人工智能各章小结及习题解答

第一部分　绪论

习题解答：

1．什么是人工智能？发展过程中经历了哪些阶段？

解：人工智能是计算机科学的一个重要分支，也是一门正在发展中的综合性前沿学科，它是由计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、哲学、语言学等多种学科相互渗透而发展起来的，目前正处于发展阶段尚未形成完整体系。

发展过程中经历的阶段有：

第一阶段（40 年代中～50 年代末）　神经元网络时代

第二阶段（50 年代中～60 年代中）　通用方法时代

第三阶段（60 年代中～80 年代初）　知识工程时代

第四阶段（80 年代中～90 年代初）　新的神经元网络时代

第五阶段（90 年代初～现在）　海量信息处理与网络时代

2．人工智能研究的基本内容是什么？

解：基本内容是：搜索技术、知识表示、规划方法、机器学习、认知科学、自然语言理解与机器翻译、专家系统与知识工程、定理证明、博弈、机器人、数据挖掘与知识发现、多 Agent 系统、复杂系统、足球机器人、人机交互技术等。

3．人工智能主要有哪几大研究学派？

解：（１）符号主义学派：由心理学途径产生，符号主义认为人工智能起源于数理逻辑，人　类认识（智能）的基本元素是符号，而智能行为则是符号运算的结果。

（２）连接主义学派：由生理学途径产生，连接主义又称为仿生学派，认为人工智能的基本元素是神经元，智能产生于大量神经元的并行分布式联结之中，而智能行为则是联结计算的结果。

（３）行为主义学派：由生物演化途径产生，行为主义认为人工智能起源于控制论，提出智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，而不是表示和推理。

４．人工智能有哪些主要的研究领域？

解：（１）问题求解　（２）逻辑推理与定理证明　（３）自然语言理解

（４）自动程序设计　（５）专家系统　（６）机器学习

（７）神经网络　（８）机器人学　（９）模式识别

（１０）机器视觉　（１１）智能控制　（１２）智能检索

（１３）智能调度与指挥　（１４）分布式人工智能与Ａｇｅｎｔ

（１５）计算智能与进化计算　（１６）数据挖掘与知识发现

（１７）人工生命　（１８）系统与语言工具

第 2 部分　知识与知识表示

本章小结：

- 知识表示
  - 谓词表示法：首先定义谓词，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，形成一个谓词公式表达一个完整的意义。
  - 产生式表示法：产生式系统由 3 个基本部分组成：规则库、综合数据库、控制系统。
  - 框架表示法：框架通常由指定事物各个方面的槽组成，每个槽拥有若干个侧面，而每个侧面又可拥有若干个值。
  - 语义网络表示法：语义网络由节点和弧线或链线组成，节点用于表示物体、概念和状态，弧线用于表示节点间的关系。

习题解答：

1 设有如下问题：

（1）有五个相互可直达且距离已知的城市 A、B、C、D、E，如图所示；

（2）某人从 A 地出发，去其它四个城市各参观一次后回到 A；

（3）找一条最短的旅行路线

请用产生式规则表示旅行过程。

解：①综合数据库（x）

(x)中 x 可以是一个字母，也可以是一个字符串。

②初始状态（A）

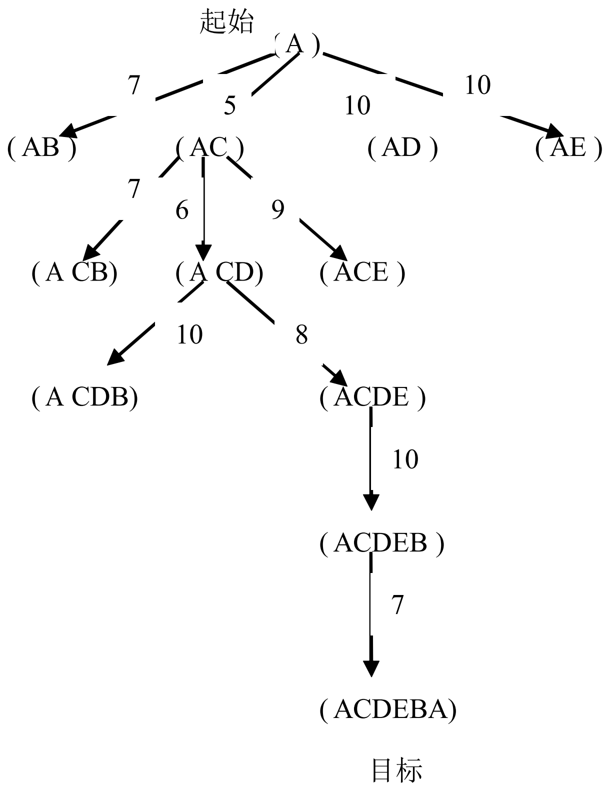
③目标状态（Ax1x2x3x4A）

④规则集：

```
r1: IF   L(S)=5    THEN  GOTO(A)
r2: IF   L(S)<5    THEN  GOTO(B)
r3: IF   L(S)<5    THEN  GOTO(C)
r4: IF   L(S)<5    THEN  GOTO(D)
r5: IF   L(S)<5    THEN  GOTO(E)
```

其中 L(S)为走过的城市数，GOTO(x)为走向城市 x

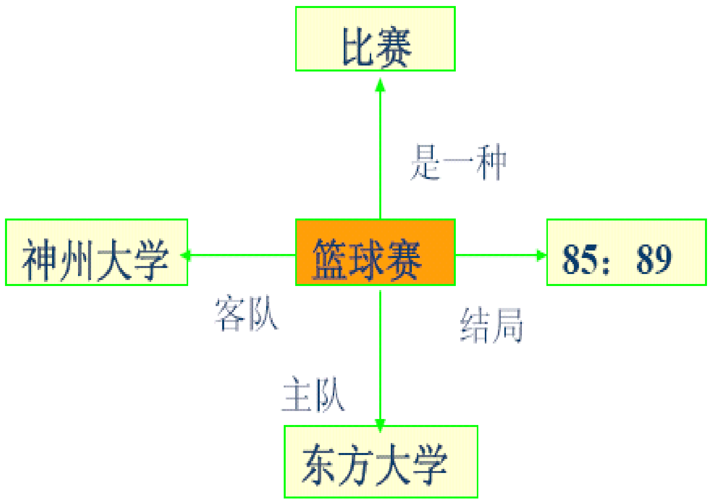
⑤路线如下图所示:



最短旅行路线为：A->C->D->E->B->A

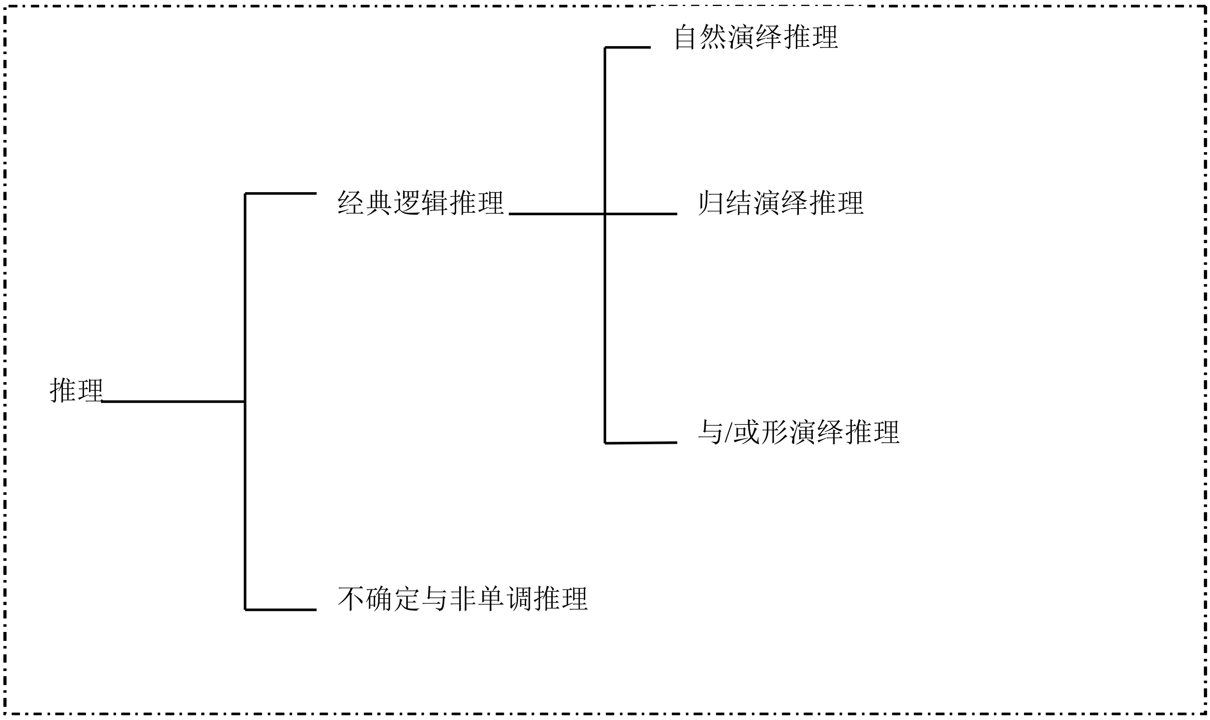
总距离为 5+6+8+10+7=36

2 神州大学和东方大学两校篮球队在东方大学进行一场比赛，结局的比分是 85：89，用语义网络表示。



第 3 部分　推理

本章小结：



习题解答：

1 张某被盗，公安局派出五个侦察员去调查。研究案情时，侦察员 A 说“赵与钱中至少有一人作案”；侦察员 B 说“钱与孙中至少有一人作案”；侦察员 C 说“孙与李中至少有一人作案”；侦察员 D 说“赵与孙中至少有一人与此案无关”；侦察员 E 说“钱与李中至少有一人与此案无关”。如果这五个侦察员的话都是可信的，试用归结演绎推理求出谁是盗窃犯。

解：第一步：将 5 位侦察员的话表示成谓词公式，为此先定义谓词。

设谓词 P(x)表示是作案者，所以根据题意：

A: P(zhao) ∨ P(qian)　　　　B: P(qian) ∨ P(sun)

C: P(sun) ∨ P(li)　　　　D: ¬P(zhao) ∨ ¬P(sun)

E: ¬P(qian) ∨ ¬P(li)

以上每个侦察员的话都是一个子句。

第二步：将待求解的问题表示成谓词。设 y 是盗窃犯，则问题的谓词公式为 P(y)，将其否定并与 ANSWER(y)做析取：

¬P(y) ∨ ANSWER(y)

第三步：求前提条件及¬P(y) ∨ ANSWER(y)的子句集，并将各子句列表如下：

（1）　P(zhao) ∨ P(qian)

（2）　P(qian) ∨ P(sun)

（3）　P(sun) ∨ P(li)

（4）　¬P(zhao) ∨ ¬P(sun)

（5）　¬P(qian) ∨ ¬P(li)

（6）　¬P(y) ∨ ANSWER(y)

第四步：应用归结原理进行推理。

（7）　P(qian) ∨ ¬P(sun)　　　　(1)与(4)归结

（8）　P(zhao) ∨ ¬P(li)　　　　(1)与(5)归结

（9）　P(qian) ∨ ¬P(zhao)　　　　(2)与(4)归结

（10）　P(sun) ∨¬P(li)　　　　(2)与(5)归结

（11）　¬P(zhao) ∨ P(li)　　　　(3)与(4)归结

（12） $P(sun) \vee \neg P(qian)$ (3)与(5)归结

（13） $P(qian)$ (2)与(7)归结

（14） $P(sun)$ (2)与(12)归结

（15） $ANSWER(qian)$ (6)与(13)归结， $\sigma=\{qian/y\}$

（16） $ANSWER(sun)$ (6)与(14)归结， $\sigma=\{sun/y\}$

所以，本题的盗窃犯是两个人：钱和孙。

2 任何兄弟都有同一个父亲，John 和 Peter 是兄弟，且 John 的父亲是 David，问 Peter 的父亲是谁？

解：第一步：将已知条件用谓词公式表示出来，并化成子句集。那么，要先定义谓词。

（1） 定义谓词：

设 $Father(x,y)$ 表示 x 是 y 的父亲。

设 $Brother(x,y)$ 表示 x 和 y 是兄弟。

（2） 将已知事实用谓词公式表示出来：

F1：任何兄弟都有同一个父亲。

$(\forall x)(\forall y)(\forall z)(Brother(x,y) \wedge Father(z,x) \rightarrow Father(z,y))$

F2：John 和 Peter 是兄弟。

$Brother(John, Peter)$

F3：John 的父亲是 David。

$Father(David, John)$

（3） 将它们化成子句集，得

$S1=\{\neg Brother(x,y) \vee \neg Father(z,x) \vee Father(z,y), Brother(John, Peter), Father(David, John)\}$

第二步：把问题用谓词公式表示出来，并将其否定与谓词 ANSWER 做析取。

设 Peter 的父亲是 u，则有：$Father(u, Peter)$

将其否定与 ANSWER 做析取，得

G: $\neg Father(u, Peter) \vee ANSWER(u)$

第三步：将上述公式 G 化为子句集 S2，并将 S1 和 S2 合并到 S。

$S2=\{\neg Father(u, Peter) \vee ANSWER(u)\}$

$S=S1 \cup S2$

将 S 中各子句列出如下：

（1） $\neg Brother(x,y) \vee \neg Father(z,x) \vee Father(z,y)$

（2） $Brother(John, Peter)$

（3） $Father(David, John)$

（4） $\neg Father(u, Peter) \vee ANSWER(u)$

第四步：应用归结原理进行归结。

（5） $\neg Brother(John,y) \vee Father(David,y)$

（1）与（3）归结， $\sigma=\{David/z, John/x\}$

（6） $\neg Brother(John, Peter) \vee ANSWER(David)$

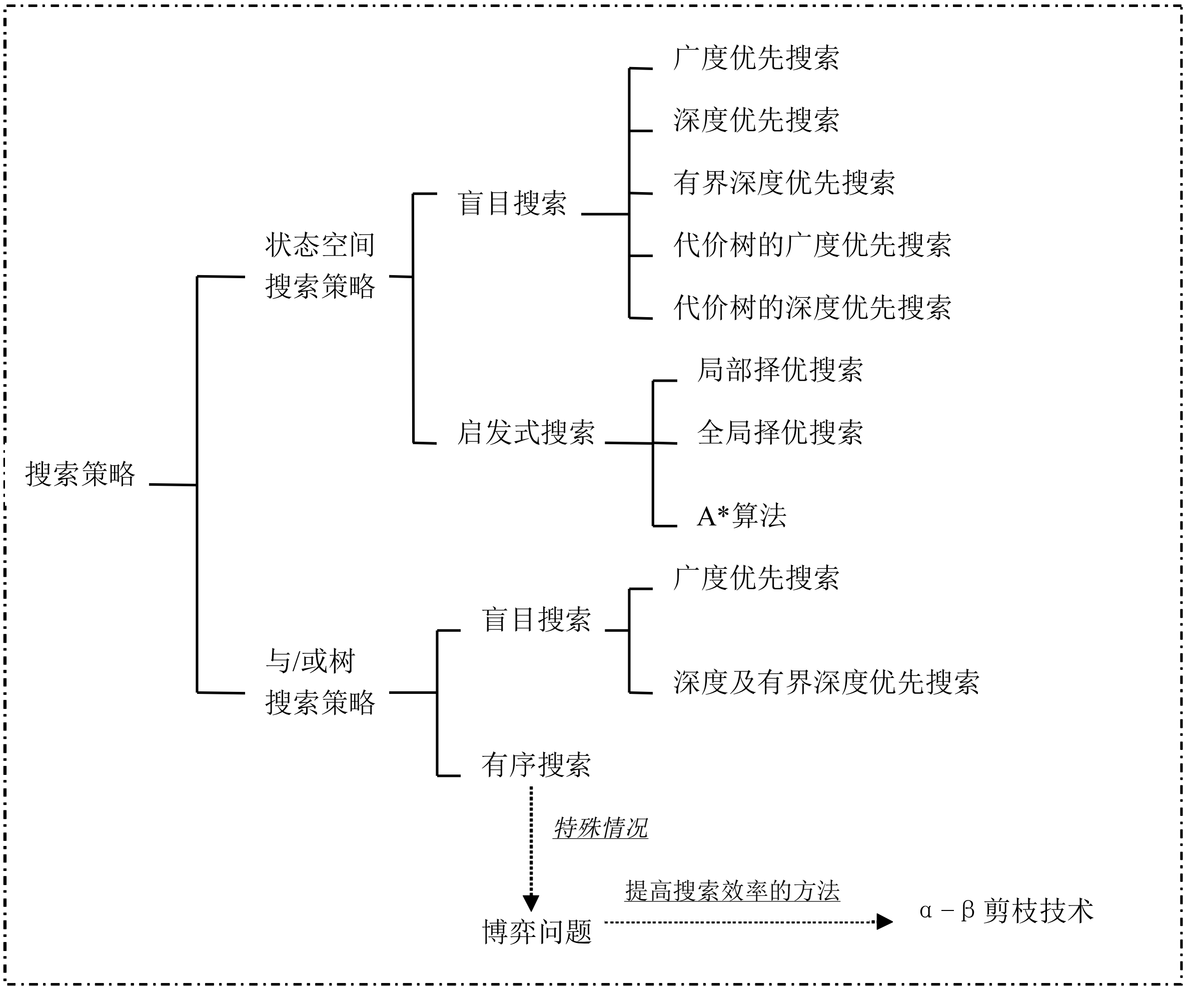
（4）与（5）归结， $\sigma=\{David/u, Peter/y\}$

