

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 人工智能概论

刘若辰  
西安电子科技大学人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第一章 绪论

知识点：

- 1.1 人工智能概念
- 1.2 人工智能发展史及现状
- 1.3 人工智能的三大学派及其争论



人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第二章 状态空间知识表示及其搜索技术

知识点：

- 2.1 状态空间法
- 2.2 图搜索
- 2.3 盲目式搜索
- 2.4 启发式搜索



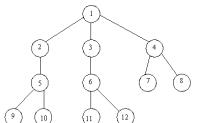
人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

### 习题2.1 图灵+计算机拔尖必做

(1) 请根据深度优先搜索策略列出图中树的节点的访问序列 (在所有情况下都选择最左分支优先访问)。

求解分析：根据深度优先搜索的搜索顺序，  
可以得到图中树节点的访问顺序为：  
1-2-5-9-10-3-6-11-12-4-7-8。



人工智能学院

(2) 请根据深度优先搜索策略搜索时从初始状态迭代至搜索结束的过程中 OPEN表和CLOSED表所存储的内容。

求解分析：OPEN、CLOSED表如下表所示：

OPEN表	CLOSED表	OPEN表	CLOSED表
{1}	{}	{6,4}	{1,2,5,9,10,3}
{2,3,4}	{1}	{11,12,4}	{1,2,5,9,10,3,6}
{5,3,4}	{1,2}	{12,4}	{1,2,5,9,10,3,6,11}
{9,10,3,4}	{1,2,5}	{4}	{1,2,5,9,10,3,6,11,12}
{10,3,4}	{1,2,5,9}	{7,8}	{1,2,5,9,10,3,6,11,12,4}
{3,4}	{1,2,5,9,10}	{8}	{1,2,5,9,10,3,6,11,12,4,7}
		{}	{1,2,5,9,10,3,6,11,12,4,7,8}

人工智能学院

**习题2.2 图灵+计算机拔尖**

请根据下图写出分别利用代价树的宽度优先搜索（BFS）和深度优先搜索（DFS）找到的从初始节点S到达目标节点G的路径，并分别列出两种情况下，Open表和Closed表的变化情况。

求解分析：(1)根据代价树的宽度优先搜索，可以得到初始节点S到达目标节点G的路径为：S-C-F-G，总代价为7。

人工智能学院

求解分析：BFS的OPEN、CLOSED表如下表所示：

OPEN表	CLOSED表
{S:0}	{}
{B:2, C:4, A:5}	{S:0}
{C:2, A:5, G:(2+6)}	{S:0, B:2}
{A:5, F:(4+2), G:(2+6)}	{S:0, B:2, C:4}
{F:(4+2), G:(2+6), E:(5+4), D:(5+9)}	{S:0, B:2, C:4, A:5}
<b>{G:(4+2+1), E:(5+4), D:(5+9)}</b>	<b>{S:0, B:2, C:4, A:5, F:(4+2), G:(4+2+1)}</b>
{E:(5+4), D:(5+9)}	

注意修改指针，需要删掉一个节点G:(2+6)

人工智能学院

**习题2.2 图灵+计算机拔尖**

请根据下图写出分别利用代价树的宽度优先搜索（BFS）和深度优先搜索（DFS）找到的从初始节点S到达目标节点G的路径，并分别列出两种情况下，Open表和Closed表的变化情况。

求解分析：(2)根据代价树的深度优先搜索，可以得到初始节点S到达目标节点G的路径为：S-B-G。总代价为8。

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

求解分析：DFS的OPEN、CLOSED表如下表所示：

OPEN表	CLOSED表
{S:0}	{}
{B:2, C:4, A:5}	{S:0}
{G(2+6), C:4, A:5}	{S:0, B:2}
{C:4, A:5}	{S:0, B:2, G(2+6)}

S-B-G

人工智能学院

习题2.3 图灵+计算机拔尖

A\*算法寻路：机器人从图(a)中的S点出发，利用A\*算法寻找一条到达T点的最短路径，每次只能向与当前位置相邻的上下左右四个邻域块移动（移动一次的代价为10），墙壁（标阴影部分）处不可移动。用G表示S到当前点的路径长度，H表示当前点到T的曼哈顿距离（两点间的水平距离和垂直距离之和），F=G+H。如果遇到F值相等，优先考虑H值较小的点。

(1) 用A\*算法搜索，在图(b)中画出搜索树，如图(b)所示标出当前扩展节点的G+H值。

图 (a)

图 (b)

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

用G表示S到当前点的路径长度，H表示当前点到T的曼哈顿距离（两点间的水平距离和垂直距离之和）， $F=G+H$

求解分析：搜索树如图所示：

图 (a)

如果遇到F值相等，优先考虑H值较小的点。  
F值和H值都相同时，新生成节点靠前排列（先深度搜）

人工智能学院

图 (a)

(2) 用A\*算法搜索，在表中列出搜索中的OPEN、CLOSED表的内容。要  
求OPEN表中的点从左至右根据F值升序排列，F值相同时，根据H值升  
序排列，F值和H值都相同时，新生成节点靠左排列（先深度搜）。

