块性、灵活性、自然性和透明性。即：规则与规则之间相互独立；知识库易于增加、修改和删除；可以方便地表示专家的启发性知识与经验；易于保留动作所产生的变化、轨迹。缺点是知识库维护难、效率低，另外不能表示结构性的知识。产生式表示的知识有一定的格式，且规则之间不能直接调用，因此那些具有结构关系或层次关系的知识很难用它表示出来。

● 谓词表示法是当今应用最广泛的方法。其优点是表达能力强，一阶谓词具有完备的逻辑推理算法，可以保证知识库中新旧知识在逻辑上的一致性（或通过相应的一套处理过程检验）以及演绎结论的正确性。谓词与数据库（特别是关系数据库）有着密切的关系。谓词表示法的缺点是：谓词表示越细，虽然表示知识越清楚，但系统推理越慢，效率越低。谓词本身具有比较扎实的数学基础，非专业人员不易掌握它。

● 与或树表示法的引入是人工智能早期的研究成果之一，已经得到了广泛的应用。与或树表示法只适用于可以分解或者转化的问题，很多机器证明软件就使用了这种表示方法。

● 框架表示法是一种结构化表示方法，最突出的特点是善于表达结构性的

微信公众号：电子课本大全

知识，能够把知识的内部结构关系及知识间的联系表示出来。框架表示法的不足之处主要是不善于表达过程性的知识，因此人们经常将它与产生式表示法结合起来使用，以取得互补的效果。



1．计算机连网使用的网线材料可以使用哪几种介质？用框架描述各种介质的特征。

2．根据各种知识表示方法的特点，确定求解下列问题适合使用哪种方法，填入表 2-3-4 中（可以补充一些其他问题实例）。

问题：

描述一种交通工具

依据特征对几种水果进行分类

华容道问题

描述一个一题多解问题的解题思路

表 2-3-4　几种知识表示法适合解决的问题

知识表示方法	适用的问题
状态空间	
产生式	
框架	
与或树	

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

第三单元 神奇的机器专家

Information Technology

1979 年，我国第一个中医诊断专家系统——诊疗肝病计算机程序问世。到了 20 世纪 80 年代，国内相继出现了中医肾系统疾病计算机诊疗、教学、护理和咨询系统，妇科专家诊疗系统，医学智能通用编辑系统和乙型肝炎专家诊疗系统等。

目前，中医专家系统的代表是数字名医服务系统和中医全科专家系统。医师通过对患者体征的观察，结合病人症状，将获取的相关数据输入专家系统，专家系统根据系统数据库中存储的中医诊断领域知识，反馈几种可能的证名，再由医师根据专家系统提供的结果完成诊断。

在人工智能研究的众多领域中，专家系统是最活跃和最有成效的一个研究领域。今天，各种类型的专家系统已经成功地应用到社会生活的各个领域，如战略规划、交通管理、语音识别、故障诊断等。

那么，什么是专家系统？它是如何工作的呢？……下面，让我们步入探秘旅程，逐步揭示各类专家系统的奥秘。

微信公众号：电子课本大全

第一节 初识专家系统

本节，我们学习专家系统的有关知识。在接触枯燥的理论之前，让我们先通过使用“PC 机配置专家系统”来解决一个实际问题，以便从感性上认识专家系统。

什么是专家系统？别把专家系统想得太神秘。简单的说，专家系统就是一个具有专家知识的计算机软件系统，它利用专家知识，模拟某一领域专家处理问题的思维方式来解决复杂的问题。既然是模拟人类专家，我们就先从一个需要专家解决的常见问题开始吧。



利用专家系统解决计算机配置问题。

一 问题的提出

计算机在当今已不仅仅是一种专门化的产品，它已成为一种生活必需品，且更展现出了时尚消费品所具有的种种特征。个性化和定制型的计算机开始成为一种潮流，各软硬件生产厂商为满足不同用户的需要开发出多种不同产品。因此，当你购买计算机时，合理地选择和配置以满足个性化的需求，就成了一项技术性很强的工作。想要避免“挑花眼”，买到称心如意的计算机，以下几个问题是不能不考虑的：

●预算究竟是多少？

计算机软硬件都要花钱，一味追求高水平的配置可能会造成不必要的浪费，产品的性能价格比同样需要考虑。

●主要用来干什么？

购买计算机主要是用来处理文字、浏览网页、玩电子游戏、设计程序还是进行美术设计？根据不同的用途，应该在不同的方面对计算机的配置有所侧重。

●是否需要经常携带？

便携式计算机、平板式计算机或者掌上计算机比传统的台式机便于携带，但是比较难以扩充和更新硬件。

●打算用多久？

计算机软硬件更新的速度越来越快，所以，如果你不想使用很久，可以用相对较低的价格购买一台中档机。

●使用什么样的操作系统？

操作系统是计算机软件系统中最重要的组成部分。大多数 PC 用户会选择 Windows 操作系统，但热衷于了解操作系统原理进行二次开发的用户，会乐于选择 Linux 操作系统。

微信公众号：电子课本大全

此外，如果购买 Macintosh 机器，就必须使用它的专用系统——Mac OS。

以上内容只谈到了计算机的“基本”配置，并没有涉及更深层的问题。即便如此，真正做出选择，要考虑的问题远比这些要多。配置一台计算机要收集大量的信息，在处理这些信息时，还必须综合考虑各种情况，选择关键因素，排除冗余因素，同时在相互矛盾的信息中做出正确的选择。由此可见，要想购置一台称心如意的计算机，还真不是一件容易的事。但是用专家系统帮我们选择，事情就容易多了。

二　求助网上专家系统

专家系统 eXpertise2Go 提供的 PC 机配置专家系统是专门为配置 PC 机设计的，它可以解决我们对计算机配置的困惑，为我们做出决策提供重要的帮助。在使用的过程中，要注意观察专家系统是通过哪些方式协助我们做出决策的。

1. 拜访“专家”

利用百度搜索引擎搜索 eXpertise2Go，并进入 eXpertise2Go 网站主页。



图 3-1-1　eXpertise2Go主页

单击页面上的“product selection”链接，在出现的新页面中单击“Desktop PC Expert”链接，即可进入“PC 机配置专家系统”，如图 3-1-2 所示。

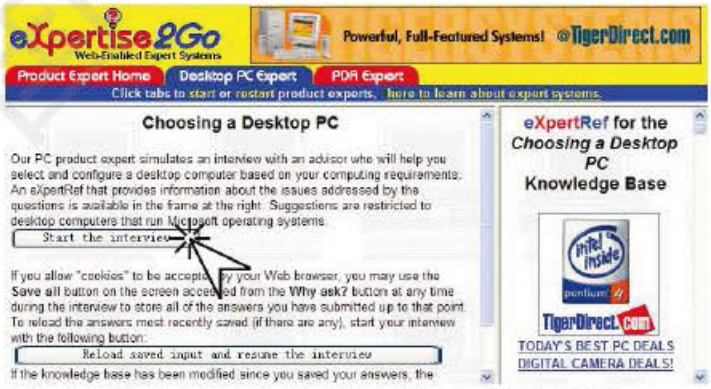

图 3-1-2　“PC 机配置专家系统”首页

2. 与“专家”对话

在解决问题之前，专家系统要先了解你的想法，收集足够的信息，“PC 机配置专家系统”

微信公众号：电子课本大全

主要以询问的形式来收集信息，每个显示问题的页面一般会出现以下这些页面元素：

●复选框。一组复选框列出了问题的所有答案，用户通过选中相应的复选框作出选择，可以多选或不选。

●【Submit your response】按钮。使用此按钮提交答案，系统保存你的答案，并打开下一个窗口，或者输出结论。

●【Why ask?】按钮。使用此按钮进行咨询，系统将解释提出该问题的理由以及选项涉及的一些基础知识。对于一个专家系统来说这是一个非常重要的功能。

●单选按钮。有些问题用户只能从备选答案中选择一个答案，对这样的问题，系统给出的是一组单选按钮。

●可信度估计。在某些情况下，用户需要对自己的回答再次确认。系统提问“你对自己的答案有多大信心？(How confident do you feel about your response?)”，它的选项从“非常不确定(50%)”到“非常确定(100%)”。

表3-1-1给出了专家系统经常提出的6个问题和对问题的解释。

表3-1-1 “PC机配置专家系统”询问的问题

	问题解释
问题1	问题：Determining the need for Small Office/Home Office (SOHO) applications.
	译文：确定计算机用于小型企业或家庭办公。
	解释：可以选择的内容从文字处理到软件开发，均以选项的形式列出，你可以根据自己的需要选择，既可以单选也可以多选。
问题2	问题：Determining the need for personal applications.
	译文：确定是个人应用方面的需要。
	解释：个人应用是PC机的主要用途。特别是娱乐的需要对于一台计算机的配置往往有巨大的影响，一定要仔细进行选择。
问题3	问题：Determining the need for Internet related Small Office/Home Office (SOHO) applications.
	译文：确定是小型企业或家庭网络办公的需要。
	解释：选择这个选项，系统会配置合适的软硬件以调整PC机的互联网办公功能。
问题4	问题：Keeping the total cost of the PC system to a minimum is:
	译文：这台PC的最低总价格控制是：
	解释：选项从“十分重要”到“无所谓”，这当然要取决于你的预算。如果你不是最高配置的狂热追求者，专家系统会在价格和性能两者间作出适当的平衡。
问题5	问题：Determining communication requirements.
	译文：确定通信功能的需求。
	解释：这是一个一般性的问题，与该功能应用于办公还是娱乐没有关系。
问题6	问题：Evaluating trade-offs between SOHO and non-SOHO applications.
	译文：权衡办公或非办公功能的重要性。
	解释：简单地说就是这台计算机主要用于办公还是娱乐。根据你对前面问题作出的选择，这一问题也可能不出现。

微信公众号：电子课本大全

3. 倾听“专家”的建议

回答系统提出的全部问题以后，“PC 机配置专家系统”就会对收集的资料进行综合分析，自动得出结论（符合我们要求的 PC 机配置方案），并把结论整理成几条建议。每一条建议由三个部分组成，例如：

Value 1 of the suggested OS is Windows Me or XP Personal with 90.0% confidence.

建议事项　　建议内容　　可信度估计

●建议事项：推荐给这台机器的操作系统。“Value 1”“Value 2”等表示对同一事项的多条建议。

●建议内容：Windows Me 或者 Windows XP 个人版。

●可信度估计：专家系统对这条建议有 90% 的把握。

注意屏幕下方的“Explain”按钮，单击它，系统就会向你解释它得出结论的思路和过程，把整个推理过程和应用的知识展示出来。

利用这个软件，每个稍微了解一些基本的计算机知识和清楚自己需求的人都可以完成配置计算机这个任务。仅仅在很短的时间内，计算机“专家”就能解决让大多数人感到困惑的问题，并且可以说，这个“专家”非常平易近人，操作起来很简单。计算机怎么会变得如此灵巧呢？

其实，我们不难想象，计算机所用到的这些知识，都来源于人类专家解决问题的经验。系统从人机交互界面中收集信息，并利用自己掌握的知识进行推理。也就是说，我们的难题最终还是在人类专家的帮助下解决的。这也揭示了一个我们应当懂得的道理，那就是：一个无论多么强大的机器，总是有无数的人在它背后辛勤地工作着，没有他们的工作，机器不过是一堆废铁。



如果同学们使用的是Windows XP或Windows 7操作系统，可以尝试在自己的计算机上感受专家系统。Windows XP的方法是：打开“我的电脑”窗口，在菜单“帮助”下的“帮助和支持中心”中选择“解决问题”主题；Windows 7可在“搜索帮助”中输入相应主题，就可以找到大量的针对各种问题的疑难解答（如图3-1-3和3-1-4）。

例如，当打印出的文件不清晰或音箱不发声时，可以求助Windows XP操作系统的“帮助和支持中心”或Windows 7操作系统里的“帮助和支持”，系统会问你“您遇到了什么问题”，当你选择了一个问题之后，屏幕会显示发生当前问题的一些可能的原因选项（单选框或复选框），你选择一个选项，单击“下一步”按钮，出现下一个问题，继续对话过程，系统会引导你学习一些相关知识，并一步一步地解决问题。即使它不能解决所有的问题，你也会感觉到它已经有了一些灵性（智能）。

Windows系统帮助文件的“疑难解答”就是一个非常典型的专家系统。如果你曾经借助它帮你解决过疑难问题，相信你对专家系统的有效性已经有过直接的感受了。

微信公众号：电子课本大全



图 3-1-3 Windows XP 中的疑难解答



图 3-1-4 Windows 7中的疑难解答

微信公众号：电子课本大全

第二节 专家系统基础

本节我们将了解专家系统的历史、现状，熟悉专家系统的结构，了解设计专家系统的基本知识，为后续课程中剖析和制作一个专家系统做准备。

早期计算机主要是为数值计算服务的，这从人们给它取的名字就可以看得出来。20世纪中叶投入使用的第一代计算机，无一例外地在诸如弹道计算、密码破译和科学研究等需要强大运算功能的领域里发挥了专长。

随着电子技术和信息技术的发展，计算机的性能飞速提高，人们对计算机的期望值也越来越高。既然计算机成功地延伸了人类的一种思维能力——计算，它也应当能够解决人类思维领域的更多问题。在现实生活中，计算问题只占我们遇到的全部问题的一小部分，即使是在物理、化学和生物这样的学科中，大多数工作也不是仅仅通过计算就可以完成的。人们需要更强大的机器代替或者帮助人们去思考。

图灵不愧是一位具有远见和洞察力的科学家，他预见到计算机必将应用于人类社会的各个领域，而这种应用的最高水平，就是创造出真正的智能机器。今天的人工智能技术虽然距离图灵的设想还很遥远，但是人们创造人工智慧的尝试从来就没有停止过。

一 人工智能技术的成功应用

社会需求是技术进步的直接动力。自20世纪50年代人工智能技术诞生之日起，人们就一天比一天更迫切地希望人工智能技术能真正投入到生产和生活的实践中去，真正帮助人们解决困难，创造效益。人们需要的与其说是万能机器，不如说是具有实用价值的好工具。在这样的需求引导下，小而精巧、理论成熟和技术先进的专家系统迎来了自己的春天。目前，专家系统已成为人工智能中一个最活跃并且最有成效的研究领域。

任务

1 阅读表1-2-2，比较一下卡斯帕罗夫和“深蓝”的实力，分析一下人类的思维与机器相比有哪些弱点，机器在这些方面有哪些长处。把比较分析的结果归纳到表3-2-1中。

微信公众号：电子课本大全

表 3-2-1 人类思维与机器思维能力的比较

人类思维的弱点	机器在这方面的优势
人类在评价事物时会有主观性，刻板印象往往造成评价不准确	机器每次评价都是独立的过程，评价结果准确与否取决于知识库的内容

我们的学习、工作以及生活中的其他一些问题的解决，往往离不开专家的帮助和指导。但是，很多客观上的不利因素制约着人类专家作用的有效发挥，不仅如此，人类思维本身的弱点更是显而易见。对于计算机专家系统，人们不仅期待它能够代替人类去完成一些复杂的任务，更期待它能克服人类思维的弱点。从专家系统应用的实践结果来看，它主要在四个方面弥补了人类专家的不足。

(1) 心理因素的影响

无论多么优秀和理性的人，也无法避免偶尔情绪不稳定、带有主观色彩、掺杂感情因素等人类思维的弱点，然而机器却可以做到稳定、客观、公正。

(2) 思维模式的局限

理论上讲，任何正常的大脑都可以成为一个“全能冠军”，但是事实上，一位法学专家对于工程学领域的专业知识一窍不通是常见的事，一些有文艺才能的人却对理工类的知识知之甚少。不得不承认，人和人的思维模式有显著的不同，然而跨越这个不同思维模式之间的障碍对于计算机来说却并非难事。

(3) 人类个体能力的局限

中国国际象棋队总教练叶江川认为，“电脑”屡屡战胜“人脑”的原因是“卡斯帕罗夫是在与人类棋手和计算机组成的强大阵容对抗”。影响比赛结果的因素很多，但是这句话的确揭示了一个重要问题。卡斯帕罗夫获奖无数，不愧为顶尖专家。但是一名专家只是一个人，他的经验、知识结构与他个人的生活习惯、人生经历、教育水平紧密相关，不可避免地带有片面性，这必然导致人类专家个体能力的局限性。

(4) 客观条件的局限

在决策之前，每个人都渴望征求专家的意见。一场即将发生的灾难，可能由于专家的建议而得以避免；一个身患绝症的病人，可能由于专家的诊治而生存下来。但是人类专家的数量有限，而且存在时间、空间的限制，还有费用问题……在这样的情形之下，专家系统不仅能为我们创造财富和效率，而且可以拯救更多的生命。

二 实用专家系统设计思想的演变

前面，我们成功地利用专家系统解决了选购计算机这样一个现实问题，专家系统的便捷和高效从中可见一斑。专家系统的价值不仅仅体现在信息技术方面，当今社会的各个领域，都有专家系统的身影，如表 3-2-2 所示。

微信公众号：电子课本大全

表 3-2-2 各领域的著名专家系统

领域	专家系统名称	主要功能
化学	DENDRAL	根据质谱数据来推断物质分子结构
地质学	PROSPECTOR	帮助地质学家评估某地区的矿物储量
计算机	RI/XCON	配置VAX 计算机
医学	MYCIN	帮助诊断和治疗细菌感染性疾病
数学	AM	从基本的数学和集合论中发现概念
工程	DELTA	帮助识别和排除机车故障
军事	RTC	通过解释雷达图像进行舰船识别

专家系统为人类创造了无尽的财富，看起来它好像无所不能……真的是这样吗？专家系统的发展历史告诉了我们答案。

1. 山重水复疑无路——专家系统开发遭遇的困境

在人工智能开发早期，科学家们认为，人类解决问题有一些普遍的规律，利用这些规律构造的系统可以解决人脑处理的一切问题。1957 年，人们开始制定一项雄心勃勃的计划——设计一个通用问题求解程序（General Problem Solver，GPS）。经过十多年的努力，GPS 具备了解决十一类简单问题的能力，但距人们的宏伟目标还相差很远。人们也认识到，人类面对的问题远比想象的要复杂得多，想简单套用几种模式解决问题是不现实的。



通用问题求解系统

1957 年，纽厄尔和西蒙提出设计通用问题求解程序的计划，开始了对通用问题求解技术的探索。所谓“通用问题求解”，就是探索人们解决问题的普遍规律，按照这些规律编制程序或者生产机器，从根本上解决大部分人工智能问题。这的确是一个十分诱人的目标。不仅如此，技术人员们还提出了实现这一目标的手段，即一切问题的解答过程都可分为前提和结论两部分。所以，如果能够发现前提和结论之间的差别，通过适当的操作不断减小这种差别，并记录下这些操作，就能找到一种解答问题的方法。每个问题的解答方法不唯一，那些能够适用于解答大多数问题的方法，就是研究人员所要寻找的“通用问题求解”方法。从这种被称为“手段——目的分析法 (Mean-ends Analysis)”的研究思路出发，经过十多年的研究，人们最终实现了对十一类简单问题的求解，应该说还是取得了一些成就的。但是，这不仅离当初提出的宏伟目标相距甚远，而且这样的软件并不具有多大的应用价值。