（7） $ANSWER(David)$ （2）与（6）归结

第五步：得到了归结式 ANSWER(David)，答案即在其中，所以 u=David，即 Peter 的父亲是 David。

第 4 部分　搜索策略

本章小结：



博弈问题：

极大极小分析法：计算出端节点的估值，再推算出父节点的得分。

推算的方法是：对“或”节点，选其子节点中一个最大的得分作为父节点的得分，这是为了使自己在可供选择的方案中选一个对自己最有利的方案；对“与”节点，选其子节点中一个最小的得分作为父节点的得分，这是为了立足于最坏的情况。这样计算出的父节点的得分称为倒推值。

α－β剪枝技术：

对于一个“与”节点来说，它取当前子节点中的最小倒推值作为它倒推值的上界，称此值为

β值。对于一个“或”节点来说，它取当前子节点中的最大倒推值作为它倒推值的下界，称此值为α值。

其一般规律为：（1）任何“或”节点 x 的α值如果不能降低其父节点的β值，则对节点 x 以下的分枝可停止搜索，并使 x 的倒推值为α。这种剪枝成为β剪枝。

（2）任何“与”节点 x 的β值如果不能升高其父节点的α值，则对节点 x 以下的分枝可停止搜索，并使 x 的倒推值为β。这种剪枝成为α剪枝。

习题解答：

1　图 4-1 是五城市间的交通路线图，A 城市是出发地，E 城市是目的地，两城市间的交通费用（代价）如图中数字所示。求从 A 到 E 的最小费用交通路线。

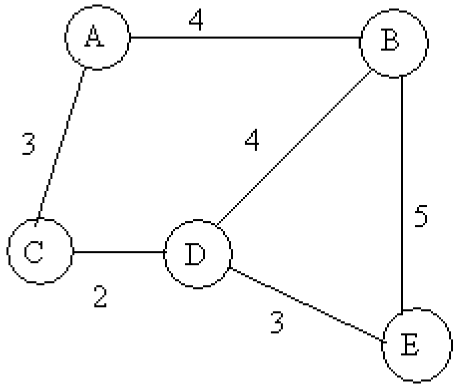


图 4-1

解：先将交通图转换为代价树，如图 4-2 所示。

若用 g(x)表示从初始节点 s0 到节点 x 的代价，用 c(x1,x2)表示从父节点 x1 到子节点 x2 的代价，则有：

g(x2)=g(x1)+c(x1,x2)

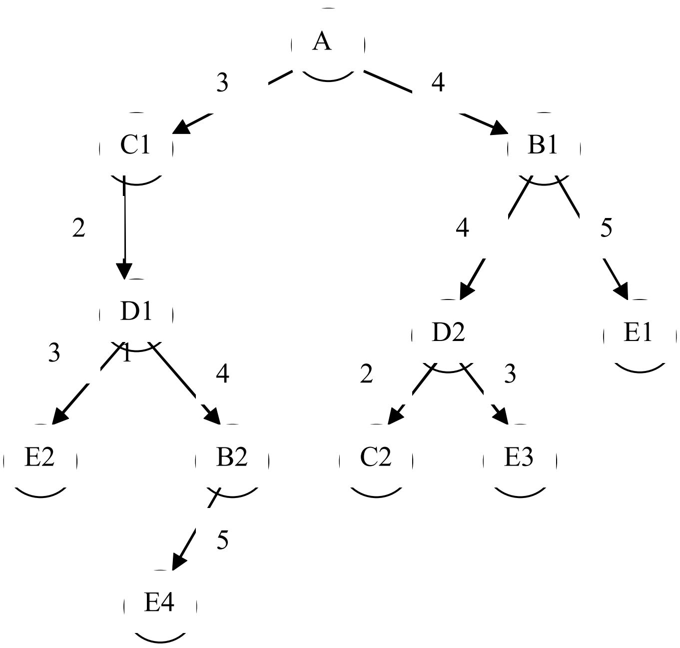


图 4-2

方法一：代价树的广度优先搜索

（扩展节点 n，将其子节点放入 open 表中，计算各子节点的代价，并按各节点的代价对 open 表中全部节点按从小到大的顺序进行排序（队列））

步骤如下：

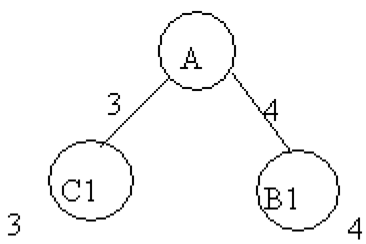


图 4-3-1

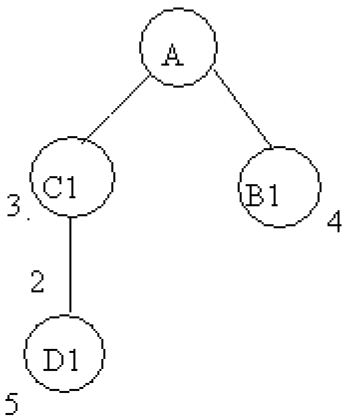


图 4-3-2

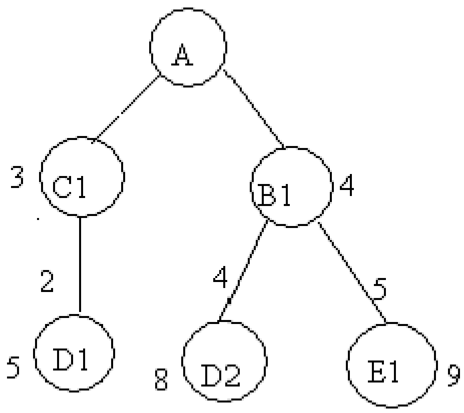


图 4-3-3

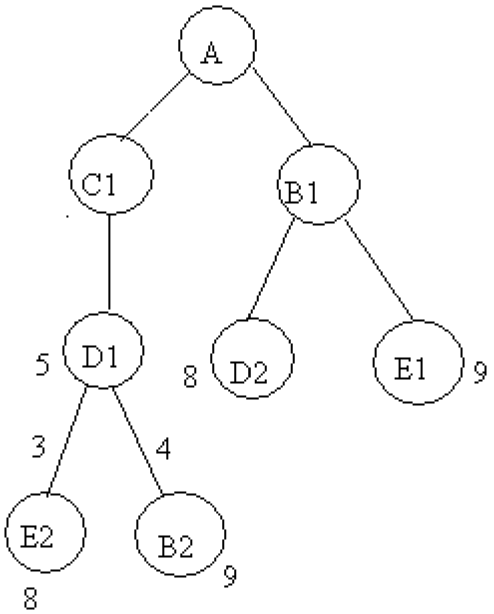


图 4-3-4

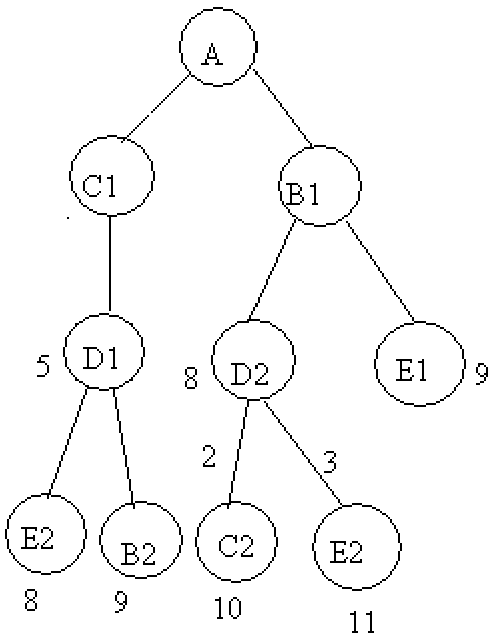


图 4-3-5

所以，最优路径为 A->C->D->E

方法二：代价树的深度优先搜索（不一定是最优解）

（扩展节点 n，将其子节点按代价从小到大的顺序放到 open 表的首部（栈））

步骤如下：

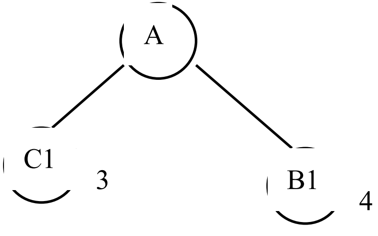
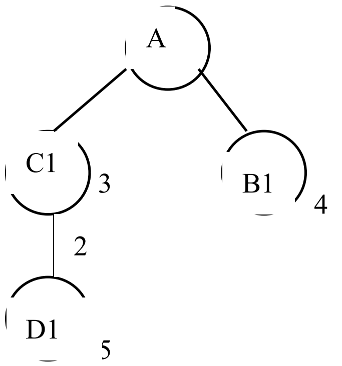


图 4-4-1



虽然 D1 的代价大于 B1 的代价，但按照代价树的深度优先搜索策略，要对 D1 进行扩展，放入 closed 表中（若按代价树的广度优先搜索，要对 B1、D1 排序，先扩展 B1）

图 4-4-2

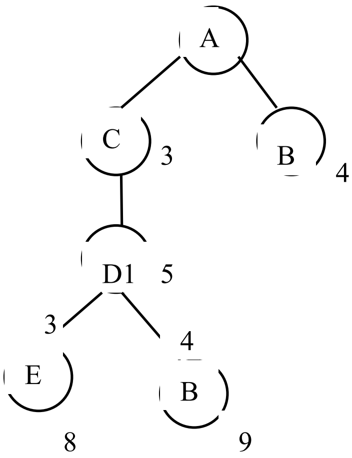


图 4-4-3

E 为目标节点，E2->D1->C1->A

所以路径为 A->C->D->E

注：该题代价树的深度优先搜索与代价树的广度优先搜索的结果相同，但这只是巧合。一般情况下，这两种方法得到的结果不一定相同。另外，由于代价树的深度优先搜索有可能进入无穷分支的路径，因此它是不完备的。

2 如下图 4-5 所示，分别用代价树的广度优先搜索策略和代价树的深度优先搜索策略，求 A 到 E 的最短费用路径。

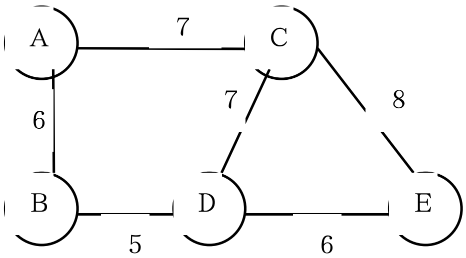


图 4 — 5

解：先将其化成代价树，如图 4-6：

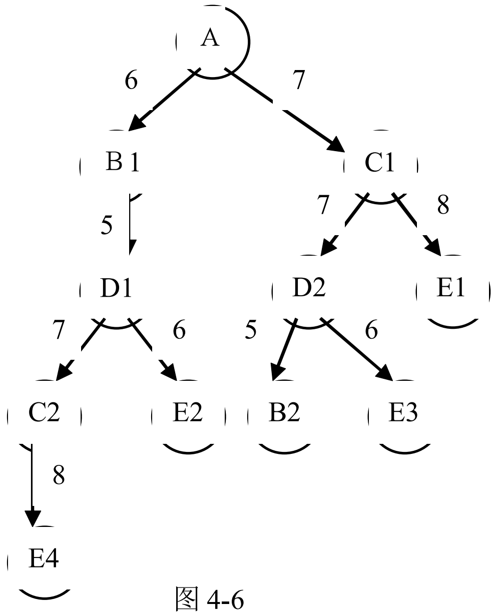


图 4-6

(1)代价树的广度优先搜索,步骤如下：

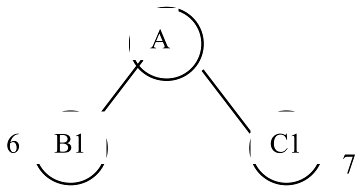


图 4-7-1

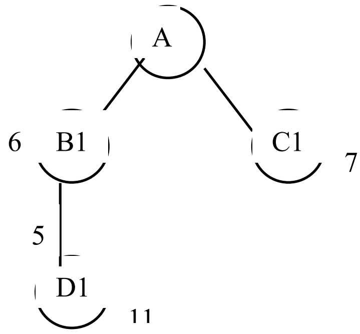


图 4-7-2

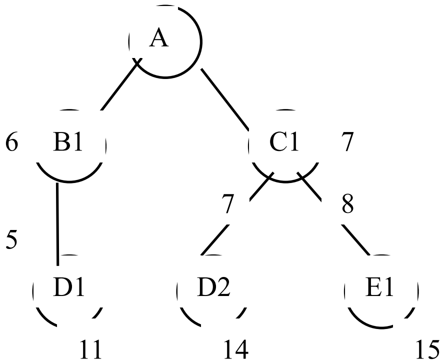
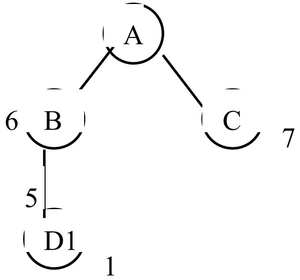
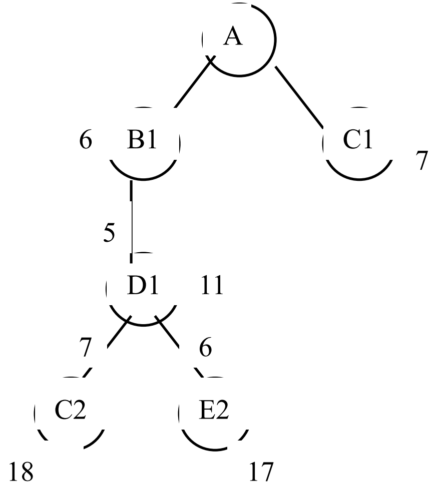


图 4-7-3

E 为目标节点，路径为 A->C->E，代价为 15。

（2）代价树的深度优先搜索,步骤如下：





虽然 C1 代价低于 D1，但按照代价树的深度优先搜索策略，对 D1 进行扩展，放入 closed 表中，因为 B1 扩展的节点为 D1，而 C1 是 A 节点扩展得到的。E 出栈，为目标节点，结束。故解路径为 A->B->D->E,代价为 17，不是最优解。