求解分析：OPEN、CLOSED表如下表所示：

OPEN表	CLOSED表	OPEN表	CLOSED表
{S}	{}	{L,O}	{S,R,Q,P,U,M}
{R,U}	{S}	{K,F,O}	{S,R,Q,P,U,M,L}
{Q,U}	{S,R}	{J,E,F,O}	{S,R,Q,P,U,M,L,K}
{P,U}	{S,R,Q}	{T,D,E,F,O}	{S,R,Q,P,U,M,L,K,J}
{U,O}	{S,R,Q,P}	{D,E,F,O}	{S,R,Q,P,U,M,L,K,J,T}
{M,O}	{S,R,Q,P,U}		

图 (a)

人工智能学院

# 不完全な世界

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 习题2.4 图灵+计算机拔尖必做

有三个传教士（m）和三个野人（c）过河，只有一条能装下两个人的船，在河的  
一方或者船上，如果野人的人数大于传教士的人数，那么传教士就会有危险。请设  
计一种基于A\*安全的渡河方法，画出搜索图、OPEN、CLOSED表的内容，以及  
解路径。

约束条件：

- ① 任何时刻两岸、船上都必须满足传教士人数不少于野人人数（ $m=0$ 时除外，  
既没有传教士）： $m \geq c$ ，  $m \neq 0$
- ② 船上人数限制在2以内： $m+c \leq 2$

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

解: m: 左岸的修道士人数,

c: 左岸的野人人数,

b: 左岸的船数

用三元组 $(ml, cl, bl)$ 表示问题的左岸状态。

其中:  $0 \leq ml \leq 3; 0 \leq cl \leq 3; b=0,1\}$

初始状态:  $(3, 3, 1)$ , 目标状态:  $(0, 0, 0)$ , 状态空间: 32 种状态

Pxy:  $x=0, 1, 2, 3, y=0, 1, 2, 3$

如果船在左岸( $b=1$ ),

从左岸划向右岸(P10:从左岸移一个传教士到右岸)

Qxy: 如果船在右岸( $b=0$ ),

从右岸划向左岸(Q10:从右岸移一个传教士到左岸)

状态空间: 32种状态, 其中:  
 12种不合法状态:如 $(1, 0, 1)$ 说明右岸有2个M, 3个C;  
 4种不可能状态:如 $(3, 3, 0)$ 说明所有M和C都在左岸, 而船在右岸  
 $\therefore$ 可用的状态共16种, 组成合理的状态空间

$(m, c, b)$	$(m, c, b)$
$(0, 0) \downarrow$ 达不到	$(0, 0)$
$(0, 1)$	$(0, 1)$
$(0, 2)$	$(0, 2)$
$(0, 3)$	$(0, 3) \downarrow$ 达不到
$(1, 0) \downarrow$ 不合法	$(1, 0) \downarrow$ 不合法
$(1, 1)$	$(1, 1)$
$(1, 2) \downarrow$ 不合法	$(1, 2) \downarrow$ 不合法
$(1, 3) \downarrow$ 不合法	$(1, 3) \downarrow$ 不合法
$(2, 0) \downarrow$ 不合法	$(2, 0) \downarrow$ 不合法
$(2, 1) \downarrow$ 不合法	$(2, 1) \downarrow$ 不合法
$(2, 2)$	$(2, 2)$
$(2, 3) \downarrow$ 不合法	$(2, 3) \downarrow$ 不合法
$(3, 0) \downarrow$ 达不到	$(3, 0)$
$(3, 1)$	$(3, 1)$
$(3, 2)$	$(3, 2)$
$(3, 3) \downarrow$ 不达到	$(3, 3) \downarrow$ 不达到