从受到的挫折中，研究人员得到了两点重要的启示：

第一，计算机解决人类问题不仅需要方法，还需要知识；第二，专家系统解决问题的深度和广度是有限的，不可能有所谓的“万能机器”。

2. 柳暗花明又一村——实用专家系统研制成功

在尝试研制“通用问题求解系统”遇挫之后，人们开始研究“计算机专家系统”，并渐渐走上了成功之路。1965 年历史上第一个比较成熟和具有应用价值的专家系统

微信公众号：电子课本大全

DENDRAL 诞生了。这个系统可以根据质谱仪和分子式测定高分子有机化合物的分子结构，测试结果的正确率达到了专家的水平。

这个系统的主要开发者之一是费根鲍姆。他指出：专家系统使用知识和推理来解决十分困难的问题，而解决这些问题非常需要人类的重要经验。经验属于知识，专家系统做的工作，就是运用“知识”进行“推理”。在我们看来，一个知识丰富却不善于运用的人，或是一个虽然头脑灵活但是基础知识很缺乏的人，都不能冠以“专家”的称号，专家系统也是一样的。此外，专家系统还应该具有自我学习的功能，通过一定的方式让计算机能够推理、归纳，产生新的知识。

正是这些理论上的突破，为实用专家系统走向成功奠定了坚实的基础。

小资料　专家系统的分类

专家系统发展到今天，已经形成了一个庞大的家族。按照所解决问题的不同，专家系统可分为解释型、预测型、诊断型、设计型、规划型、监督型、控制型、维修型、教育型、决策型等。按照体系结构的不同，专家系统可分为集中式专家系统、分布式专家系统、协同式专家系统和神经网络专家系统。

三 专家系统的结构

要了解专家系统的工作原理，必须先分析它的结构。专家系统一般由知识库、推理机、知识获取模块和人机交互界面（解释接口）构成，如图 3-2-1 所示。

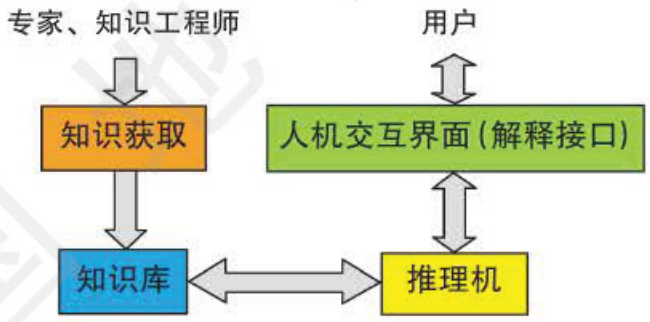

图 3-2-1　典型专家系统的结构

专家系统结构模型并不是唯一的。有的专家系统的人机交互界面与解释接口是相互独立的两个部分；也有的在知识库和推理机之外另建一个综合数据库（有时也称“数据库”），用于存放用户提供的初始事实以及系统运行过程中的中间结果和最终结果等信息；还有一种模型，是在上述结构之外增加了一个独立的控制结构。不同的专家系统所处理的问题、应用技术的水平和客户对它们的要求不尽相同，因此，专家系统的内部结构也不尽相同，图 3-2-1 表示的只是一种比较普遍的结构形式。

1. 知识库

知识库 (Knowledge Base) 是专家系统存储和管理知识的部分，是一个专家系统最重要的组件之一，正是它使得专家系统能够成为一个名副其实的“专家”。

微信公众号：电子课本大全



2 阅读下面的文字资料，认真分析并思考：一个专家系统的知识应当包含哪些内容？专家系统的每一种知识，都具有什么样的特点？

费根鲍姆对专家系统给出的定义是：专家系统是一个使用知识和推理的智能计算机程序，它要解决人类专家才能够解决的一些问题。这些知识和推理必须达到这样的水平，即可被认为是特定领域中最佳人类实践者的模型。专家系统中的知识由事实和启发式信息组成。事实构成了一个广为人知且被共同认可的信息体；启发式信息则是难以获取、难以理解的一些判断规则，而这些规则正是特定领域中具有专家水平决策的特征。一个专家系统的性能是由它所具有的知识库的大小和推理能力决定的。

要建立知识库，就必须解决知识获取和知识表示的问题。知识获取涉及专家系统从何种途径获得知识，知识表示则涉及如何以适于计算机处理的形式表示和存储知识。绝大部分专家系统的知识库由事实和规则组成。事实用来描述事物的状态、属性、概念等，规则用来描述事物之间的因果关系。知识库虽然名为“库”，但其内容比数据库更广泛，存储方式也不一定是数据库文件格式，有的知识库直接采用文本的形式存储数据。

2. 推理机

推理机 (Inference Engine) 是一组程序，用来实现系统的推理能力。它能够根据知识库中的知识，运用一定的方式推导出结论，而不是简单地去搜索已存在的答案。专家系统解决一个问题时，首先带着求解问题的目标到知识库中搜索，如果与某事实匹配成功，则问题得解；否则，就尝试利用规则进行推导，直至得到问题的解。

3. 人机交互界面和解释接口

人机交互界面（也称人机接口、用户接口或用户界面）是专家系统与人类专家、知识工程师和用户进行交流的工具。人机交互界面指同实现交互有关的一切软硬件的集合，它用于完成相关的输入输出工作，包括输入数据、提出问题以及输出推理结果。

在专家系统的许多应用领域内，如果缺乏令人信服的精确推理过程，人们就不能接受这个“专家”给出的结论或建议。有时候出于好奇，人们也希望了解专家系统的推理过程。解释接口的功能，就是向用户解释专家系统运用规则进行推理的过程，使系统的工作透明化。

解释接口主要回答三个基本问题：

- why 问题：为什么问这个问题？
- how 问题：怎样得出的结论？
- why not 问题：为什么得不出结论？

一般来说，解释接口必须依靠人机交互界面将信息反馈给用户，因此在很多专家系统中，人机交互界面和解释接口是同一个功能模块。通过人机交互界面，专家系统可以获取用户提供的信息；另一方面，当用户需要时，专家系统可以向用户解释它提出问题的依据以及推导出（或不能推导出）结论的理由。

微信公众号：电子课本大全

4. 知识获取

所谓知识获取，就是从某些知识来源（如专家、书本等）获得解决问题所需要的专门知识，并将这些知识变换为计算机能存储和运用的形式。知识获取是专家系统最能体现“智能”的一项功能，它赋予专家系统学习和自我完善的能力，使专家系统成为一个开放的、可以不断成长的系统。知识获取模块的功能不仅包括添加新的知识，还包括删除旧的、无效的知识。在现在的技术条件下，知识获取还是一项由知识工程师和知识获取模块共同完成的工作，如图 3-2-2 所示。科学家们的目标是开发一种能够自动进行知识获取的智能程序。

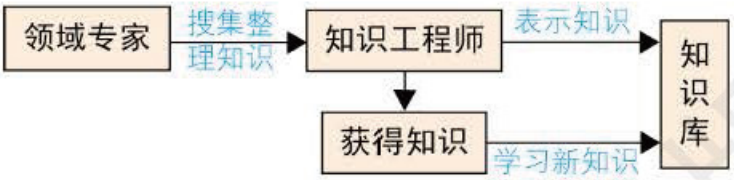

图 3-2-2 知识获取的过程

专家系统获取知识的途径主要有以下几种。

●通过与用户交互，从外界获取新的事实和规则。

●利用分析、归纳和提炼的方法，对系统知识库中的知识进行加工，产生新的事实和规则。

●不断从系统运行实践中总结经验，纠正错误，进行自我完善。

知识获取是构造专家系统的“瓶颈”技术，在专家系统研究领域最具有挑战性，如果某个专家系统在这项技术上有所突破，它的运行速度和准确率将会大大提高。



通过 Ultra HAL 体验智能系统的知识获取机制。

一个好的知识获取模块必须具有强大的知识处理功能，在把知识输入到知识库时，它应当维持知识库的一致性。另外，专家系统本身的特点决定了知识的逻辑正确性不会在自我学习的过程中遭破坏，也不会得出不符合常识的结论。在自动化程度高的系统中，系统应该能在原始知识库中发现错误，因此，知识获取机制还必须包括一个能够自动进行信息筛选的工具。

下面，我们通过 Ultra HAL 软件应用来增加对专家系统的一些感性认识。Ultra HAL 是一个多媒体人机对话智能软件，虽然这个软件称不上专家系统，但它本身具备的知识库、推理机、解释接口、知识获取机制和人机界面等功能模块比某些专家系统还出色。

在“信息技术学习网”上可以找到 Ultra HAL 的安装程序压缩包 HAL6.rar，解压缩后运行安装程序就可以完成安装。值得注意的是，这里提供的 Ultra HAL 软件是一个共享版本，它是一种基于文字对话形式与用户进行沟通的人机交互程序。

运行 Ultra HAL 主程序，会弹出一个窗口，提示正在搜索本地计算机上的应用程序，

微信公众号：电子课本大全

这是为实现“通过自然语言方式命令 HAL 运行程序”的功能建立数据库。数据库建立完毕后，就会出现如图 3-2-3 所示的 Ultra HAL 主界面。

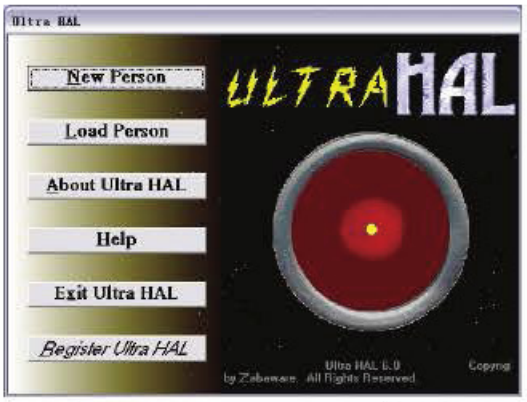

图 3-2-3　Ultra HAL 主界面

由于 Ultra HAL 对每个用户都以唯一的账号分别管理，因此每个用户都要建立自己的账号。单击“New Person”按钮，弹出如图 3-2-4 所示的窗口，根据提示，输入相应的内容，建立一个新的账号。账号中保存着用户的个人信息以及用户建立的事实和规则等。



图 3-2-4　输入名字

创建一个账号以后，就可以在如图 3-2-5 所示的界面中同 HAL 对话了。屏幕底部是输入文字的区域，中部的文本框显示 HAL 的回答。打开音箱，还可以听到 HAL 有趣的电子合成音。此外，还有代表 HAL 的红色指示灯。

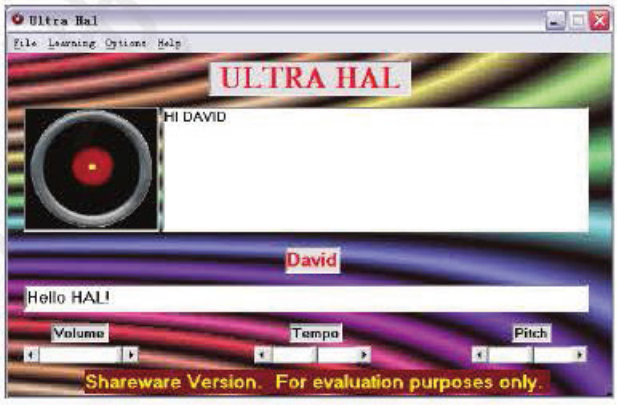

图 3-2-5　人机交互界面

与 HAL 对话时，尝试进行下面两个实验：

先告诉 HAL 一些明显错误的事实，如“雪是黑的 (The color of snow is black)”等，然后再向它提问：“What is the color of snow”，这时你会发现，HAL 已经不假思索地利用刚刚学到的知识回答问题了。

告诉 HAL 两个前后矛盾的事实，如“雪是白的 (The color of snow is white)”和“雪是黑的 (The color of snow is black)”，再提问：“What is the color of snow”，你会发现，HAL 总是保留最后输入的事实，而不是那个逻辑正确的事实。

微信公众号：电子课本大全

对于一个主要用于娱乐目的的软件来说，这点错误实在不算什么，但是如果这是一个医疗专家系统，可能很小的一点错误都会导致严重的后果。这说明，专家系统的自动知识获取是关键的环节，难以完美地实现。

试试看，自己能不能设计一些考验 HAL 的小实验呢？记录下实验过程，在课堂上互相交流。



HAL

HAL 是科幻大师阿瑟·克拉克 (Arthur Clark) 任编剧、著名导演斯坦利·库布里克 (Stanley Kubrick) 执导的美国科幻影片《2001：太空漫游》中的一个角色。HAL 是 Heuristic and Algorithmic 的缩写，意思是“启发式算法和规则系统”。我们虽然不太明白这个名字的确切用意，但却能从这个名字中嗅到强烈的人工智能味道。HAL 并不能算得上一个真正意义上的“角色”，因为它只是一个略会“思考”的智能计算机，但它又是非常具有人性化的计算机。在影片中，HAL 声称自己从不出错，却又为了完成任务不惜撒谎，这些越来越像人的表现使它遭到了宇航员的质疑。最后，当宇航员决定彻底关闭它的时候，HAL 终于获得了它以前所不具有的最后一种人类本能——求生。



1．半个多世纪以来，计算机技术飞速发展，其应用领域也有了广泛的拓展，从数值计算到数据处理，再到知识处理，专家系统就是计算机用于知识处理的典型代表。请你回顾计算机应用的历史，填写表 3-2-3。

表 3-2-3　计算机应用领域发展的三个阶段

阶级	计算机或软件	应用领域	主要用途	时代
数值计算	ENIAC	军事	弹道计算	20 世纪 50 年代
数据处理				
知识处理				

2．如果你是人工智能方面的专家，你最想开发出一个什么样的专家系统？请详述其功能与用途。

微信公众号：电子课本大全



第三节 专家系统推理机制

在这一节中，我们将要学习专家系统正向推理、逆向推理的原理，通过实例分析一种常用的不精确推理的过程。此外，我们还将了解专家系统解释机制的基本概念及其在专家系统中的重要作用。

专家系统能够按照某种策略从已知事实和知识推导出新的事实或得出关于某个问题的结论，我们把专家系统中能实现这种推导功能的程序称为推理机。推理机是专家系统的重要组成部分，它控制着整个系统的运行，能根据知识库中的知识和程序运行中得到的数据，按照一定的策略去解决当前的问题。这一节，我们将了解推理机的功能是如何实现的，了解什么是正向推理、什么是逆向推理，了解“专家”如何回答用户提出的“Why”“How”这样的问题。

一 什么是推理

推理是人类求解问题的主要思维方法，其实质就是按照某种策略从已知事实和知识推出结论的过程。

人类有多种思维方式，专家系统模拟人类的智能活动也有多种推理方式。根据逻辑推理的一般分类方法，推理证明可以分为演绎法、归纳法、反证法……此外，根据推理的精确与否，还可以分为精确推理和不精确推理。专家系统的设计者已经成功模仿了人类思维中的某些推理方法。

1. 演绎推理

演绎推理是从一般到个别的推理。如已知所有哺乳动物都是胎生，鲸鱼是哺乳动物，所以可以推测鲸鱼也是胎生。

2. 归纳推理

人们对客观事物的认识常常是从个别事物开始的，从很多个别事物具有某种共性中，就可以归纳出一般性的结论，这就是从个别到一般的推理过程。例如，长篇小说、中篇小说、短篇小说以及小小说均有故事情节，由此可以归纳出结论：凡小说都有故事情节。

3. 反证法

在证明某个命题时，先假设结论的否命题成立，然后从这个假设出发，经过推理，得出与已知事实相矛盾的结果，这就是反证法。利用反证法解决某些特定问题（如证明数学中的某些问题）是非常有效的。

4. 精确推理

如果在推理中所用的知识都是精确的，即可以把知识表示成必然的因果关系，那么，

微信公众号：电子课本大全

用精确知识进行推理推出的结论要么为真，要么为假，这样的推理称为精确推理。

5. 不精确推理

由于主观或客观原因，人类获得的知识往往带有不同程度的不确定性。用不确定性知识归纳出的推理规则往往是不确定的。基于这种不确定的推理规则进行推理，形成的结论往往也是不确定的，这样的推理称为不精确推理。

无论采用哪种推理，都要有一个“指挥”机构来指挥和控制推理过程。在专家系统里，这个任务是由推理机来完成的。

二 推理的方向

专家系统的推理机指挥和控制推理的过程主要指的是控制推理的方向。

任务1 如图3-3-1所示，已知∠C=∠B，求证∠A=∠B。请写出证题思路及具体证明过程。

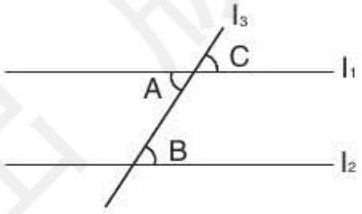

图 3-3-1 一道几何题

在解题过程中，如果从题目中已知的事实出发，由于∠C=∠B，根据“同位角相等，两条直线平行”就能推出直线l_1与l_2平行，再根据“两条直线平行，内错角相等”最终就可以证明∠A=∠B；如果从想要证明的结论出发，同样要根据“两条直线平行，内错角相等”这条定理来求解，若要证明∠A和∠B相等，需先证明l_1与l_2平行，而要证明l_1与l_2平行，就要根据“同位角相等，两条直线平行”来证明∠C和∠B这两个同位角相等，而这正是题目给出的条件。

依靠推理解决问题的方法，按照推理的方向一般可以归纳为三种：

第一种方法：首先，分析已知条件，看看能推导出什么新的结论；然后将新的结论加到前提条件集合中，继续推出新的结论；依此类推，直到推导出所求证的结论。这个过程是从条件“走向”结论的，图示如下：

已知前提条件 ⇒ 中间结果 ⇒ …… ⇒ 结论

第二种方法：首先分析，要使所求证的结论成立，需要满足什么前提条件，这些条件是否全部为已知条件。如果结论为“是”，则问题得证；否则，要看使它们成立需要满足什么条件；依此类推，直到发现所需要的条件全部都在已知条件集合中为止。这个过程是从结论“走向”条件的，图示如下：

所求证的结论 ⇒ 需满足的条件 ⇒ …… ⇒ 已知条件

第三种方法：是采用“两边夹击”的战术，从条件“走向”结论，同时，从结论“走向”条件，直到它们在某处“会师”，便大功告成。这种方法称为双向推理。

微信公众号：电子课本大全

任务 2　走迷宫。

利用走迷宫的例子能够更好地理解推理的方向。图3-3-2所示的是一幅迷宫路线图，用一支铅笔画出迷宫中央与入口之间的线路。

画出线路的方法可以归纳为三种：一种是沿着从入口向中心的方向寻找路径，一种是沿着从中心向入口的方向寻找路径，还有一种则是从两个方向同时前行，直至两条路线汇聚到一起。

画完之后统计一下各小组画出正确路线所用的时间及其解题思路。



图 3-3-2　迷宫

小资料

贝叶斯推理

当你在电影院售票大厅等待入场看电影时，忽然看到前面有个人的电影票掉了。此时你想提醒，但是根据背影你无法判断其性别，仅知道这个人是长发，那你会说“女士打扰一下”还是“先生打扰一下”？

对于这样的不确定性问题，很难使用经典的精确推理方法来反映此类情境。解决这类问题往往需要根据人类已有的经验来计算某种状态出现的概率，这种推理方式叫作贝叶斯推理。贝叶斯推理根据贝叶斯定理进行概率计算及推理，属于一种不确定性推理。

贝叶斯定理表述如下：符号$P(A|B)$表示事件B发生的条件下事件A发生的概率，$P(A|B)$等于事件A发生的条件下事件B发生的概率乘以事件A发生的概率，再除以事件B发生的概率。用公式表示为：

$$P(A|B)=\frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

总结上面两道题的解题思路，我们可以根据推理方向的不同，将推理分为三种方式，即正向推理、逆向推理和双向推理。

1. 正向推理

正向推理（Forward Chaining）是从已知事实出发向结论方向的推理。正向推理的基本思想是：系统根据用户提供的初始事实，在知识库中搜索能与之匹配的规则即当前可用的规则，构成可以适用的规则集RS（Rule Sets）；然后按照某种设定的方案从RS中选择一条规则进行推理，并将得到的结论作为中间结果加入到综合数据库DB（Database）中，作

