

人工智能

第一章 人工智能概述

1.1 人工智能的基本概念

1.1.1 智能的概念

不同观点

- 思维理论：智能来源于思维活动，智能的核心是思维，人的一切知识都是思维的产物。可望通过对思维规律和思维方法的研究，来揭示智能的本质。
- 知识阈值理论：智能取决于知识的数量及其可运用程度。一个系统所具有的可运用知识越多，其智能就会越高。
- 进化理论：智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，智能不需要知识、不需要表示、不需要推理，智能可由逐步进化来实现。

层次结构

- 高层智能：以大脑皮层为主，主要完成记忆、思维等活动。（思维理论，知识阈值理论）
- 中层智能：以间脑为主，主要完成感知活动。（进化
- 低层智能：以小脑、脊髓为主，主要完成动作反应活动。理论）

智能包含的能力

- 感知能力：通过感知器官感知外界的能力。

感知方式

- 感知--动作：对简单、紧急信息
- 感知--思维--动作方式：对复杂信息
- 记忆能力：对感知到的外界信息和由思维产生的内部知识的存储过程
- 思维能力：对已存储信息或知识的本质属性、内部知识的认识过程

思维方式

- 抽象思维（逻辑思维）：根据逻辑规则对信息和知识进行处理的理性思维方式
- 形象思维（直感思维）：基于形象概念，根据感性形象认识材料对客观现象进行处理的一种思维方式。
- 灵感思维（顿悟思维）：是一种显意识和潜意识相互作用的思维方式。
- 学习能力：是一个具有特定目的的知识获取过程，学习是人的一种本能。
- 自适应能力：是一种通过自我调节适应外界环境的过程，是人的一种本能。
- 行为能力：是人们对感知到的外界信息作出动作反应的能力。

强人工智能：- 有可能制造出真正能推理和解决问题的智能机器，并且它将被认为是有知觉的，有自我意识的，分为类人的人工智能、非类人的人工智能

弱人工智能：- 不可能制造出能真正地推理和解决问题的智能机器，这些机器只不过看起来像是智能的，但是并不真正拥有智能，也不会有自主意识。

人工智能的最终目标：探讨智能形成的基本机理，研究利用自动机模拟人的思维过程

人工智能的近期目标：研究如何使计算机去做那些靠人的智力才能做的工作

1.2 人工智能的产生与发展

世界上第一个人工神经网络模型（MP模型）：1943年美国神经生理学家麦卡洛克、皮茨

达特茅斯会议（1956年）：首次提出人工智能（AI）这个概念：麦卡锡、明斯基、罗切斯特、香农

费根鲍姆提出“知识工程”概念

图灵测试是图灵在1950年在论文中《计算机与智能》中提出的

1.4 人工智能研究中的不同学派

模拟人的心智———《符号学派———》知识表示（宏观）专家系统

模拟脑的结构———《联结学派———》神经网络（微观）

模拟人的行为———《行为学派———》机器人（依赖于生物学，将机理变为可计算的模型）

- 符号主义 功能模拟 构造能够模拟大脑功能的智能系统。相当于“鸟飞”
- 联结主义 结构模拟 构造模拟大脑结构的神经网络系统。相当于“飞鸟”
- 行为主义 行为模拟 构造具有进化能力的智能系统。相当于“由猿到人”

1.5 人工智能的研究和应用领域

人工智能的研究领域划分

- 符号智能
- 计算智能
- 机器学习
- 机器感知

1.5.1 机器思维

推理：

- 确定性推理
理论基础为一阶经典逻辑（一阶命题逻辑和一阶谓词逻辑）
 - 直接运用一阶逻辑中的推理规则进行的自然演绎推理
 - 基于鲁宾逊归结原理的归结演绎推理
 - 基于产生式规则的产生式推理
- 不确定性推理

理论基础为非经典逻辑和概率理论等

- 基于可信度的确定性理论
- 基于Bayes公式的主观Bayes方法
- 基于概率的证据理论
- 基于模糊逻辑的可能性理论

搜索

- 基于搜索空间的方法
 - 状态空间搜索
 - 与或树搜索
 - 博弈树搜索
- 基于随机算法的搜索
 - 基于演化机理的进化搜索（遗传算法）
 - 基于免疫优化的免疫算法
 - 基于种群优化的蚁群算法、粒群算法

1.5.7 智能系统

专家系统

专家系统是一种基于知识的智能系统，其基本结构由知识库、数据库、推理机、解释模块、知识获取模块和人机接口

第二章 确定性知识系统

2.1 确定性知识系统概述

知识系统是一种拥有知识并且可以使用知识进行推理的智能系统。知识系统的构建涉及两大基本技术：**知识表示、知识推理**

确定性知识表示概述

- 按照符号主义的观点：
 - 知识是一切智能行为的基础
 - 要使计算机具有智能，首先必须使它拥有、并且能够使用知识。
- 知识表示与知识推理
- 知识系统
 - 指基于知识表示和知识推理所形成的智能系统。
 - 确定性知识系统与不确定性知识系统

数据——》信息——》知识

- 数据与信息
 - 用一组符号及其组合表示的信息称为数据
 - 数据是记录信息的符号，是信息的载体和表示
 - 信息是对数据的解释，在特定场合下的具体含义
- 信息与知识
 - 把有关信息关联在一起所形成的信息称为知识
 - 它是人类在长期的生活及社会实践、科学研究及实验中积累的认识与经验
- 有格式的数据经过处理、解释过程会形成信息，有关的信息关联到一起，经过处理过程形成知识