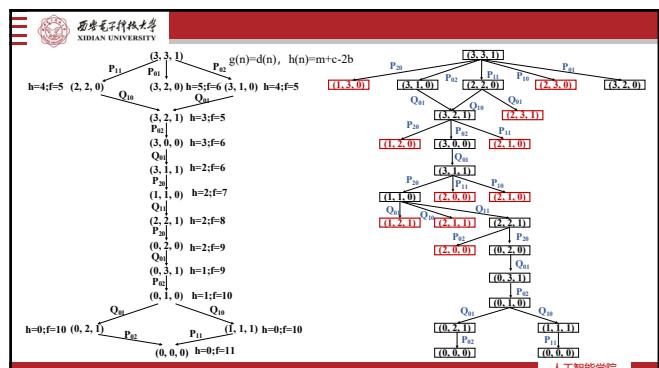
对A\*算法，首先需要确定估价函数：

$$\text{设: } g(n)=d(n), \quad h(n)=m+c-2b,$$

$$f(n) = g(n) + h(n) = d(n) + m + c - 2b$$

其中， $d(n)$ 为节点的深度。通过分析可知 $h(n) \leq h^*(n)$ ，满足A\*算法的限制条件。

M-C问题的搜索过程如下图所示。



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第三章 问题归约知识表示及搜索技术

知识点：

- 3.1 问题归约法及与或图
- 3.2 与或树的盲目式搜索
- 3.3 博弈与博弈树搜索

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

**习题3.1** 设有如下所示的与或树，请分别用与或树的宽度优先搜索和深度优先搜索求解树。

求解分析：(1) 宽度优先搜索

步骤一：1号节点移到Closed中，其不是终叶节点。扩展1号节点，得到2和3号节点，依次放到OPEN表尾部。2和3都是非终叶节点，接着扩展2号节点；

步骤二：扩展2号节点，得到4和5号节点。依次放到OPEN表尾部。2和3都是非终叶节点，接着扩展3号节点；

步骤三：扩展3号节点，得到6和7号节点，依次放到OPEN表尾部。6和7都是非终叶节点，接着扩展4号节点；

步骤四：扩展4号节点，8和9号节点，依次放到OPEN表尾部。8和9都是非终叶节点，接着扩展5号节点；

步骤五：扩展5号节点，得到B和C节点，将B、C放到OPEN表尾部，接着扩展6号节点；

步骤六：扩展6号节点，得到 $t_1$ 和10号节点。 $t_1$ 是终叶节点， $t_1$ 的父节点是与节点，仅由 $t_1$ 可解不能确定6是否可解，应继续搜索；

步骤七：扩展7号节点，得到11和12号节点，将11、12号节点放入OPEN表的尾部，接着扩展8号节点；

步骤八：扩展8号节点，得到A号节点，将A号节点放到OPEN表的尾部，接着扩展9号节点；

OPEN表	CLOSED表
{1}	{}
{2,3}	{1}
{3,4,5}	{1,2}
{4,5,6,7}	{1,2,3}
{5,6,7,8,9}	{1,2,3,4}
{6,7,8,9,B,C}	{1,2,3,4,5}

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

步骤三：扩展3号节点，得到6和7号节点，依次放到OPEN表尾部。6和7都是非终叶节点，接着扩展4号节点；

步骤四：扩展4号节点，8和9号节点，依次放到OPEN表尾部。8和9都是非终叶节点，接着扩展5号节点；

步骤五：扩展5号节点，得到B和C节点，将B、C放到OPEN表尾部，接着扩展6号节点；

OPEN表	CLOSED表
{3,4,5}	{1,2}
{4,5,6,7}	{1,2,3}
{5,6,7,8,9}	{1,2,3,4}
{6,7,8,9,B,C}	{1,2,3,4,5}

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

步骤六：扩展6号节点，得到 $t_1$ 和10号节点。 $t_1$ 是终叶节点， $t_1$ 的父节点是与节点，仅由 $t_1$ 可解不能确定6是否可解，应继续搜索；

步骤七：扩展7号节点，得到11和12号节点，将11、12号节点放入OPEN表的尾部，接着扩展8号节点；

步骤八：扩展8号节点，得到A号节点，将A号节点放到OPEN表的尾部，接着扩展9号节点；

OPEN表	CLOSED表
{6,7,8,9,B,C}	{1,2,3,4,5}
{7,8,9,B,C,t <sub>1</sub> ,10}	{1,2,3,4,5,6}
{8,9,B,C,t <sub>1</sub> ,10,11,12}	{1,2,3,4,5,6,7}
{9,B,C,t <sub>1</sub> ,10,11,12,A,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> }	{1,2,3,4,5,6,7,8}
{t <sub>1</sub> ,10,11,12, t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> }	{1,2,3,4,5,6,7,8,9}

9, A, 2 可解。即 B, C, A, 保留终叶节点

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

步骤九：扩展9号节点，得到 $t_2$ 和 $t_3$ 节点，两个是终叶节点，标记9号节点为可解节点。应用可解标示过程得到9、4、2节点均为可解节点，9,4,2可解，删B,C,A，保留终叶节点。

步骤十：将 $t_1$ 移到closed表里。扩展10号节点，得到 $t_4$ 和13号节点。 $t_4$ 是终叶节点，标记为可解节点，应用可解标记过程，对其先辈节点中的可解节点进行标记。 $t_4$ 的父节点是或节点，应用可解标示过程得到10、6、3、1节点均为可解节点，停机。

OPEN表	CLOSED表
$\{t_1, 10, 11, 12, t_2, t_3\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$
$\{10, 11, 12, t_2, t_3\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, t_1\}$
$\{11, 12, t_2, t_3, t_4, 13\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, t_1, 10\}$
执行可解标志	

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

宽度优先搜索

OPEN表	CLOSED表
$\{1\}$	$\{\}$
$\{2, 3\}$	$\{1\}$
$\{3, 4, 5\}$	$\{1, 2\}$
$\{4, 5, 6, 7\}$	$\{1, 2, 3\}$
$\{5, 6, 7, 8, 9\}$	$\{1, 2, 3, 4\}$
$\{6, 7, 8, 9, B, C\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5\}$
$\{7, 8, 9, B, C, t_1, 10\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
$\{8, 9, B, C, t_1, 10, 11, 12\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
$\{9, B, C, t_1, 10, 11, 12\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$
$\{B, C, t_1, 10, 11, 12, A, t_2, t_3\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$
$\{t_1, 10, 11, 12, t_2, t_3\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, t_1\}$
9,4,2可解，删B,C,A，保留终叶节点。	
$\{10, 11, 12, t_2, t_3\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, t_1\}$
$\{11, 12, t_2, t_3, t_4, 13\}$	$\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, t_1, 10\}$
执行可解标志	