微信公众号：电子课本大全

为下一步推理所需的事实；接着，再从知识库中选择适用的规则进行推理。重复这一过程，直到得出最终结论，或者知识库中没有适用的规则为止。图 3-3-3 给出了这种推理过程的直观描述。

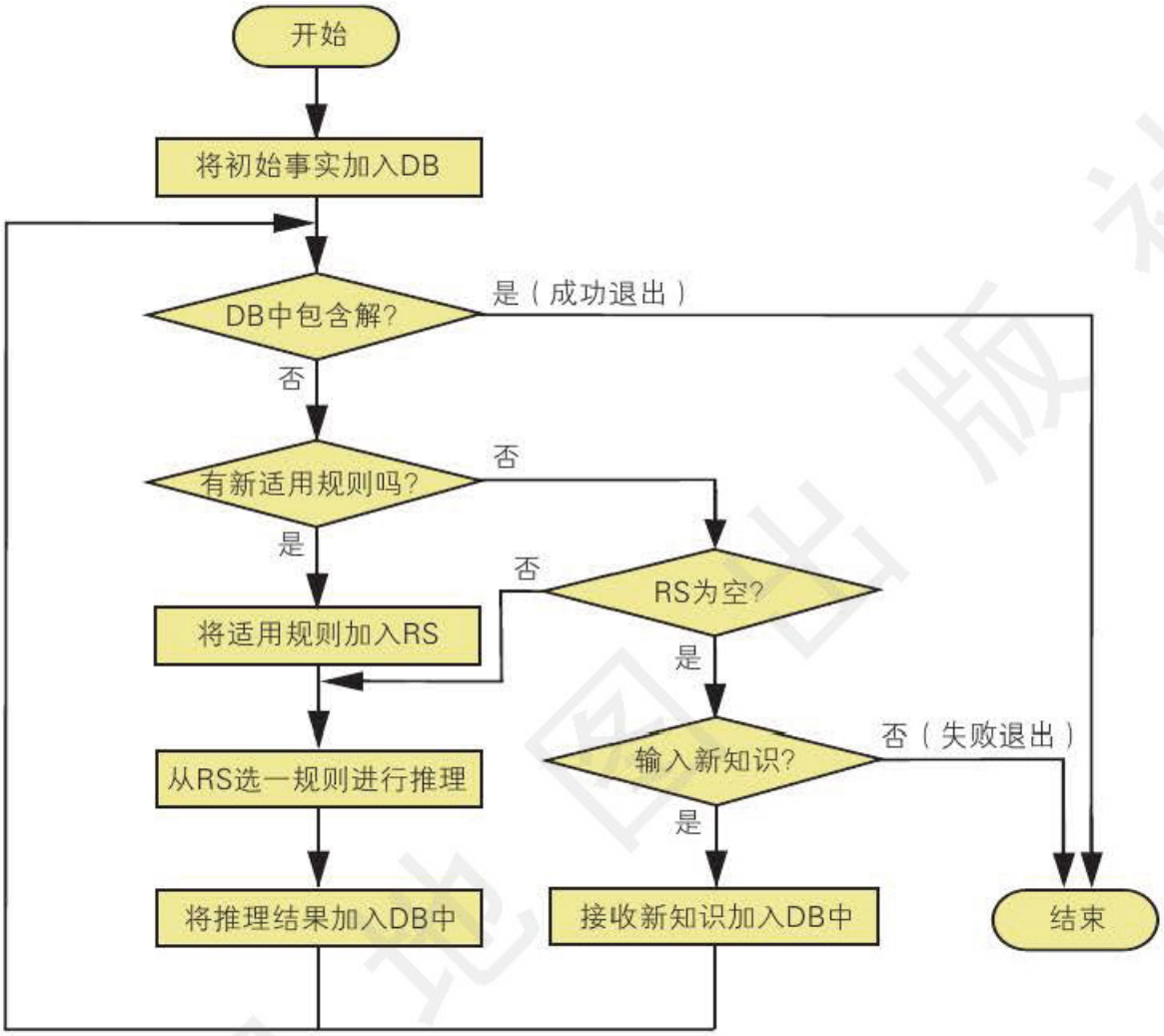

图 3-3-3　正向推理流程图

为了说明问题，我们先来说明一下发动机的工作原理：发动机打火后，化油器从油箱中抽出汽油并把汽油雾化，再混合一定比例的空气喷到气缸中，火花塞发出的火花点燃混合气，在气缸中发生爆燃，产生强大的压力，推动活塞运动，活塞推动曲轴持续转动，如此往复。整个工作周期可以概括为四个冲程：吸气、压缩、做功、排气。我们知道，发动机在点火前处于静止状态，要使之运转，必须先通过一个外力使曲轴转动起来，带动活塞运动，然后才能进入四个冲程的工作状态。这个提供外力的设备叫做起动机，它是完全依靠车载电源驱动的。

现在，我们通过一个汽车点火系统故障诊断专家系统的例子，来说明正向推理求解法。

规则 1　如果　发动机在抽油　且　发动机会旋转　则　火花塞有故障
规则 2　如果　发动机不旋转　且　指示灯不亮　则　电池或电缆有故障
规则 3　如果　发动机不旋转　且　指示灯亮　则　起动机有故障
规则 4　如果　油箱中有油　且　化油器中有油　则　发动机在抽油

微信公众号：电子课本大全

如果采用正向推理，专家系统首先要通过询问的方式接受用户信息，获得作为推理依据的已知事实。

第一次扫描知识库，检查规则的前提部分，专家系统需要知道下面的事实：

事实 1 “发动机在抽油”。这个事实不能询问用户，因为用户无法知晓。

事实 2 “发动机旋转”。问：发动机旋转吗？答：不。系统将事实“发动机不旋转”存入综合数据库。

事实 3 “指示灯亮”。问：指示灯亮吗？答：是。系统将事实“指示灯亮”存入综合数据库。

事实 4 “油箱中有油”。问：油箱中有油吗？答：是。系统将“油箱中有油”存入综合数据库。

第二次扫描综合数据库，系统发现事实 2 不满足规则 1 的前提，故规则 1 不适用；事实 2 满足规则 2 的部分前提，事实 3 不满足规则 2 的前提，所以，规则 2 不适用；事实 2 和事实 3 满足规则 3 的前提，因而应用规则 3 推导出结论——起动机有故障，于是系统将这个新事实加入综合数据库。

第三次扫描知识库，系统没发现新的适用规则，终止运行。

最终给出结论：起动机有故障。

推理过程如图 3-3-4 所示。

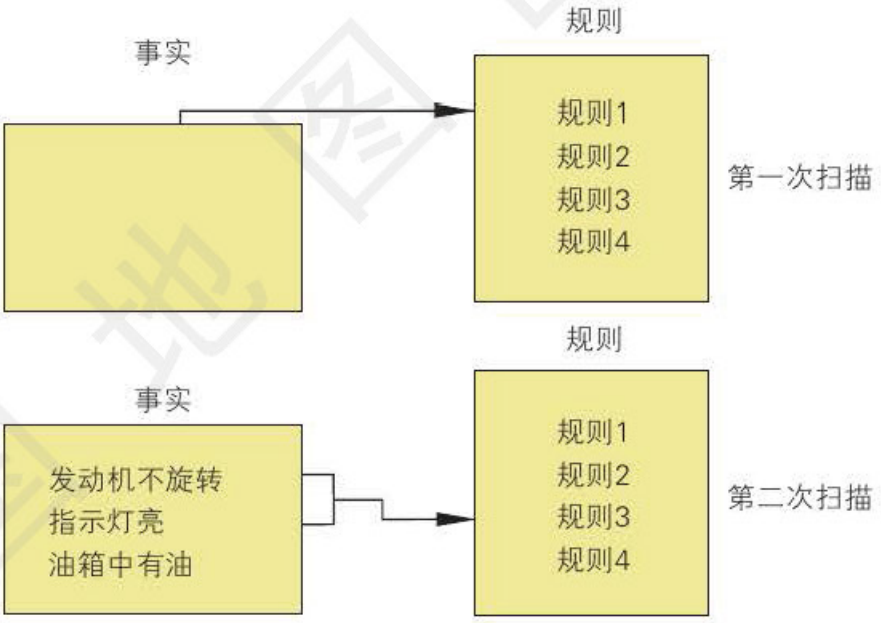

图 3-3-4　诊断点火系统故障推理过程

小资料　汽车故障诊断专家系统

诊断汽车故障是一项技术性很强的工作，在过去，这一工作主要由富有经验的技术人员来完成。随着科技的不断发展，汽车的结构越来越复杂，能够胜任这项工作的人也越来越少。此外，汽车数量的飞速增长扩大了汽车的用户群，这些人不是专业技术人员，因此急需一种简单的故障检测设备。另一方面，在电子设备引入汽车制造领域以后，一些先进的传感器和自动控制系统也使专家系统技术的应用成为可能。基于以上情况，汽车故障诊断专家系统应运而生。

微信公众号：电子课本大全

汽车故障诊断仪又称便携式智能汽车故障自检仪（如图 3-3-5 所示），新型的汽车故障诊断仪除了使用触摸屏和语音识别技术取代传统的键盘、鼠标操作以适应汽车维修的复杂环境外，整体设计同一台功能齐全的便携式计算机没有太大区别。诊断仪通过专用接口与汽车电子设备连接后即可进行检测，并提供非常专业的检测结果，它可以通过多个模块相互配合实现对汽车故障的轻松诊断。大部分汽车诊断仪都包含一个几乎囊括世界上所有车型的资料库和一个故障诊断专家系统。像很多专家系统一样，它能把许多看似复杂的问题化解成为若干个“是 / 否”判断，使用者只需按照提示进行操作就可以逐步地发现故障并加以排除。



图 3-3-5　利用专家系统诊断汽车故障

2. 逆向推理

逆向推理 (Backward Chaining) 是以某个假设目标作为出发点的一种推理。很多人将反证法与逆向推理相混淆，其实二者有本质的不同：逆向推理强调的是推理的方向，它仍然肯定命题是真实的；而反证法则是先否定命题，然后通过否命题的真假来判断原命题的真假。逆向推理的基本思想是：首先提出一个假设目标，然后由此出发，进一步寻找支持该假设的证据，若所需的证据都能找到，则该假设成立，推理成功；若无法找到支持该假设的所有证据，则说明此假设不成立。

我们仍然以诊断汽车故障为例，如果采用逆向推理，那么首先要把目标“X 有故障”放入工作内存，其中的 X 是一个可以与任何词组匹配的变量，工作内存是问题求解过程中使用的缓存，用来存放中间结果。

第一次扫描知识库，规则 1 被激活，“火花塞”代入 X，系统便以“火花塞有故障”这个假设去进行推理。规则 1 有两个前提，要证明结论为真，这两个前提都必须被满足才行，也就是说，现在问题转化为子目标 1“发动机在抽油”和子目标 2“发动机旋转”能否为真，转化后的子目标被放入工作内存。

第二次扫描知识库，检查子目标 1 是否为真，它与规则 4 的结论匹配成功，规则 4 被激活，于是子目标 1 又转化为两个新的子目标——子目标 11“油箱中有油”和子目标 12“化油器中有油”，这两个子目标又被放入工作内存。

现在工作内存中的三个假设都不能与任何规则的结论匹配，于是系统把这三个假设拿出来询问用户是否为真，如果用户对这三个问题都回答“是”，那么系统就会给出结论：“火花塞有故障”。

3. 不精确推理

专家系统所要解决的问题十分复杂，含有许多尚未被认识的因素和许多随机因素；由于时间、空间以及人们认识能力的局限性，客观事实常表现出不精确性。由于以上原因，专家系统的推理往往带有一定的不确定成分，就像人类专家有时也会使用“可能”“八成”一类的词语一样。我们把这样的推理称为不精确推理。本单元第一节介绍的“PC 机配置专家系统”就是一个应用了不精确推理技术的专家系统。

微信公众号：电子课本大全

斯坦福大学 1973 年推出的医疗专家系统 MYCIN 是第一个采用了不精确推理逻辑的系统，用于对细菌感染性疾病进行诊断和治疗。

MYCIN 系统知识库中的事实和规则增加了“可信度”或“有效性”参数，例如：

规则 1　如果　细菌染色呈革兰氏阳性　且　细菌形态是球状的　且　细菌呈链状生长
则　该细菌为链球菌类，可信度 0.7；

规则 2　如果　细菌是假单胞杆菌属　则　建议在下列药物中选择，进行治疗：
Colistin (0.98)
Polynyxin (0.96)
……

注：括号中的数据说明某种药物对这类细菌的有效性。

不精确推理虽然用类似概率的数值方法对可信度进行估计，但这种估计不完全是运算的结果。在推理过程中，除了运用模糊数学或者概率方法进行计算以外，还可以用专家的经验估计代替统计数据。

三　解释机制

睿智的专家系统不仅能“知其然”，更能“知其所以然”。这一点，大家在本单元第一节学习“PC 机配置专家系统”时可能都已经有所体会了。使用该系统，在回答问题之前单击【Why ask?】按钮，就能要求计算机阐释该提问的依据；另一方面，在最终结论得出以后，单击【Explain】按钮，即可查询整个结论的推导过程。专家系统的“解释机制”不仅能解除我们的疑虑，还可以让我们了解专家系统的工作机制。

现在回到前面汽车故障诊断的例子，通过运行汽车故障诊断系统来进一步了解专家系统的“解释机制”。下面是人与计算机专家系统关于诊断汽车故障的一段对话：

机器：油箱中有油吗?
人：是的。
机器：化油器中有油吗?
人：是的。
机器：发动机旋转吗?
人：为什么（你要问我这个问题）?　　(Why 问题)
机器：已经确定
1. 发动机在抽油
所以，如果
2. 发动机旋转
那么就是火花塞有故障

因为用户对前面两个问题的回答都是肯定的，所以系统激活规则 4。当用户问“为什么”时，系统正检查规则 1 的前提是否满足。系统把正在使用的规则重新组织了一下，就回答出了用户的问题。

微信公众号：电子课本大全

人：是的（发动机在旋转）。
机器：所以，是发动机在抽油。
人：（你是）怎样（得出这个结论的）？
机器：这是从规则 4 推出的。 (How 问题)
如果 油箱中有油 且 化油器中有油 则 发动机在抽油。
油箱中有油是用户给出的。
化油器中有油是用户给出的。

系统是如何给出最终答案的呢？是这样的：系统自动把整个对话过程记录下来，包括用户的回答、系统所使用的规则，如果使用多条规则，还要记录使用规则的顺序，最后把全部记录进行整理分析，得出问题的答案。这类产生式专家系统较容易实现其解释功能，从而使系统具有透明性。

当然解决一个实际问题要复杂得多，需要更多的已知事实和更多的推理规则，甚至需要使用的控制策略也很复杂。有兴趣的同学可以阅读有关书籍，在这方面作进一步的研究。

实践与思考

1．在智能系统中为什么需要不精确推理？请举出日常生活中一个需要运用不精确推理的实例。

2．用与或树表示“汽车点火系统故障诊断专家系统”的一组产生式规则。

中国地图出版社
微信公众号：电子课本大全



第四节 专家系统开发工具

本节我们要了解专家系统程序设计语言、专家系统外壳及专门开发工具，并初步掌握专门开发工具的操作技能。

专家系统的工作过程完全可以使用通用程序设计语言（如 C++、Java 等）来实现。但是，要想快速、高效地开发专家系统，还是要选择更加专业化的工具，包括语言、专家系统外壳和其他工具。

使用语言工具开发专家系统是最传统的方法，历史上很多著名的专家系统都是利用语言开发的，然而用语言开发专家系统有一定的局限性。由于专家系统的结构基本相同，因此一个专家系统的推理机、用户界面可以重复使用，完全不必重新开发，只要修改知识库的内容就可以用于解决其他领域的问题。此外，非计算机专业人员使用程序设计语言比较困难。因此，诸如专家系统外壳等一些新的、高效的专家系统开发工具便应运而生。

一 语言工具

用来开发专家系统的语言工具主要有人工智能程序设计语言 Prolog、LISP 和新兴的 CLIPS 等，它们具有灵活和表达比较简洁等特点。

1. 人工智能语言 Prolog

Prolog 语言是一种逻辑编程语言，最初被运用于自然语言方面研究领域，现在广泛应用于人工智能的研究中，如专家系统、自然语言理解、智能知识库等。

Prolog 语言建立在严格的数学基础——谓词演算之上，结构清晰，语法简洁。主程序由一些称为子句的语句组成。例如，数理逻辑上经典的三段论，可以用 Prolog 表示为以下形式：

```
human(Socrates).          /* 事实子句：苏格拉底是人 */
die(X):-human(X).         /* 规则子句：人都是会死的（如果 是人，那么 会死）*/
Goal: die(Socrates).       /* 询问子句：苏格拉底会死吗 */
```

上面 Prolog 语句中的“/*……*/”是注释语句标识符。

从上面的例子可以看出，Prolog 的语句非常浅显易懂。在 Prolog 程序中只有事实、规则和询问（目标）三类子句，这些子句用来描述事物的性质或者事物之间的关系。Prolog 程序没有专门的条件、循环、转移等控制语句，设计者也不必详细描述解决问题的具体步

微信公众号：电子课本大全

骤。因此，与通用程序设计语言相比，解决同一个问题，Prolog 的程序代码量少。又因为 Prolog 比其他人工智能语言更易学好用，所以成为专家系统设计与开发的主要语言之一。利用它不仅可以开发专家系统，还可以实现机器定理证明和模式识别。在日本“第五代机计划”中，Prolog 被选作支撑语言。

早期，Prolog 语言知识表示单一，程序运行速度慢。后来，人们又开发了 Turbo Prolog。Turbo Prolog 程序运行速度较快，可以像其他语言编译环境一样进行编译、连接、运行，新增加的段结构的声明使程序结构更加严谨。

2. LISP 语言

LISP 语言是一种表处理语言，适用于符号处理、自动推理、硬件描述和超大规模集成电路设计等，是诞生最早的专门用于人工智能程序设计的计算机语言，它的名字取自 List Processing（表处理）。20 世纪 60 年代以来，虽然有多种人工智能程序设计语言诞生，但就应用的广泛性和普遍性来说，LISP 是最主要的人工智能程序设计语言之一，大量的人工智能系统如 MYCIN、PROSPECTOR 都是用 LISP 开发的。

严格说来，Prolog 和 LISP 都应该归类为人工智能程序语言，它们不是专门为开发专家系统而研发的，而是人工智能程序开发所用的通用语言，专家系统只是人工智能程序中的一种。

3. 专家系统设计语言 CLIPS

CLIPS（C Language Integrated Production System，C 语言集成的产生式系统）是一种支持基于规则的、面向对象的和面向过程等多种编程风格的语言，CLIPS 语言比 LISP 和 Prolog 语言更高级，它最大的特点是使用一个推理机去执行程序中的语句。我们已经知道，推理机是专家系统的重要组成部分，因此，用 CLIPS 来开发专家系统，可以减少大量工作，效率很高。正是由于这一点，人们称它为专家系统专用开发语言，也有人称之为专家系统外壳。