注：深度优先搜索是不完备的，即使问题有解，也不一定能求得解。得到的解也不一定是最优解（因为是局部优先搜索）。

3 下图是五城市间的交通费用图，若从西安出发，要求把每个城市都访问一遍，最后到达广州，请找一条最优路线。边上的数字是两城市间的交通费用。

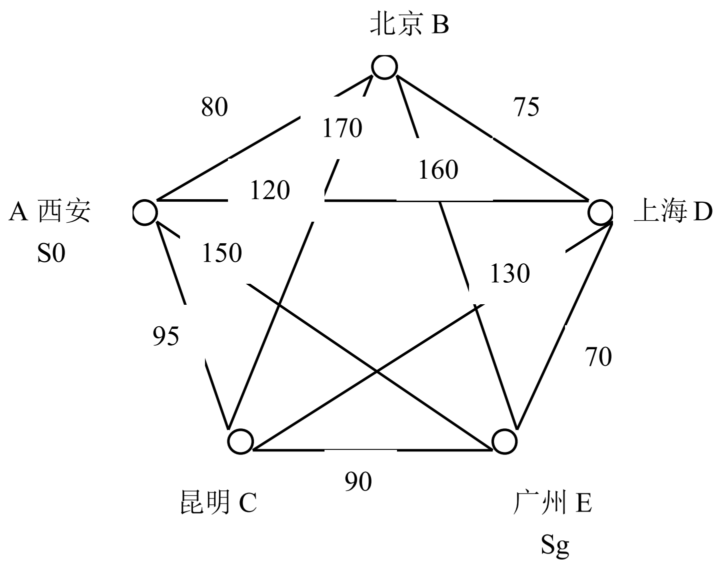


图 4-9

解：先画出代价树：

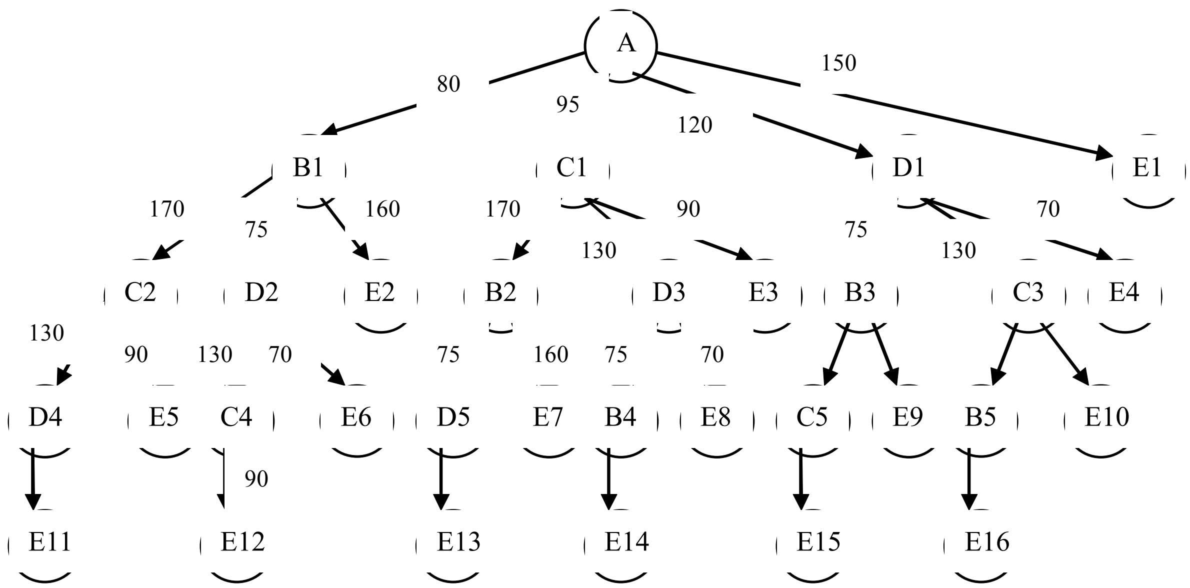
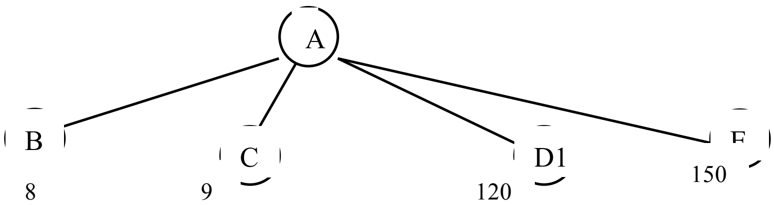
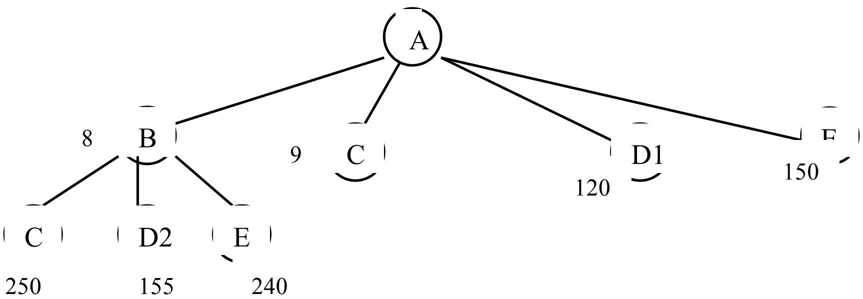


图 4-10

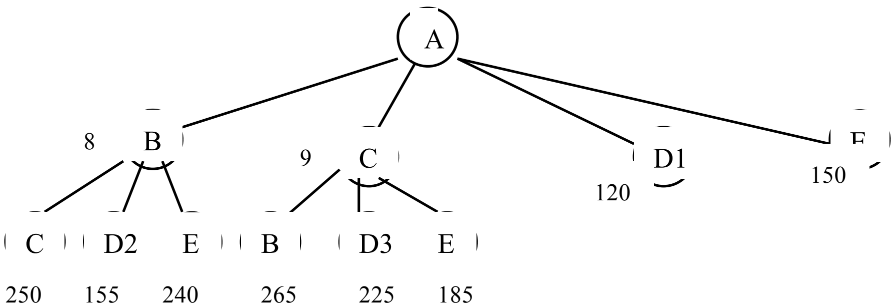
按代价树的广度优先搜索即可得出最优路线，步骤如下：



图



图



图

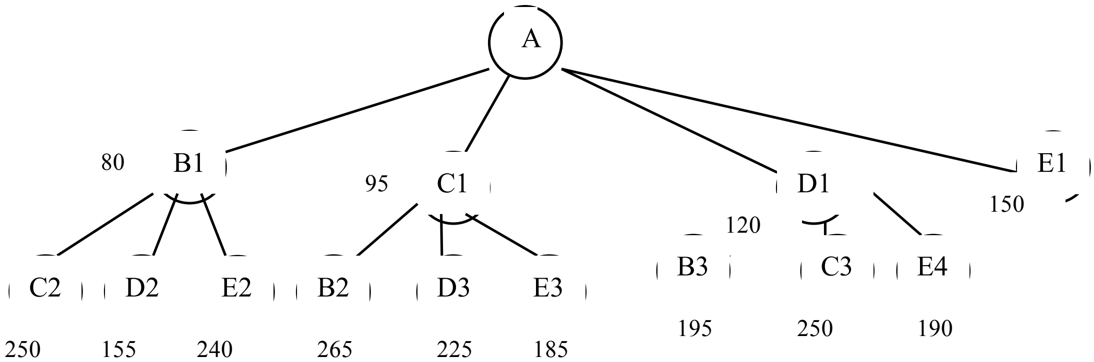


图4-11-4

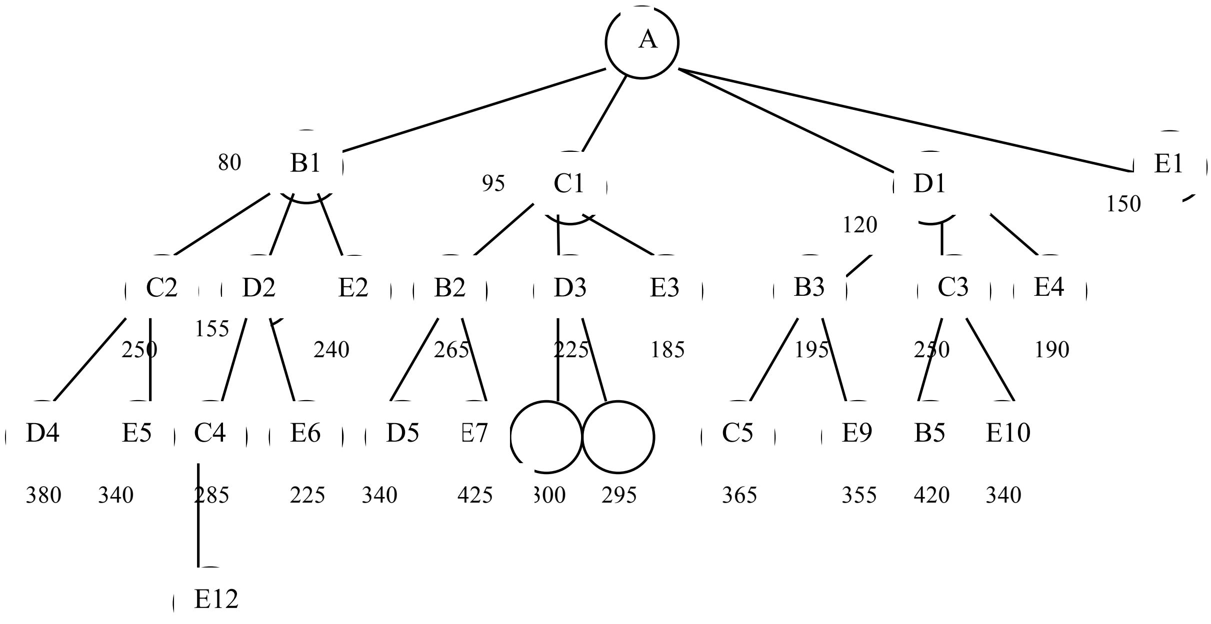
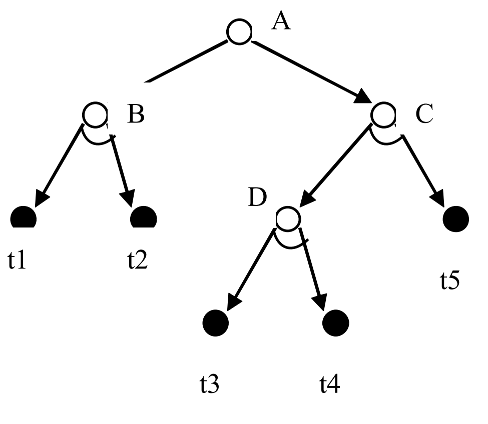


图4-11-5

故由此得出最优路线为 A->B1->D2->C4->E12

即 A->B->D->C->E，交通费用为 375。

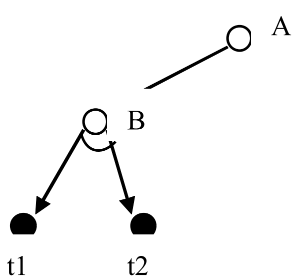
4 设有如图所示的一棵与/或树，请分别用与/或树的广度优先搜索及与/或树的深度优先搜索求出解树。



解：（1）与/或树的广度优先搜索

先扩展节点 A,得到节点 B 和 C，再扩展节点 B,得节点 t1、t2，因为 t1、t2 为可解节点，故节点 B 可解，从而可节点 A 可解。

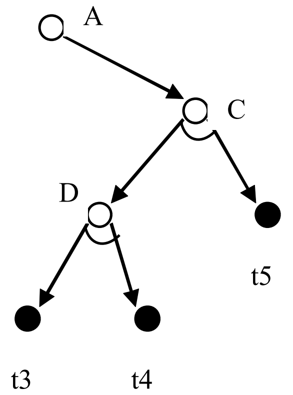
所以求得解树为：



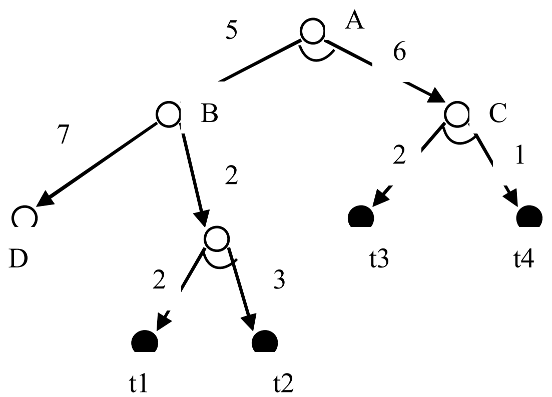
（2）与/或树的深度优先搜索

先扩展节点 A, 得到节点 B 和 C,再扩展节点 C, 得节点 D 和 t5,t5 为可解节点，再扩展节 D，得节点 t3、t4，因为 t3、t4 为可解节点，故节点 D 可解，因为节点 D 和 t5 可解，故节点 C 可解，从而可节点 A 可解。

所以求得解树为：



5 设有如图所示的与/或树，请分别按和代价法及最大代价法求解树代价。



（1） 按和代价法：h(B)=7,h(C)=3,h(A)=7+3+5+6=21

（2） 按最大代价法：h(B)=5,h(C)=2,h(A)=5+5=10

第 2 章　知识表示方法部分参考答案

2.8 **设有如下语句，请用相应的谓词公式分别把他们表示出来：s**

(1) **有的人喜欢梅花，有的人喜欢菊花，有的人既喜欢梅花又喜欢菊花 。**

解：定义谓词 d

P(x)：x 是人

L(x,y)：x 喜欢 y

其中，y 的个体域是{梅花，菊花}。

将知识用谓词表示为：

(∃x)(P(x)→L(x, 梅花)∨L(x, 菊花)∨L(x, 梅花)∧L(x, 菊花))

(2) **有人每天下午都去打篮球。**

解：定义谓词

P(x)：x 是人

B(x)：x 打篮球

A(y)：y 是下午

将知识用谓词表示为：a

(∃x)(∀y) (A(y)→B(x)∧P(x))

(3) **新型计算机速度又快，存储容量又大。**

解：定义谓词

NC(x)：x 是新型计算机

F(x)：x 速度快

B(x)：x 容量大

将知识用谓词表示为：

(∀x) (NC(x)→F(x)∧B(x))

(4) **不是每个计算机系的学生都喜欢在计算机上编程序。**

解：定义谓词

S(x)：x 是计算机系学生

L(x, pragramming)：x 喜欢编程序

U(x,computer)：x 使用计算机

将知识用谓词表示为：

¬ (∀x) (S(x)→L(x, pragramming)∧U(x,computer))

(5) **凡是喜欢编程序的人都喜欢计算机。**

解：定义谓词

P(x)：x 是人

L(x, y)：x 喜欢 y

将知识用谓词表示为：

(∀x) (P(x)∧L(x,pragramming)→L(x, computer))

2.9 用谓词表示法求解机器人摞积木问题。设机器人有一只机械手，要处理的世界有一张桌子，桌上可堆放若干相同的方积木块。机械手有 **4** 个操作积木的典型动作：从桌上拣起一块积木；将手中的积木放到桌之上；在积木上再摞上一块积木；从积木上面拣起一块积木。积木世界的布局如下图所示。

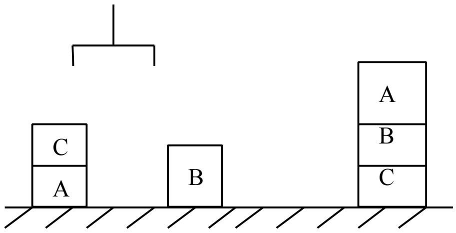


图　机器人摞积木问题

解：(1) 先定义描述状态的谓词

CLEAR(x)：积木 x 上面是空的。

ON(x, y)：积木 x 在积木 y 的上面。

ONTABLE(x)：积木 x 在桌子上。

HOLDING(x)：机械手抓住 x。

HANDEMPTY：机械手是空的。

其中，x 和 y 的个体域都是{A, B, C}。

问题的初始状态是：

ONTABLE(A)

ONTABLE(B)

ON(C, A)

CLEAR(B)

CLEAR(C)

HANDEMPTY

问题的目标状态是：

ONTABLE(C)

ON(B, C)

ON(A, B)

CLEAR(A)

HANDEMPTY

(2) 再定义描述操作的谓词

在本问题中，机械手的操作需要定义以下 4 个谓词：

Pickup(x)：从桌面上拣起一块积木 x。

Putdown(x)：将手中的积木放到桌面上。

Stack(x, y)：在积木 x 上面再摞上一块积木 y。

Upstack(x, y)：从积木 x 上面拣起一块积木 y。

其中，每一个操作都可分为条件和动作两部分，具体描述如下：

Pickup(x)

条件：ONTABLE(x)，HANDEMPTY，CLEAR(x)

动作：删除表：ONTABLE(x)，HANDEMPTY

添加表：HANDEMPTY(x)

Putdown(x)

条件：HANDEMPTY(x)

动作：删除表：HANDEMPTY(x)

添加表：ONTABLE(x)，CLEAR(x) ，HANDEMPTY

Stack(x, y)

条件：HANDEMPTY(x)，CLEAR(y)

动作：删除表：HANDEMPTY(x)，CLEAR(y)

添加表：HANDEMPTY，ON(x, y) ，CLEAR(x)

Upstack(x, y)

条件：HANDEMPTY，CLEAR(y) ，ON(y,x)

动作：删除表：HANDEMPTY，ON(y, x)

添加表：HOLDING(y)，CLEAR(x)