知识的类型

- （按）作用范围（分）
 - 常识性知识和领域性知识
- 作用及表示
 - 事实性知识（零级）
 - 过程性知识（一级）
 - 控制性知识（二级）
 - 元知识
- 确定性 - 确定性知识 - 不确定性知识
- 人类的思维及认识方法
 - 逻辑性知识
 - 形象性知识

知识的特点

- 相对正确性

- 不确定性
- 可表示性
- 可利用性

知识表示是对知识的描述，即用一组符号把知识编码成计算机可以接受的某种结构。其表示方法不唯一。

- 表示能力（能否正确、有效地表示出来）
- 可利用性
- 可组织性与可维护性
- 可理解性与可实现性
- 按知识的不同存储方式：
 - 陈述性知识：知识用某种数据结构来表示；知识本身和使用知识的过程相分离
 - 非结构化方法：
 - 一阶谓词逻辑
 - 产生式规则
 - 结构化方法：
 - 语义网络
 - 框架
 - 其它方法：
 - 状态空间法
 - 问题归约法
 - 过程性知识：知识和使用知识的过程结合在一起。

2.1.2 确定性知识推理概述

基础为经典逻辑：一阶命题逻辑和一阶谓词逻辑

推理分类

- 按推理的逻辑基础
 - 归纳推理（由个别到一般）
 - 按示例广泛性
 - 完全归纳
 - 不完全归纳
 - 按使用的方法
 - 枚举归纳
 - 类比归纳
 - 统计归纳
 - 演绎推理（以三段论为基础）（由一般到个别）
 - 默认推理
- 按推理的单调性
 - 单调推理是指推理过程中随着推理的向前推进及新知识的加入，推出的结论呈单调增加趋势。
 - 非单调推理是指推理过程中随着推理的向前推进及新知识的加入，不仅没有加强已推出的结论，反而否定它，使推理退回某一步重新开始。
- 按知识的确定性
 - 确定性推理（产生式推理，自然演绎推理，归结演绎推理）

指在推理过程中所用的知识都是精确的，经典逻辑属于这一种

- 不确定性推理（可信度推理，主观Bayes推理，证据理论，模糊推理，概率推理）

指在推理过程中多用的知识都是精确的，

- 按推理的控制策略
 - 推理策略（方向、求解、限制、消解等）
 - 搜索策略（线路、效果、效率等）

2.2 确定性知识表示方法

2.2.1 谓词逻辑表示法

- 命题
 - 断言：一个陈述句称为一个断言
 - 命题：具有真假意义的断言称为命题。

- 论域

论域是由所讨论对象之全体构成的非空集合，它可以是无限集

- 命题由谓词表示，谓词由谓词名和个体组成

其一般形式为： $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$

- P 是谓词名，它的含义由人为定义。
- x_1, x_2, \dots, x_n 称为个体，通常用小写字母表示。
- 个体的数目称为它的元数， P 称为 n 元谓词。
- 个体可以是常量、变元、函数及谓词。
- 若 x_i 都是个体常量、变元或函数，则称 P 为一阶谓词，若 x_i 又是一阶谓词，则称 P 为二阶谓词，以此类推。

谓词是 D_n 到 $\{T, F\}$ 的映射，函数是 D_n 到 D 的映射 谓词的真值是 T 和 F ，函数的值（无真值）是 D 中的元素 谓词可独立存在，函数只能作为谓词的个体

- 连接词和量词

一阶谓词逻辑有5个连接词和2个量词，由于命题逻辑可看成谓词逻辑的一种特殊形式，因此谓词逻辑中的5个连接词也适用于命题逻辑，但2个量词仅适用于谓词逻辑。

- 辖域与变元分类

位于量词后面的原子谓词或者用括号括起来的合适公式称为该量词的辖域。辖域内与量词中同名的变元称为约束变元，其它变元称为自由变元。

谓词公式中的变元可以换名。但需注意：

第一：对约束变元，必须把同名的约束变元都统一换成另外一个相同的名字，且不能与辖域内的自由变元同名。

第二：对辖域内的自由变元，不能改成与约束变元相同的名字。

谓词逻辑表示的特征

主要优点

- 自然：一种接近于自然语言的形式语言系统
- 明确：有一种标准的知识解释方法
- 精确：谓词逻辑的真值只有“真”与“假”
- 灵活：知识和处理知识的程序是分开的
- 模块化：知识之间相对独立

主要缺点

- 知识表示能力差：不能表示非确定性知识
- 知识库管理困难：缺乏知识的组织原则
- 存在组合爆炸：难以表示启发式知识
- 系统效率低：它把推理演算与知识含义截然分开

2.2.2 产生式表示法

三段论、专家系统最基本的结构

- 事实

事实是断言一个语言变量的值或断言多个语言变量之间关系的陈述句。

语言变量的值：例如，“雪是白的”

语言变量之间的关系：例如，“王峰热爱祖国”