CLIPS 是一种正向推理语言，用标准 C 语言编写。它具有移植性和扩展性高、知识表达能力强、编程方式简洁以及成本低等特点，尤其是 6.1 以后的版本能与 C++ 兼容，可以用 ANSI C 和 C++ 编译。6.1 版的 CLIPS 一经推出，立即受到欢迎，被广泛应用于政府、工业和学术界，有力地推动了专家系统技术在各领域及各种运行环境下的应用。

但 CLIPS 目前尚无汉化版，不支持汉字的输入输出，且不适合设计用户交互界面。



CLIPS软件

CLIPS 软件是一个免费软件，也就是说，它的可执行文件、源代码、文档都是公开的，用户可以遵照自由软件协议 (GNU) 对其进行二次开发。其网站开辟了一个新闻讨论组，供从事 CLIPS 开发的人员进行信息交换。此外，NASA 还组织成立了一个 CLIPS 用户协会，以推动 CLIPS 的开发与应用。在“信息技术学习网”上有该软件的 Windows 版。

微信公众号：电子课本大全

由于功能强大，性能良好，以及采取了开放政策，所以CLIPS拥有众多用户。人们应用CLIPS开发了许多实用的专家系统，并根据各自的需要对CLIPS进行了扩充和改造。我国成功地在CLIPS中加入了图形功能，推出了图形化专家系统工具GEST (Graphical Expert System Shell)。

Jess工具

Jess是1995年由美国Sandia国家实验室分布式系统计算组成员用Java语言扩充而成的一个CLIPS新版本。Jess是以CLIPS的设计原理为基础开发的，除继承了CLIPS的优点外，还具有许多独有的特征，如支持正向和逆向推理，可以在系统运行环境下直接调用Java的类库等。这些特点将专家系统的开发过程同功能强大的Java语言结合起来，可使采用Jess工具开发的专家系统具有良好的移植性、嵌入性，并能方便地应用到网络上的不同机器中。另外，Java的多线程机制使Jess可以与其他应用程序并发执行，这种同步机制能保证对共享数据的正确操作，通过使用不同的线程完成特定的行为，因而可以很容易地实现网络上的实时交互操作功能。目前，Jess被广泛用于学术、工业以及商业等领域，是一个有着广阔发展前景的专家系统开发平台。

二　专家系统外壳

用程序设计语言建造专家系统，具有设计灵活、代码质量高等优点，缺点是工作量大，周期长，非常耗时费力。虽然各种各样崭新的语言工具使开发专家系统变得简单了许多，但是仅仅依靠语言工具还不能在效率和效果上满足社会日益增长的对专家系统的需求。

1. 借助外壳——事半功倍

开发专家系统需要开发人员不仅掌握一定的计算机知识，还要掌握所涉领域的专业知识。对于掌握知识来说，在广度和深度方面是互相矛盾的，人即使可以无所不通，也很难做到无所不精。构造专家系统需要相关专业最出色的专家知识做基础，而这方面的专家又缺乏计算机方面的知识；相反计算机方面的专家对所涉领域的专业知识又不精，怎么办呢？就只能依靠不同专业人才之间的相互合作实现了。然而大部分情况下，由于专业不同，双方很难顺畅地沟通，那么就只能寄希望于开发方法的大大简化，让有关领域的专家亲自完成专家系统的开发。

抛开开发人员不说，从开发出的专家系统来看，同类专家系统往往有相似的结构，例如，“PC机配置专家系统”和“Mac机配置专家系统”。PC机配置和Mac机配置的区别仅仅在于一些具体的规则和事实不同，而推理机部分是相同的。在已有“PC机配置专家系统”的情况下，大可不必再耗费大量人力和物力去重新开发“Mac机配置专家系统”，使用相同的推理机，配上不同的知识库，立刻就能得到新的专家系统。这里借助“PC机配置专家系统”就像是新专家系统用了原有系统的一个外壳。

专家系统外壳又称为骨架系统，它是由一些成功的专家系统演变而来的，即去掉专家系统的具体知识，保留其基本结构和推理机制就得到一个专家系统外壳。20世纪70年代末诞生的EMYCIN（Essential MYCIN或Empty MYCIN），就是在抽掉著名的医学诊断专家

微信公众号：电子课本大全

系统 MYCIN 的知识库而得到的一个外壳。斯坦福大学利用它成功地构建了一个肺功能测试专家系统 PUFF。分类学专家系统外壳 GENI 的推理机完全是用 Turbo Prolog 实现的，只需修改它的知识库，就可以很方便地构建出一个动物分类、植物分类或者交通工具分类的专家系统。

应该强调的是，专家系统外壳并不是通用工具，不同的外壳适合开发的专家系统也有所不同。前面提到的 EMYCIN 就只能开发咨询性的诊断分析系统，而不适合开发、构造综合性的专家系统。

2. 专家系统实验外壳

专家系统实验外壳（Expert System Experiment Shell, 简称 ESES）是一个用产生式规则表示知识的专家系统外壳。

利用 ESES 来开发专家系统，操作步骤如下：

① 安装 ESES。运行配套光盘中专家系统外壳的程序安装软件（kbsc\soft\ 专家系统外壳 \setup.exe），并指定程序安装的位置（如图 3-4-1 所示），完成安装。

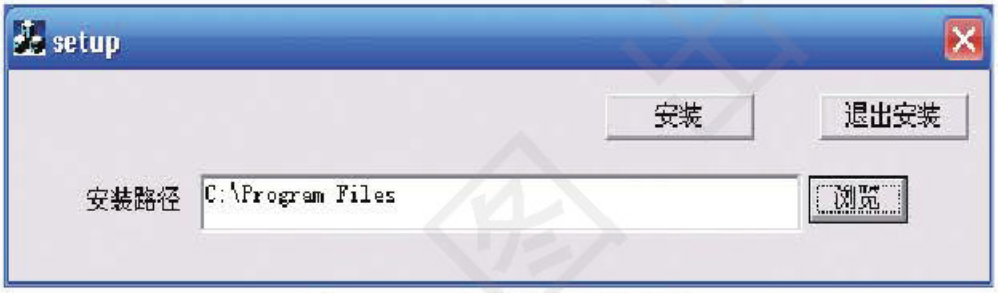

图 3-4-1　安装专家系统外壳

② 运行 ESES.exe 程序，出现如图 3-4-2 所示的操作界面。



图 3-4-2　ESES专家系统操作界面

③ 点击【系统设置】→【设置系统名称】，输入要建立的专家系统名称。在这里，我们输入“动物识别专家系统”，如图 3-4-3 所示。

微信公众号：电子课本大全



图 3-4-3　专家系统命名

④ 点击【系统设置】→【谓词设置】，定义专家系统需要用到的谓词及其对应的含义，如图 3-4-4 所示。

注意，如果需要多个谓词，要依照“先结论后条件”的顺序输入。例如，在“动物识别系统”中，需要三个谓词：

animal_is：意为“是动物”，一般来说，它是推理过程的最后结论。

type_is：意为“属于某类”，一般来说，它描述中间结论。

features：意为“有某种特征”，用于描述事实。

这三个谓词的输入顺序如图 3-4-4 所示。



图 3-4-4　设置系统谓词

⑤ 点击“知识库”，为知识库增加“专家”推理所需的知识，如图 3-4-5 所示。

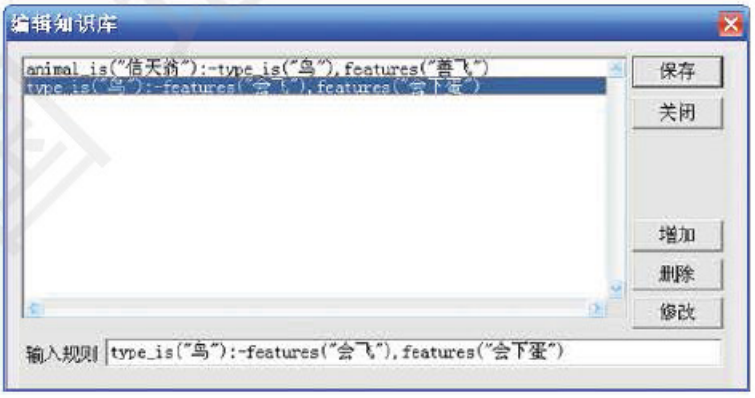

图 3-4-5　编辑知识库

注意：

输入规则时，为易于理解，规则中的对象可以使用中文，也可以使用英文；对象必须放在引号之中；规则中使用的标点符号如逗号、冒号、减号、括号、句号和引号等，必须使用英文（半角）字符。例如：it_is (" 有蹄动物 "):-it_is (" 哺乳动物 "), features (" 反刍食物 ")。

输入事实时，输入的内容一定要是“事实”，而不能是某一规则的结论；一个文本框中只能输入一个事实。

微信公众号：电子课本大全

输入结论时，结论可以是任一规则的结论。

⑥ 利用知识库中的知识进行推理。

在图 3-4-2 所示的主界面中选择“输入”菜单，输入要询问的问题。如果输入的是事实，系统自动进行正向推理，如图 3-4-6 所示；如果输入的是结论，系统自动进行反向推理。在推理过程中系统还会向你提出一些问题，以便增加推理依据或验证结论，如图 3-4-7 所示。



图 3-4-6　输入事实



图 3-4-7　输入结论

事实和结论输入完毕后，在主界面中选择“推理”菜单，系统将根据用户提供的信息进行正向推理（图 3-4-8）或反向推理（图 3-4-9）。

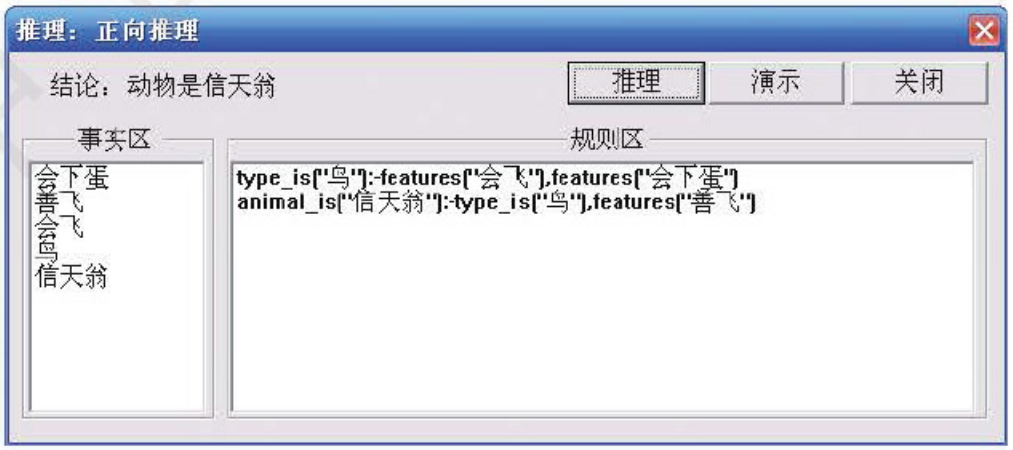

图 3-4-8　正向推理

微信公众号：电子课本大全

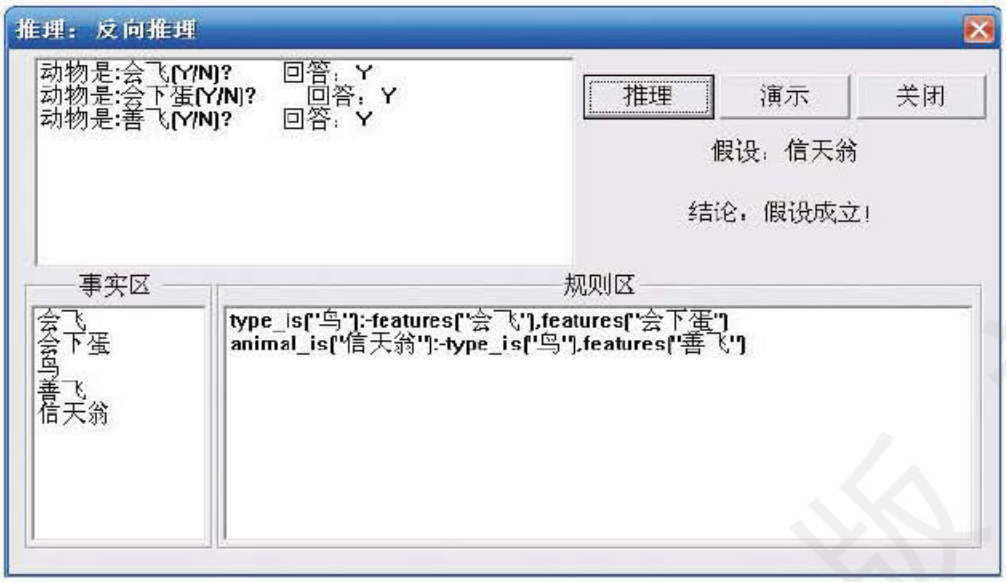

图 3-4-9　反向推理

⑦ 在主界面中选择“解释”菜单，系统将给出推理过程的解释，如图 3-4-10（解释“WHY”）和图 3-4-11（解释“HOW”）所示。

注意：系统可以解释的问题只有两类：WHY 和 HOW。输入时，“WHY”和“HOW”都必须是大写的，并与解释的内容之间用空格隔开。

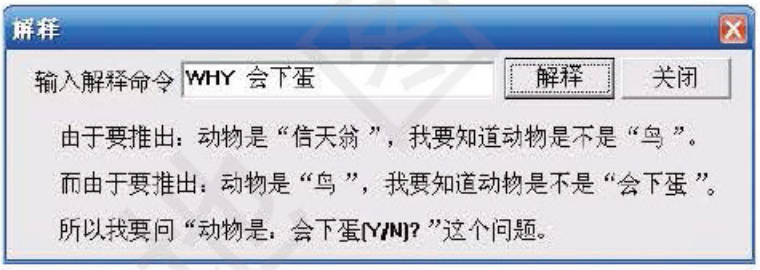

图 3-4-10　解释“WHY”

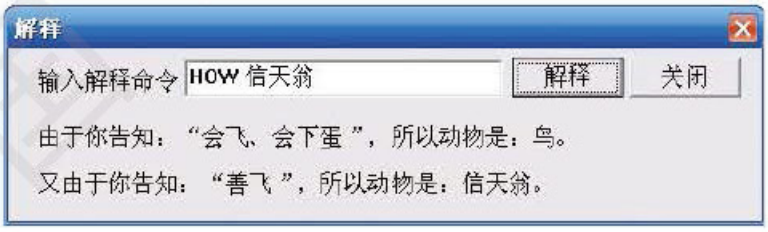

图 3-4-11　解释“HOW”



知识拓展　专家系统外壳工具 InterModeller 与 e2gLite shell

InterModeller 专家系统外壳工具，是给 8 岁以上的儿童教学“建模”知识而设计的一个计算机程序，使用它可以在多种主题上建立交互式的信息模型（也叫“专家系统”）。InterModeller 尤其适用于建立分类模型，其中的信息描述了组成某一主题的多种特征。例如，一个 InterModeller 模型可以描述许多种蜘

微信公众号：电子课本大全

蛛、植物、形状、工具。它可以有七种表达形式，包括决策树、分类树、因素表和规则等等，并且可以从一种形式转换成另一种形式。模型也可以缩减，以提高效率。

e2gLite shell 是一种常见的开发专家系统的工具。“PC 机配置专家系统”就是利用此工具开发的。



1. 搜集更多有关专家系统开发工具的信息，并对其中的一种作简单的介绍。
2. 请参照表 3-4-1 中所描述的知识，利用 ESES 工具开发一个简单的轨道车辆识别系统。

表 3-4-1　轨道车辆知识

使用能源	轨道位置	载客量	车辆
柴油	地面或桥梁	很大	火车
电力	地面或桥梁	较小	电车
电力	地下或地面	很大	地铁

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

第五节 用“外壳”开发专家系统

古人云：学以致用。将掌握的理论知识应用到实践中去，是巩固理论知识最好的方法。在这一节里，我们先运行一个“动物识别”专家系统，然后分析它，最后仿照这个专家系统制作一个自己的作品。

使用“外壳”开发专家系统，主要的工作在于建立知识库。知识库是否科学、完整是决定一个专家系统是否有效的关键因素。知识库对于一个专家系统的重要性，决定了我们在设计每个知识库时，都必须遵循一定的步骤，并且要全面客观地考虑问题，认真细致地完成任务。



一群火星人来到地球，请同学们为他们制作一个专家系统，用以帮助他们认识地球上的动物。

一 开发专家系统的一般过程

开发专家系统与开发其他软件项目一样，概括起来，其过程要经历图 3-5-1 中所示的 6 个阶段。



图 3-5-1 专家系统开发流程

很多大型的、成功的专家系统，如 DENDERAL、XCON 等，功能比“PC 机配置专家系统”要强大、完善许多，这与开发过程中采用了正确方法是分不开的。想要开发一个完善的专

微信公众号：电子课本大全

家系统，首先应当认真分析项目的可行性，制定出详细、完整的项目规划和技术标准；其次，要建立完善的知识库，这是成功的关键，因为专家系统价值高低的决定性因素就在于知识库是否包含了所涉领域的有用的和正确的知识，以及能否恰当地运用这些知识；最后，开发人员与各方面专家之间的团结协作和良好沟通也是必不可少的。

二 选择合适的问题

设计知识库时，我们每个人实际上都在扮演着某领域内的专家和知识工程师的双重角色：领域专家的角色要求我们对相关领域具有一定的知识，能够分析、判断领域内的问题；知识工程师的角色则要求我们具备能够将这些知识正确表达出来的能力。

对于我们要制作的分类或识别专家系统来说，除了确定领域以外，还要确定每个想要进行分类的事物。例如，如果我们打算制作“动物识别”专家系统，就要选择几种动物作为研究的对象，如：鸵鸟、企鹅、信天翁、虎、金钱豹和蝙蝠。此外，在指导计算机分类之前，我们自己必须能够对这些事物进行分类。这同利用程序设计解决问题之前要先懂得怎样手工解决问题的情况是一样的。

三 提取并归纳知识

无论专家还是普通人，在对事物进行分类时，主要依据的是不同事物各自的特征。因此，我们必须对要分类的事物进行观察和研究，找出它们的区别和联系。这是专家系统设计阶段最关键的一步。

我们已经选定了 6 种动物，生物学的知识告诉我们，人们一般用“界、门、纲、目、科、属、种”7 个级别的分类系统来确定一种生物的类别，这种明确的从属关系使分类工作变得十分容易。我们就选择这种常用的分类系统来进行我们的工作。

小资料　动物分类知识

分类是生物学家为了更好地研究生物之间的彼此关系而建立的一个系统。它把类似的物种归并为一属，类似的属归并为一科，类似的科归并为一目，类似的目归并为一纲，类似的纲归并为一门，类似的门最终归并为一界，这样从上到下就形成了界、门、纲、目、科、属、种所组成的一个完整的分类系统。如梅花鹿属于动物界、脊索动物门、哺乳纲、偶蹄目、鹿科、鹿属；丹顶鹤属于动物界、脊索动物门、鸟纲、鹤形目、鹤科、鹤属。像邮递员送信一样，根据国家、省、市、区和街道名，就可以很方便地找到收信人。同样，我们通过一种动物所属的门、纲、目、科、属，就可以确定它的分类地位，也就能知道它与其他物种在进化上的关系了。

首先，让我们查阅有关资料，把这些动物确切的分类信息记录下来（参考表 3-5-1）。不要忘记我们的目的只是进行分类，因此，当记录的信息已经能够把一种动物同其他动物区分开来时，就不必查找更多资料了。