(3) 问题求解过程

利用上述谓词和操作，其求解过程为：

ONTABLE(A) ONTABLE(B) ON(C, A) CLEAR(B) CLEAR(C) HANDEMPTY	$\xrightarrow{\text{Upstack(A,C)}}$	ONTABLE(A) ONTABLE(B) HOLDING(C) CLEAR(A) CLEAR(B) CLEAR(C)	$\xrightarrow{\text{Putdown(C)}}$	ONTABLE(A) ONTABLE(B) ONTABLE(C) CLEAR(A) CLEAR(B) CLEAR(C) HANDEMPTY	$\xrightarrow{\text{Pickup(B)}}$	

ONTABLE(A) ONTABLE(C) HOLDING(B) CLEAR(A) CLEAR(B) CLEAR(C)	$\xrightarrow{\text{Stack(C,B)}}$	ONTABLE(A) ONTABLE(C) ON(B,C) CLEAR(A) CLEAR(B) HANDEMPT Y	$\xrightarrow{\text{Pickup(A)}}$	ONTABLE(C) ON(B,C) CLEAR(A) CLEAR(B) HOLDING(A	$\xrightarrow{\text{Stack(B,A)}}$	ONTABLE(C) ON(B,C) ON(A,B) CLEAR(A) HANDEMPT

2.10 用谓词表示法求解农夫、狼、山羊、白菜问题。农夫、狼、山羊、白菜全部放在一条河的左岸，现在要把他们全部送到河的右岸去，农夫有一条船，过河时，除农夫外船上至多能载狼、山羊、白菜中的一种。狼要吃山羊，山羊要吃白菜，除非农夫在那里。似规划出一个确保全部安全过河的计划。请写出所用谓词的定义，并给出每个谓词的功能及变量的个体域。

解：(1) 先定义描述状态的谓词

要描述这个问题，需要能够说明农夫、狼、羊、白菜和船在什么位置，为简化问题表示，取消船在河中行驶的状态，只描述左岸和右岸的状态。并且，由于左岸和右岸的状态互补，因此可仅对左岸或右岸的状态做直接描述。本题选择对左岸进行直接描述的方法，即定义谓词如下：

AL(x)：x 在左岸

其中，x 的个体域是{农夫，船，狼，羊，白菜}。对应地，¬AL(x)表示 x 在右岸。

问题的初始状态：

AL(农夫)　AL(船)　AL(狼)　AL(羊)　AL(白菜)

问题的目标状态：

¬AL(农夫)　¬AL(船)　¬AL(狼)　¬AL(羊)　¬AL(白菜)

(2) 再定义描述操作的谓词

本题需要以下 4 个描述操作的谓词：

L-R：农夫自己划船从左岸到右岸

L-R(x)：农夫带着 x 划船从左岸到右岸

R-L：农夫自己划船从右岸到左岸

R-L(x) ：农夫带着 x 划船从右岸到左岸

其中，x 的个体域是{狼，羊，白菜}。

对上述每个操作，都包括条件和动作两部分。它们对应的条件和动作如下：

L-R：农夫划船从左岸到右岸

条件：AL(船)，AL(农夫)，¬AL(狼)∨¬AL(羊)，¬AL(羊)∨¬AL(白菜)

动作：删除表：AL(船)，AL(农夫)

添加表：¬AL(船)，¬AL(农夫)

L-R(狼)：农夫带着狼划船从左岸到右岸

条件：AL(船)，AL(农夫)，AL(狼)，¬AL(羊)

动作：删除表：AL(船)，AL(农夫)，AL(狼)

添加表：¬AL(船)，¬AL(农夫)，¬AL(狼)

L-R(羊)：农夫带着羊划船从左岸到右岸

条件：AL(船)，AL(农夫)，AL(羊)， AL(狼)，AL(白菜)

或：AL(船)，AL(农夫)，AL(羊)，¬AL(狼)，¬AL(白菜)

动作：删除表：AL(船)，AL(农夫)，AL(羊)

添加表：¬AL(船)，¬AL(农夫)，¬AL(羊)

L-R(白菜)：农夫带着白菜划船从左岸到右岸

条件：AL(船)，AL(农夫)，AL(白菜)，¬AL(狼)

动作：删除表：AL(船)，AL(农夫)，AL(白菜)

添加表：¬AL(船)，¬AL(农夫)，¬AL(白菜)

R-L：农夫划船从右岸到左岸

条件：¬AL(船)，¬AL(农夫)，AL(狼)∨AL(羊)，AL(羊)∨AL(白菜)

或：¬AL(船)，¬AL(农夫) ，¬AL(狼)，¬AL(白菜)，AL(羊)

动作：删除表：¬AL(船)，¬AL(农夫)

添加表：AL(船)，AL(农夫)

R-L(羊) ：农夫带着羊划船从右岸到左岸

条件：¬AL(船)，¬AL(农夫)，¬AL(羊) ，¬AL(狼)，¬AL(羊)，AL(白菜)

动作：删除表：¬AL(船)，¬AL(农夫)，¬AL(羊)

添加表：AL(船)，AL(农夫)，AL(羊)

(3) 问题求解过程

AL(农夫) AL(船) AL(狼) AL(羊) AL(白菜)	L-R(羊) ⟹	AL(狼) AL(白菜) ¬AL(农夫) ¬AL(船) ¬AL(羊)	R-L ⟹	AL(农夫) AL(船) AL(狼) AL(白菜) ¬AL(羊)	L-R(狼) ⟹	AL(白菜) ¬AL(农夫) ¬AL(船) ¬AL(狼) ¬AL(羊)	R-L(羊) ⟹	
AL(农夫) AL(船) AL(羊) AL(白菜) ¬AL(狼)	L-R(白菜) ⟹	AL(羊) ¬AL(农夫) ¬AL(船) ¬AL(白	R-L ⟹	AL(农夫) AL(船) AL(羊) ¬AL(白菜)	L-R(羊) ⟹	¬AL(农夫) ¬AL(船) ¬AL(羊) ¬AL(白菜)		

2.11 用谓词表示法求解修道士和野人问题。在河的北岸有三个修道士、三个野人和一条船，修道士们想用这条船将所有的人都运过河去，但要受到以下条件限制：

(1) 修道士和野人都会划船，但船一次只能装运两个人。

(2) 在任何岸边，野人数不能超过修道士，否则修道士会被野人吃掉。

假定野人愿意服从任何一种过河安排，请规划出一种确保修道士安全的过河方案。要求写出所用谓词的定义、功能及变量的个体域。

解：（1）定义谓词

先定义修道士和野人人数关系的谓词：

G(x,y,S)：　在状态 S 下 x 大于 y

GE(x,y,S)：在状态 S 下 x 大于或等于 y

其中，x,y 分别代表修道士人数和野人数，他们的个体域均为{0,1,2,3}。

再定义船所在岸的谓词和修道士不在该岸上的谓词：

Boat(z,S)：状态 S 下船在 z 岸

EZ(x,S)：　状态 S 下 x 等于 0，即修道士不在该岸上

其中，z 的个体域是{L,R}，L 表示左岸，R 表示右岸。

再定义安全性谓词：

Safety(z,x,y,S)≡(G(x,0,S)∧GE(x,y,S))∨(EZ(x,S))

其中，z,x,y 的含义同上。该谓词的含义是：状态 S 下，在 z 岸，保证修道士安全，当且仅当修道士不在该岸上，或者修道士在该岸上，但人数超过野人数。该谓词同时也描述了相应的状态。

再定义描述过河方案的谓词：

L-R(x, x1, y, y1,S)：x1 个修道士和 y1 个野人渡船从河的左岸到河的右岸

　　条件：Safety(L,x-x1,y-y1,S’)∧Safety(R,3-x+x1,3-y+y1,S’)∧Boat(L,S)

　　动作：Safety(L,x-x1,y-y1,S’)∧Safety(R,3-x+x1,3-y+y1,S’)∧Boat(R,S’)

R-L (x, x1, y, y1,S)：x2 个修道士和 y2 个野人渡船从河的左岸到河的右岸

　　条件：Safety(R,3-x-x2,3-y-y2,S’)∧Safety(L,x+x2,y+y2,S’)∧Boat(R,S)

　　动作：Safety(R,3-x-x2,3-y-y2,S’)∧Safety(L,x+x2,y+y2,S’)∧Boat(L,S’)

(2) 过河方案

Safety(L,3,3,S0)∧Safety(R,0,0,S0)∧Boat(L,S0)

↓ L-R(3, 1, 3, 1,S0)　　　　L-R(3, 0, 3, 2,S0)

Safety(L,2,2,S1)∧Safety(R,1,1,S1)∧Boat(R,S1)

　　　　Safety(L,3,1,S1’)∧Safety(R,0,2,S1’)∧Boat(R,S1’)

↓ R-L (2, 1, 2, 0,S1)　　　　R-L (3,0, 1, 1,S1’)

Safety(L,3,2,S2)∧Safety(R,0,1,S2)∧Boat(L,S2)

↓ L-R(3, 0, 2, 2,S2)

Safety(L,3,0,S3)∧Safety(R,0,3,S3)∧Boat(R,S3)

↓ R-L (3, 0, 0, 1,S3)

Safety(L,3,1,S4)∧Safety(R,0,2,S1)∧Boat(L,S4)

↓ L-R(3, 2, 1, 0,S4)

Safety(L,1,1,S5)∧Safety(R,2,2,S5)∧Boat(R,S5)

↓ R-L (1, 1, 1, 1,S5)

Safety(L,2,2,S6)∧Safety(R,1,1,S6)∧Boat(L,S6)

↓ L-R(2, 2, 2, 0,S6)

Safety(L,0,2,S7)∧Safety(R,3,1,S7)∧Boat(R,S7)

↓ R-L (0, 0, 2, 1,S7)

Safety(L,0,3,S8)∧Safety(R,3,0,S8)∧Boat(L,S8)

↓ L-R(0, 0, 3, 2,S8)

Safety(L,0,1,S9)∧Safety(R,3,2,S9)∧Boat(R,S9)

↓ R-L (0, 1, 1, 0,S9)

Safety(L,1,1,S10)∧Safety(R,2,2,S10)∧Boat(L,S10)

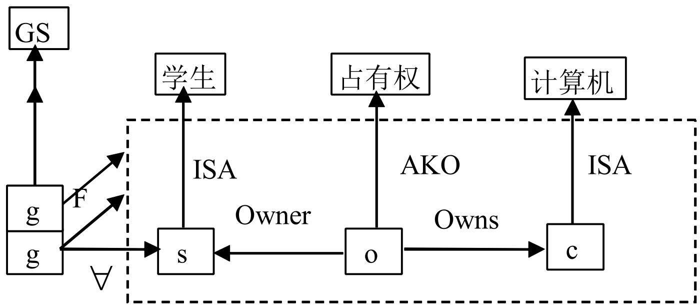
↓ L-R(1, 1, 1, 1,S10)

Safety(L,0,0,S11)∧Safety(R,3,3,S11)∧Boat(R,S11)

2.18 请对下列命题分别写出它们的语义网络：

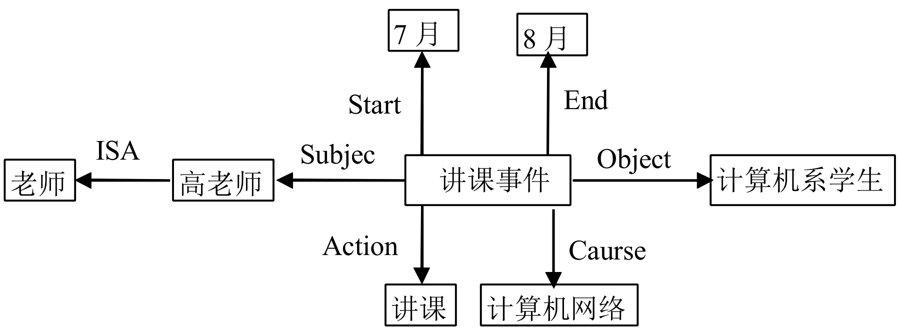
(1) 每个学生都有一台计算机。

解：



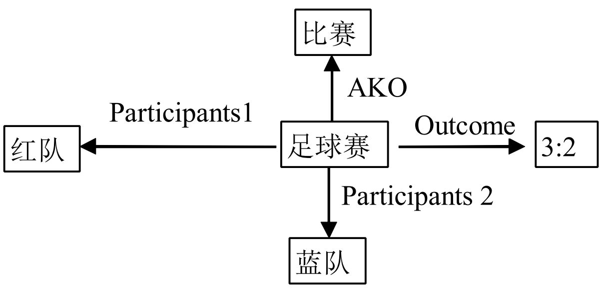
(2) 高老师从 **3** 月到 **7** 月给计算机系学生讲《计算机网络》课。

解：



(5) 红队与蓝队进行足球比赛，最后以 **3**：**2** 的比分结束。

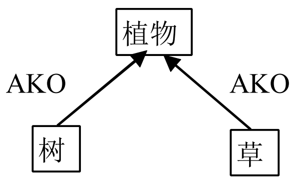
解：



2.19 请把下列命题用一个语义网络表示出来：

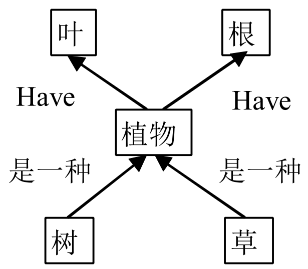
(1) 树和草都是植物；

解：



(2) 树和草都有叶和根；

解：



(3) 水草是草，且生长在水中；

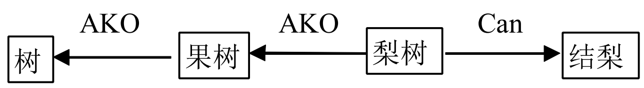
解：

(4) 果树是树，且会结果；

解：

(5) 梨树是果树中的一种，它会结梨。

解：



2.25 假设有以下一段天气预报：“北京地区今天白天晴，偏北风 **3** 级，最高气温 **12º**，最低气温-2º，降水概率 15%。”请用框架表示这一知识。

解：

Frame<天气预报>

地域：北京

时段：今天白天

天气：晴

风向：偏北

风力：3 级

气温：最高：12 度

最低：-2 度

降水概率：15%

2.26 按“师生框架”、“教师框架”、“学生框架”的形式写出一个框架系统的描述。

解：师生框架

Frame <Teachers-Students>

Name：Unit（Last-name，First-name）

Sex：Area（male，female）

Default：male

Age：Unit（Years）

Telephone：Home Unit（Number）

Mobile Unit（Number）

教师框架

Frame <Teachers >

AKO<Teachers-Students >

Major：Unit（Major-Name）

Lectures：Unit（Course-Name）

Field：Unit（Field-Name）

Project ：Area（National，Provincial，Other）

Default：Provincial

Paper：Area（SCI，EI，Core，General）

Default：Core

学生框架

Frame <Students>

AKO< Teachers-Students >

Major：Unit（Major-Name）

Classes：Unit（Classes-Name）

Degree：Area（doctor，mastor, bachelor）

Default：bachelor

第 3 章　确定性推理部分参考答案

3.8 判断下列公式是否为可合一，若可合一，则求出其最一般合一。

(1)　P(a, b), P(x, y)

(2)　P(f(x), b), P(y, z)

(3)　P(f(x), y), P(y, f(b))

(4)　P(f(y), y, x), P(x, f(a), f(b))

(5)　P(x, y), P(y, x)

解：(1)　可合一，其最一般和一为：σ ={a/x, b/y}。

(2)　可合一，其最一般和一为：σ ={y/f(x), b/z}。

(3)　可合一，其最一般和一为：σ ={ f(b)/y, b/x}。

(4)　不可合一。

(5)　可合一，其最一般和一为：σ ={ y/x}。

3.11 把下列谓词公式化成子句集：

(1)　(∀x)(∀y)(P(x, y)∧Q(x, y))

(2)　(∀x)(∀y)(P(x, y)→Q(x, y))

(3)　(∀x)(∃y)(P(x, y)∨(Q(x, y)→R(x, y)))

(4)　(∀x) (∀y) (∃z)(P(x, y)→Q(x, y)∨R(x, z))

解：(1) 由于(∀x)(∀y)(P(x, y)∧Q(x, y))已经是 Skolem 标准型，且 P(x, y)∧Q(x, y)已经是合取范式，所以可直接消去全称量词、合取词，得

{ P(x, y),　Q(x, y)}

再进行变元换名得子句集：

S={ P(x, y),　Q(u, v)}

(2) 对谓词公式(∀x)(∀y)(P(x, y)→Q(x, y))，先消去连接词“→”得：

(∀x)(∀y)(¬P(x, y)∨Q(x, y))