事实的表示方法

- (对象, 属性, 值)
- (关系, 对象1, 对象2)
- 规则

规则的基本形式：IF P THEN Q 或者 $P \rightarrow Q$

产生式表示的特性：

- 主要优点
 - 自然性：采用“如果……，则……”的形式，人类的判断性知识基本一致。
 - 模块性：规则是规则库中最基本的知识单元，各规则之间只能通过综合数据库发生联系，而不能相互调用，从而增加了规则的模块性。
 - 有效性：产生式知识表示法既可以表示确定性知识，又可以表示不确定性知识，既有利于表示启发性知识，又有利于表示过程性知识。
- 主要缺点
 - 效率较低：各规则之间的联系必须以综合数据库为媒介。并且，其求解过程是一种反复进行的“匹配—冲突消解—执行”过程。这样的执行方式将导致执行的低效率。
 - 不便于表示结构性知识：由于产生式表示中的知识具有一致格式，且规则之间不能相互调用，因此那种具有结构关系或层次关系的知识则很难以自然的方式来表示。

2.2.3 语义网络表示法

语义网络是一种用实体及其语义关系来表达知识的有向图。

结点：代表实体，表示事物、概念、情况、属性、状态、事件、动作等

弧：代表语义关系，表示所连两个实体之间的语义联系，必须带有标识

- 语义基元

语义网络中最基本的语义单元称为语义基元，可用三元组表示为：(结点1, 弧, 结点2)

- 基本网元

指一个语义基元对应的有向图，是语义网络中最基本的结构单元

- 实例关系：ISA

体现的是“具体与抽象”的概念，含义为“是一个”，表示一件事物是另一件事物的一个实例。例“李刚是一个人”

- 分类关系：AKO

也称泛化关系，体现的是“子类与超类”的概念，含义为“是一种”，表示一个事物是另一个事物的一种类型。例“机器人是一种机器”

- 成员关系：A-Member-of

体现的是“个体与集体”的关系，含义为“是一员”，表示一个事物是另一个事物的一个成员。例“张强是共青团员”

- 属性关系 指事物和其属性之间的关系。常用的有：

- Have：含义为“有”，表示一个结点具有另一个结点所描述的属性
- Can：含义为“能”、“会”，表示一个结点能做另一个结点的事情

例如：“鸟有翅膀”

- 包含关系（聚类关系）

指具有组织或结构特征的“部分与整体”之间的关系。常用的包含关系是：

Part-of：含义为“是一部分”，表示一个事物是另一个事物的一部分。

语义网络的基本推理过程

语义网络的推理过程主要有两种，一种是继承，另一种是匹配。

语义网络表示的特征

- 主要优点：

- 结构性 把事物的属性以及事物间的各种语义联系显式地表示出来，是一种结构化的知识表示方法。在这种方法中，下层结点可以继承、新增、变异上层结点的属性。
- 联想性 本来是作为人类联想记忆模型提出来的，它着重强调事物间的语义联系，体现了人类的联想思维过程。
- 自然性 语义网络可以比较直观把知识表示出来，符合人们表达事物间关系的习惯。

- 主要缺点：

- 非严格性 没有象谓词那样严格的形式表示体系，一个给定语义网络的含义完全依赖于处理程序对它所进行的解释，通过语义网络所实现的推理不能保证其正确性。
- 复杂性 语义网络表示知识的手段是多种多样的，这虽然对其表示带来了灵活性，但同时也由于表示形式的不一致，使得它的处理增加了复杂性

2.2.4 框架理论

框架理论是明斯基于1975年作为理解视觉、自然语言对话及其它复杂行为的一种基础提出来的。

它认为人们对现实世界中各种事物的认识都是以一种类似于框架的结构存储在记忆中的，当遇到一个新事物时，就从记忆中找到一个合适的框架，并根据新的情况对其细节加以修改、补充，从而形成对这个新事物的认识。例如，对饭店、教室等的认识。

框架表示的特性

- 框架表示法的优点

- 结构性：最突出特点是善于表示结构性知识，它能够把知识的内部结构关系以及知识间的特殊联系表示出来。
- 深层性：框架表示法不仅可以从多个方面、多重属性表示知识，因此能用来表达事物间复杂的深层联系。

- 继承性：在框架系统中，下层框架可以继承上层框架的槽值，这样既减少知识冗余，又较好地保证了知识的一致性。
- 自然性：框架能把与某个实体或实体集相关特性都集中在一起，从而高度模拟了人脑对实体多方面、多层次的存储结构，直观自然，易于理解。
- 框架表示法的不足
 - 缺乏框架的形式理论：至今，还没有建立框架的形式理论，其推理和一致性检查机制并非基于良好定义的语义。
 - 缺乏过程性知识表示：框架系统不便于表示过程性知识，缺乏如何使用框架中知识的描述能力。
 - 清晰性难以保证：由于各框架本身的数据结构不一定相同，从而框架系统的清晰性很难保证。