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

因此，宽度优先搜索得到解树如下图所示：

人工智能学院

习题3.1 设有如下所示的与或树，请分别用与或树的宽度优先搜索和深度优先搜索求解树。

求解分析：(2) 深度优先搜索

步骤一：1号节点移到Closed中，其不是终叶节点。扩展1号节点，得到2和3号节点，依次放到OPEN表前端。2和3都是非终叶节点，接着扩展2号节点；

步骤二：扩展2号节点，得到4和5号节点。依次放到OPEN表前端。4和5都是非终叶节点，接着扩展4号节点；

OPEN表	CLOSED表
$\{1\}$	$\{\}$
$\{2, 3\}$	$\{1\}$
$\{4, 5, 3\}$	$\{1, 2\}$

人工智能学院

步骤三：扩展4号节点，8和9号节点，依次放到OPEN表前端。8和9都是非终叶节点，接着扩展8号节点；

步骤四：扩展8号节点，得到A节点，将其放到OPEN表前端，接着扩展9号节点；

步骤五：将A移到Closed表里，执行不可解标志，没有节点可删。扩展9号节点，得到 $t_2$ 和 $t_3$ 节点，两个是终叶节点，标记9号节点为可解节点。应用可解标志过程得到9、4、2节点均为可解节点；在open表里删掉5号节点，保留 $t_2, t_3$ 。

OPEN表	CLOSED表
{8,9,5,3}	{1,2,4}
{A,9,5,3}	{1,2,4,8}
{9,5,3}	{1,2,4,8,A,1(执行不可解标志)}
{t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3}	{1,2,4,8,A,9}
{3}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> } (执行不可解标志)

人工智能学院

步骤六：将 $t_2, t_3$ 移到Closed表。扩展3号节点，得到6和7号节点，依次放到OPEN表前端。6和7都是非终叶节点，接着扩展6号节点；

步骤七：扩展6号节点，得到 $t_1$ 和10号节点， $t_1$ 是终叶节点，标记为可解节点，应用可解标志过程，对其先辈节点中的可解节点进行标记。 $t_1$ 的父节点是与节点，仅由 $t_1$ 可解不能确定6是否可解，应继续搜索； $t_1$ 移到Closed表

OPEN表	CLOSED表
{6,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,3}
{t <sub>1</sub> ,10,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6}
{10,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6,t <sub>1</sub> }

人工智能学院

步骤八：扩展10号节点，得到 $t_4$ 和13号节点， $t_4$ 是终叶节点，标记为可解节点，应用可解标志过程，对其先辈节点中的可解节点进行标记。 $t_4$ 的父节点是或节点，应用可解标志过程得到10、6、3、1节点均为可解节点，停机。

OPEN表	CLOSED表
{10,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6,t <sub>1</sub> }
{t <sub>4</sub> ,13,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6,t <sub>1</sub> ,10}

人工智能学院

深度优先搜索

OPEN表	CLOSED表
{1}	{}
{2,3}	{1}
{4,5,3}	{1,2}
{8,9,5,3}	{1,2,4}
{A,9,5,3}	{1,2,4,8}
{9,5,3}	{1,2,4,8,A,1(执行不可解标志)}
{t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3}	{1,2,4,8,A,9}
{3}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6,t <sub>1</sub> } (执行不可解标志)
{t <sub>1</sub> ,10,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6}
{10,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6,t <sub>1</sub> }
{t <sub>4</sub> ,13,7}	{1,2,4,8,A,9,t <sub>2</sub> ,t <sub>3</sub> ,5,3,6,t <sub>1</sub> ,10}

人工智能学院

因此，深度优先搜索得到解树如下图所示：

**习题3.2** 设有如下图所示的博弈树，其中最下面的数字是假设的估值。该博弈树做如下工作：(1) 利用max-min方法计算各节点的倒推值，并给出根节点的得分；求解分析：(1) 各节点倒推值如下所示：

(2) 利用 $\alpha$ - $\beta$ 剪枝技术剪去不必要的分支；

求解分析：(2)

步骤一：由节点0和5推出节点G的倒推值为0，即G的 $\beta$ 值为0，由此可以推导出节点C的倒推值 $\geq 0$ ，记C的倒推值下界为0，不可能再比0小，故C的 $\alpha$ 值为0；

步骤二：由节点-3可推知节点H的倒推值 $\leq -3$ ，无论H的其他子节点的估值是多少，H的倒推值都不可能比-3大。因此，-3是倒推值的上界，即H的 $\beta$ 值为-3；

步骤三：已知C的倒推值 $\geq 0$ ，H的其他子节点又不可能使C的倒推值增大。因此，对H的其他分支不必再进行搜索，这就相当于把这些分支剪去；

步骤四：由节点G、H的估值可推出节点C的倒推值为0，再由C可推出节点A的倒推值 $\leq 0$ ，即A的 $\beta$ 值为0；

步骤五：由节点3和6推出节点I的倒推值为3，此时可推出D的倒推值 $\geq 3$ ，即D的 $\alpha$ 值为3。此时，D的其他子节点的倒推值无论是多少都不能使D及A的倒推值减少或增大，所以D的其他分支被剪去，并可确定A的倒推值为0；