微信公众号：电子课本大全

表 3-5-1　动物分类信息

动物	界	门	纲	目	科	属	种
鸵鸟	动物界	脊索动物门	鸟纲	鸵鸟目			
企鹅				企鹅目			
信天翁				信天翁目			
虎			哺乳纲	食肉目	猫科	豹属	虎
金钱豹							金钱豹
蝙蝠				翼手目	蝙蝠科		

从表 3-5-1 中我们可以看到，界和门的分类信息是不必要的，因为我们所选的 6 种动物属于同界同门。删除这些多余信息后，可以总结为表 3-5-2 的形式。

表 3-5-2　简化的动物分类信息

动物	分类信息
鸵鸟	鸟纲，鸵鸟目
企鹅	鸟纲，企鹅目
信天翁	鸟纲，信天翁目
虎	哺乳纲，食肉目，虎
金钱豹	哺乳纲，食肉目，金钱豹
蝙蝠	哺乳纲，翼手目

我们不能通过向用户询问这些分类信息来确定一种动物，因为能够提供这些信息的用户不需要使用专家系统。但是，一种动物的体貌特征和基本的行为习惯，却是用户可以提供的。我们可以利用表 3-5-3 来识别动物的类别。

表 3-5-3　动物特征信息

动物	如果			
鸵鸟	有羽毛（鸟纲）	且	善奔跑（鸵鸟目）	
企鹅			会游泳（企鹅目）	
信天翁			善飞行（信天翁目）	
虎	产乳（哺乳纲）	且	有犬齿和爪（食肉目）	身上有黑色条纹（虎）
金钱豹				身上有黑斑点（金钱豹）
蝙蝠			善飞行（翼手目）	

由于采用了适当的方法，表 3-5-3 中的知识结构就比较清晰了，这样，我们就可以很方便地把这些知识输入到计算机中。



1　帮助火星人认识地球上的植物。同学们自愿结成小组，每组不少于3人，利用课余时间寻找身边几种常见的植物，给它们分分类。

微信公众号：电子课本大全

任务2 仿照教科书中总结动物特征的方法，总结本小组在任务1中选择的植物的主要特征，把这个过程记录下来。

四 表示和存储知识

现在，我们进入到了专家系统的原型开发阶段。有了专家系统外壳的帮助，这一阶段的工作就比较容易了。在表3-5-3中，我们已经将动物识别专家系统的知识进行了分类、归纳。现在我们所要做的，只是把这些知识写成严格的逆序规则，并且输入计算机中。

下面是一个动物识别系统知识库用Prolog语言描述知识规则的例子。

① 确立Prolog语言谓词，见表3-5-4。

表3-5-4 确定谓词

谓词	意义
animal is	动物是
item is	目类别是
class is	纲类别是
positive	事实

② 用Prolog语言表示知识，见表3-5-5所示。

表3-5-5 表示知识

产生式描述规则	Prolog语言表示规则
动物是鸟 IF 动物有羽毛	class is ("鸟"):-positive ("有羽毛").
动物是哺乳动物 IF 动物产乳	class is ("哺乳动物"):-positive ("产乳").
动物是鸵鸟 IF 动物是鸟 AND 动物善奔跑	animal is ("鸵鸟"):-class is ("鸟"), positive ("善奔跑").
动物是企鹅 IF 动物是鸟 AND 动物会游泳	animal is ("企鹅"):-class is ("鸟"), positive ("会游泳").
动物是信天翁 IF 动物是鸟 AND 动物善飞行	animal is ("信天翁"):-class is ("鸟"), positive ("善飞行").
动物是蝙蝠 IF 动物是哺乳动物 AND 动物善飞行	animal is ("蝙蝠"):-class is ("哺乳动物"), positive ("善飞行").
动物是食肉目 IF 动物是哺乳动物 AND 动物有犬齿和爪	animal is ("食肉目"):-class is ("哺乳动物"), positive ("有犬齿"),positive ("有爪").
动物是金钱豹 IF 动物是食肉目 AND 动物有黑色斑点	animal is ("金钱豹"):-item is ("食肉目"), positive ("有黑色斑点").
动物是虎 IF 动物是食肉目 AND 动物有黑色条纹	animal is ("虎"):-item is ("食肉目"), positive ("有黑色条纹").

微信公众号：电子课本大全

从表中可以看出，对于一些规则我们作了适当的简化。把几条规则共有的前提提出来作为新的规则，这样做主要是为了提高推理的速度。实际上，依据表 3-5-3 的知识生成的规则可能多种多样，答案并不唯一。

任务 3　整理“植物识别”专家系统的知识，确定谓词，并用Prolog语言表示出来。

任务 4　逐条将Prolog语言描述的知识规则增加到“植物识别”专家系统的知识库中。

五　测试专家系统

测试专家系统的目的主要是测试专家系统的推理过程是否正确、结论有没有错误以及解释接口的功能是否正常。

如果选择的知识表示方法不恰当，可能造成推理过程混乱。举一个产生式规则的例子：在日常生活中，“善飞行”还可以说成是“飞得好”，每个人都知道这一点，但机器并不懂。

设想由以下两条规则构成的一个知识库：

规则 1　动物是信天翁 IF 动物善飞行 AND 动物有羽毛

规则 2　动物是蝙蝠 IF 动物飞得好 AND 动物产乳

人机交互时，当我们输入事实“动物飞得好”“动物有羽毛”后，推理得出结论可能是：“动物不知道是什么”，这就是知识表示方法不当的结果。只有输入事实“动物善飞行”“动物有羽毛”后，才能得出正确的结论。

相同的事实，推理后却得出不同的结论，会让用户感觉莫名其妙。在知识库规模更大的专家系统里，知识表示法不当可能会造成严重的后果。

此外，如果错误地使用了知识，就会造成推理结果不正确。例如，将“善飞行”作为判断是否为信天翁的唯一标准，也会导致系统不能推出正确的结论（如系统推导不出“动物是蝙蝠”的结论）。

在测试过程中，应该反复对比知识库中的知识和未加工的知识，还可以通过记录几次人机交互的过程，对其加以比较，来发现系统潜在的问题。

任务 5　测试“植物专家系统”，把结果填入测试记录表 3-5-6 和表 3-5-7 中。

表 3-5-6　推理测试过程记录

输入的事实	预期的结论	系统的结论	推理类型	推理是否正确	知识修订

微信公众号：电子课本大全

表 3-5-7 解释测试过程记录

解释命令	解释内容	原因



1. 某同学想购买一款手机，到商店后他发现现在的手机已大不同以前，有蓝牙手机、3G手机、音乐手机、GPS导航手机等等，品种之多，功能之强，让他看得眼花缭乱，无所适从。假设这位同学向你求助怎样选择手机，请你根据直接和间接经验，设计一组“手机购买顾问”的产生式规则，帮助他买到称心如意的手机。

2. 按照表3-5-8给出的标准，对本小组制作的“植物分类”专家系统进行评价，填写该表作为“自评报告”交给教师。各组之间可按照这些标准互相评分，比一比，看哪一组最后的得分高。

表 3-5-8 专家系统评价量规

评价项目	评价标准			得分
	优秀（8-10）	一般（5-7）	较差（4）	
调查、分析与设计过程的完成情况	严格遵照正确的方法和步骤完成设计，记录开发过程的资料完整，内容清楚	基本遵照正确的方法和步骤完成设计，能够提供记录开发过程的资料	没有按照正确的步骤进行工作，不能提供相关资料	
规则编写的科学性	内容完整，结构合理，效率高	内容较完整，无明显问题，效率较低	内容有明显错误，严重影响正常推理	
产生式规则与层次的数量	规则数量适中，层次清楚	规则不够简洁，层次不清	产生式规则过多或者过少，层次凌乱	
所实现专家系统的实用性	能够通过最少的问题识别出事物并进行正确分类	提问过多，但总能得出正确结果	无法进行分类或分类错误	
备注				

微信公众号：电子课本大全

第四单元 机器如何解难题

Information Technology

1959 年，美籍华裔学者王浩教授用他首创的“王氏算法”，在一台计算机上仅用 9 分钟的时间就证明了《数学原理》一书中的 350 个定理。

今天，机器智能的触角已经深入到我们的生活之中。例如，有这样一家神奇的酒店，其服务团队皆由机器人组成。前台机器人接待员精通中、英、日三国语言。它们会帮助旅客办理入住手续，也会不时与旅客交流互动。旅客经过大厅时，会有机器人主动帮助旅客寄存小件行李并将行李运送到指定房间。在房间门口，旅客需要通过“刷脸”进入房间。每个房间内配备了小型机器人，可提供聊天服务，还可以根据客人的要求开关电视或提供天气信息。餐厅里的烹饪机器人负责制作煎饼、冰淇淋等食物。在这家机器人酒店，就连打扫卫生、维护绿植等工作，也都由机器人来完成，甚至连垃圾桶都是机器人。此外，酒店还配备了牙科、皮肤科兼内科等机器人诊室。这一切之所以能够实现，都是因为人类掌握了与计算机沟通的技术，即用人工智能程序设计语言拉近人与机器的距离，这样，人类就能逐步缩短理想与现实的距离了。

微信公众号：电子课本大全

第一节 Prolog语言基础

本节介绍 Prolog 语言基础知识，通过求解图搜索问题介绍如何编写 Prolog 小程序。

Prolog 是建立在逻辑学基础上的一种人工智能程序设计语言，比较接近自然语言，所以很容易学习和理解，即使从来没有接触过计算机程序设计的人，也能很快掌握。

一 Prolog 语法初步

Prolog 语言涉及几个基本概念，即事实（Fact）、规则（Rule）和查询（Query），它们是构成 Prolog 程序的基本要素。

1. 事实

事实是用来描述事物的性质以及事物之间关系的语句。如同现实生活中进行推理、决策、判断时必须以事实为依据一样，用 Prolog 语言编写的程序中也使用包含描述已知事实的语句作为推理的前提条件。

Prolog 描述事实的语句格式如下：

p(x,y,…).

其中的 p 称为谓词，它代表事物的性质或事物之间的关系，括号中的参数 x、y……是具体事物。

例如：语句 white(snow). 描述的事实是：雪是白的。

语句 afraid(mouse,cat). 描述了两个事物之间的关系，即描述的事实是：老鼠怕猫。

这里提到的 white、afraid 是谓词，snow、mouse、cat 是事物。

表 4-1-1 给出了将自然语句翻译成 Prolog 语句的一些例子。

表 4-1-1 Prolog 例句

编号	自然语句	Prolog 语句
1	2 是偶数	even(2).
2	刘林打篮球	play(liulin, basketball).
3	刘林和李钢用 qq 聊天	chat(liulin, ligang, qq).
4	某人学习柔道	learn(X, judo).

通过上面这几个例子，可以发现 Prolog 语句有如下几个特点：

① 事实语句中谓词和参数可以根据需要自行定义。

例如：

play(liulin, basketball).

微信公众号：电子课本大全

也可以写做：

wan(liulin, lanqiu).

② 括号中可以使用常量，也可以使用变量。其中常量用来指定特定的对象，变量用来代表某些尚不确定的对象。表 4-1-2 给出了常量与变量的定义和示例。

表 4-1-2 常量与变量

名称	定义	示例
常量	数值，或以小写字母开头的由字母、数字以及下划线“_”组成的字符串	a, b2, karla, line_a, 40
变量	以大写字母或下划线“_”开头，由字母、数字以及下划线“_”组成的字符串	X, Big_name, Object1, _three_men

在表 4-1-1 中，只有 X 是变量，它代表任何一个学习柔道的人，而不是某个特定的人。

③ 描述事实时，括号中参数的顺序不能随意改变，否则意义就不同了。

④ Prolog 语句以英文句点“.”结尾。



1 用 Prolog 语言描述表 4-1-3 中的语句，并填写在相应的位置。

表 4-1-3 写出事实语句

自然语句	Prolog 语句
李玲去旅游	
某人和计算机下棋	
张强和李钢打羽毛球	

2. 规则

规则表示事物之间的因果关系。如果一个（些）事实的存在依赖于其他事实，则可以用规则来描述。

Prolog 语言描述规则的语句格式如下：

$p(X, Y\cdots):-q_1(X, Y\cdots),\cdots,q_n(X, Y\cdots).$

表 4-1-4 给出了上述表达式的具体说明。

表 4-1-4 规则说明

形式	名称	构成与作用	备注
$p(X, Y\cdots)$	规则头	说明谓词 p 的参数类型和数目	参数 X、Y 等可以是常量或变量
:-	连接符	表示“如果”	
$q_1(X, Y\cdots), \cdots, q_n(X, Y\cdots).$	规则体	n 条语句（$n \geqslant 1$），$q_1, \cdots\cdots, q_n$ 是谓词，语句间用“,”分隔	多条语句之间的“,”表示“并且”
.	结束符	标识一条规则结束	

微信公众号：电子课本大全

例如描述一个几何定理：如果直线 a 平行于直线 b，直线 b 平行于直线 c，则直线 a 平行于直线 c。

用 parallel(X, Y) 表示直线 X 平行于直线 Y，则上面的定理可表示为：

```
parallel(X,Z):-parallel(X,Y),parallel(Y,Z).
```

规则头　如果　规则体　并且

事实和规则存储在知识库中，就像知识存储在人的大脑中一样，计算机正是借助这些“知识”来解题的。一个人掌握的知识越多，就越聪明。同样，计算机中存储的事实和规则越多，解决问题的能力就越强。



2 用 Prolog 语言描述表 4-1-5 中的语句，并填写在相应的位置。

表 4-1-5　写出规则语句

自然语句	Prolog 语句
如果停电了，我就点蜡烛学习	
等边三角形的内角等于 60 度	

提示：每个语句需要设三个谓词，每个题目可以有多种答案。

3. 查询

查询语言描述用户向计算机提出的问题（又称为目标）。Prolog 查询语句可以写入程序之中，也可以在运行程序之后再输入计算机。

Prolog 查询语句的一般形式是：

```
Goal: p(X, Y,…).
```

表 4-1-6 给出了查询语句一般形式的具体解释。

表 4-1-6　查询语句说明

形式	名称	构成与作用	备注
Goal:	系统提示符	提示用户输入查询语句	
p(X, Y…)	查询语句	由一条或多条事实语句构成，语句间用“,”分隔，其中每一条语句称为一个子目标	“,”表示“并且”“而且”
.	语句结束符	标识查询语句结束	

例如，我们已经知道这样一组事实和规则：

```
play(zhangqiang, baseball).
play(zhangqiang, basketball).
play(wangming, X):-play(zhangqiang, X).
```

根据这些事实和规则就可以进行查询。表 4-1-7 给出了两种不同的查询形式。

微信公众号：电子课本大全

表 4-1-7 查询语句的两种形式

形式	查询语句	答案	
用常量查询	Goal: play(zhangqiang, baseball). /* 张强打棒球吗 */	yes	/* 是的 */
用变量查询	Goal: play(wangming, X). /* 王明打什么球 */	X=baseball; X=basketball; Two solution	/* 王明打棒球 */ /* 王明打篮球 */ /* 表示有两个答案 */

Prolog 如何进行查询呢？在解释查询过程之前，先介绍一下匹配的概念。

匹配是 Prolog 查询的基本工作原理。当 Prolog 试图搜索一个目标时，就在知识库中从上至下搜寻所有的事实和规则，当找到一个事实或规则头与目标匹配时，就为这条语句作上标记。若用户需要更多的答案，系统将从作了标记的那条语句开始继续向下查询，直至找到全部答案。

查询的过程就是匹配的过程，如果存在与目标匹配的事实，那么查询成功；否则，查询失败。

下面我们简要总结事实、规则和查询语句，如表 4-1-8 所示。

表 4-1-8 Prolog 语句小结

名称	形式	语句说明	备注
事实	p(X, Y,…).	p 是谓词，X, Y,…是参数	参数可以是常量或变量
规则	p(X, Y,…):– q(X, Y,…).	p(X, Y,…) 是规则头，q(X, Y,…) 是规则体，规则体可有多个语句	参数可以是常量或变量
查询	Goal: p(X, Y,…).	“Goal:” 是系统提示符 p(X, Y,…) 是用户查询语句	参数可以是常量或变量

二 图搜索问题

1. 问题及其分析

在一场军事实战演习中，某部布置了 a、b、c、d、e 五个阵地，阵地之间道路的连通情况如图 4-1-1 所示。由于人为地设置了关卡，路的方向都是单向的（图中箭头表示路的通行方向），那么每个阵地的战士都能给其他任意一个阵地的战士运送物资吗？

为了使问题更加清晰，我们把图 4-1-1 简化为图 4-1-2 的形式，其中，圆圈表示阵地，称为节点；带有方向的线段表示节点之间的路及其方向，称为有向边。

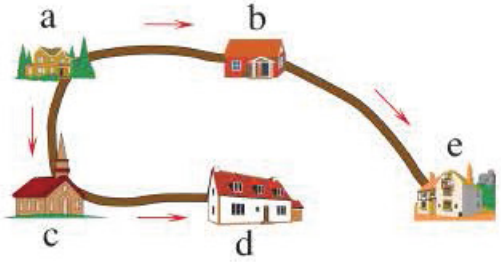

图 4-1-1 图搜索问题

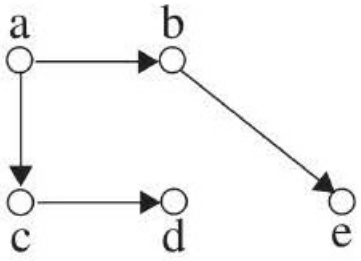

图 4-1-2 简化图

微信公众号：电子课本大全

人工求解这类问题通常是采用尝试法，即通过不断地尝试来寻找从初始节点到达目标节点路径的方法。下面我们就用这种尝试法来寻找问题的解决方案，步骤如下：

① 用符号“(X, Y)”表示从节点 X 到 Y 有一条有向边，“(X,…,Y)”表示从节点 X 到 Y 有一条路。

② 确定初始状态：设出发地是 a 地，那么“(a)”就是初始状态。

③ 确定目标状态：设 e 为目的地，从节点 a 到达目的地 e 要依次经过节点 X_1、X_2、…，则目标状态为“(a, X_1, X_2, …, e)”。

④ 重复不断地尝试，直到最后找到一条从出发地 a 到达目的地 e 的路，这就是问题的一个解。

表 4-1-9 图搜索问题的一个解

状态	行动
(a)	从 a 地出发
(a, b)	到达 b 地，从 b 地继续前进
(a, b, e)	到达 e 地，停止寻找

有些问题的解不是唯一的。如果解题过程无误，最后得到多个解，这也是可能的。

2. 程序实现

掌握了 Prolog 语言的语法知识，就可以写出求解图搜索问题的程序。

首先定义谓词 connected(X,Y)，表示从节点 X 到 Y 之间有一条有向边，谓词 path(X,Y) 表示从点节 X 可以到达节点 Y。

例如：connected(a, b). 表示 a 节点到 b 节点有一条有向边。



3 模仿例句“connected(X,Y).”的形式写出 Prolog 语句，完成对图 4-1-2 的描述。

```
_____                    /*a 节点到 b 节点有一条有向边 */
_____                    /*a 节点到 c 节点有一条有向边 */
_____                    /*b 节点到 e 节点有一条有向边 */
_____                    /*c 节点到 d 节点有一条有向边 */
```

对于图搜索问题，判断从某一节点是否能到达另一节点的规则为：

如果节点 X 到节点 Y 有一条有向边，那么从节点 X 可以到达节点 Y；或者如果存在一节点 Z，节点 X 到节点 Z 有一条有向边，并且从节点 Z 可以到达节点 Y，那么从节点 X 也可以到达节点 Y。