2.3 确定性知识推理方法

2.3.1 产生式推理

按照推理的控制方向，产生式推理可分为正向、逆向和混合三种方式

产生式推理的基本结构

规则库 《———》 控制系统 《———》 综合数据库

- 综合数据库：
 - 存放推理过程的各种当前信息。
 - 作为推理过程选择可用规则的依据
- 规则库：

用于存放推理所需要的所有规则，是整个产生式系统的知识集。

是产生式系统能够进行推理的根本。
- 控制系统

亦称推理机，用于控制整个产生式系统的运行，决定问题求解过程的推理线路。

主要任务

 - 选择匹配
 - 冲突消解
 - 执行操作
 - 终止推理
 - 路径解释

2.3.2 自然演绎推理

从一组已知为真的事实出发，直接运用经典逻辑中的推理规则推出结论的过程称为自然演绎推理

自然演绎推理的逻辑基础

自然演绎推理所基于的逻辑基础主要包括等价式、永真蕴含式、置换和合一

永假性与不可满足是等价的。

常用等价式：

- (9) 量词转换律 $\neg(\exists x)P \Leftrightarrow (\forall x)(\neg P)$, $\neg(\forall x)P \Leftrightarrow (\exists x)(\neg P)$
- (10) 量词分配律 $(\forall x)(P \wedge Q) \Leftrightarrow (\forall x)P \wedge (\forall x)Q$ $(\exists x)(P \vee Q) \Leftrightarrow (\exists x)P \vee (\exists x)Q$

永真蕴含式

对于谓词公式P和Q，若 $P \rightarrow Q$ 永真，则称 P永真蕴含Q，且称Q为P的逻辑结论，称 P为Q的前提。记作： $P \Rightarrow Q$ 。

常用的永真蕴含式：

- 化简式 - $P \wedge Q \Rightarrow P$
 $P \wedge Q \Rightarrow Q$
- 附加式 - $P \Rightarrow P \vee Q$
 $Q \Rightarrow P \vee Q$
- 析取三段论 $\neg P, P \vee Q \Rightarrow Q$
- 假言推理 $P, P \rightarrow Q \Rightarrow Q$
- 拒取式 $\neg Q, P \rightarrow Q \Rightarrow \neg P$
- 假言三段论 $P \rightarrow Q, Q \rightarrow R \Rightarrow P \rightarrow R$
- 二难推理 $P \vee Q, P \rightarrow R, Q \rightarrow R \Rightarrow R$
- 全称固化 - $(\forall x) P(x) \Rightarrow P(y)$
y是个体域中任一个体，消去全称量词
- 存在固化 - $(\exists x) P(x) \Rightarrow P(y)$
y是某个使P(y)为真的个体，消去存在量词

置换

设 $\theta = \{t_1/x_1, t_2/x_2, \dots, t_n/x_n\}$ 是一个置换，F是一个谓词公式，把公式F中出现的所有 x_i 换成 t_i ($i=1,2,\dots,n$)，得到一个新的公式G，称G为F在置换 θ 下的例示，记作 $G=F\theta$ 。其中 t_i 是项，项可以是常量、变量、函数， x_i 是变元， t_i/x_i 表示用 t_i 替换 x_i 。

一个谓词公式的任何例示都是该公式的逻辑结论

合一

合一可理解为是寻找项对变量的置换，使两个谓词公式一致。

P规则：在推理的任何步骤上都可以引入前提。

T规则：推理时，如果前面步骤中有一个或多个公式永真蕴含公式S，则可以把S引入推理过程中

反证法： $P \Rightarrow Q$ ，当且仅当 $P \wedge \neg Q \Rightarrow F$

2.3.3 归结演绎推理

归结演绎推理是一种基于鲁滨逊归结原理的机器推理机制，鲁滨逊归结原理也成为消解原理，是一种基于逻辑“反证法”的机器自动化定理证明方法

谓词演算中的两种范式

- 前束范式

一个谓词公式的所有量词均非否定地出现在公式的最前面，且它的辖域一直延伸到公式之末，同时公式中不出现连接词 \rightarrow 及 \leftrightarrow

- Skolem范式

前束范式中所有的存在量词都在全称量词之前，则称这种谓词公式为Skolem范式，若谓词公式为子句的合取形式，则成为Skolem标准形，谓词公式为Skolem标准形的母式

子句集及其化简

- 文字

原子谓词公式及其否定成为文字

- 子句

任何文字的析取式称为子句

- 空子句

不包含任何文字的子句称为空子句，空子句是永假的

- 子句集

由子句或空子句所构成的集合称为子句集

将谓词公式转化为子句集

在谓词逻辑中，任何一个谓词公式都可通过等价关系和推理规则化为子句集

化简子句集的九个步骤

1. 消去连接词“ \rightarrow ”和“ \leftrightarrow ”

反复使用如下等价公式：

$$P \rightarrow Q \Leftrightarrow \neg P \vee Q$$

$$P \leftrightarrow Q \Leftrightarrow (P \wedge Q) \vee (\neg P \wedge \neg Q)$$

2. 减少否定符号的辖域：

利用等价关系把“ \neg ”移到仅靠谓词的位置上

使得每个否定符号最多只作用于一个谓词上

3. 对变元标准化：

在一个量词的辖域内，把谓词公式中受该量词约束的变元全部用另一个没有出现过的任意变元代替，**使不同量词的约束变元名字不同**

4. 化为前束范式

吧所有量词都移到公式的左边，并且在移动时不能改变其相对顺序

5. 消去存在量词

需要区分以下两种情况：

(1) 若存在量词不出现全称量词的辖域内（即它的左边没有全称量词），只要用一个新的个体常量替换受该存在量词约束的变元，就可消去该存在量词。

(2) 若存在量词位于一个或多个全称量词的辖域内，则利用Skolem函数替换受该存在量词约束的变元，然后再消去该存在量词

6. 化为Skolem标准形：

应用以下等价关系：

$$P \vee (Q \wedge R) \Leftrightarrow (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$$