用同样的方法可以推出其他分支的剪枝情况。最终的剪枝结果如下所示：

人工智能学院

## 第四章 谓词逻辑表示与推理技术

知识点：

- 4.1 机器自动推理与命题逻辑
- 4.2 谓词逻辑
- 4.3 消解原理
- 4.4 与子句集求解
- 4.4 消解反演与反演求解

人工智能学院

**习题4.1** 下列等价变化正确的是 (A)。

(A)  $P \rightarrow Q = \neg P \vee Q$       (B)  $P \wedge (Q \vee R) = (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$   
 (C)  $P \vee (P \wedge R) = R$       (D)  $\neg P \wedge Q = Q \rightarrow P$

**习题4.2** 对于谓词公式  $(\exists x)(P(x,y) \rightarrow Q(x,y)) \vee R(x,y)$ , 以下说法错误的是 (C)。

(A) 公式中的所有  $y$  是自由变元  
 (B)  $P(x,y)$  中的  $x$  是约束变元  
 (C)  $R(x,y)$  中的  $x$  是约束变元  
 (D)  $Q(x,y)$  中的  $x$  是约束变元

人工智能学院

**习题4.3** 将下列命题符号化。

(1) 猫比老鼠跑得快。      (2) 有的猫比所有老鼠跑得快。  
 (3) 并不是所有的猫比老鼠跑得快。      (4) 不存在跑得同样快的两只猫。

求解分析：设个体域为全总个体域。令  $C(x)$ :  $x$  是猫;  $M(y)$ :  $y$  是老鼠;  
 $Q(x, y)$ :  $x$  比  $y$  跑得快;  $L(x, y)$ :  $x$  和  $y$  跑得同样快。这4个命题分别符号化为：

- (1)  $\forall x \forall y [C(x) \wedge M(y) \rightarrow Q(x, y)]$ ;
- (2)  $\exists x [C(x) \wedge \forall y [M(y) \rightarrow Q(x, y)]]$ ;
- (3)  $\neg \{(\forall x \forall y [C(x) \wedge M(y) \rightarrow Q(x, y)])\}$ ;
- (4)  $\neg \{\exists x \exists y [C(x) \wedge C(y) \wedge L(x, y)]\}$ ;

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

1. 使用谓词逻辑表示法对下列命题进行公式表示:

(1) 自然数是大于零的整数  
设:  $N(x)$ :  $x$ 是自然数;  $I(x)$ :  $x$ 是整数;  $B(x)$ :  $x$ 大于零  
公式表示为:  $(\forall x)[N(x) \rightarrow (I(x) \wedge B(x))]$

(2) 历史考试中有学生不及格:  
设:  $Student(x)$ :  $x$ 是学生  
 $Fail(x, y)$ :  $x$ 在 $y$ 考试不及格  
History: 历史  
公式表示为:  $(\exists x)[Student(x) \wedge Fail(x, History)]$

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

(3) 历史考试中只有一个学生不及格。  
设:  $Student(x)$ :  $x$ 是学生  
 $Fail(x, y)$ :  $x$ 在 $y$ 考试不及格  
History: 历史  
公式表示为:  $(\exists x)[(Student(x) \wedge Fail(x, History)) \wedge (\forall y)(Student(y) \wedge (y \neq x)) \rightarrow \neg Fail(y, History)]$

(4) 每个力都有一个与之大小相等的反作用力:  
设:  $F(x, y)$ :  $x$ 对 $y$ 施加力       $magnitude(x)$ :  $x$ 的大小  
 $R(x, y)$ :  $y$ 对 $x$ 施加反作用力  
公式表示为:  $(\forall x)(\forall y)[[F(x, y) \rightarrow R(y, x)] \wedge [magnitude(F(x, y)) = magnitude(R(y, x))]]$

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

(5) 星期六, 所有的学生或者去了舞会, 或者去工作, 但是没有两者都去的。  
星期六, 未选修人工智能课程的学生都去舞会了。  
Student(x):  $x$ 是学生  
 $Go to(x, y, z)$ :  $x$ 在 $z$ 时参加了 $y$   
 $Class(x, y)$ :  $x$ 选修了 $y$ 课程  
公式表示为:  $(\forall x)[(Student(x) \rightarrow (Go to(x, work, 星期六) \wedge \neg Go to(x, party, 星期六))) \vee (\neg Go to(x, work, 星期六) \wedge Go to(x, party, 星期六))] \wedge (\forall x)[(Student(x) \wedge \neg Class(x, AI)) \rightarrow Go to(x, party, 星期六)]$

注意: 双重或

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

习题4.4 将下列谓词公式化为子句集

1.  $(\forall x)(\forall y)(\exists z)(P(x, y) \rightarrow Q(x, y) \vee R(x, z))$