此公式已为 Skolem 标准型。

再消去全称量词得子句集：

S={¬P(x, y)∨Q(x, y)}

(3) 对谓词公式(∀x)(∃y)(P(x, y)∨(Q(x, y)→R(x, y)))，先消去连接词“→”得：

(∀x)(∃y)(P(x, y)∨(¬Q(x, y)∨R(x, y)))

此公式已为前束范式。

再消去存在量词，即用 Skolem 函数 f(x)替换 y 得：

(∀x)(P(x, f(x))∨¬Q(x, f(x))∨R(x, f(x)))

此公式已为 Skolem 标准型。

最后消去全称量词得子句集：

S={P(x, f(x))∨¬Q(x, f(x))∨R(x, f(x))}

(4) 对谓词(∀x) (∀y) (∃z)(P(x, y)→Q(x, y)∨R(x, z))，先消去连接词“→”得：

(∀x) (∀y) (∃z)(¬P(x, y)∨Q(x, y)∨R(x, z))

再消去存在量词，即用 Skolem 函数 f(x)替换 y 得：

(∀x) (∀y) (¬P(x, y)∨Q(x, y)∨R(x, f(x,y)))

此公式已为 Skolem 标准型。

最后消去全称量词得子句集：

S={¬P(x, y)∨Q(x, y)∨R(x, f(x,y))}

3-13　判断下列子句集中哪些是不可满足的：

(1)　$\{\neg P\vee Q, \neg Q, \quad P, \neg P\}$

(2)　$\{ P\vee Q , \neg P\vee Q, \quad P\vee\neg Q, \neg P\vee\neg Q \}$

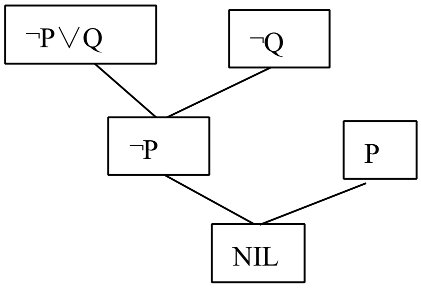
(3)　$\{ P(y)\vee Q(y) , \neg P(f(x))\vee R(a)\}$

(4)　$\{\neg P(x)\vee Q(x) , \neg P(y)\vee R(y), P(a), S(a), \neg S(z)\vee\neg R(z)\}$

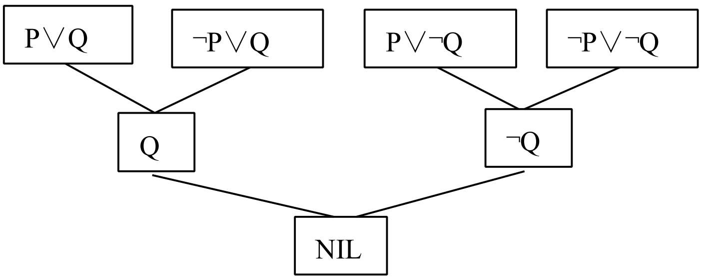
(5)　$\{\neg P(x)\vee Q(f(x),a) , \neg P(h(y))\vee Q(f(h(y)), a)\vee\neg P(z)\}$

(6)　$\{P(x)\vee Q(x)\vee R(x) , \neg P(y)\vee R(y), \neg Q(a), \neg R(b)\}$

解：(1) 不可满足，其归结过程为：



(2) 不可满足，其归结过程为：



(3) 不是不可满足的，原因是不能由它导出空子句。

(4) 不可满足，其归结过程略

(5) 不是不可满足的，原因是不能由它导出空子句。

(6) 不可满足，其归结过程略

3.14　对下列各题分别证明 G 是否为 $F_1,F_2,\ldots,F_n$ 的逻辑结论：

(1)　F: $(\exists x)(\exists y)(P(x, y)$

G: $(\forall y)(\exists x)(P(x, y)$

(2)　F: $(\forall x)(P(x)\wedge(Q(a)\vee Q(b)))$

G: $(\exists x) (P(x)\wedge Q(x))$

(3)　F: $(\exists x)(\exists y)(P(f(x))\wedge(Q(f(y)))$

G: $P(f(a))\wedge P(y)\wedge Q(y)$

(4)　F_1: $(\forall x)(P(x)\rightarrow(\forall y)(Q(y)\rightarrow\neg L(x.y)))$

F_2: $(\exists x) (P(x)\wedge(\forall y)(R(y)\rightarrow L(x.y)))$

G: $(\forall x)(R(x)\rightarrow\neg Q(x))$

(5)　F_1: $(\forall x)(P(x)\rightarrow(Q(x)\wedge R(x)))$

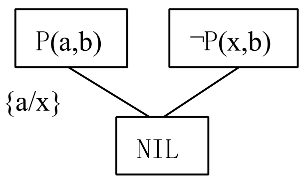
F_2: $(\exists x) (P(x)\wedge S(x))$

G: $(\exists x) (S(x)\wedge R(x))$

解：(1) 先将 F 和¬G 化成子句集：

$S=\{P(a,b), \neg P(x,b)\}$

再对 S 进行归结：



所以，G 是 F 的逻辑结论

(2) 先将 F 和¬G 化成子句集

由 F 得：S_1={P(x)，(Q(a)∨Q(b))}

由于¬G 为：¬ (∃x) (P(x)∧Q(x))，即

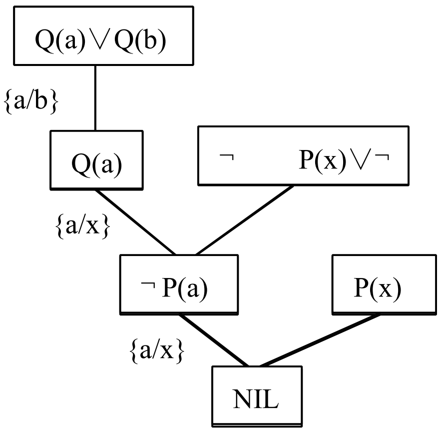
(∀x) (¬P(x)∨¬Q(x))，

可得： S_2={¬P(x)∨¬Q(x)}

因此，扩充的子句集为：

S={ P(x)，(Q(a)∨Q(b))，¬P(x)∨¬Q(x)}

再对 S 进行归结：



所以，G 是 F 的逻辑结论

同理可求得(3)、(4)和(5)，其求解过程略。

3.15 设已知：

(1) 如果 x 是 y 的父亲，y 是 z 的父亲，则 x 是 z 的祖父；

(2) 每个人都有一个父亲。

使用归结演绎推理证明：对于某人 u，一定存在一个人 v，v 是 u 的祖父。

解：先定义谓词

F(x,y)：x 是 y 的父亲　　　　GF(x,z)：x 是 z 的祖父　　　　P(x)：x 是一个人

再用谓词把问题描述出来：

已知 F1：(∀x) (∀y) (∀z)(F(x,y)∧F(y,z))→GF(x,z))　F2：(∀y)(P(x)→F(x,y))

求证结论 G：(∃ u) (∃v)(P(u)→GF(v,u))

然后再将 F1，F2 和¬G 化成子句集：

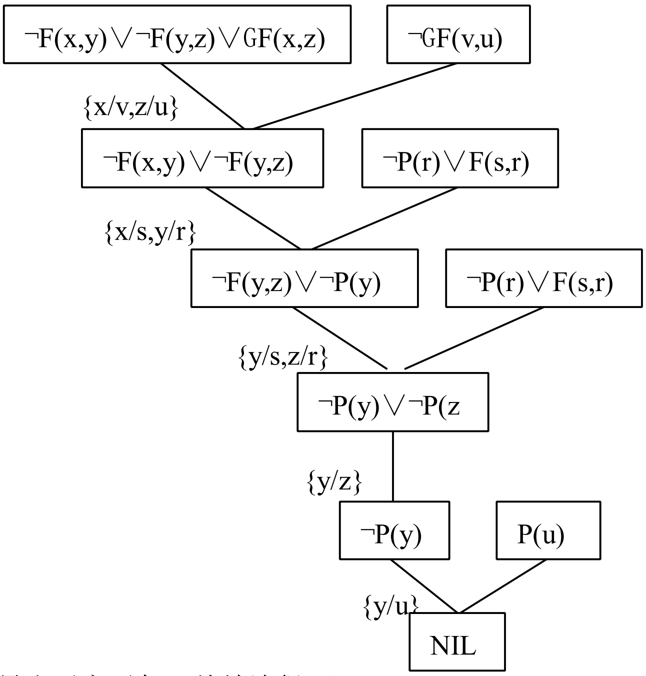
① ¬F(x,y)∨¬F(y,z)∨GF(x,z)

② ¬P(r)∨F(s,r)

③ P(u)

④ ¬GF(v,u))

对上述扩充的子句集，其归结推理过程如下：



由于导出了空子句，故结论得证。

3.16 假设张被盗，公安局派出 5 个人去调查。案情分析时，贞察员 A 说："赵与钱中至少有一个人作案"，贞察员 B 说："钱与孙中至少有一个人作案"，贞察员 C 说："孙与李中至少有一个人作案"，贞察员 D 说："赵与孙中至少有一个人与此案无关"，贞察员 E 说："钱与李中至少有一个人与此案无关"。如果这 5 个侦察员的话都是可信的，使用归结演绎推理求出谁是盗窃犯。

解：(1) 先定义谓词和常量

设 C(x)表示 x 作案，Z 表示赵，Q 表示钱，S 表示孙，L 表示李

(2) 将已知事实用谓词公式表示出来

赵与钱中至少有一个人作案：C(Z)∨C(Q)

钱与孙中至少有一个人作案：C(Q)∨C(S)

孙与李中至少有一个人作案：C(S)∨C(L)

赵与孙中至少有一个人与此案无关：¬ (C (Z)∧C(S))，即 ¬C (Z) ∨¬C(S)

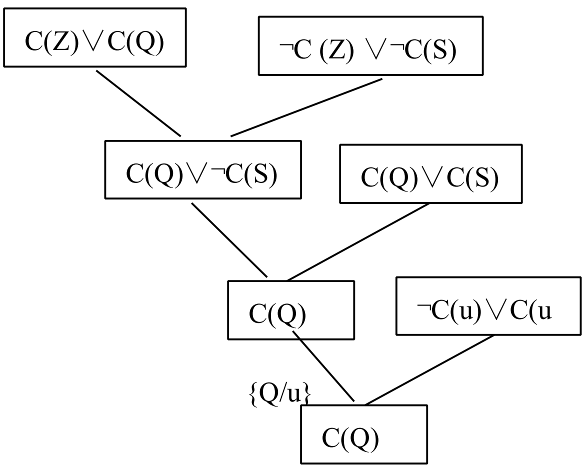
钱与李中至少有一个人与此案无关：¬ (C (Q)∧C(L))，即 ¬C (Q) ∨¬C(L)

(3) 将所要求的问题用谓词公式表示出来，并与其否定取析取。

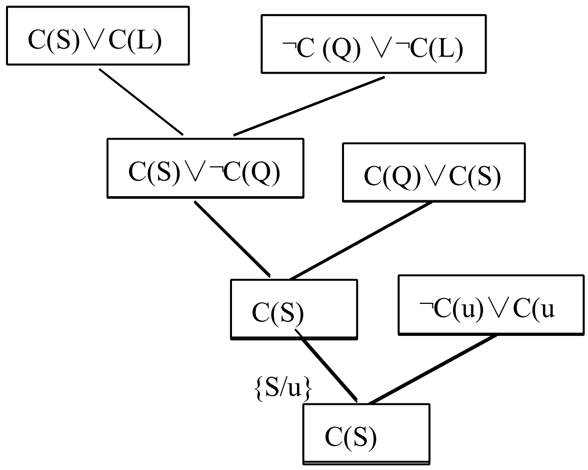
设作案者为 u，则要求的结论是 C(u)。将其与其否)取析取，得：

¬ C(u) ∨C(u)

(4) 对上述扩充的子句集，按归结原理进行归结，其修改的证明树如下：



因此，钱是盗窃犯。实际上，本案的盗窃犯不止一人。根据归结原理还可以得出：



因此，孙也是盗窃犯。

3.18 设有子句集：

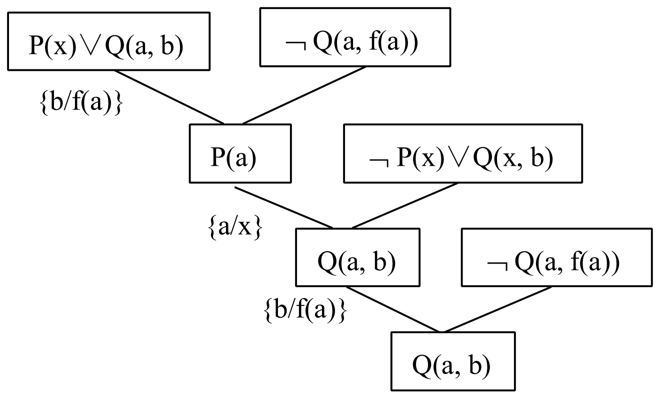
{P(x)∨Q(a, b), P(a)∨﹁Q(a, b), ﹁Q(a, f(a)), ﹁P(x)∨Q(x, b)}

分别用各种归结策略求出其归结式。

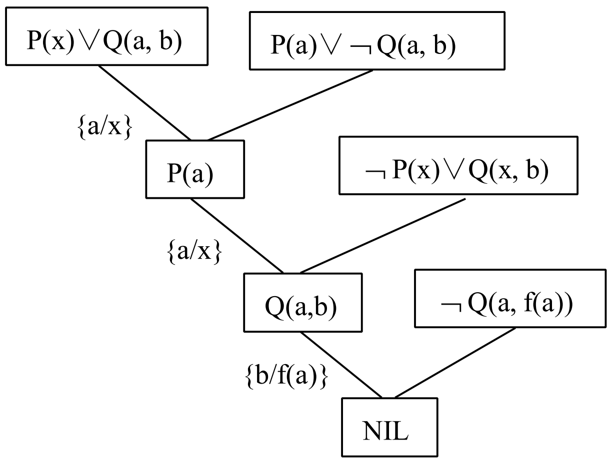
解：支持集策略不可用，原因是没有指明哪个子句是由目标公式的否定化简来的。

删除策略不可用，原因是子句集中没有没有重言式和具有包孕关系的子句。

单文字子句策略的归结过程如下：



用线性输入策略（同时满足祖先过滤策略）的归结过程如下：



3.19 设已知：

(1) 能阅读的人是识字的；

(2) 海豚不识字；

(3) 有些海豚是很聪明的。

请用归结演绎推理证明：有些很聪明的人并不识字。

解：第一步，先定义谓词，

设 $R(x)$表示 x 是能阅读的；　　$K(y)$表示 y 是识字的；$W(z)$ 表示 z 是很聪明的；

第二步，将已知事实和目标用谓词公式表示出来

能阅读的人是识字的：$(\forall x)(R(x))\rightarrow K(x))$

海豚不识字：$(\forall y)(\neg K(y))$

有些海豚是很聪明的：$(\exists z)\, W(z)$

有些很聪明的人并不识字：$(\exists x)(W(z)\wedge\neg K(x))$

第三步，将上述已知事实和目标的否定化成子句集：

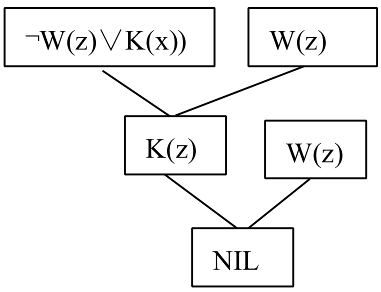
$\neg R(x))\vee K(x)$

$\neg K(y)$

$W(z)$

$\neg W(z)\vee K(x))$

第四步，用归结演绎推理进行证明



3.20 对子句集：

$$\{P\vee Q, Q\vee R, R\vee W, \neg R\vee\neg P, \neg W\vee\neg Q, \neg Q\vee\neg R\}$$

用线性输入策略是否可证明该子句集的不可满足性？

解：用线性输入策略不能证明子句集

$$\{P\vee Q, Q\vee R, R\vee W, \neg R\vee\neg P, \neg W\vee\neg Q, \neg Q\vee\neg R\}$$