将上步的公式化为Skolem标准形

7. 消去全称量词

由于母式中的全部变元均受全量词约束，并且与全称量词的次序无关，因此可省掉全称量词

8. 消去合取词

在母式中消去所有合取词，把母式用子句集的形式表示出来

9. 对变元更名，使不同子句的变元不同名

子句集的应用

- 由于子句集化简过程在消去存在量词时所用的 Skolem函数可以不同，因此所得到的标准子句集不唯一的。
- 当原谓词公式为可满足时，它与其标准子句集不一定等价。
- 但当原谓词公式为不可满足时，其标准子句集则一定是不可满足的，即Skolem化并不影响原谓词公式的不可满足性
- 这个结论很重要，是归结原理的主要依据，可用定理的形式来描述：

谓词公式F不可满足的充要条件是其子句集S不可满足。

- 要证明一个谓词公式是不可满足的，只要证明其相应的标准子句集是不可满足的就可以了。
- 证明一个子句集的不可满足性可以用鲁宾逊归结原理

鲁宾逊归结原理

前提：

- 子句集中子句之间是合取关系，其中只要一个子句不可满足，则子句集不可满足
- 此若一个子句集中包含空子句，则这个子句集一定不可满足

基本思想：

检查子句集S中是否包含空子句，若包含，则S不可满足，不包含，就在子句集中选择合适的子句进行归结，归结出空子句，则S不可满足

鲁宾逊归结原理包括：

- 命题逻辑归结原理

核心是求两个子句的归结式

- 互补文字

若P是原子公式，则成P和 $\neg P$ 为互补文字

- 归结式

设C1与C2是子句集中的任意两个子句，且C1中的文字L1与C2中的文字L2互补 - 那么，可从C1和C2中分别消去L1和L2，并将C1和C2中余下的部分按析取关系构成一个新的子句C12：
 $C12 = \{C1 - L1\} \vee \{C2 - L2\}$ - 则称C12为C1与C2的归结式，C1、C2为C12的亲本句。

性质

归结式C12是其亲本子句C1和C2的逻辑结论。

- 谓词逻辑的归结

在谓词逻辑中，由于子句集中的谓词一般都含有变元，因此不能象命题逻辑那样直接消去互补文字。需要先用一个合一-对变元进行代换，然后才能进行归结。

- 合一者：

谓词公式的合一者不唯一

- 最一般合一 (mgu)：

设 σ 是公式集F的一个合一，如果对于F的任何一个合一 θ ，都存在置换 λ ，使得： $\theta = \sigma \cdot \lambda$ ，则称 σ 是F的最一般合一

mgu也不是唯一的

- 差异集：

设F是一个非空原子公式集，且各公式的谓词名相同，依次比较对应项，若某项不完全相同，则由它们不相同的部分组成的集合称为一个差异集。

- 求最一般合一算法

求最一般合一算法

(1) 令 $k=0$, $S_k=S$, $\sigma_k=\epsilon$ (空置换, 表示不做置换)

(2) 若 S_k 只含一个公式, 则 σ_k 即为所求, 否则:

(3) 求 S_k 的差异集 D_k

(4) 若 D_k 中存在元素 x_k 和 t_k , 其中 x_k 是变元, t_k 是项, 且 x_k 不在 t_k 中出现, 则令:

$\sigma_{k+1} = \sigma_k \cdot \{ t_k/x_k \}$

$S_{k+1} = S_k \{ t_k/x_k \}$

$k=k+1$

转 (2)

(5) 否则, S 的最一般合一不存在。

- 合一定理

任何一个可合一的非空有限公式集一定存在最一般合一

- 二元归结式

- 设 C_1 、 C_2 是两个无相同变元的子句, 且 L_1 、 L_2 分别是 C_1 、 C_2 中的文字, 若 L_1 与 $\neg L_2$ 存在最一般合一 σ , 则称 $C_{12} = \{C_1 \sigma - \{L_1 \sigma\}\} \cup \{C_2 \sigma - \{L_2 \sigma\}\}$ 为 C_1 与 C_2 的二元归结式, C_1 、 C_2 为 C_{12} 的亲本子句, L_1 、 L_2 称为消解文字 (归结式上的文字)。

注: - 如果 C_1 , C_2 有相同的变元, 则需要先对其中一个子句中的变元进行改名, 再求其归结式

例: $c_1 = P(x) \vee Q(a)$, $c_2 = \neg P(b) \vee R(x)$

- 如果参加归结的子句内部有可合一的文字, 则在归结前对这些文字先进行合一

例: $c_1 = P(x) \vee P(f(a)) \vee Q(x)$ $c_2 = \neg P(y) \vee R(b)$

*利用归结演绎进行问题求解

- 将已知条件用谓词公式表示, 且化为子句集 S
- 将所求问题用谓词公式 P' 表示, 引入一个谓词 ANSWER, 令:
 - $P = \neg P' \vee \text{ANSWER}$
 - ANSWER 的变元必须与 P' 中的变元相同。
- 将 P 化为子句集并入 S 中, 得到新子句集 S'
- 对 S' 进行归结
- 若得到归结式 ANSWER, 则答案就在 ANSWER 中。