解: 先消去蕴含符号 $\rightarrow$ , 得:  
 $(\forall x)(\forall y)(\exists z)(\neg P(x, y) \vee Q(x, y) \vee R(x, z))$

再消去存在量词:  
 $(\forall x)(\forall y)(\neg P(x, y) \vee Q(x, y) \vee R(x, f(x, y)))$

最后消去全称量词得子句集:

$\neg P(x, y) \vee Q(x, y) \vee R(x, f(x, y))$

结合力的强弱顺序:  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $\rightarrow$ ,  $\leftrightarrow$ , 联结词相同时, 从左至右运算

人工智能学院

消除蕴含，否定，重名变量，存在量词  
全称变量提到最前面，化成合取范式，消掉全称量词  
拆分得到子句集



**习题4.4** 将下列谓词公式化为子句集

2.  $(\forall x)([\neg P(x) \vee \neg Q(x)] \rightarrow (\exists y)[S(x,y) \wedge Q(y)]) \wedge (\forall x)[P(x) \vee B(x)]$

求解分析：(1) 消去蕴含符号

$$(\forall x)\{[\neg P(x) \vee \neg Q(x)] \vee (\exists y)[S(x,y) \wedge Q(y)]\} \wedge (\forall x)[P(x) \vee B(x)]$$

(2) 减少否定符号的辖域 **消去否定**

$$(\forall x)\{[P(x) \wedge Q(x)] \vee (\exists y)[S(x,y) \wedge Q(y)]\} \wedge (\forall x)[P(x) \vee B(x)]$$

(3) 变量标准化 **消去同名变量**

$$(\forall x)\{[P(x) \wedge Q(x)] \vee (\exists y)[S(x,y) \wedge Q(y)]\} \wedge (\forall w)[P(w) \vee B(w)]$$

人工智能学院

**习题4.4** 将下列谓词公式化为子句集

(4) 消去存在量词 **y=f(x) 替换掉 存在变量**

$$(\forall x)\{[P(x) \wedge Q(x)] \vee (\exists y)[S(x,y) \wedge Q(y)]\} \wedge (\forall w)[P(w) \vee B(w)]$$

(5) 化为前束形 **全称量词提到最前面**

$$(\forall x)(\forall w)\{[P(x) \wedge Q(x)] \vee [S(x,f(x)) \wedge Q(x)]\} \wedge [P(w) \vee B(w)]$$

(6) 化为合取范式：

$$(\forall x)(\forall w)\{[P(x) \vee S(x,f(x))] \wedge [Q(x) \vee S(x,f(x))] \wedge [P(x) \vee Q(x)] \wedge [Q(x) \wedge P(w) \vee B(w)]\}$$

人工智能学院

试用水平印

**习题4.5**

已知规则：对于任意的x, y, z, 若x是y的父亲且z是x的父亲，则z是y的祖父，即 $(\forall x)(\forall y)(\forall z)[F(z,x) \wedge F(x,y) \rightarrow G(z,y)]$

(7) 消去全称量词 **直接去掉全称量词**

$$(\forall x)(\forall w)\{[P(x) \vee S(x,f(x))] \wedge [Q(x) \vee S(x,f(x))] \wedge [P(x) \vee Q(x)] \wedge [Q(x) \wedge P(w) \vee B(w)]\}$$

(8) 消去合取词 **得到子句，子句内部是析取**

$$P(x) \vee S(x,f(x)), Q(x) \vee S(x,f(x)), P(x) \vee Q(x), Q(x), P(w) \vee B(w)$$

(9) 句子变量标准化，最终的子句集为：

$$P(x_1) \vee S(x_1,f(x_1)), Q(x_2) \vee S(x_2,f(x_2)), P(x_3) \vee Q(x_3), Q(x_4), P(w) \vee B(w)$$

人工智能学院

**习题4.5**

已知事实1：John是Bob的父亲，即 $F(John,Bob)$ 。

已知事实2：Jim是John的父亲，即 $F(Jim,John)$ 。

用消解反演方法求解：谁是Bob的祖父？

或用归结原理证明：Jim是Bob的祖父

人工智能学院

求解分析：(1) 反演求解

$G(u, Bob), u=?$

化为子句集：  
 1  $\neg F(z, x) \vee \neg F(x, y) \vee G(z, y)$   
 2  $F(John, Bob)$   
 3  $F(Jim, John)$   
 4  $\neg G(u, Bob) \vee G(u, Bob)$

$\neg F(z, x) \vee \neg F(x, y) \vee G(z, y) \quad 1$   
 $F(John, Bob) \quad 2$   
 $F(Jim, John) \quad 3$   
 $\neg F(z, John) \vee G(z, Bob) \quad 5$   
 $G(Jim, Bob) \quad 6$   
 $\neg G(u, Bob) \vee G(u, Bob) \quad 4$   
 $Jim/z$   
 $Jim/u$   
 $G(Jim, Bob)$

人工智能学院

求解分析：(2) 消解反演

$G(Jim, Bob)$

化为子句集：  
 1  $\neg F(z, x) \vee \neg F(x, y) \vee G(z, y)$   
 2  $F(John, Bob)$   
 3  $F(Jim, John)$   
 4  $\neg G(Jim, Bob)$