描述这个规则的 Prolog 语句为：

```
path(X, Y):-connected(X, Y).                /* 语句 1*/
path(X, Y):-connected(X, Z),path(Z, Y).     /* 语句 2*/
```


微信公众号：电子课本大全

语句 1 表示，如果节点 X 到节点 Y 有一条有向边，则节点 X 可以到达节点 Y。

语句 2 表示，如果节点 X 到节点 Z 有一条有向边，并且节点 Z 可以到达节点 Y，则节点 X 可以到达节点 Y。

为了使程序结构更清晰，一个完整的程序还需要加上段标记，它们是：

domains：域的段标记，这一段规定数据的类型和取值范围；

predicates：谓词的段标记，这一段声明程序中使用的谓词；

clauses：子句的段标记，这一段包括程序中的事实和规则。

常用的 Prolog 语言数据类型有整型、字符型、字符串型及符号型。符号型变量的值既可以是字符也可以是字符串；字符型或字符串型的常量用单引号“' '”标识。

下面是常用的 Prolog 数据类型说明符及其示例：

a=integer，定义 a 是整型，取值为整数，如 a=23;

b=char，定义 b 是字符型，取值为一个字符，如 b='z';

c=string，定义 c 是字符串型，取值为一个字符串，如 c='edu';

d=symbol，定义 d 是符号型，取值可以是字符型或字符串型，如 d='f' 或者 d='study'。

下面是求解图搜索问题的完整程序：

```
domains
node=symbol                 /* 定义 node 表示 symbol 型数据 */
predicates
connected(node, node)       /* 说明谓词 connected 的两个参数都是 symbol 型 */
path(node, node)            /* 说明谓词 path 的两个参数都是 symbol 型 */
clauses
connected(a, b).
connected(a, c).            } 事实
connected(b, e).
connected(c, d).
path(X, Y):-connected(X, Y).
path(X, Y):-connected(X, Z),path(Z, Y).   } 规则
```

在 Prolog 编程环境里输入以上代码后运行程序，就可以与机器对话，向它询问图中各节点之间的关系了。

配套光盘中“课本素材\程序”提供了该程序的源代码（kbsc\program\graph.pro）。



用 Turbo Prolog 软件编译程序

Turbo Prolog 于 1986 年开发成功，并对外发行。在 MS-DOS 和 Windows 环境下都可以运行 Turbo Prolog。

Prolog 软件版本较多，我们选用操作较为简单的 Turbo Prolog 2.0 作为编译环境。

首先运行可执行文件 Prolog.exe，出现如图 4-1-3 所示的界面。

微信公众号：电子课本大全

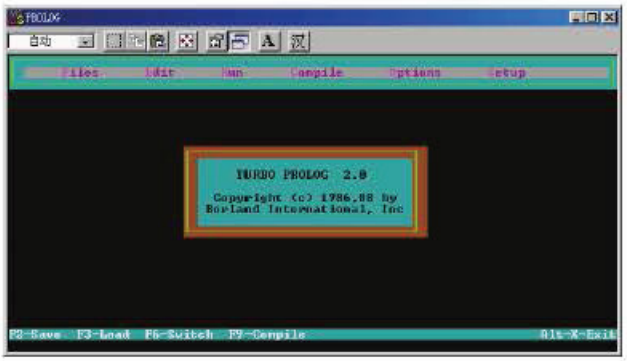

图 4-1-3　Turbo Prolog 2.0 欢迎界面

按 <Esc> 键，进入编辑环境主界面，如图 4-1-4 所示。

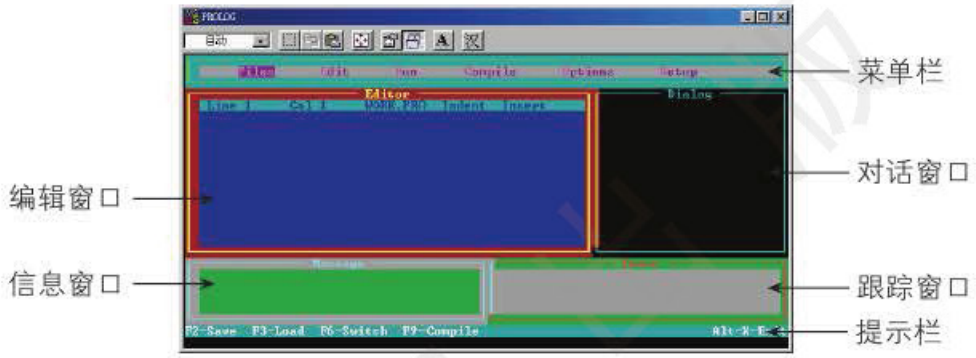

图 4-1-4　编辑主界面

按 <Alt+E> 键定位到编辑窗口，在编辑窗口中可输入或者修改程序代码，如图 4-1-5 所示。

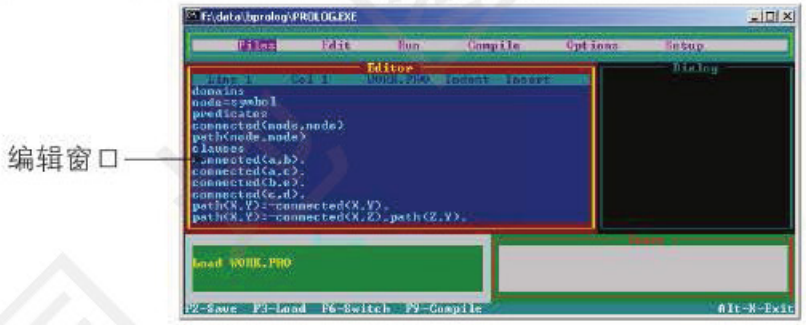

图 4-1-5　编辑程序代码

程序代码输入完毕后，按 <Alt+C> 键编译程序，再按 <Alt+R> 键运行程序，信息窗口中就显示用户的操作过程以及程序编译过程是否有错误，如图 4-1-6 所示。

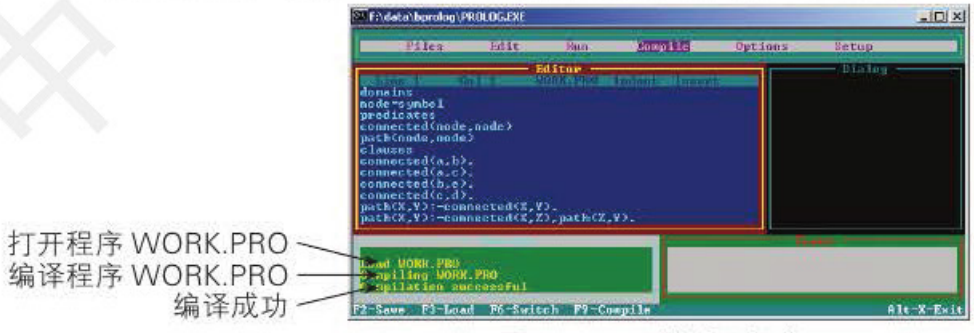

图 4-1-6　编译运行窗口

运行程序 WORK.PRO，就可以和计算机对话了。对话窗口中会显示对话的过程，如图 4-1-7 所示。

微信公众号：电子课本大全

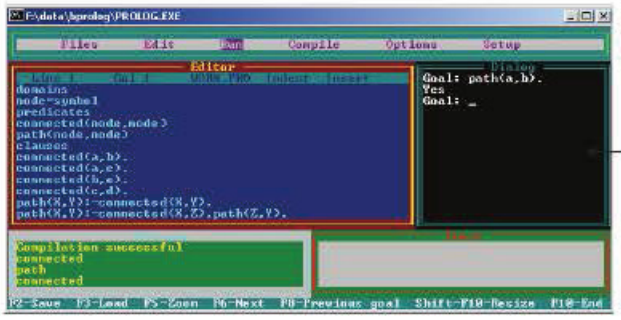

图 4-1-7 运行程序，与计算机对话

若想了解程序运行的每一步状态，弄清 Turbo Prolog 正在干什么，就要打开跟踪窗口。执行【Options】→【Compiler directives】→【Trace】命令，并将其值设置为“Trace”即可。在跟踪方式下，程序的运行状况都会在跟踪窗口中显示出来。



1．熟悉 Turbo Prolog 程序设计环境，在编辑窗口中输入图搜索程序源代码后保存文件。

2．运行图搜索程序，输入表 4-1-10 中的查询目标，并把查询结果填入表中。

表 4-1-10 图搜索程序运行结果

查询语句	查询答案
Goal: path(a,b).	
Goal: path(b,a).	
Goal: path(a,d).	
Goal: path(X,b).	
Goal: path(d,Y).	
Goal: path(a,Y).	
Goal: path(b,X),path(c,X).	
Goal: connected(a,d).	

3．由于 Turbo Prolog 载入程序时要求源程序与 Prolog.exe 在同一文件夹下，因此首先要把配套光盘中“课本素材\程序”(kbsc\program) 文件夹中的 Example.pro 拷贝到 Prolog.exe 所在的文件夹中，然后再用 Turbo Prolog 打开。试着运行并读懂这个程序，根据程序内容向计算机提出查询问题，把所提问题及得到的答案填入表 4-1-11 中。完成后大家互相交流结果。

表 4-1-11 程序运行结果

查询语句	查询答案

Turbo Prolog 在其安装程序的 EXAMPLES 文件夹下自带了许多源程序，有兴趣的同学可以找到这些程序并试着读懂它们。

4．图搜索问题在实际生活中有着广泛的应用，请你举出一些应用实例。例如，在一间办公室里，几台计算机要连网，如何布线就是一个典型的图搜索问题。

微信公众号：电子课本大全

第二节　趣味数学问题

本节引入计算机解题的一种重要算法——递归。我们通过设计 Prolog 程序求解斐波纳契函数和梵塔问题，来理解递归思想，掌握用 Prolog 语言实现递归的方法。

“大事化小，小事化了”是生活中经常用到的处事方法，这就是递归方法的思想。在解决智能问题时，也常常按照这种思路来处理。这一节我们通过求解斐波纳契函数问题，学习如何应用递归方法解决复杂问题。

一　斐波纳契函数问题

1. 斐波纳契函数问题的由来

某同学过生日时收到了一份可爱的礼物——一雌一雄两只刚出生不久的兔子和一道难解的题：一个月大小的兔子还不能繁殖，两个月大小的兔子便足够成熟，可以繁殖了。假定从第二个月开始，它们每月都繁殖一对兔子（雌、雄各一只），并且新出生的兔子也按这种方式进行繁殖，那么从该同学得到这一对兔子开始，以后的每个月他会拥有多少对兔子呢？

我们把兔子的繁殖情况用示意图（图 4-2-1）表示出来。

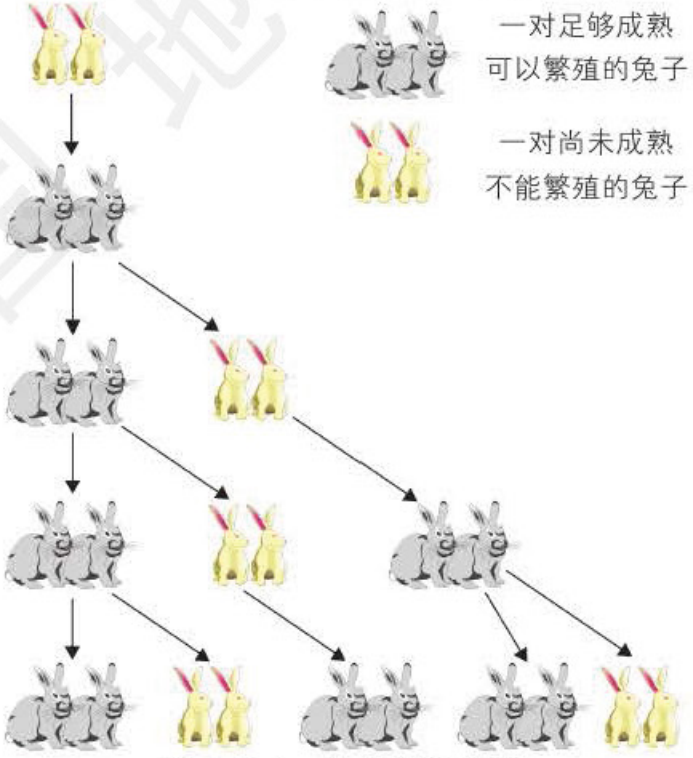

图 4-2-1　兔子繁殖示意图

微信公众号：电子课本大全

兔子数（单位：对）应该是这样一组数：1，1，2，3，5，8，13，…。不难发现，兔子繁殖的数量是一组很有规律的数字，可以用数学公式表示：

$$\begin{cases} f(0)=1 \\ f(1)=1 \\ f(n)=f(n-1)+f(n-2) \quad (n>1，n\text{ 为自然数}) \end{cases}$$

函数 f(n) 是斐波纳契提出的，所以被命名为斐波纳契函数。每个函数值称为一个斐波纳契数。第 n 个斐波纳契数等于第（n–1）个与第（n–2）个斐波纳契数之和。

斐波纳契函数就是一个递归函数。

在描述或定义某一事物时，为了确定问题的某一状态，需要用到它的前一个状态……这种自己调用自己的方法，称为递归方法。递归定义就是用函数自身来定义函数。用递归思想分析和解决问题能够将大问题化解为小问题后解决。一个问题能否适于用递归方法解决，必须符合两个条件：

其一，一个规模较大的问题可以分解为若干个性质相同的规模较小的问题，这些规模较小的问题可以继续分解，而新问题的解法和原问题的解法相同，只是处理对象的规模不同；其二，必须有一个明确的结束递归的条件，以避免无限递归。

下面我们就以斐波纳契函数为例，说明 Prolog 语言是如何实现递归的。

2. 求解斐波纳契函数的递归过程

递归搜索算法（简称为算法 1）的过程描述如下：

① 设定查询目标。

② 自上向下搜索事实语句，如果某个事实与查询目标匹配，转到⑤。

③ 自上向下搜索规则，如果某个规则的规则头与查询目标匹配，则依次以子目标 1、2……为查询目标，转到①，调用子程序，执行该算法，并记录断点。

④ 如果每个子目标均匹配成功，则规则头成立，转到⑤；如果某个子目标匹配失败，则转到⑥。

⑤ 如果当前过程是子程序调用，则子目标匹配成功，返回③中断点位置；如果当前过程是主程序，则查询成功，输出问题的解，终止程序。

⑥ 如果当前过程是子程序调用，则子目标匹配失败，返回③中断点位置，向上返回一层。

⑦ 如果当前过程是主程序，且未到达知识库底，转到③；已到达知识库底，查询失败，终止程序。

注：子目标可以是描述事实的语句，也可以是操作。当子目标为操作时，执行相应的操作，即为子目标匹配成功。

3. 程序设计

求解斐波纳契函数的递归程序如下：

```
predicates                                  /* 谓词段标记 */
```


微信公众号：电子课本大全

```
    fib(integer,integer)                                    /* 谓词 fib 的两个参数都是整型 */
clauses                                                     /* 子句段标记 */
    fib(0,1):-!.                                            /* 规则 1*/
    fib(1,1):-!.                                                        /* 规则 2*/
    fib(N,F):-N>1,N1=N-1,fib(N1,F1),N2=N-2,fib(N2,F2),F=F1+F2.    /* 规则 3*/
```

该程序只定义了一个谓词 fib，它有两个整型参数，第一个参数是所求斐波纳契数的序号（其值从 0 开始），第二个参数是所求斐波纳契数的值。程序中只有 3 个可执行语句，分别用到规则 1、规则 2、规则 3。规则的具体涵义如下：

规则 1：序号为“0”的斐波纳契数值为 1。

规则 2：序号为“1”的斐波纳契数值为 1。

规则 3：N>1 时，第 N 个斐波纳契数是第（N-1）与第（N-2）个斐波纳契数之和。

规则 1、规则 2 中的“!”表示匹配成功，程序结束运行。我们把控制递归过程结束的语句称为“边界条件”，边界条件的作用很重要，没有边界条件，递归程序的运行将陷入死循环，无法正常终止。

在光盘“课本素材\程序”文件夹中提供了该程序源代码（kbsc\program\fib.pro）。

图 4-2-2 描绘了 fib(4,F) 的求解过程。其中，fib(0,F4)、fib(1,F3)……分别表示第 1 个、第 2 个……斐波纳契数，图中带有标记“⊞”的节点是分支节点，它的两个子节点之和等于其父节点的值。例如，fib(4,F)= fib(3,F1)+ fib(2,F2)。

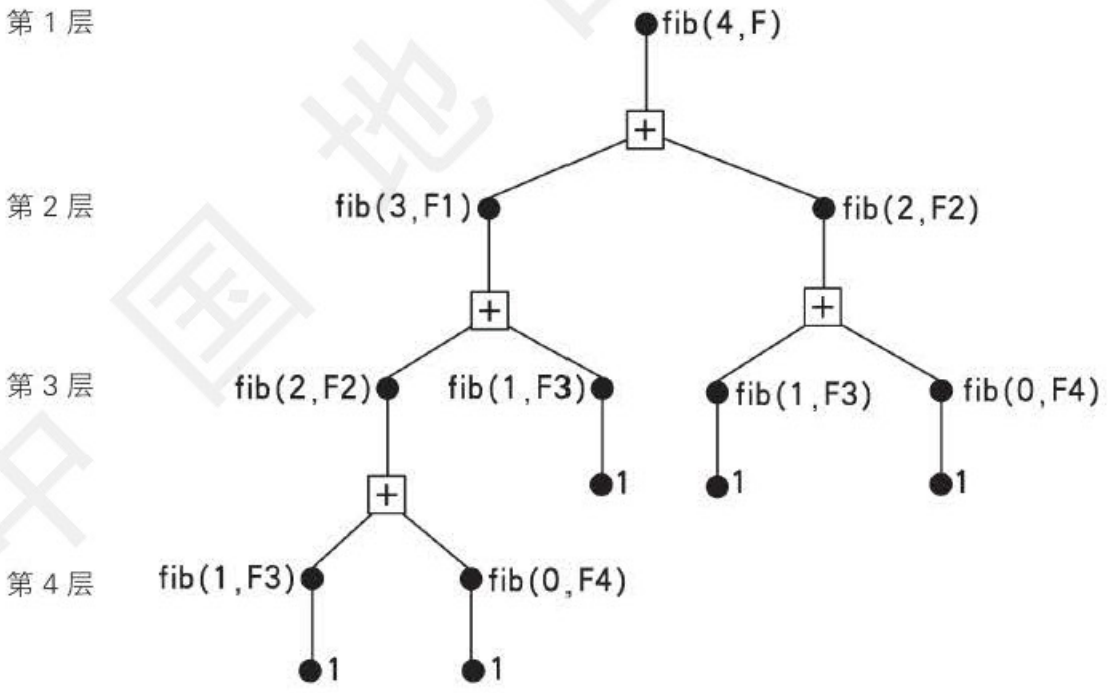

图 4-2-2　fib(4,F) 求解示意图

表 4-2-1 给出了 fib(4,F) 的求解过程。

微信公众号：电子课本大全

表 4-2-1　fib(4,F) 的求解过程

步骤	目标	使用规则	查询过程中的递归调用	答案
1	第 1 层目标 fib(4,F)	调用规则 3	目标 fib(4,F) 被规则 3 的规则体替换成如下子目标：4>1，N1=4-1，fib(N1,F1)，N2=4-2，fib(N1,F2)，F=F1+F2	无
2	第 1 层的子目标 1、2	/	4>1，N1=3（算术运算），继续第 3 个子目标	N1=3
3	第 1 层的子目标 3 fib(3,F1)	调用规则 3	目标 fib(3,F1) 被规则 3 的规则体替换成如下子目标：3>1，2=3-1，fib(2,F2)，1=3-2，fib(1,F3)，F1=F2+F3	N2=2
4	第 2 层的子目标 3 fib(2,F2)	调用规则 3	新目标被规则 3 的规则体替换成如下子目标：2>1，1=2-1，fib(1,F3)，0=2-2，fib(0,F4)，F2=F3+F4	无
5	第 3 层的子目标 3 fib(1,F3)	匹配规则 2	得到 fib(1,F3) 的解，即 F3=1；成功，返回第 2 层，继续第 3 层子目标 4、5	F3=1
6	第 3 层的子目标 5 fib(0,F4)	匹配规则 1	得到 fib(0,F4) 的解，即 F4=1；成功，返回第 2 层，继续第 3 层子目标 6	F4=1
7	第 3 层的子目标 6 F2 = F3+F4	/	得到 F2= F3+F4=1+1=2；成功，返回第 2 层，继续第 2 层子目标 6	F2=2
8	第 2 层的子目标 6 F1 = F2+F3	/	得到 F1= F2+F3=2+1=3；成功，返回第 1 层，继续第 1 层子目标 6	F1=3
9	第 1 层的子目标 6 F = F1+F2	/	得到 F=F1+F2=3+2=5	F=5