的不可满足性。原因是按线性输入策略，不存在从该子句集到空子句地归结过程。

3.23 设已知事实为

$$((P\vee Q)\wedge R)\vee(S\wedge(T\vee U))$$

F 规则为

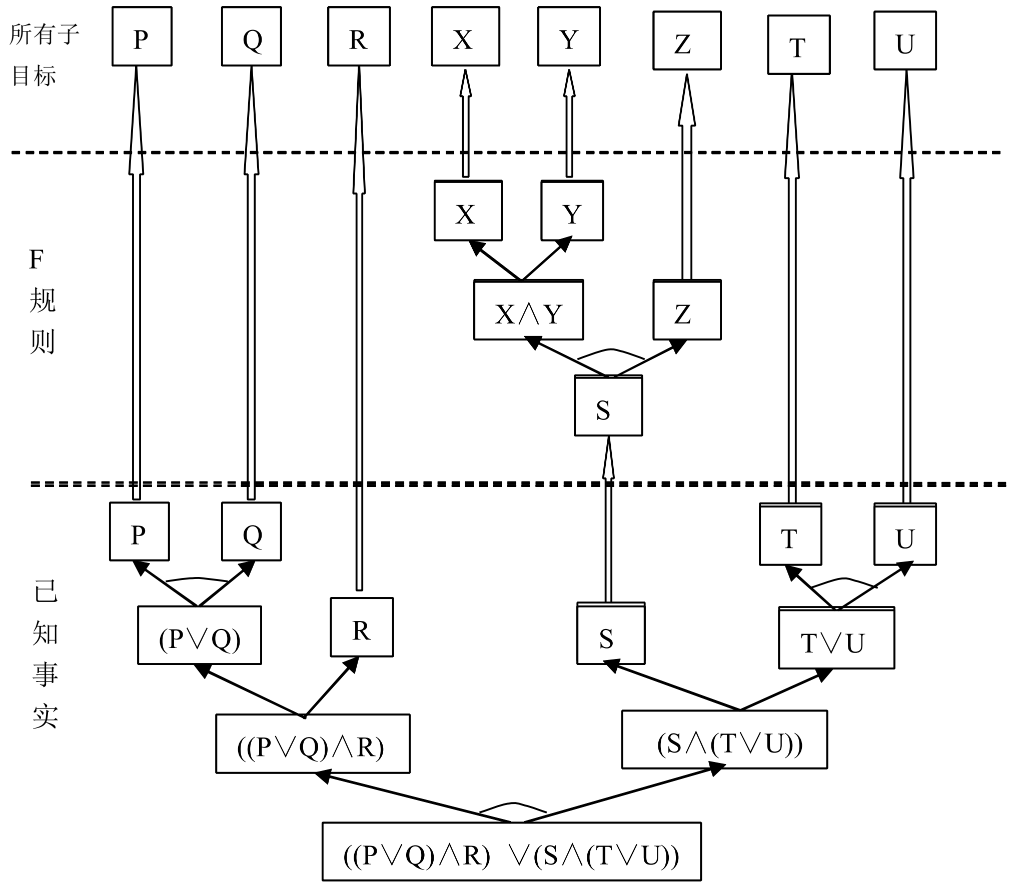
$$S\rightarrow(X\wedge Y)\vee Z$$

试用正向演绎推理推出所有可能的子目标。

解：先给出已知事实的与/或树，再利用 F 规则进行推理，其规则演绎系统如下图所示。

由该图可以直接写出所有可能的目标子句如下：

$P\vee Q\vee T\vee U$	$P\vee Q\vee X\vee Z$	$P\vee Q\vee Y\vee Z$
$R\vee T\vee U$	$R\vee X\vee Z$	$R\vee Y\vee Z$



3.24 设有如下一段知识：

“张、王和李都属于高山协会。该协会的每个成员不是滑雪运动员，就是登山运动员，其中不喜欢雨的运动员是登山运动员，不喜欢雪的运动员不是滑雪运动员。王不喜欢张所喜欢的一切东西，而喜欢张所不喜欢的一切东西。张喜欢雨和雪。”

试用谓词公式集合表示这段知识，这些谓词公式要适合一个逆向的基于规则的演绎系统。试说明这样一个系统怎样才能回答问题：

“高山俱乐部中有没有一个成员，他是一个登山运动员，但不是一个滑雪运动员？”

解：(1) 先定义谓词

A(x) 表示 x 是高山协会会员　　　S(x) 表示 x 是滑雪运动员

C(x) 表示 x 是登山运动员　　　L(x,y) 表示 x 喜欢 y

(2) 将问题用谓词表示出来

“张、王和李都属于高山协会　A(Zhang)∧A(Wang)∧A(Li)

高山协会的每个成员不是滑雪运动员，就是登山运动员

(∀x)(A(x)∧¬S(x)→C(x))

高山协会中不喜欢雨的运动员是登山运动员

(∀x)(¬L(x, Rain)→C(x))

高山协会中不喜欢雪的运动员不是滑雪运动员

(∀x)(¬L(x, Snow)→¬S(x))

王不喜欢张所喜欢的一切东西

(∀y)(L(Zhang, y)→¬L(Wang ,y))

王喜欢张所不喜欢的一切东西

(∀y)(¬L(Zhang, y)→L(Wang, y))

张喜欢雨和雪

$L(Zhang, Rain) \wedge L(Zhang, Snow)$

(3) 将问题要求的答案用谓词表示出来

高山俱乐部中有没有一个成员，他是一个登山运动员，但不是一个滑雪运动员？

$(\exists x)(A(x) \rightarrow C(x) \wedge \neg S(x))$

(4) 为了进行推理，把问题划分为已知事实和规则两大部分。假设，划分如下：

已知事实：

$A(Zhang) \wedge A(Wang) \wedge A(Li)$

$L(Zhang, Rain) \wedge L(Zhang, Snow)$

规则：

$(\forall x)(A(x) \wedge \neg S(x) \rightarrow C(x))$

$(\forall x)(\neg L(x, Rain) \rightarrow C(x))$

$(\forall x)(\neg L(x, Snow) \rightarrow \neg S(x))$

$(\forall y)(L(Zhang, y) \rightarrow \neg L(Wang, y))$

$(\forall y)(\neg L(Zhang, y) \rightarrow L(Wang, y))$

(5) 把已知事实、规则和目标化成推理所需要的形式

事实已经是文字的合取形式：

f_1: $A(Zhang) \wedge A(Wang) \wedge A(Li)$

f_2: $L(Zhang, Rain) \wedge L(Zhang, Snow)$

将规则转化为后件为单文字的形式：

r_1: $A(x) \wedge \neg S(x) \rightarrow C(x))$

r_2: $\neg L(x, Rain) \rightarrow C(x)$

r_3: $\neg L(x, Snow) \rightarrow \neg S(x)$

r_4: $L(Zhang, y) \rightarrow \neg L(Wang, y)$

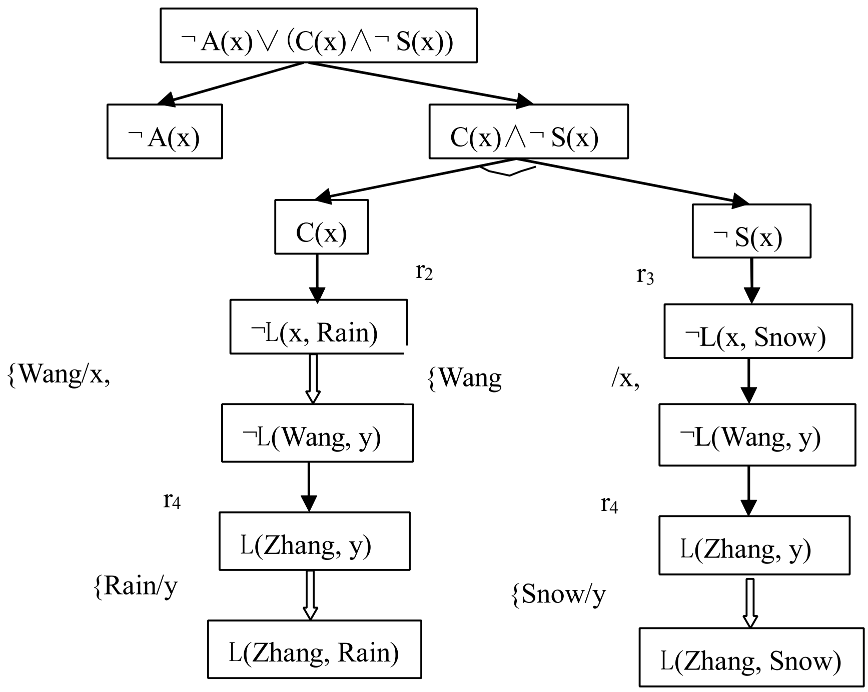
r_5: $\neg L(Zhang, y) \rightarrow L(Wang, y)$

将目标公式转换为与/或形式

$\neg A(x) \vee (C(x) \wedge \neg S(x))$

(6) 进行逆向推理

逆向推理的关键是要能够推出 L(Zhang , Rain)∧L(Zhang , Snow)，其逆向演绎过程如下图所示。



第 4 章 搜索策略部分参考答案

4.5 有一农夫带一条狼，一只羊和一框青菜与从河的左岸乘船倒右岸，但受到下列条件的限制：

(1) 船太小，农夫每次只能带一样东西过河；

(2) 如果没有农夫看管，则狼要吃羊，羊要吃菜。

请设计一个过河方案，使得农夫、浪、羊都能不受损失的过河，画出相应的状态空间图。

题示：**(1)** 用四元组（农夫，狼，羊，菜）表示状态，其中每个元素都为 **0** 或 **1**，用 **0** 表示在左岸，用 **1** 表示在右岸。

(2) 把每次过河的一种安排作为一种操作，每次过河都必须有农夫，因为只有他可以划船。

解：第一步，定义问题的描述形式。

用四元组 S=（f，w，s，v）表示问题状态，其中，f，w，s 和 v 分别表示农夫，狼，羊和青菜是否在左岸，它们都可以取 1 或 0，取 1 表示在左岸，取 0 表示在右岸。

第二步，用所定义问题状态表示方式，把所有可能的问题状态表示出来，包括问题的初始状态和目标状态。

由于状态变量有 4 个，每个状态变量都有 2 种取值，因此有以下 16 种可能的状态：

S_0=(1,1,1,1)，S_1=(1,1,1,0)，S_2=(1,1,0,1)，S_3=(1,1,0,0),S_4=(1,0,1,1)，S_5=(1,0,1,0)，S_6=(1,0,0,1)，S_7=(1,0,0,0)

S_8=(0,1,1,1)，S_9=(0,1,1,0)，S_{10}=(0,1,0,1)，S_{11}=(0,1,0,0),S_{12}=(0,0,1,1)，S_{13}=(0,0,1,0)，S_{14}=(0,0,0,1)，S_{15}=(0,0,0,0)

其中，状态 S_3，S_6，S_7，S_8，S_9，S_{12} 是不合法状态，S_0 和 S_{15} 分别是初始状态和目标状态。

第三步，定义操作，即用于状态变换的算符组 **F**

由于每次过河船上都必须有农夫，且除农夫外船上只能载狼，羊和菜中的一种，故算符定义如下：

L(i)表示农夫从左岸将第 i 样东西送到右岸（i=1 表示狼，i=2 表示羊，i=3 表示菜，i=0 表示船上除农夫外不载任何东西）。由于农夫必须在船上，故对农夫的表示省略。

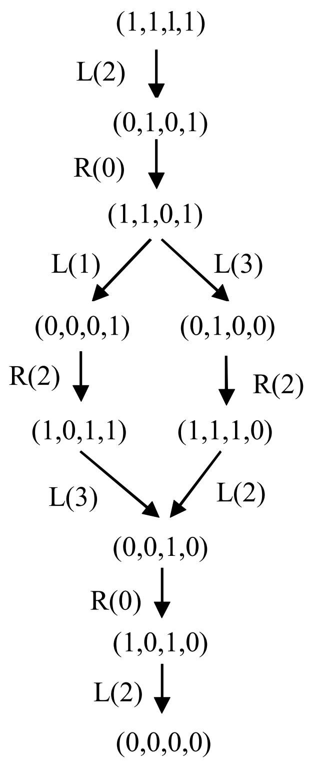
R (i)表示农夫从右岸将第 i 样东西带到左岸（i=1 表示狼，i=2 表示羊，i=3 表示菜，i=0 表示船上除农夫外不载任何东西）。同样，对农夫的表示省略。

这样，所定义的算符组 F 可以有以下 8 种算符：

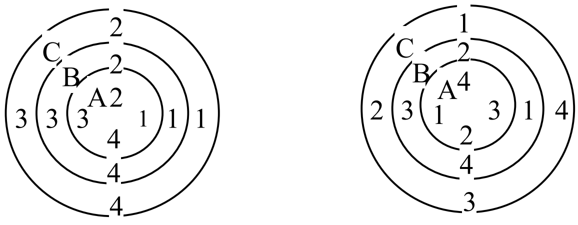
L (0)，L (1)，L (2)，L (3)　R(0)，R(1)，R (2)，R (3)

第四步，根据上述定义的状态和操作进行求解。

该问题求解过程的状态空间图如下：



4.7 圆盘问题。设有大小不等的三个圆盘 **A**、**B**、**C** 套在一根轴上，每个盘上都标有数字 **1**、**2**、**3**、**4**，并且每个圆盘都可以独立的绕轴做逆时针转动，每次转动 **90°**，其初始状态 S_0 和目标状态 S_g 如图 **4-31** 所示，请用广度优先搜索和深度优先搜索，求出从 S_0 到 S_g 的路径。



初始状态 S0　　　　　　　　目标状态 Sg

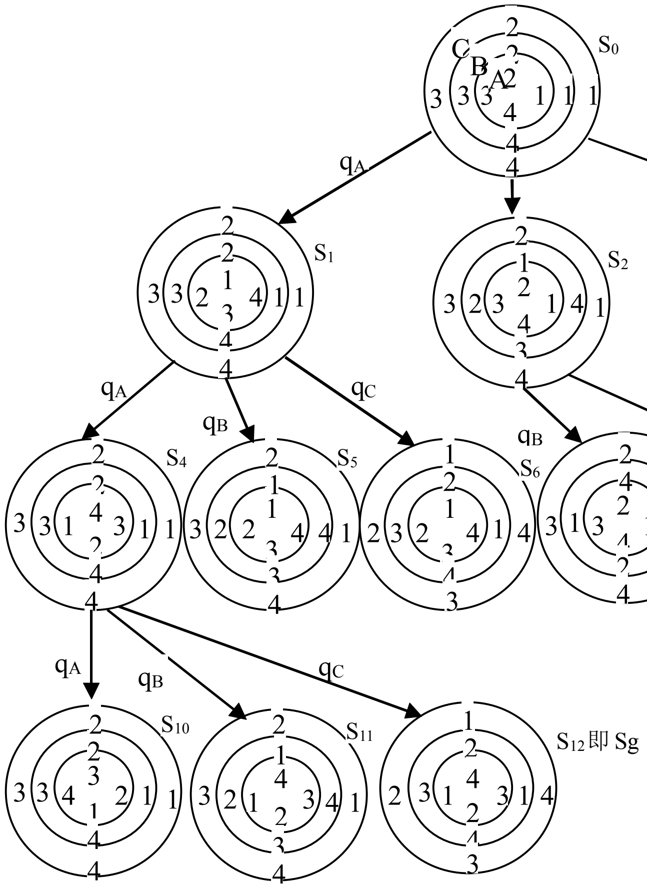
图 4- 31 圆盘问题

解：设用 q_A，q_B 和 q_C 分别表示把 A 盘，B 盘和 C 盘绕轴逆时针转动 90º，这些操作（算符）的排列顺序是 q_A，q_B，q_C。

应用广度优先搜索，可得到如下搜索树。在该搜索树中，重复出现的状态不再划出，节点旁边的标识 S_i，i=0,1,2,…，为按节点被扩展的顺序给出的该节点的状态标识。

由该图可以看出，从初始状态 S_0 到目标状态 S_g 的路径是

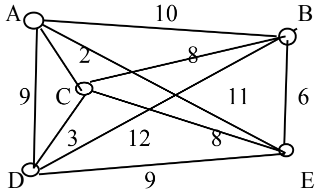
$S_0 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 13(S_g)$



4.7 题的广度优先搜　　　　3

其深度优先搜索略。

4.8 图 **4-32** 是 **5** 个城市的交通图，城市之间的连线旁边的数字是城市之间路程的费用。要求从 **A** 城出发，经过其它各城市一次且仅一次，最后回到 **A** 城，请找出一条最优线路。