第三章 不确定性知识系统

3.1 不确定性推理概述

- 什么是不确定性推理

不确定性推理泛指除精确推理以外的其它各种推理问题。包括不完备、不精确知识的推理, 模糊知识的推理, 非单调性推理等。不确定性推理过程实际上是一种从不确定的初始证据出发, 通过运用不确定性知识, 最终推出具有一定不确定性但却又是合理或基本合理的结论的思维过程。

- 为什么要采用不确定性推理

所需知识不完备、不精确 所需知识描述模糊 多种原因导致同一结论 解题方案不唯一

不确定性推理的类型

- 非数值方法

- 框架推理
- 语义网络推理
- 常识推理
- 数值方法
 - 概率方法
 - 基于概率
 - 可信度方法
 - 主观Bayes方法
 - 证据理论
 - 概率推理（贝叶斯网络）
 - 模糊方法

第四章 智能搜索技术

4.1 搜索概述

搜索的含义

依靠经验，利用已有知识，根据问题的实际情况，不断寻找可利用知识，从而构造一条代价最小的推理路线，使问题得以解决的过程称为搜索

智能搜索：

是指可以利用搜索过程得到的中间信息来引导搜索项最优方向发展的算法。（启发式搜索）

搜索的类型

- 基于搜索空间
 - 状态空间
 - A算法
 - A*算法
 - 与/或树
 - 问题归约法
 - 博弈树
 - 极大/极小算法
 - α - β 剪枝
- 基于随机算法
 - 演化机制
 - 演化算法
 - 免疫优化
 - 免疫算法
 - 种群寻优
 - 蚁群算法
 - 粒群算法
 - 统计模型
 - 蒙特卡洛算法
 - 其他方法
 - 爬山搜索

- 模拟退火

4.1.2 状态空间法

- 状态

表示问题解法中每一步问题状况的数据结构；（描述某类不同事物间的差别而引入的一组最少变量 q_0, q_1, \dots, q_n 的有序集合。）

- 操作、算符（operator）

把问题从一种状态变换为另一种状态的手段；（操作符可为走步、过程、规则、数学算子、运算符号或逻辑符号等）

- 状态空间方法

基于解答空间的问题表示和求解方法，它是以状态和操作（算符）为基础来表示和求解问题的。

- 问题的状态空间

是一个表示该问题全部可能状态可用算符的集合，它包含三种说明的集合，即三元状态（S, F, G）。

- 问题的解

从问题的初始状态集，经过一系统列的算符运算，到达目标状态，所经过算符的序列构成一个问题的解

4.1.3 问题规约求解方法

- 问题规约

把一个复杂问题分解或变换为一组本原问题的过程称作规约

- 本原问题

是指那种不能（或不需要）再进行分解或变换，且可以直接解答的子问题

- 问题归约表示的组成部分：

- 一个初始问题描述；
- 一套把问题变换为子问题的操作符；
- 一套本原问题描述。

- 问题规约的实质：

从目标(要解决的问题)出发逆向推理，建立子问题以及子问题的子问题，直至最后把初始问题归约为一个平凡的本原问题集合。

- 问题的分解与等价变换

- 将一个复杂的问题分解成几个子问题的过程称为分解，子问题都有解时原问题才有解，可用与树表示
- 将一个复杂的问题变换成若干等价的问题的过程称为等价变换，子问题中只要有一个有解则原问题有解，可用或树表示

- 端节点与终叶节点

在与或树中没有子节点的节点称为端节点，本原问题所对应的节点称为终止节点。显然，终止节点一定是端节点，但端节点不一定是终止节点。

- 可解节点

- 任何终止节点都是可解节点。
- 对“或”节点，当其子节点中至少有一个为可解节点时，则该或节点就是可解节点。
- 对“与”节点，只有当其子节点全部为可解节点时，该与节点才是可解节点。

- 解树

由可解节点构成，并且由这些可解节点可以推出初始节点（对应着原始问题）为可解节点的子树为解树。在解树中一定包含初始节点

4.2 状态空间的启发式搜索

4.2.1 启发式信息与估价函数

- 启发信息

用于指导搜索过程且与具体问题求解有关的信息称为启发信息。

分类：

- 有效地帮助确定扩展节点的信息。
- 在扩展节点时，用于决定要生成哪一个或哪几个后继节点。
- 用于确定某些应该从搜索树中抛弃或修剪的节点。

- 估价函数

在扩展节点时，用来描述节点重要程度的函数称为估价函数。其一般形式为： $f(x)=g(x)+h(x)$

其中 $g(x)$ 为初始节点 S_0 到节点 x 已实际付出的代价， $h(x)$ 是从节点 x 到目标节点 S_g 的最优路径的估计代价，启发信息主要由 $h(x)$ 来体现，故把它称为启发函数

4.2.2 A算法

在图搜索算法中通常需要用以下两种数据结构：Open表，Closed表。其中，Open表用来存放未扩展的节点，故称为未扩展节点表；Closed表用来存放已扩展的节点，故称为已扩展节点表。如果能在搜索的每一步都利用估价函数 $f(n)=g(n)+h(n)$ 对Open表中的节点进行排序，则称A算法。它是一种为启发式搜索算法。