由表 4-2-1 可知，求斐波纳契数 f(4) 的值，需要先计算 f(3) 和 f(2)，而计算 f(3)，又要先计算 f(2) 和 f(1)。在计算 f(4) 的过程中 3 次调用规则 3，4 次带着返回值返回调用层，最终得到查询结果 f(4)=F=5。

为了保存计算过程中产生的中间结果，计算机需要开辟若干临时存储空间（称为栈），返回时从栈中取出数据，然后释放所占用的存储空间。

可以这样概括递归过程：先自顶向下逐级递归调用程序，再自底向上逐级返回调用层，在返回过程中完成计算和赋值。

如果将程序中的规则 1 和规则 2 放在规则 3 之后会怎样？结果是，程序进入永无休止的递归循环之中，因为边界条件失效了，这时只能用强制方法停止程序运行。



1　仿照表 4-2-2 中表达式的样式，填写 4! 与 N! 的表达式（N 为自然数）。

微信公众号：电子课本大全

表 4-2-2 阶乘表

N 的值	N! 的表达式
1	1
2	2×1
4	
N	

任务 2 写出用计算机解决 N! 问题的数学公式及边界条件（N 为自然数）。

我们可以这样思考：
如果 N=1，则 N 的阶乘等于 1；
否则，先求（N-1）!，然后乘以 N，即 N!=N×（N-1）!。
思考一下，如果约定 0!=1，那么边界条件又是什么呢？

小资料 数学家斐波纳契

斐波纳契是中世纪声誉颇高的数学家，他在算术、代数和几何等方面多有贡献。他生于比萨的列奥纳多家族（1175-1250），是意大利一位海关官员的儿子。得益于他父亲的工作，他游历了东方和阿拉伯的许多城市。而在这些地区游历期间，斐波纳契逐步学习并熟练地掌握了印度—阿拉伯数字的十进制系统。那时，意大利仍使用罗马数字进行计算。斐波纳契看到了印度—阿拉伯数字的价值，积极地提倡使用它们。1202 年，他编写了《算盘书》一书，这是一本知识广博的工具书，书中详细介绍了怎样应用印度—阿拉伯数字进行加、减、乘、除计算和解题，此外还对代数和几何进行了深入探讨。由于斐波纳契和其他数学家的工作，印度—阿拉伯数字系统得以在欧洲商界推广，并逐渐被普通人所接受。

今天斐波纳契驰名世界，源于一个斐波纳契函数，而这个函数则来自他的《算盘书》中一道题，有趣的是这道题当初只是一道智力练习题。直到 19 世纪，法国数学家卢卡斯出版了一部四卷本的有关娱乐数学方面的著作，才把斐波纳契的名字加到这道题的解答和所出现的函数上。

任务 3 把下面计算 N! 的递归程序补充完整，输入程序并运行，计算 7!，看看机器计算得是否正确。

```
predicates
    factorial(N, X)                    /*factorial 的两个参数 N，X 都是整数型 */
clauses
                                       /* 边界条件 */
_____
    factorial(N, X):-_____             /* 递归语句 */
```


微信公众号：电子课本大全

二　汉诺塔问题

1. 汉诺塔问题的由来

汉诺塔问题是由一位法国数学家在19世纪提出的，直到现在，简化版的汉诺塔玩具在玩具店中仍然随处可见。汉诺塔的假设是：在一个铜板上，插着三根宝石针，分别被编号为a、b、c。在a针上，从下到上放置了由大到小的64个金片，要把这些金片借助b针，从a针全部移动到c针。移动规则是：一次只能移动一片，并且无论在哪一根针上，小片必须放置在大片上面，如图4-2-3所示。

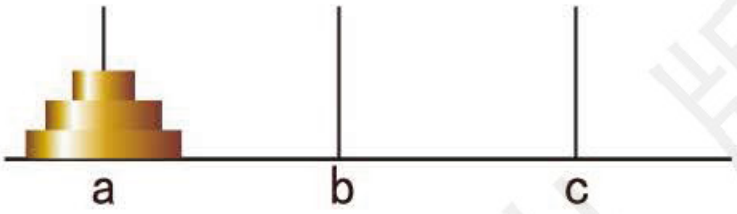

图4-2-3　汉诺塔示意图

以大小不同的书本模仿操作，我们发现，N=1时，移动1次；N=2时，移动3次；N=3时，移动7次……根据归纳法可以计算出，将N个金片从A针移动到C针需要移动金片的次数是2^n-1，那么移动64片金片的次数就是18 446 744 073 709 551 615。假设平均每秒钟移动一次金片，那么移完64片金片大约需要5 800亿年。而从能源的角度推算，太阳系的寿命大约只有100亿年。



4　从“信息技术学习网”上下载汉诺塔游戏程序fanta.exe，运行后出现汉诺塔游戏的开始界面（如图4-2-4），界面上的数字“3、4、5、6、7”代表要移动的金片数目，点击数字按钮就可以开始游戏了。游戏过程中须遵守汉诺塔制定的规则。

将完成的金片数量、所用的时间（分钟）和操作步骤数填入表4-2-3中，最后比一比，看看谁的成绩最好。

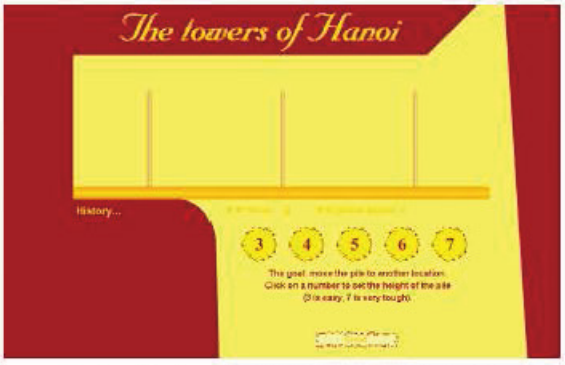

图4-2-4　汉诺塔游戏开始界面

微信公众号：电子课本大全

表 4-2-3 梵塔游戏战绩表

局数	选择金片数目	完成所用时间	操作步骤数
第一局			
第二局			
第三局			
第四局			
第五局			
第六局			

2. 问题分析

我们将三根金针分别以 a、b、c 标识。开始时金片都放在 a 针上，经过作为“中间站”的 b 针，最后移到 c 针上。

现在要把 2 个金片从 a 经 b 移至 c，步骤如图 4-2-5 所示。

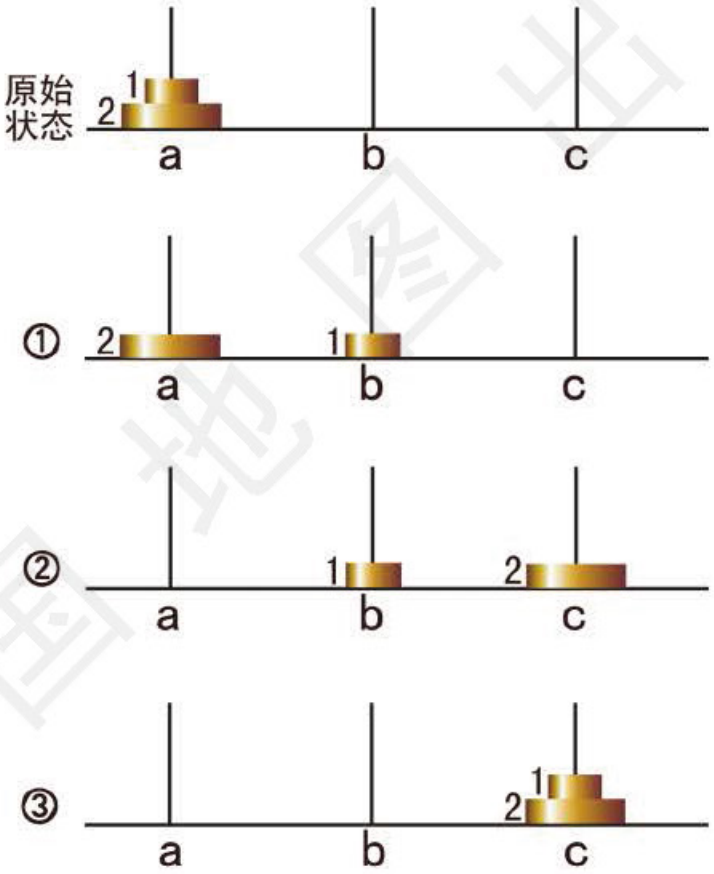

图 4-2-5 金片移动步骤示意图

为了使问题表述得更加简明、清晰，我们如下约定一些符号的意义：

n 表示需移动的金片数目，也称为问题的“阶”，n 值越大表示问题的难度越大；“n”表示 n 号金片；move(n, x, y, z)表示将 n 个金片从 x 针经过 y 针移到 z 针；move1(“n”, x, y)表示将 n 号金片从 x 针移到 y 针。

那么，2 阶梵塔问题可描述为：

move(2,a,b,c)

微信公众号：电子课本大全

解决问题的步骤如下：

① 将 1 号金片从 a 移至 b：move1(“1”, a, b)；

② 将 2 号金片从 a 移至 c：move1(“2”, a ,c)；

③ 将 1 号金片从 b 移至 c：move1(“1”, b ,c)。

现在把问题一般化，即把 n 个金片 (n>2) 从 a 经 b 移至 c，这一问题可描述为：

move (n, a, b, c)

首先将问题分解为三个子问题，分别移动（n–1）个金片和一个金片，即：

①将（n–1）个金片从 a 经 c 移至 b：move (n–1, a , c, b)；

②将 n 号金片从 a 移至 c：move1（“n”, a ,c）；

③将（ n–1）个金片从 b 经 a 移至 c：move (n–1, b, a, c)。

这样，n 阶梵塔问题就降阶为（n–1）阶问题，问题难度因此降低了。

对于子问题“把（n–1）个金片从 a 经 c 移至 b”，可描述如下：

move(n–1,a,c,b)

这个问题又可以分解为更简单的三个子问题，即：

①将（n–2）个金片从 a 经 b 移至 c：move (n–2, a , b, c)；

②将“n–1”号金片从 a 移至 b：move1（“n–1”, a ,b）；

③将（n–2）个金片从 c 经 a 移至 b：move (n–2, c, a, b)。

依此类推，梵塔问题逐级降阶，金片数目每次减少 1，直到金片数目为零（即 n=0）为止。

3. 算法描述

梵塔问题也是一个典型的递归问题，递归的边界条件是无金片可移，即 n=0。

经过前面的分析知道，解一般形式的 n 阶梵塔问题（n>2），可分为以下三步：

① 把 a 针顶部的（n – 1）个金片搬到 b 针上；

② 把 a 针底部的一个金片搬到 c 针上；

③ 再把 b 针上（n – 1）个金片搬到 c 针上。

要想“把 a 针顶层的（n – 1）个金片搬到 b 针上”，只需重复上述三步，所不同的只是金片原位置、目标位置略有变化以及每次所要移动的金片数量都会比前一次少 1。金片数 n 的变化用赋值语句表示，即：n = n – 1。当 n = 0 时，满足边界条件，程序终止。

算法具体描述如下：

目标：move(N, A, B, C)

步骤：

① if N=0 then 退出程序；

② 调用 move(N–1, A, C, B)；

③ 输出“移动一个金片从 <A> 到 <C>”；

④ 调用 move(N–1, B, A, C)。

说明：

算法中大写的字母表示变量，不同层上操作时其值可能不同。步骤③中 <A>、<C> 表示输出内容应为 A、C 的当前值（针名），而不一定是字符 a、c。

微信公众号：电子课本大全

4. 程序设计

下面给出解决 N 阶汉诺塔问题的程序。

```
predicates
  hanoi(integer)
  move(integer,symbol,symbol,symbol)
  inform(symbol,symbol)
clauses
  hanoi(N):- move(N,left,center,right).                                    /*1*/
  move(0,_,_,_):- !.                                                       /*2*/
  move(N,A,B,C):- M=N-1,move(M,A,C,B),inform(A,C),move(M,B,A,C).           /*3*/
  inform(X,Y):-write( "move a disc from the",X, "pole to the",Y, "pole"),nl. /*4*/
```

这些语句及其中的谓词功能如下：

谓词 hanoi 只有一个整型参数，表示问题的阶。

谓词 move 有 4 个参数，第一个参数是整型，表示要移动的金片数，第二个参数为源针位置，第三个参数为目标针位置，第四个参数为过渡针位置。后三个参数均为符号型。

谓词 write 是一个系统内部谓词，其参数通常为字符串型数据，即要输出的信息内容。

谓词 inform 有 2 个符号型参数，第一个参数为源针位置，第二个参数为目标针位置。

在程序中三根金针分别标记为 left（左针）、center（中针）、right（右针）。

语句 1：解 N 阶汉诺塔问题，需将 N 个金片从左针经中针移至右针。

语句 2：定义移动金片操作的边界条件，当 N=0 时，操作终止。

语句 3：将 N 阶问题分解为两个（N-1）阶和一个 1 阶子问题，再递归调用谓词 move。

语句 4：谓词 inform 利用 write 语句输出动作轨迹（即移动金片所涉及的针）。

本节介绍了两个运用递归算法解决问题的实例。递归并不是 Prolog 所特有的思想，很多程序语言都涉及递归思想，但可以说，很少有一种语言能像 Prolog 这样，能够淋漓尽致地展现递归思想的无穷魅力，递归思想是 Prolog 语言的基础。

配套光盘的“课本素材\程序”文件夹中有这段程序（kbsc\program\hanoi.pro）。



1. 在计算机上运行汉诺塔问题程序，敲入命令行：

```
?-hanoi(3).
```

按回车键，看看程序输出什么结果，代表什么意思，将结果填在表 4-2-4 中。

微信公众号：电子课本大全

表 4-2-4　程序输出结果与解释

	输出语句	文字解释
1		
2		
3		
4		
5		
……		

2．用递归方法求 1 到 N 的所有正整数之和。如 N=5 时，其和为 1+2+3+4+5=15。定义谓词 sum_to(N, S)，表示 1 到 N 的所有正整数之和为 S。

写出求和的递归程序，并在计算机上进行调试，完成后保存到电子学习档案袋的“我的作品”中。

3．递归方法不仅可以用于计算数值，还可以用来解决生活中的问题。思考一下，在我们的生活中，有哪些问题是可以用递归思想解决的。



中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全



第三节 经典智能问题

本节介绍启发式搜索的概念，并利用启发式搜索重解九宫格问题。

在第二单元，我们学习了如何运用状态空间表示法解九宫格问题，并且知道了求解状态空间问题的两种策略：深度优先搜索和广度优先搜索。

一 深度优先搜索解九宫格问题

现在，我们设计一个 Prolog 程序，实现用深度优先搜索策略解九宫格问题的过程。



1 下面的程序包含了定义数据类型、定义谓词和一条事实的语句，请参照第二单元的图 2-2-9，添加其余的事实语句，将程序补充完整。最后运行程序，记录问题的解。

说明：程序中的谓词 arc(X, Y) 表示节点 X 和 Y 之间有连线，谓词 go(X, Y) 表示搜索从节点 X 到 Y 的路。

```
domains
node=symbol              /*node 表示 symbol 型数据 */
predicates
arc(node, node)          /* 说明谓词 arc 的两个参数都是 symbol 型 */
go(node, node)           /* 说明谓词 go 的两个参数都是 symbol 型 */
clauses
arc(a, b).
_____________________
_____________________
_____________________
_____________________
_____________________
_____________________
_____________________
_____________________
_____________________
go(X, X):-!   /* 起始节点与目标节点是同一节点，则搜索成功，程序终止。*/
                         /* "!" 表示匹配成功，不再继续搜索 */
```


微信公众号：电子课本大全

```
go(X, Y):-_____    /* 在知识库中搜索是否存在一个中间节点 Z*/
                   /* 从节点 X 可以到达 Z，并且从 Z 可以到达目标节点 Y*/
```

二　启发式搜索

无论是广度优先还是深度优先搜索，都没有涉及具体问题的特定信息，只是约定了一种搜索节点的顺序，这样的搜索方法称为盲目搜索。显然，盲目搜索耗费的时间多，占用计算机存储空间大。

例如，用状态空间表示法描述九宫格问题，共有 9!=362880 种不同的状态。对于如此庞大的状态空间，如果采用盲目搜索方法寻找一条通往目标的路径，实践起来有很大的难度。所以必须寻找一种更有效的搜索方法。

启发式搜索能利用问题本身的特定信息，更有效地解决问题。

在学习启发式搜索的基本概念之前，我们先来玩一个游戏。



2　打开配套光盘，在“课本素材”中的“游戏”（kbsc\game）文件夹中找到“井字棋”游戏。和机器过过招，比一比，看看谁的战绩好，并将成绩填到表 4-3-1 中。

“井字棋”游戏是在一个 3 格 ×3 格的棋盘上对弈，双方分别执棋子“×”“o”，轮流往空格上放一枚棋子，哪一方先使自己的棋子“三子成一线”（一行、一列或一条对角线全是一方的棋子），就获胜；无一方实现“三子成一线”，则为平局。