4- 32 交通费用图

解：这个问题又称为旅行商问题（travelling salesman problem, TSP）或货郎担问题，是一个较有普遍性的实际应用问题。根据数学理论，对 n 个城市的旅行商问题，其封闭路径的排列总数为：

$$(n!)/n=(n-1)!$$

其计算量相当大。例如，当 n=20 时，要穷举其所有路径，即使用一个每秒一亿次的计算机来算也需要 350 年的时间。因此，对这类问题只能用搜索的方法来解决。

下图是对图 4-32 按最小代价搜索所得到的搜索树，树中的节点为城市名称，节点边上的数字为该节点的代价 g。其计算公式为

$$g(n_{i+1})=g(n_i)+c(n_i, n_{i+1})$$

其中，$c(n_i,n_{i+1})$为节点 n_i 到 n_{i+1} 节点的边代价。

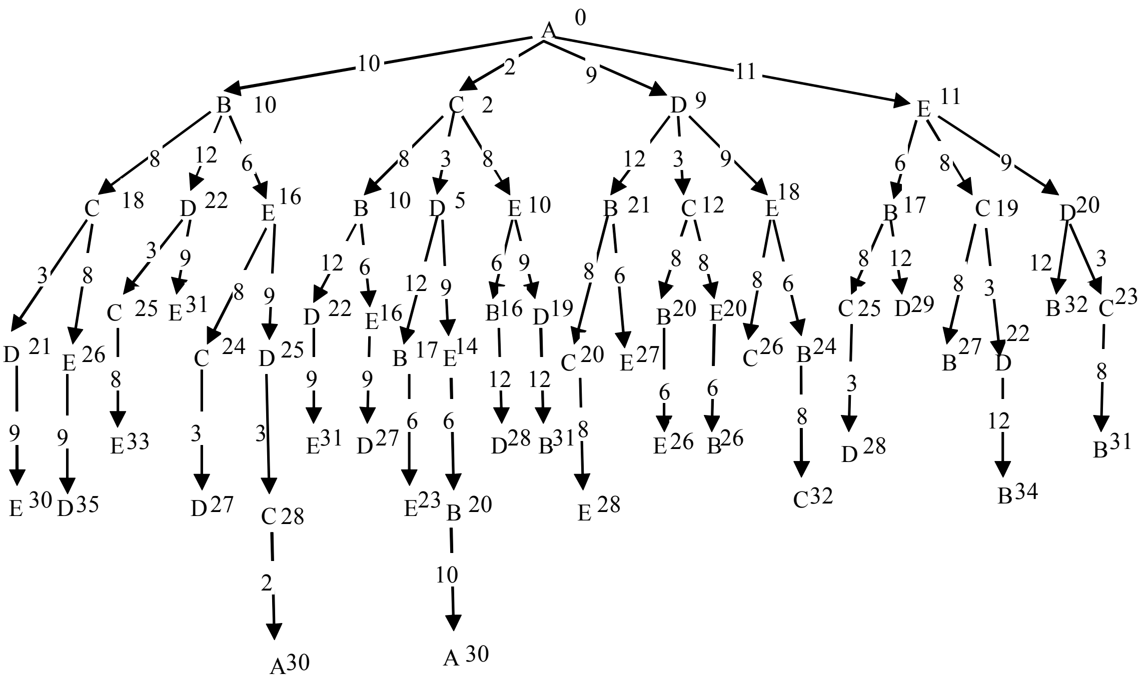


图 4.32 的最小代价搜索树

可以看出，其最短路经是　A-C-D-E-B-A　　或　A-B-E-D-C-A　其实，它们是同一条路经。

4.11 设有如下结构的移动将牌游戏：

B	**B**	**W**	**W**	**E**

其中，**B** 表示黑色将牌，**W** 表是白色将牌，**E** 表示空格。游戏的规定走法是：

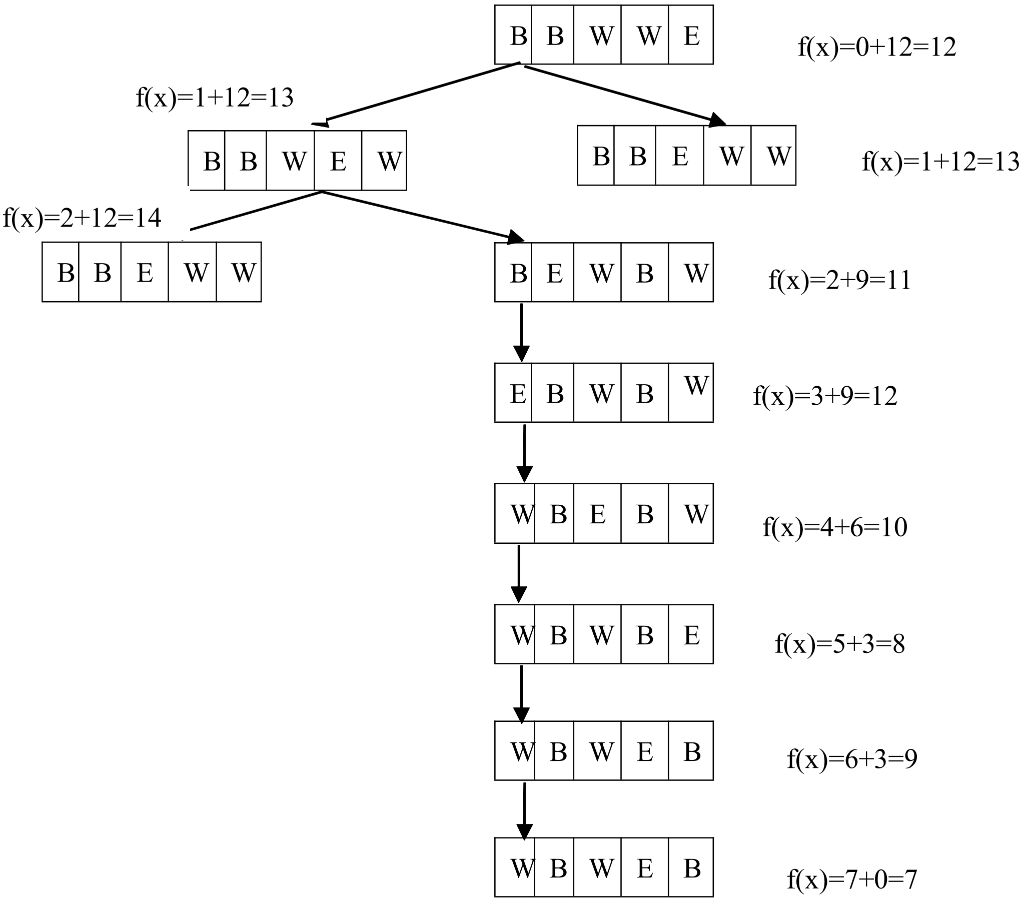
(1) 任意一个将牌可移入相邻的空格，规定其代价为 **1**；

(2) 任何一个将牌可相隔 **1** 个其它的将牌跳入空格，其代价为跳过将牌的数目加 **1**。

游戏要达到的目标什是把所有 **W** 都移到 **B** 的左边。对这个问题，请定义一个启发函数 **h(n)**，并给出用这个启发函数产生的搜索树。你能否判别这个启发函数是否满足下解要求？再求出的搜索树中，对所有

节点是否满足单调限制？

解：设 h(x)=每个 W 左边的 B 的个数，f(x)=d(x)+3*h(x)，其搜索树如下：



4.14 设有如图 4-34 的与/或树，请分别按和代价法及最大代价法求解树的代价。

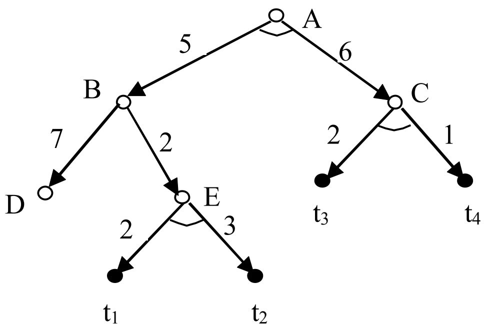


图 4.34 习题 4.14 的与/或树

解：若按和代价法，则该解树的代价为：

h(A)=2+3+2+5+2+1+6=21

若按最大代价法，则该解树的代价为：

h(A)=max{h(B)+5, h(C)+6} = max{(h(E)+2)+5, h(C)+6}

= max{(max(2, 3)+2)+5, max(2, 1)+6}

=max((5+5, 2+6)=10

4.15 设有如图 4-35 所示的博弈树，其中最下面的数字是假设的估值，请对该博弈树作如下工作：

(1) 计算各节点的倒推值；

(2) 利用α-β剪枝技术剪去不必要的分枝。

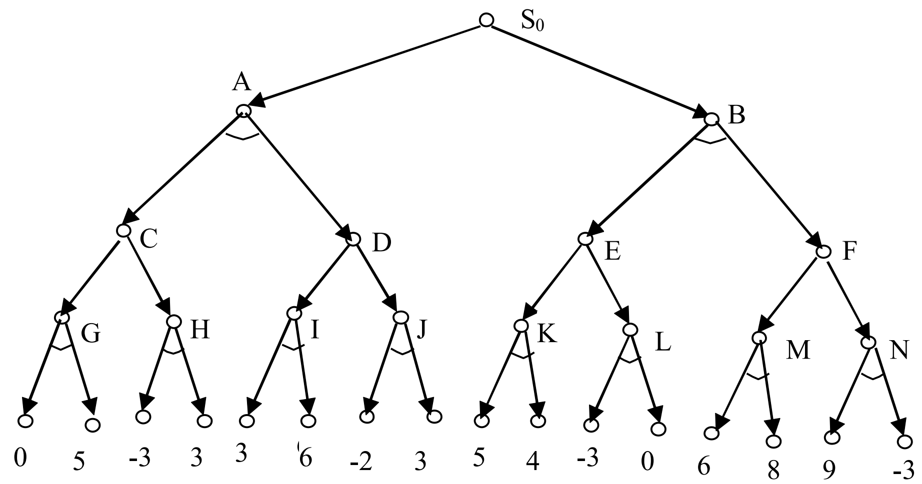
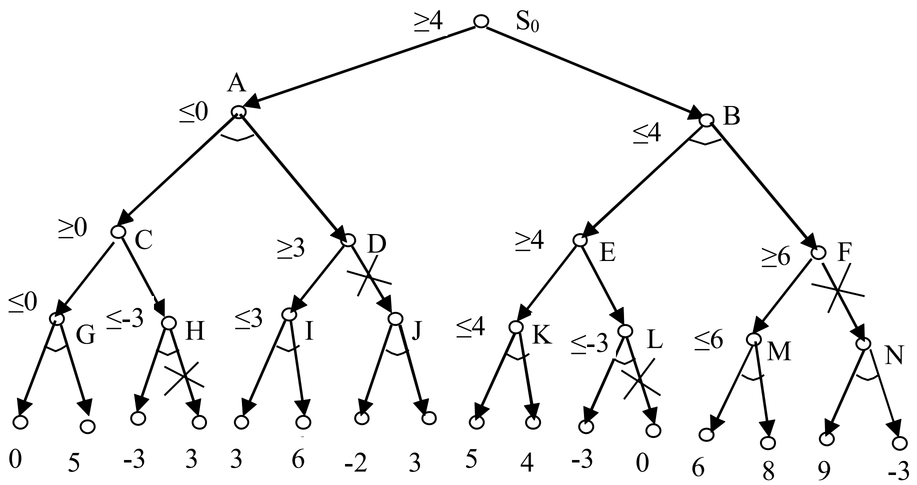


图 4.35 习题 4.15 的博弈树

解：各节点的倒推值和剪枝情况如下图所示：



习题 4.15 的倒推值和剪枝情况

第 6 章 不确定性推理部分参考答案

6.8 设有如下一组推理规则：

r_1: IF E_1 THEN E_2 (0.6)

r_2: IF E_2 AND E_3 THEN E_4 (0.7)

r_3: IF E_4 THEN H (0.8)

r_4: IF E_5 THEN H (0.9)

且已知 **$CF(E_1)=0.5$, $CF(E_3)=0.6$, $CF(E_5)=0.7$**。求 **$CF(H)=?$**

解：(1) 先由 r_1 求 $CF(E_2)$

$CF(E_2)=0.6 \times \max\{0,CF(E_1)\}$

$=0.6 \times \max\{0,0.5\}=0.3$

(2) 再由 r_2 求 $CF(E_4)$

$CF(E_4)=0.7 \times \max\{0, \min\{CF(E_2), CF(E_3)\}\}$

$=0.7 \times \max\{0, \min\{0.3, 0.6\}\}=0.21$

(3) 再由 r_3 求 $CF_1(H)$

$CF_1(H)= 0.8 \times \max\{0,CF(E_4)\}$

$=0.8 \times \max\{0, 0.21)\}=0.168$

(4) 再由 r_4 求 $CF_2(H)$

$CF_2(H)= 0.9 \times \max\{0,CF(E_5)\}$

$=0.9 \times \max\{0, 0.7)\}=0.63$

(5) 最后对 $CF_1(H)$ 和 $CF_2(H)$ 进行合成，求出 $CF(H)$

$CF(H)= CF_1(H)+CF_2(H)+ CF_1(H) \times CF_2(H)$

$=0.692$

6.10 设有如下推理规则

r_1: IF E_1 THEN (2, 0.00001) H_1

r_2: IF E_2 THEN (100, 0.0001) H_1

r_3: IF E_3 THEN (200, 0.001) H_2

r_4: IF H_1 THEN (50, 0.1) H_2

且已知 **$P(E_1)= P(E_2)= P(H_3)=0.6$, $P(H_1)=0.091$, $P(H_2)=0.01$**, 又由用户告知：

$P(E_1| S_1)=0.84$, $P(E_2|S_2)=0.68$, $P(E_3|S_3)=0.36$

请用主观 **Bayes** 方法求 **$P(H_2|S_1, S_2, S_3)=?$**

解：(1) 由 r_1 计算 $O(H_1| S_1)$

先把 H_1 的先验概率更新为在 E_1 下的后验概率 $P(H_1| E_1)$

$P(H_1| E_1)=(LS_1 \times P(H_1)) / ((LS_1-1) \times P(H_1)+1)$

$=(2 \times 0.091) / ((2 -1) \times 0.091 +1)$

$=0.16682$

由于 $P(E_1|S_1)=0.84 > P(E_1)$，使用 $P(H | S)$ 公式的后半部分，得到在当前观察 S_1 下的后验概率 $P(H_1| S_1)$ 和后验几率 $O(H_1| S_1)$

$P(H_1| S_1) = P(H_1) + ((P(H_1| E_1) – P(H_1)) / (1 - P(E_1))) \times (P(E_1| S_1) – P(E_1))$

$= 0.091 + (0.16682 –0.091) / (1 – 0.6)) \times (0.84 – 0.6)$

$=0.091 + 0.18955 \times 0.24 = 0.136492$

$O(H_1| S_1) = P(H_1| S_1) / (1 - P(H_1| S_1))$

$= 0.15807$

(2) 由 r_2 计算 $O(H_1| S_2)$

先把 H_1 的先验概率更新为在 E_2 下的后验概率 $P(H_1| E_2)$

$$P(H_1| E_2)=(LS_2 \times P(H_1)) / ((LS_2-1) \times P(H_1)+1)$$
$$=(100 \times 0.091) / ((100 -1) \times 0.091 +1)$$
$$=0.90918$$

由于 $P(E_2|S_2)=0.68 > P(E_2)$，使用 $P(H | S)$公式的后半部分，得到在当前观察 S_2 下的后验概率 $P(H_1| S_2)$ 和后验几率 $O(H_1| S_2)$

$$P(H_1| S_2) = P(H_1) + ((P(H_1| E_2) – P(H_1)) / (1 - P(E_2))) \times (P(E_2| S_2) – P(E_2))$$
$$= 0.091 + (0.90918 –0.091) / (1 – 0.6)) \times (0.68 – 0.6)$$
$$=0.25464$$
$$O(H_1| S_2) = P(H_1| S_2) / (1 - P(H_1| S_2))$$
$$=0.34163$$

(3) 计算 $O(H_1| S_1,S_2)$和 $P(H_1| S_1,S_2)$

先将 H_1 的先验概率转换为先验几率

$$O(H_1) = P(H_1) / (1 - P(H_1)) = 0.091/(1-0.091)=0.10011$$

再根据合成公式计算 H_1 的后验几率

$$O(H_1| S_1,S_2)= (O(H_1| S_1) / O(H_1)) \times (O(H_1| S_2) / O(H_1)) \times O(H_1)$$
$$= (0.15807 / 0.10011) \times (0.34163) / 0.10011) \times 0.10011$$
$$= 0.53942$$