$\neg F(z, x) \vee \neg F(x, y) \vee G(z, y)$   
 $F(John, Bob)$   
 $F(Jim, John)$   
 $\neg F(z, John) \vee G(z, Bob)$   
 $Jim/z$   
 $G(Jim, Bob)$   
 $\neg G(Jim, Bob)$   
 $NIL$

因此得证：Jim是Bob的祖父

人工智能学院

## 第五章 规则演绎系统

知识点：

- 5.1 规则演绎系统概述
- 5.2 规则正向演绎系统
- 5.3 规则逆向演绎系统
- 5.4 规则双向演绎系统

人工智能学院

习题5.1 求解下面事实表达式的与或形并画出与或图，并根据与或图写出子句集。

$$(\exists u)(\forall v)\{Q(v, u) \wedge \sim [R(v) \vee P(v)] \wedge S(u, v)\}$$

解：化成如下的与或形：  
 $Q(v, A) \wedge \{[\sim R(v) \wedge \sim P(v)] \vee \sim S(A, v)\}$

再对变量标准化：  
 对变量更名标准化，使得同一变量不出现在事实表达式的不同主要合取式中。更名后得表达式：  
 $Q(w, A) \wedge \{[\sim R(v) \wedge \sim P(v)] \vee \sim S(A, v)\}$

人工智能学院

习题5.1 求解下面事实表达式的与或形并画出与或图，并根据与或图写出子句集。

$(\exists u)(\forall v)\{Q(v, u) \wedge \neg [R(v) \vee P(v)] \wedge S(u, v)\}$

解：

$$Q(w, A) \wedge \{\neg R(v) \wedge \neg P(v)\} \vee \neg S(A, v)$$

**自表达式**  
 $Q(w, A) \wedge \{\neg R(v) \wedge \neg P(v)\} \vee \neg S(A, v)$   
**得到的子句为**  
 $Q(w, A) \vee \neg S(A, v) \vee \neg R(v) \vee \neg S(A, v) \vee \neg P(v)$

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

习题5.2 假设者：

事实： $A \vee B$

规则： $A \Rightarrow C \wedge D, B \Rightarrow E \wedge G$

目标： $C \vee G$

试用消解反演和规则正向演绎系统证明以上问题。

解：把规则化为子句形，得子句集： $\neg A \vee C, \neg A \vee D, \neg B \vee E, \neg B \vee G$

目标的否定为： $\neg(C \vee G)$

其子句形为： $\neg C, \neg G$

人工智能学院

求解反演法图解如左图所示：

```

graph TD
    NUL[NUL] --> A1[A ∨ B]
    NUL --> ANeg[¬A]
    A1 --> A[A]
    A1 --> B[B]
    A --> ANeg2[¬A]
    A --> BG[¬B]
    ANeg2 --> ANeg3[¬A]
    ANeg2 --> CG[¬G]
    BG --> BG2[¬B]
    BG --> CG2[¬G]
    ANeg3 & CG2 --> NIL[NIL]
    CG & CG2 --> CVG[C ∨ G]
  
```

规则正向演绎系统如右图所示：

```

graph TD
    AB["(A ∨ B)"] --> A1["A"]
    AB --> B1["B"]
    A1 --> A2["A"]
    A1 --> B2["B"]
    B1 --> B3["B"]
    B1 --> B4["B"]
    A2 & B3 --> C["C"]
    B2 & B4 --> G["G"]
    C & G --> GTarget["G"]
  
```

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

习题6.1 设有下面两个模糊关系：

$$R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 0.4 \\ 0.4 & 0 & 1 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 0.7 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}, \quad S = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 \\ 0.4 & 0.8 \\ 0.2 & 0.9 \end{bmatrix}$$

试求出两者的复合关系  $R \circ S$

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

解：

$$\begin{aligned} R \circ S &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 0.4 \\ 0.4 & 0 & 1 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 0.7 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 \\ 0.4 & 0.8 \\ 0.2 & 0.9 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (0.2 \wedge 0.7) \vee (0.8 \wedge 0.4) \vee (0.4 \wedge 0.2) & (0.2 \wedge 0.3) \vee (0.8 \wedge 0.8) \vee (0.4 \wedge 0.9) \\ (0.4 \wedge 0.7) \vee (0 \wedge 0.4) \vee (1 \wedge 0.2) & (0.4 \wedge 0.3) \vee (0 \wedge 0.8) \vee (1 \wedge 0.9) \\ (1 \wedge 0.7) \vee (0.5 \wedge 0.4) \vee (0 \wedge 0.2) & (1 \wedge 0.3) \vee (0.5 \wedge 0.8) \vee (0 \wedge 0.9) \\ (0.7 \wedge 0.7) \vee (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.5 \wedge 0.2) & (0.7 \wedge 0.3) \vee (0.6 \wedge 0.8) \vee (0.5 \wedge 0.9) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.4 & 0.8 \\ 0.4 & 0.9 \\ 0.7 & 0.5 \\ 0.7 & 0.6 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第七章 不确定性推理