双击游戏程序，选择【你的符号】，然后单击【新游戏】按钮（如图 4-3-1）所示，就可以在窗口左侧的九宫格中和机器对弈了。

为了便于在表中填写“第一步落子位置”，我们将棋盘的九个格标上数字（如图 4-3-2 所示）。同学们直接将代表棋盘格的数字填到表中即可。

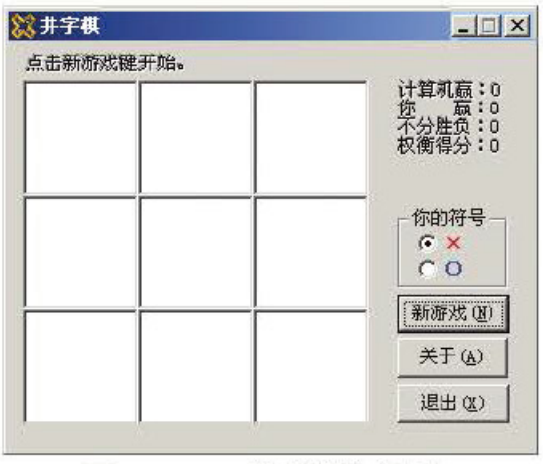

图 4-3-1　井字棋游戏程序

微信公众号：电子课本大全



图 4-3-2 位置标记

表 4-3-1 井字棋战绩表 1

局数	胜负关系	第一步落子位置
第一局		
第二局		
第三局		
第四局		
第五局		
总计		



3 再与机器过过招，每一局第一步都将棋子放到九宫格中间的格中，并将战绩填到表 4-3-2 中。同任务 2 比较一下，同学们得到了什么启发？

表 4-3-2 井字棋战绩表 2

局数	胜负关系	第一步落子位置
第一局		5
第二局		5
第三局		5
第四局		5
第五局		5
总计		

不难发现，把棋子放到棋盘中间的单元格，获胜的几率最大。如果让机器也能作出这个判断，就需要利用启发信息。

1. 启发信息

搜索过程的关键是评价将要处理的节点中，通过哪个节点能更快到达目标。经验告诉我们，必须具体问题具体分析，找出问题的特性信息，再根据这些信息评价各个节点到达

微信公众号：电子课本大全

目标的可能程度，由此引导搜索，这样的特性信息称为启发信息。

2. 启发式搜索

利用启发信息引导搜索，达到减少搜索范围、降低问题复杂度的目的，称为启发式搜索。

为了使计算机能够实施启发式搜索，常常需要依据问题的特性信息定义一个函数，用函数值来量化对节点的评价。

三 用启发式搜索策略重解九宫格问题

下面通过解九宫格问题来了解启发式搜索的解题过程。

首先对九宫格问题定义一个函数 f(n)，形式为：f(n)=d(n)+w(n)。

d(n) 表示节点 n 所在的层数，w(n) 表示在状态 n 下不在目标位置的数码个数。根据 f(n) 的值可以估计出通向目标节点的可能性，f(n) 越小，到达目标节点的路径越短。因此，在搜索过程中选择 f(n) 值最小的节点优先处理。图 4-3-3 是利用函数 f(n) 的启发式搜索图，节点旁边圆圈内的数字是其函数值。

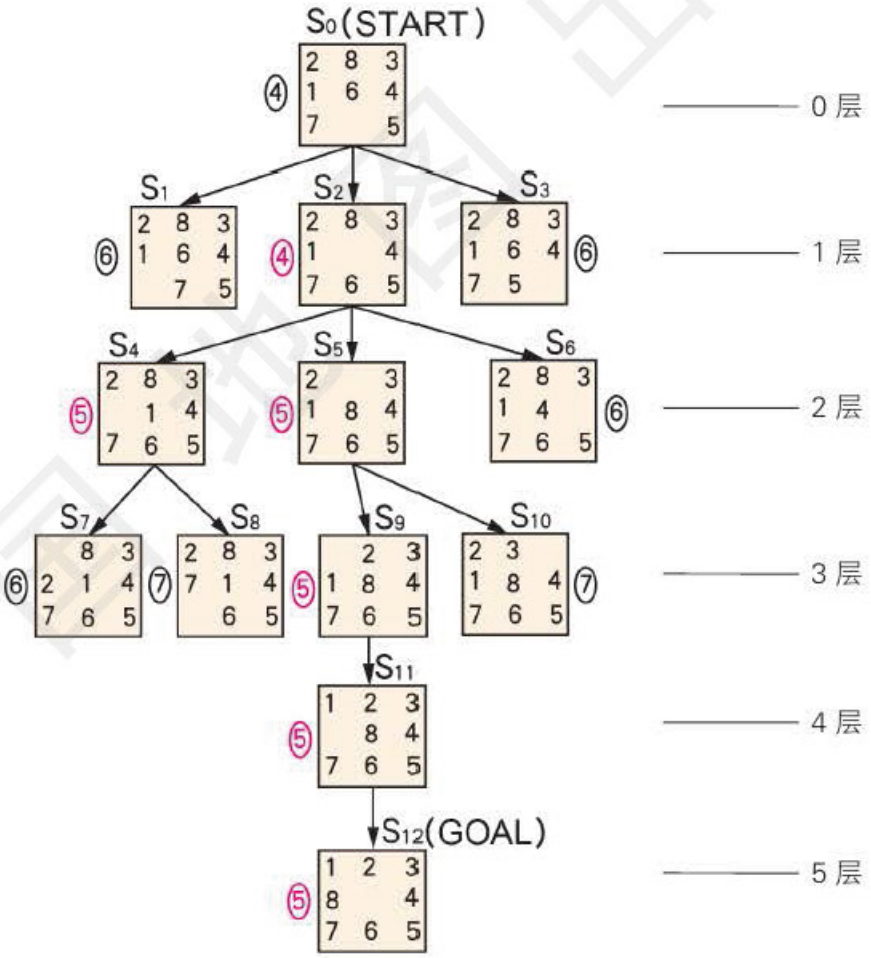

图 4-3-3　九宫格问题启发式搜索图

下面解释图中第一层为什么要优先扩展 S2：

在第一层有 3 个节点，S1、S2 和 S3，因此 d(S1)= d(S2)= d(S3)=1。

微信公众号：电子课本大全

节点S1状态下不在目标位置的数码有5个，它们是“1”“2”“6”“7”“8”，故$w(S_1)=5$，所以$f(S_1)=1+5=6$。

节点S_2状态下不在目标位置的数码有3个，它们是“1”“2”“8”，故$w(S_2)=3$，所以$f(S_2)=1+3=4$。

节点S_3状态下不在目标位置的数码有5个，它们是“1”“2”“5”“6”“8”，故$w(S_3)=5$，所以$f(S_3)=1+5=6$。

由于$f(S_2)< f(S_1)= f(S_3)$，因此优先扩展节点S_2。

利用启发式搜索，只需在每一层中寻找函数值最小的节点（图中红色数字标记的节点）进行扩展（处理），就能找到问题的解。九宫格问题的解题搜索路径为S_0(START)→S_2→S_5→S_9→S_{11}→S_{12}(GOAL)。



1. 仿照图4-3-3，参照第二单元第二节中九宫格问题的状态空间图（图2-2-4），利用公式f(n)=d(n)+w(n)计算出每个节点的估价函数值，写出搜索路径。

2. 利用启发信息求解问题是一种高效的方法。这种思想在我们的实际生活中是否具有利用价值呢？回答是肯定的。例如我们从北京出发到海南去旅游。在设计行程计划前，先要搜集有关信息，如北京到海南的各种交通工具的价格、班次、行程时间，海南地区的温度、降雨等气候状况，海南地区的历史古迹、风景名胜概括等……综合考虑这些启发信息，才能设计出最好的行程方案。开动脑筋，试着举出更多的例子。

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

第四节 数据库查询问题

本节，我们用 Prolog 语言设计一个小型学生选课管理系统，亲历开发智能系统的过程，利用我们所学的知识来解决一些实际问题。

在前面几个单元，我们已经初步体验了人工智能的魅力。现在，让我们一起来完成一项任务——设计一个小型学生选课管理系统。



用 Prolog 设计一个小程序——小型学生选课管理系统。要求：该系统可存储高中信息技术选修课程的相关信息，能快速查询某个学生选择的全部课程和相关成绩以及选择了某门课程的全体学生的信息。

注：系统名称中的“小型”一词，指在实验过程中只需通过少量数据即可模拟系统的功能。

开发一个软件系统一般需要经过五个阶段：问题定义、需求分析、系统设计、程序设计、软件测试。

- 问题定义阶段：确定软件的开发目标及其可行性。
- 需求分析阶段：对软件需要实现的各个功能进行详细需求分析。
- 系统设计阶段：对软件系统进行总体设计和详细设计，如系统框架设计、数据库设计等。
- 程序设计阶段：将软件设计的结果转化为计算机可运行的程序代码。
- 软件测试阶段：对编写好的软件进行严格的测试，以便发现问题并加以纠正。

让我们遵循软件开发流程，采用“各个击破”的战术，来完成这个任务。

一 问题定义

在这个阶段，我们要做下面几件事。

1. 组织研发小组

确定小组人员，并明确每个组员的任务。每个小组应该有一名组长，负责人员组织和任务安排；组员则根据情况，分别负责系统设计、程序设计、软件测试等工作，可以根据需要增减人员。

微信公众号：电子课本大全

任务 1 推选组长，明确组内分工（每个职务可以是一人，也可以是若干人，而一个人也可以同时担任几个职务），并将小组分工情况填入表 4-4-1 中。

作为一个研发小组，人员要尽量精简，建议每组不要超过 6 人。组长既要知人善任，又要有一定的管理才能。每位组员要有相关领域的专业知识，还要有协作精神，与其他组员共同完成研发任务。

表 4-4-1 研发小组成员及分工

人员 / 组名	组长	系统设计师	程序设计工程师	系统测试工程师	其他人员
第 1 小组					
第 2 小组					
第 3 小组					
第 4 小组					
第 5 小组					
第 6 小组					
第 7 小组					
第 8 小组					
……					

2. 明确设计目标

研发小组进行讨论，讨论的内容主要包括：软件系统要解决什么问题，应用范围和适用人群，项目的主要特征、相应的知识结构、问题的类型和范围，以及现有的条件和技术能否实现预定的目标。

任务 2 以小组为单位，讨论表 4-4-2 中的问题 1 和问题 3，并将结论填入表中。

注：系统功能不限于本节活动描述的两项查询功能，大家可发挥创造力，丰富系统的功能。

表 4-4-2 问题定义及需求分析

问题		结论
1	技术可行性	
2	应用范围和适用人群	
3	系统要解决的问题	
4	需要处理哪些数据	
5	系统功能描述 （即系统能回答哪些问题）	

微信公众号：电子课本大全

二 需求分析

研发小组进一步讨论系统的用户对象和使用范围，细化系统功能，即将系统设计目标划分为若干小目标，制定每个目标完成的期限，并指定目标负责人。



3 以小组为单位，讨论表 4-4-2 中的问题 2、4、5，并将结论填入表中。

三 系统设计

1. 确定推理机制

我们所开发的系统的查询功能是建立在推理基础之上的，它不同于一般的数据库应用系统。因此，系统设计阶段的任务首先是确定描述问题的关键概念：关系和推理机制。

Prolog 程序的查询采用逆向推理机制，即从用户提出的问题出发，自上向下逐条与事实或规则匹配。

2. 整理、描述事实和规则

系统要存储的数据（即已知的事实）包括学生信息、课程信息和学生选课信息。这些事实采用二维表描述，见表 4-4-3、表 4-4-4 和表 4-4-5 所示。规则采用“（结论）IF（条件）”的格式描述。



4 设计并填写表 4-4-3、表 4-4-4 和表 4-4-5 中的数据，每表不少于 20 行，填写时要注意数据的合理性。

表 4-4-3　学生表

	学生学号	学生姓名	学生所在班级
1			
2			
……			
20			
……			

表 4-4-4　课程表

	课程号	课程名	任课教师
1			
2			
……			
20			
……			

微信公众号：电子课本大全

表 4-4-5 学生选课表

	学生学号	课程名	成绩
1			
2			
……			
20			
……			

四 程序设计

程序设计阶段的任务是将列出的事实和规则写成 Prolog 语句，输入计算机。



5 确定选课管理系统两项查询任务所需要的谓词和规则，并用 Prolog 语言表示出来，填入表 4-4-6 和表 4-4-7 中。

表 4-4-6 查询系统谓词

序号	谓词	含义
谓词 1		
谓词 2		
谓词 3		
……		

表 4-4-7 查询系统规则

序号	描 述	
规则 1	一般格式	
	Prolog 语句	
规则 2	一般格式	
	Prolog 语句	
规则 3	一般格式	
	Prolog 语句	
……		

提示：配套光盘里的动物识别专家系统示例程序可帮助我们完成任务。修改、调试、运行光盘中示例程序的步骤如下：

① 将配套光盘中“课本素材\程序”(kbsc\program)文件夹里的文件“inquiry.pro”拷贝到 Prolog 程序所在文件夹下。

② 运行 Prolog 程序，按〈F3〉键，输入程序名称“inquiry.pro”后按〈回车〉键。

③ 按〈Alt+R〉键运行程序，在“Dialog”窗口中的“Goal：”后面敲入“inquiry(X)”后按〈回车〉键。其中 X 为查询对象，例如：inquiry(tiger)。

④ 回答系统提出的问题。每回答一个问题，按〈回车〉键，观察运行结果。

微信公众号：电子课本大全

⑤ 按〈Alt+E〉键，进入编辑环境或者用“记事本”程序打开“inquiry.pro”文件。

⑥ 在“predicates”段，用表 4-4-6 选课管理系统的谓词替代动物识别专家系统的谓词。

⑦ 在“clauses”段，用表 4-4-7 中的规则替换动物识别专家系统的规则。

⑧ 运行程序，检查系统规则的正确性。

注意：由于所用的 Prolog 版本不支持中文，所以程序代码应全部用英文。对于一些生僻的英文单词，可以查阅本书所附的中英文对照表。

五 软件测试

一个好的系统要经得起反复的推敲和测试，一般情况下，至少应进行两次测试：

① 开发人员和专家用实际问题验证系统（α 测试）。

② 请一些用户使用并验证系统（β 测试）。

根据测试结果，排除程序错误，修改系统源代码，完善系统功能，最后才能用于解决实际问题。



6　成果验收。我们已经开发完成了一个小型学生选课管理系统，现在让我们来看一看，哪个小组做得最好。

（1）小组自评

分值分配，见表 4-4-8。

表 4-4-8　各表的分值分配

任务	表 4-4-2	表 4-4-3	表 4-4-4	表 4-4-5	表 4-4-6	表 4-4-7
分值	20	10	10	10	20	30

评分方法：小组每位组员在各自的评分表（表 4-4-9）上为本组各项任务完成情况打分，并算出总分；再由组长汇总小组成员算出的总分，除以组员人数，求出平均分，作为小组的自评分。

表 4-4-9　小组自评评分

项目 / 组名	任务 1	任务 2	任务 3	任务 4	任务 5	总分
第 1 小组						
第 2 小组						
第 3 小组						
第 4 小组						
第 5 小组						
第 6 小组						
第 7 小组						
第 8 小组						
……						

微信公众号：电子课本大全

（2）小组互评

评价标准见表 4-4-10。

表 4-4-10 小组互评标准

项目 / 级别	任务完成情况	团队精神	信息资源
非常好	40	30	30
较好	35	25	25
一般	30	20	20
需努力	25	15	15

评分方法：各组之间在各自的评分表（表 4-4-11）上为其他组打分，并算出总分；再由老师算出全班各组对某小组的总评分，除以小组数得出平均分，作为该小组的互评分。

表 4-4-11 小组互评评分

项目 / 组名	任务完成情况	团队精神	信息资源	总分
第 1 小组				
第 2 小组				
第 3 小组				
第 4 小组				
第 5 小组				
第 6 小组				
第 7 小组				
第 8 小组				
……				

（3）教师评分

评价标准见表 4-4-12 所示。

表 4-4-12 教师评分标准

项目 / 级别	任务完成情况	团队精神	信息资源
非常好	40	30	30
较好	35	25	25
一般	30	20	20
需努力	25	15	15

评分方法：教师给各组打分，填入表 4-4-13 中。

微信公众号：电子课本大全

表 4-4-13　教师评分

项目 / 组名	任务完成情况	团队精神	信息资源	总分
第 1 小组				
第 2 小组				
第 3 小组				
第 4 小组				
第 5 小组				
第 6 小组				
第 7 小组				
第 8 小组				
……				

（4）小组综合成绩和个人综合成绩

评分方法：小组综合成绩 = 小组自评分 ×20% + 小组互评分 ×40% + 教师打分 ×40%。根据此评分方法完成表 4-4-14。

表 4-4-14　小组综合成绩

人员 / 组名	小组自评	小组互评	老师打分	总分	排名	优良等级
第 1 小组						
第 2 小组						
第 3 小组						
第 4 小组						
第 5 小组						
第 6 小组						
第 7 小组						
第 8 小组						
……						

按综合成绩给各组排定名次，按名次评定各小组优良等级。

个人综合成绩 = 所在小组优良等级 + 个人表现等级分。

个人表现加分由老师根据组员在整个项目中的表现，予以评估给出。

小资料

Visual Prolog

Prolog 语言是人工智能与专家系统领域最著名的逻辑程序设计语言，而 Visual Prolog 则是基于 Prolog 语言的可视化集成开发环境，是 Prolog 开发中心推出的基于 Windows 环境的智能化编程工具。

微信公众号：电子课本大全

Visual Prolog 能够满足构建大型应用程序的一切需要。它具有模式匹配、递归、回溯、对象机制、事实数据库和谓词库等强大功能；它提供图形开发环境，包括对话框、菜单、工具栏等若干编码专家和图形编辑器，提供编译器、连接器和调试器；它支持模块化和面向对象的程序设计，支持系统级编程，文件操作、字符串处理、位级运算、算术与逻辑运算，提供与其他编程语言的接口；它包含一个大型库，捆绑了范围广阔的 API 函数，包括 Windows GUI 函数族、ODBC/OCI 数据库函数族和 Internet 函数族（socket、ftp、http、cgi 等）；它能运行于多种系统平台，包括 DOS、Windows3.x/95/98/Me/NT/2000/XP、OS/2、Linux 以及 SCO UNIX。

Visual Prolog 非常适合于专家系统、各类规划和其他与人工智能有关问题的求解，是智能程序设计语言中具有代表性且应用较多的一种语言。由于这种语言很适合表达人的思维和推理规则，因此在自然语言理解、机器定理证明、专家系统等方面得到了广泛的应用。Visual Prolog 不仅是优秀的智能化应用开发工具，而且已经成为适用于很多应用领域的强有力的通用开发工具，包括数据库和 Web 在内的许多大型应用软件都可以用它轻松地开发。



Prolog 语言不但具有模式匹配、递归、回溯等功能，而且具有事实数据库的强大功能。Prolog 以关系数据库为基础，程序中的一组事实语句构成二维表形式的关系数据库，因此，使用 Prolog 可以更方便地处理数据。

（1）用你学习过的其他程序设计语言（如 SQL、VFP、Basic、C）实现本节的数据库查询功能。在此基础上，对不同的解决方案进行比较，归纳这些语言各自的优势与劣势。

（2）谈谈你对“Prolog 以关系数据库为基础”这句话的认识。

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

重要术语中英文对照表

	中文	英文
B	表处理	List Processing，LISP
	博弈	Game Playing
C	C语言集成的产生式系统	C Language Implemented Production System，CLIPS
	操作符	Operator
	槽	Slot
	产生式规则	Production Rule
F	符号主义	Symbolicism
G	规则	Rule
	规则集	Rule Sets，RS
J	机器翻译	Machine Translation，MT
	节点	node
K	框架	Frame
L	逻辑程序设计语言	Programming in Logic，Prolog
N	脑图	Mind-mapping
	逆向推理	Backward Chaining
R	人工智能	Artificial Intelligence，AI
S	事实	Fact
	手段—目的分析法	Mean-ends Analysis
T	通用问题求解程序	General Problem Solver，GPS
	图灵奖	Turing Award
	推理机	Inference Engine
X	询问	Query
Z	正向推理	Forward Chaining
	知识库	Knowledge Base
	智能代理	Intelligent Agent
	状态	State
	状态空间图	State Space Chart

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

中国地图出版社

微信公众号：电子课本大全

责任编辑　沈万君
美术编辑　张　萌　　李　伟

中国地图出版社



书　　号　ISBN 978-7-5031-527114
批 准 文 号　　举报电话：12358

定价：　　元
（含光盘定价：5.00元）

微信公众号：电子课本大全