类型

- 全局择优：从Open表的所有节点中选择一个估价函数值最小的进行扩展。

(1)把初始节点 S_0 放入Open表中， $f(S_0)=g(S_0)+h(S_0)$ ；
(2)如果Open表为空，则问题无解，失败退出；
(3)把Open表的第一个节点取出放入Closed表，并记该节点为 n ；
(4)考察节点 n 是否为目标节点。若是，则找到了问题的解，成功退出；
(5)若节点 n 不可扩展，则转第(2)步；
(6)扩展节点 n ，生成其子节点 $n_i(i=1, 2, \dots)$ ，计算每一个子节点的估计值 $f(n_i)(i=1, 2, \dots)$ ，并为每一个子节点设置指向父节点的指针，然后将这些子节点放入Open表中；
(7)根据各节点的估价函数值，对Open表中的全部节点按从小到大的顺序重新进行排序；
(8)转第(2)步。

- 局部择优：仅从刚生成的子节点中选择一个估价函数值最小的进行扩展。

将初始节点 S_0 放入OPEN表中，计算估价函数 $f(S_0)$ 。
若OPEN表为空，则问题无解，退出。
将OPEN表中第1个节点 N 放入CLOSED表中，并按顺序编号为 n 。
若 $N=S_g$ ，则已求得问题的解，退出。
生成 N 的所有子节点集合SUB，并且删除已在OPEN及CLOSED中存在的节点。
计算SUB中每个节点 i 的估价函数值 $f(i)$ ，并对SUB中的所有节点按照估计值进行升序排序
将SUB中的所有节点放入OPEN的首部，并填入其父节点编号 n ，转（2）。

4.2.3 A*算法

估价函数的定义：对节点 n 定义 $f^*(n)=g(n)+h(n)$,表示从 S 开始约束通过节点 n 的一条最佳路径的代价。
希望估价函数 f 定义为： $f(n)=g(n)+h(n)$ —— g 是 g 的估计， h 是 h 的估计

- 重排OPEN表是依据 $f(x)=g(x)+h(x)$
- $g(n)$ 是对最小代价 $g(n)$ 的估计，且 $g(n)>0, g(x) \geq g(n)$ 。
- $h(x)$ 为 $h(x)$ 的下界，即对所有的 x 存在 $h(x) \leq h(x)$ 。
- A*算法的最优性

A算法的搜索效率很大程度上取决于启发函数 $h(n)$ 。一般来说，在满足 $h(n) \leq h(n)$ 的前提下， $h(n)$ 的值越大越好。 $h(n)$ 的值越大，说明它携带的启发性信息越多，A算法搜索时扩展的节点就越少，搜索效率就越高。A算法的这一特性被称为最优性。

4.3 与/或树的搜索

- 与/或树广度优先搜索
- 与/或树深度优先搜索
- 与/或树的有序搜索

- 盲目搜索

没有考虑代价,所求得解树不一定是代价最小的解树,即不是最优解树。

- 启发式搜索

要多看几步，计算一下扩展一个节点可能要付出的代价，以选择代价最小的节点进行扩展。

与/或树的启发式搜索过程是一种利用搜索过程所得到的启发性信息寻找最优解树的过程,对搜索的每一步,算法都试图找到一个最有希望成为最优解树的子树. 最优解树是代价最小的那颗解树,

- 解树的代价

设 $g(x)$ 表示节点 x 的代价， $c(x,y)$ 表示节点 x 到其子节点 y 的代价。

(1)若 x 是终止节点，则 $g(x)=0$

(2)若 x 是或节点，其子节点依次为 y_1, y_2, \dots, y_n ，则有： $g(x)=\min\{c(x,y_i)+g(y_i)\} \quad 1 \leq i \leq n$

(3)若 x 是与节点，其子节点依次为 y_1, y_2, \dots, y_n ，则有：和代价法： $g(x)=(c(x,y_i)+g(y_i))$ 最大代价法： $g(x)=\max\{c(x,y_i)+g(y_i)\} \quad 1 \leq i \leq n$

(4)若 x 不可扩展，则： $g(x)=\infty$

若问题有解的话，则子节点的代价可以推算出父节点的代价，直到初始节点的代价， S_0 的代价就是解树的代价。

- 希望树

在有序搜索中，应选择那些最有希望成为最优解树一部分的节点进行扩展。我们称这节点构成的树为希望树。

- 初始节点 S_0 在希望树中。• 如果节点 x 在希望树中，则：

- 如果 x 是或节点，且其子节点依次为 y_1, y_2, \dots, y_n ，则具有下述值的子节点也在希望树中：

$$\min\{c(x,y_i)+g(y_i)\} \quad 1 \leq i \leq n$$

- 若 x 是与节点，则其所有子节点都在希望树中。

4.4 博弈树搜索

博弈树的概念

- 博弈双方都了解当前和格局及过去的历史。

- 任何一方在采取行动前都要根据当前的 实际情况进行得失分析，选取自己最有 利而对对方最不利的对策，不存在“碰 运气”的偶然因素。

在博弈过程中，己方的各种攻击方案为“或”关系，而对方的应着方案为“与” 关系。描述博弈过程的“与\或”树称为博弈树。

注：“与\或”树始终是站在某一方的立场上得出来的。

博弈树的特点

- 博弈树中的初始节点为博弈的开始格局
- 在博弈树中，“或”节点和“与”节点逐 层交替出现。自己一方扩展的节点为“或” 节点，对方扩展的节点为“与”节点。
- 所有能使自己一方获胜的终局都是本原问 题，相应的节点是可解节点；所有使对方 获胜的终局都是不可解节点。