知识点：

- 7.1 概率方法-逆概率推理
- 7.2 可信度方法

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

习题7.1 设  $H_1, H_2, H_3$  分别是三个结论， $E$  是支持这些结论的证据。已知：  
 $P(H_1)=0.3, P(H_2)=0.4, P(H_3)=0.5, P(E|H_1)=0.5, P(E|H_2)=0.4, P(E|H_3)=0.3$   
求  $P(H_1|E), P(H_2|E)$  及  $P(H_3|E)$  的值各是多少？

解：

$$P(H_1|E) = \frac{P(H_1) \times P(E|H_1)}{P(H_1) \times P(E|H_1) + P(H_2) \times P(E|H_2) + P(H_3) \times P(E|H_3)} = \frac{0.15}{0.15+0.16+0.15} = 0.33$$

$$P(H_2|E) = \frac{P(H_2) \times P(E|H_2)}{P(H_1) \times P(E|H_1) + P(H_2) \times P(E|H_2) + P(H_3) \times P(E|H_3)} = \frac{0.16}{0.15+0.16+0.15} = 0.35$$

$$P(H_3|E) = \frac{P(H_3) \times P(E|H_3)}{P(H_1) \times P(E|H_1) + P(H_2) \times P(E|H_2) + P(H_3) \times P(E|H_3)} = \frac{0.15}{0.15+0.16+0.15} = 0.33$$

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

**习题7.2 利用可信度方法求解下面的问题。**

R1: IF  $E_1$  THEN  $B$  (0.8)  
R2: IF  $E_2$  THEN  $B$  (0.5)  
R3: IF  $B$  AND  $E_3$  THEN  $D$  (0.8)

已知:  $CF(E_1)=1, CF(E_2)=1, CF(E_3)=1$        $CF(H)=CF(H,E) \times \max[0, CF(E)]$   
求:  $CF(B)$ 和 $CF(D)$

解: 对于 $CF(B)$ , 有:

$$CF_1(B)=CF(B,E_1) \times \max(0, CF(E_1))=0.8 \times 1=0.8$$

$$CF_2(B)=CF(B,E_2) \times \max(0, CF(E_2))=0.5 \times 1=0.5$$

由于 $CF_1(B)$ 和 $CF_2(B)$ 都大于0, 则:

$$CF(B)=CF_1(B)+CF_2(B)-CF_1(B) \times CF_2(B)=0.8+0.5-0.8 \times 0.5=0.9$$

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

**习题7.2 利用可信度方法求解下面的问题。**

R1: IF  $E_1$  THEN  $B$  (0.8)  
R2: IF  $E_2$  THEN  $B$  (0.5)  
R3: IF  $B$  AND  $E_3$  THEN  $D$  (0.8)

已知:  $CF(E_1)=1, CF(E_2)=1, CF(E_3)=1$   
求:  $CF(B)$ 和 $CF(D)$

解:

对于 $CF(D)$ , 有:

$$CF(D)=CF(D, B \text{ AND } E_3) \times \max(0, CF(B \text{ AND } E_3))$$

$$\text{而} CF(B \text{ AND } E_3) = \min[CF(B), CF(E_3)] = \min[0.9, 1] = 0.9$$

所以,  $CF(D)=0.8 \times \min[0, 0.9]=0.8 \times 0.9=0.72$

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第八章 遗传算法

知识点:

- 8.1 生物学背景及遗传算法原理
- 8.2 遗传算法求解连续优化问题

实例

人工智能学院

西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

**习题8.1** 遗传算法中, 设某参数的取值范围为 $[-1, 1]$ , 对其采用编码长度为4的二进制编码, 则对二进制符号串“1110”进行解码后, 得到的数值为多少?

求解分析: 解码公式为  $x = A + \frac{B-A}{2^l-1} (\sum_{i=1}^l b_i 2^{i-1})$

在此题中, A为-1, B为1, 编码长度l为4;

由此可以得到, “1110”字符串解码后的数值x为:

$$x = -1 + \frac{1 - (-1)}{2^4 - 1} (0 * 2^0 + 1 * 2^1 + 1 * 2^2 + 1 * 2^3) = \frac{13}{15}$$

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

**习题8.2 利用遗传算法求解最大化问题**  $f(x)=5x^2+2, x \in [14,45]$ ，个体采用二进制编码，编码长度为5，则该二进制编码的精度是多少？

求解分析：取值精度计算公式为  $\delta = \frac{B-A}{2^l-1}$

在此题中，A为14，B为45，编码长度l为5；  
由此可以得到，二进制编码精度 $\delta$ 为： $\delta = \frac{(45-14)}{2^5-1} = 1$

人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第九章 粒子群算法

知识点：

- 9.1 粒子群算法原理
- 9.2 粒子群算法求解实例



人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第十章 蚁群优化算法

知识点：

- 10.1 蚁群优化算法原理
- 10.2 蚁群优化算法求解实例



人工智能学院

 西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第十一章 人工神经网络

知识点：

- 11.1 生物神经系统
- 11.2 人工神经网络
- 11.3 前馈与反馈神经网络
- 11.4 BP学习算法



人工智能学院



试用水印