再将该后验几率转换为后验概率

$$P(H_1| S_1,S_2) = O(H_1| S_1,S_2) / (1+ O(H_1| S_1,S_2))$$
$$= 0.35040$$

(4) 由 r_3 计算 $O(H_2| S_3)$

先把 H_2 的先验概率更新为在 E_3 下的后验概率 $P(H_2| E_3)$

$$P(H_2| E_3)=(LS_3 \times P(H_2)) / ((LS_3-1) \times P(H_2)+1)$$
$$=(200 \times 0.01) / ((200 -1) \times 0.01 +1)$$
$$=0.09569$$

由于 $P(E_3|S_3)=0.36 < P(E_3)$，使用 $P(H | S)$公式的前半部分，得到在当前观察 S_3 下的后验概率 $P(H_2| S_3)$ 和后验几率 $O(H_2| S_3)$

$$P(H_2| S_3) = P(H_2 | \neg E_3) + (P(H_2) – P(H_2| \neg E_3)) / P(E_3)) \times P(E_3| S_3)$$

由当 E_3 肯定不存在时有

$$P(H_2 | \neg E_3) = LN_3 \times P(H_2) / ((LN_3-1) \times P(H_2) +1)$$
$$= 0.001 \times 0.01 / ((0.001 - 1) \times 0.01 + 1)$$
$$= 0.00001$$

因此有

$$P(H_2| S_3) = P(H_2 | \neg E_3) + (P(H_2) – P(H_2| \neg E_3)) / P(E_3)) \times P(E_3| S_3)$$
$$=0.00001+((0.01-0.00001) / 0.6) \times 0.36$$
$$=0.00600$$
$$O(H_2| S_3) = P(H_2| S_3) / (1 - P(H_2| S_3))$$
$$=0.00604$$

(5) 由 r_4 计算 $O(H_2| H_1)$

先把 H_2 的先验概率更新为在 H_1 下的后验概率 $P(H_2| H_1)$

$$P(H_2| H_1)=(LS_4 \times P(H_2)) / ((LS_4-1) \times P(H_2)+1)$$
$$=(50 \times 0.01) / ((50 -1) \times 0.01 +1)$$
$$=0.33557$$

由于 $P(H_1| S_1,S_2)=0.35040 > P(H_1)$，使用 $P(H | S)$公式的后半部分，得到在当前观察 S_1,S_2 下 H_2 的后验概率 $P(H_2| S_1,S_2)$和后验几率 $O(H_2| S_1,S_2)$

$P(H_2| S_1,S_2) = P(H_2) + ((P(H_2| H_1) – P(H_2)) / (1 - P(H_1))) \times (P(H_1| S_1,S_2) – P(H_1))$

$= 0.01 + (0.33557 –0.01) / (1 – 0.091)) \times (0.35040 – 0.091)$

$=0.10291$

$O(H_2| S_1,S_2) = P(H_2| S_1, S_2) / (1 - P(H_2| S_1, S_2))$

$=0.10291/ (1 - 0.10291) = 0.11472$

(6) 计算 $O(H_2| S_1,S_2,S_3)$和 $P(H_2| S_1,S_2,S_3)$

先将 H_2 的先验概率转换为先验几率

$O(H_2) = P(H_2) / (1 - P(H_2))= 0.01 / (1-0.01)=0.01010$

再根据合成公式计算 H_1 的后验几率

$O(H_2| S_1,S_2,S_3)= (O(H_2| S_1,S_2) / O(H_2)) \times (O(H_2| S_3) / O(H_2)) \times O(H_2)$

$= (0.11472 / 0.01010) \times (0.00604) / 0.01010) \times 0.01010$

$=0.06832$

再将该后验几率转换为后验概率

$P(H_2| S_1,S_2,S_3) = O(H_1| S_1,S_2,S_3) / (1+ O(H_1| S_1,S_2,S_3))$

$= 0.06832 / (1+ 0.06832) = 0.06395$

可见，H_2 原来的概率是 0.01，经过上述推理后得到的后验概率是 0.06395，它相当于先验概率的 6 倍多。

6.11 设有如下推理规则

r_1: IF E_1 THEN (100, 0.1) H_1

r_2: IF E_2 THEN (50, 0.5) H_2

r_3: IF E_3 THEN (5, 0.05) H_3

且已知 $P(H_1)=0.02, P(H_2)=0.2, P(H_3)=0.4$，请计算当证据 E_1，E_2，E_3 存在或不存在时 $P(H_i | E_i)$或 $P(H_i | \neg E_i)$的值各是多少($i=1, 2, 3$)?

解：(1) 当 E_1、E_2、E_3 肯定存在时，根据 r_1、r_2、r_3 有

$P(H_1 | E_1) = (LS_1 \times P(H_1)) / ((LS_1-1) \times P(H_1)+1)$

$= (100 \times 0.02) / ((100 -1) \times 0.02 +1)$

$=0.671$

$P(H_2 | E_2) = (LS_2 \times P(H_2)) / ((LS_2-1) \times P(H_2)+1)$

$= (50 \times 0.2) / ((50 -1) \times 0.2 +1)$

$=0.9921$

$P(H_3 | E_3) = (LS_3 \times P(H_3)) / ((LS_3-1) \times P(H_3)+1)$

$= (5 \times 0.4) / ((5 -1) \times 0.4 +1)$

$=0.769$

(2) 当 E_1、E_2、E_3 肯定存在时，根据 r_1、r_2、r_3 有

$P(H_1 | \neg E_1) = (LN_1 \times P(H_1)) / ((LN_1-1) \times P(H_1)+1)$

$= (0.1 \times 0.02) / ((0.1 -1) \times 0.02 +1)$

$=0.002$

$P(H_2 | \neg E_2) = (LN_2 \times P(H_2)) / ((LN_2-1) \times P(H_2)+1)$

$= (0.5 \times 0.2) / ((0.5 -1) \times 0.2 +1)$

$=0.111$

$P(H_3 | \neg E_3) = (LN_3 \times P(H_3)) / ((LN_3-1) \times P(H_3)+1)$

$= (0.05 \times 0.4) / ((0.05 -1) \times 0.4 +1)$

$=0.032$

第 7 章 机器学习参考答案

7-6 设训练例子集如下表所示：

序号	属性		分类
	x_1	x_2	
1	**T**	**T**	**+**
2	**T**	**T**	**+**
3	**T**	**F**	**-**
4	**F**	**F**	**+**
5	**F**	**T**	**_**
6	**F**	**T**	**_**

请用 ID3 算法完成其学习过程。

解：设根节点为 S，尽管它包含了所有的训练例子，但却没有包含任何分类信息，因此具有最大的信息熵。

即： $H(S)= - (P(+)\log_2 P(+) + P(-)\log_2 P(-))$

式中 $P(+)=3/6$，$P(-)=3/6$

分别是决策方案为“+”或“-”时的概率。因此有

$$H(S)= - ((3/6)\log_2(3/6) + (3/6)\log_2(3/6))=1$$

按照 ID3 算法，需要选择一个能使 S 的期望熵为最小的一个属性对根节点进行扩展，因此我们需要先计算 S 关于每个属性的条件熵：

$$H(S|x_i)= (|S_T| / |S|)* H(S_T) + (|S_F| / |S|)* H(S_F)$$

其中，T 和 F 为属性 x_i 的属性值，S_T 和 S_F 分别为 x_i=T 或 x_i=F 时的例子集，|S|、| S_T|和|S_F|分别为例子集 S、S_T 和 S_F 的大小。

下面先计算 S 关于属性 x_1 的条件熵：

在本题中，当 x_1=T 时，有：

$$S_T=\{1，2，3\}$$

当 x_1=F 时，有：

$$S_F=\{4，5，6\}$$

其中，S_T 和 S_F 中的数字均为例子集 S 中的各个例子的序号，且有|S|=6，| S_T |=| S_F |=3。

由 S_T 可知，其决策方案为“+”或“-”的概率分别是：

$$P_{ST}(+)=2/3$$

$$P_{ST}(-)=1/3$$

因此有：

$$H(S_T)= - (P_{ST}(+)\log_2 P_{ST}(+) + P_{ST}(-)\log_2 P_{ST}(-))$$
$$= - ((2/3)\log_2(2/3) + (1/3)\log_2(1/3))$$
$$=0.9183$$

再由 S_F 可知，其决策方案为“+”或“-”的概率分别是：

$$P_{SF}(+)=1/3$$

$$P_{SF}(-)=2/3$$

则有：

$$H(S_F)= - (P_{SF}(+)\log_2 P_{SF}(+) + P_{SF}(-)\log_2 P_{SF}(-))$$
$$= - ((1/3)\log_2(1/3)+ (2/3)\log_2(2/3))$$
$$=0.9183$$

将 $H(S_T)$和 $H(S_F)$代入条件熵公式，有：

$$H(S|x_1)=(|S_T|/|S|)H(S_T)+ (|S_F|/|S|)H(S_F)$$

$=(3/6) * 0.9183 + (3/6) * 0.9183$

$=0.9183$

下面再计算 S 关于属性 x_2 的条件熵：

在本题中，当 x_2=T 时，有：

S_T={1，2，5，6}

当 x_2=F 时，有：

S_F={3，4}

其中，S_T 和 S_F 中的数字均为例子集 S 中的各个例子的序号，且有|S|=6，| S_T |=4，| S_F |=2。

由 S_T 可知：

$P_{ST}(+) = 2/4$

$P_{ST}(-) = 2/4$

则有：

$H(S_T)= - (P_{ST}(+)\log_2 P_{ST}(+) + P_{ST}(-)\log_2 P_{ST}(-))$

$= - ((2/4)\log_2(2/4) + (2/4)\log_2(2/4))$

$=1$

再由 S_F 可知：

$P_{SF}(+)=1/2$

$P_{SF}(-)=1/2$

则有：

$H(S_F)= - (P(+)\log_2 P(+) + P(-)\log_2 P(-))$

$= - ((1/2)\log_2(1/2)+ (1/2)\log_2(1/2))$

$=1$

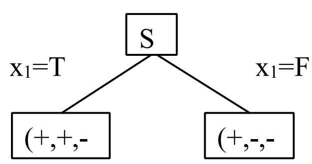
将 $H(S_T)$和 $H(S_F)$代入条件熵公式，有：

$H(S|x_2)=(|S_T|/|S|)H(S_T)+ (|S_F|/|S|)H(S_F)$

$=(4/6) * 1 + (2/6) * 1$

$=1$

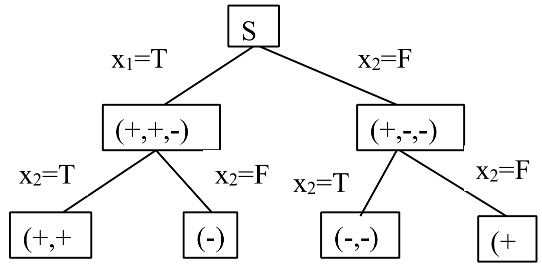
可见，应该选择属性 x_1 对根节点进行扩展。用 x_1 对 S 扩展后所得到的部分决策树如下图所示。



扩展 x_1 后的部分决策树

在该决策树中，其 2 个叶节点均不是最终决策方案，因此还需要继续扩展。而要继续扩展，只有属性 x_2 可选择，因此不需要再进行条件熵的计算，可直接对属性 x_2 进行扩展。

对 x_2 扩展后所得到的决策树如下图所示：



扩展 x_2 后得到的完整决策树

7-9 假设 $w_1(0)=0.2, w_2(0)=0.4, \theta(0)=0.3, \eta=0.4$，请用单层感知器完成逻辑或运算的学习过程。

解： 根据“或”运算的逻辑关系，可将问题转换为：

输入向量：$X_1=[0, 0, 1, 1]$

$X_2=[0, 1, 0, 1]$

输出向量：$Y=[0, 1, 1, 1]$

由题意可知，初始连接权值、阈值，以及增益因子的取值分别为：

$w_1(0)=0.2, w_2(0)=0.4, \theta(0)=0.3$，$\eta=0.4$

即其输入向量 X(0)和连接权值向量 W(0)可分别表示为：

$X(0)=(-1, x_1(0), x_2(0))$

$W(0)=(\theta(0), w_1(0), w_2(0))$

根据单层感知起学习算法，其学习过程如下：

设感知器的两个输入为 $x_1(0)=0$ 和 $x_2(0)=0$，其期望输出为 $d(0)=0$，实际输出为：

$y(0)=f(w_1(0)\, x_1(0)+ w_2(0)\, x_2(0)- \theta(0))$

$=f(0.2*0+0.4*0-0.3)=f(-0.3)=0$

实际输出与期望输出相同，不需要调节权值。

再取下一组输入：$x_1(0)=0$ 和 $x_2(0)=1$，其期望输出为 $d(0)=1$，实际输出为：

$y(0)=f(w_1(0)\, x_1(0)+ w_2(0)\, x_2(0)- \theta(0))$

$=f(0.2*0+0.4*1-0.3)=f(0.1)=1$

实际输出与期望输出相同，不需要调节权值。

再取下一组输入：$x_1(0)=1$ 和 $x_2(0)=0$，其期望输出为 $d(0)=1$，实际输出为：

$y(0)=f(w_1(0)\, x_1(0)+ w_2(0)\, x_2(0)- \theta(0))$

$=f(0.2*1+0.4*0-0.3)$

$=f(-0.1)=0$

实际输出与期望输出不同，需要调节权值，其调整如下：

$\theta(1)= \theta(0)+ \eta(d(0)- y(0))*(-1)=0.3+0.4*(1-0)*(-1)= -0.1$

$w_1(1)=w_1(0)+ \eta(d(0)- y(0))x_1(0)=0.2+0.4*(1-0)*1=0.6$

$w_2(1)=w_2(0)+ \eta(d(0)- y(0))x_2(0)=0.4+0.4*(1-0)*0=0.4$

再取下一组输入：$x_1(1)=1$ 和 $x_2(1)=1$，其期望输出为 $d(1)=1$，实际输出为：

$y(1)=f(w_1(1)\, x_1(1)+ w_2(1)\, x_2(1)- \theta(1))$

$=f(0.6*1+0.4*1+0.1)$

$=f(1.1)=1$

实际输出与期望输出相同，不需要调节权值。

再取下一组输入：$x_1(1)=0$ 和 $x_2(1)=0$，其期望输出为 $d(0)=0$，实际输出为：

$y(1)=f(w_1(1)\, x_1(1)+ w_2(1)\, x_2(1)- \theta(1))$

$=f(0.6*0+0.4*0 + 0.1)=f(0.1)=1$

实际输出与期望输出不同，需要调节权值，其调整如下：

$\theta(2)= \theta(1)+ \eta(d(1)- y(1))*(-1)= -0.1+0.4*(0-1)*(-1)= 0.3$

$w_1(2)=w_1(1)+ \eta(d(1)- y(1))x_1(1)=0.6+0.4*(0-1)*0=0.6$

$w_2(2)=w2(1)+ \eta(d(1)- y(1))x_2(1)=0.4+0.4*(0-1)*0=0.4$

再取下一组输入：$x_1(2)=0$ 和 $x_2(2)=1$，其期望输出为 $d(2)=1$，实际输出为：

$y(2)=f(w_1(2)\, x_1(2)+ w_2(2)\, x_2(2)- \theta(2))$

$=f(0.6*0+0.4*1 - 0.3)=f(0.1)=1$

实际输出与期望输出相同，不需要调节权值。

再取下一组输入：$x_1(2)=1$ 和 $x_2(2)=0$，其期望输出为 $d(2)=1$，实际输出为：

$y(2)=f(w_1(2)\, x_1(2)+ w_2(2)\, x_2(2)- \theta(2))$

$=f(0.6*1+0.4*0 - 0.3)=f(0.3)=1$

实际输出与期望输出相同，不需要调节权值。

再取下一组输入：$x_1(2)=1$ 和 $x_2(2)=1$，其期望输出为 $d(2)=1$，实际输出为：

$$y(2)=f(w_1(2)\,x_1(2)+w_2(2)\,x_2(2)-\theta(2))$$
$$=f(0.6*1+0.4*1-0.3)=f(0.7)=1$$

实际输出与期望输出相同，不需要调节权值。

至此，学习过程结束。最后的得到的阈值和连接权值分别为：

$\theta(2)=0.3$

$w_1(2)=0.6$

$w_2(2)=0.4$

不仿验证如下：

对输入："0 0"有 $y=f(0.6*0+0.4*0-0.3)=f(-0.3)=0$

对输入："0 1"有 $y=f(0.6*0+0.4*1-0.3)=f(0.1)=1$

对输入："1 0"有 $y=f(0.6*1+0.4*0-0.3)=f(0.3)=1$

对输入："1 1"有 $y=f(0.6*1+0.4*1-0.3)=f(0.7)=1$