4.4.1 极大极小分析法

- 根据所求解问题的特殊信息设计合适 的估价函数，计算当前博弈树中所有 端节点的得分，该分数称为静态估价 值。
- 根据端节点的估值推算出其父节点的分数：
 - 若父节点为“或”节点，则其分数等于其 所有子节点分数的最大值
 - 若父节点为“与”节点，则其分数等于其 所有子节点分数的最小值。
 - 计算出的父节点的分数值称为倒推值。
 - 如果一个方案能获得较大的倒推值，则它 就是当前最好的行动方案。

α - β 剪枝技术

- 一个“与”节点取当前子节点的最小值作 为其倒推值的上界，称该值为 β 值。
- 一个“或”节点取当前子节点的最大值作 为其倒推值的下界，称该值为 α 值。
- 如果“或”节点x的 α 值不能降低其父 节点的 β 值，即： $\alpha \geq \beta$
则应停止搜索节点x的其余子节点，并使x 的倒推值为 α 。这种技术称为 β 剪枝。
- 如果“与”节点x的 β 值不能升高其父节点 的 α 值，即： $\beta \leq \alpha$
则应停止搜索节点x的其余子节点，并使x 的倒推值为 β 。这种技术称为 α 剪枝。

第五章 机器学习

机器学习的概念

- 一般性解释 机器学习就是让机器（ 计算机 ）来模拟和实现人类的学习功能。
- 学科性解释 是一门研究如何利用机器模拟或实现人类学习功能的学科。
- 主要研究内容
 - 认知模拟 通过对人类学习机理的研究和模拟，从根本上解决机器学习方面存在的种 种问题。
 - 理论性分析 从理论上探索各种可能的学习方法，并建立起独立于具体应用领域的学习 算法。
 - 面向任务的研究 根据特定任务的要求，建立相应的学习系统。

5.4.1 决策树

- 决策树
是一种由节点和边构成的用来描述分类过程的层次数据结构。
- 根节点
表示分类的开始

- 叶节点
表示一个实例的结束
- 中间节点
表示相应实例中的某一属性
- 边代表
某一属性可能的属性值
- 路径
从根节点到叶节点的每一条路径都代表一个具体的实例，并且同一 路径上的所有属性之间为合取关系，不同路径（即一个属性的不同属性值）之间为析取关系。
- 决策树的分类过程
从树的根节点开始，按照给定的事例的属性值去测试 对应的树枝，并依次下移，直至到达某个叶节点为止。

ID3算法

- 信息熵
信息熵是对信息源整体不确定性的度量。
$$E(S) = -\sum(P(y_j)\log P(y_j))$$

 $E(S)$ 的值越小, S 的不确定性越小, 即其确定性越高
- 信息增益
信息增益所描述的是信息的确定性, 其值越大, 信息的确定性越高

ID3算法的学习过程是一个以整个样本集为根节点，以信息增益最大为原则，选择条件属性进行扩展，逐步构造出决策树的过程。

假设 $S=\{s_1,s_2,...s_n\}$ 为整个样本集， $X=\{x_1,x_2,...,x_m\}$ 为全体属性集， $Y=\{y_1,y_2,...y_k\}$ 为样本类别。则ID3算法描述如下：

- (1) 初始化样本集 $S=\{s_1,s_2,...s_n\}$ 和属性集 $X=\{x_1,x_2,...,x_m\}$ ，生成仅含根节点（ S, X ）的初始决策树。
- (2) 如果节点样本集中的所有样本全都属于同一类别，则将该节点标记为叶节点，并标出该叶节点的类别。算法结束。 否则执行下一步。
- (3) 如果属性集为空；或者样本集中的所有样本在属性集上都取相同值，即所有样本都具有相同的属性值，则同样将该节点标记为叶节点，并根据各个类别的样本数量，按照少数服从多数的原则，将该叶节点的类别标记为样本数最多的那个类别。算法结束。否则执行下一步。
- (4) 计算每个属性的信息增益，并选出信息增益最大的属性对当前决策树进行扩展。
- (5) 对选定属性的每一个属性值，重复执行如下操作，直至所有属性值全部处理完为止：
 - ① 为每一个属性值生成一个分支；并将样本集中与该分支有关的所有样本放到一起，形成该新生分支节点的样本子集；
 - ② 若样本子集为空，则将此新生分支节点标记为叶节点，其节点类别为原样本集中最多的类别；
 - ③ 否则，若样本子集中的所有样本均属于同一类别，则将该节点标记为叶节点，并标出该叶节点的类别。
- (6) 从属性集中删除所选定的属性，得到新的属性集。
- (7) 转第(3)步。

5.6 集成学习

- AdaBoost算法

- Bagging算法

第六章 神经网络

常用的人工神经元模型

- 阈值型
- 分段线性强饱和性（伪线性型）
- S型（sigmoid）
- 子阈累积型

池化层分为

- 最大池化法
- 平均池化法
- 概率矩阵池化

卷积层输出：

$$(N + 2P - F) / \text{stride} + 1$$

池化层：

$$(W - F) / S + 1$$

Hopfield网络是一种反馈神经网络

BP网络的网络拓扑结构是多层前向网络