

《人工智能导论》

习题解答

廉师友 编写

清华大学出版社（2020）

说 明

为了便于教学，作者为《人工智能导论》教材配备了这本习题解答。但本习题解答仅对那些有一定难度和需要特定符号或图形表达或有推理、计算操作的题目以及部分编程题目给出具体解答，以供任课老师参考；对于有些题目的解答则仅给以提示；而对于那些简单的问答题、概念题和教材中有现成答案或可从教材中间接获得答案的题目，以及那些教材中已经给出具体算法的编程题则一律从略。

希望本题解能对各位任课老师的教学能有所帮助，但也仅供参考，若发现其中有不妥或错误之处也请指正！另外，请不要将本题解传给学生，更不能挂在网上，以免失去它的意义和初衷。切切！

作者

2020 年 3 月

习题一

1. (略)
2. (略)
3. (略)
4. (略)
5. (略)
6. (略)

习题二

1. (略)
2. .

解：运行结果为： the x is a3

- 3.

提示：可以以“父/母-子/女”作为基本关系，（以“父亲”和“母亲”作为基本谓词），再由此来描述祖父、祖母、兄弟、姐妹以及其他亲属关系。

解：

/*演绎数据库程序举例*/

domains

sex=symbol

name=symbol

age=integer

predicates

father(name, name)

mother(name, name)

person(name, sex, age)

grandfather(name, name)

grandmother(name, name)

brother(name, name)

sister(name, name)

clauses

father(lincle , john).

father(lincle , jack).

father(jack, leila).

father(jack, kate).

father(black, write).

father(jack, donna).

father(jack, euice).

mother(jane , jack).

mother(lina , kate).

person(leila , man, 40).

person(donna, woman, 40).

person(jane ,woman, 60).

person(leila , man, 20).

person(jack , man, 20).

person(kate , man, 40).

grandfather(X, Y):-father(X,Z),father(Z, Y)

grandfather(X, Y):-mother(X, Z),mother(Z, Y)

brother(X, Y):-person(X, man, Age1).

person(Y, man, Age2).

father(Z, X),father(Z, Y).

Age1>Age2.

sister(X, Y):-person(X, woman, Age1).

person(Y, woman, Age2).

father(Z, X),father(Z, Y).

Age1>Age2.

/* 数据库查询举例*/

Goal

grandfather(X, leila),write("leila's grandfather is", X).

grandmother(X, leila),write("leila's grandmother is", X).

brother(leila , X),write("leila's brother is", X).

sister(donna, X),write("donna's sister is", X).

4. (略)

习题三

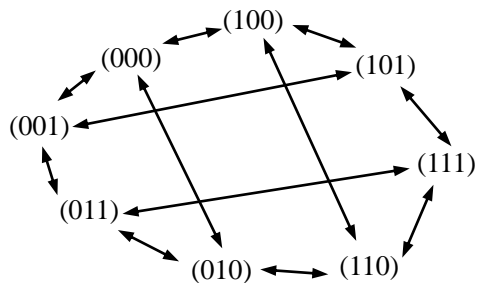
1. (略)

2. (略)

3. (略)

4.

解：设“0”为关，“1”为开，则初始状态为(010)，两个目标状态为(111)和(000)，状态空间图如下图所示：



由图可以看出，以“关、开、关”为初始状态，连接三次会出现“关、关、关”而不会出现“开、开、开”状态。

5.

提示：

(1) 用四元组(农夫、狼、羊、菜)表示状态，其中每个元素都可为 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个算符，每次过河都必须有农夫，因为只有他可以划船。

解：

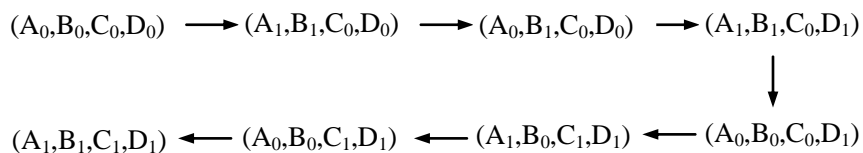
方案一：Step1 农夫带羊过河；

Step2 农夫返回带菜过河

Step3 农夫带羊回去，然后带狼过河；

Step4 农夫返回带羊过河

设 A 农夫，B 羊，C 狼，D 菜，初始状态为 (A_0, B_0, C_0, D_0) （未过河），最终状态为 (A_1, B_1, C_1, D_1) （已过河）。则相应的状态变化图如下：



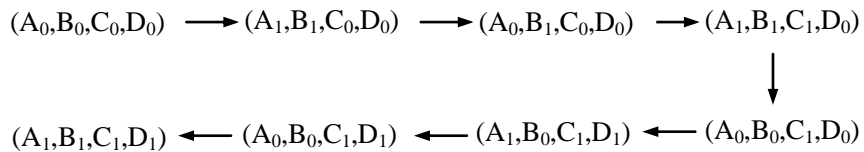
方案 2: Step1: 农夫带羊过河;

Step2: 农夫返回带狼过河;

Step3: 农夫带羊返回去, 然后把菜带过河;

Step4: 农夫回去带羊过河;

则相应的状态变化图为:



6. (略)

7. (略)

8.

提示: 这是一个加权状态图搜索问题, 可用 3.1.5 节中的分支界限法或者最近择优法求解。程序可参考 3.2.2 节例 3-11 中的通用程序, 但这里 open 表中每个状态节点(城市)还需要有代价(距离)项, 而且从 open 表中取第一个节点前先要对 open 表中的节点按代价排序。

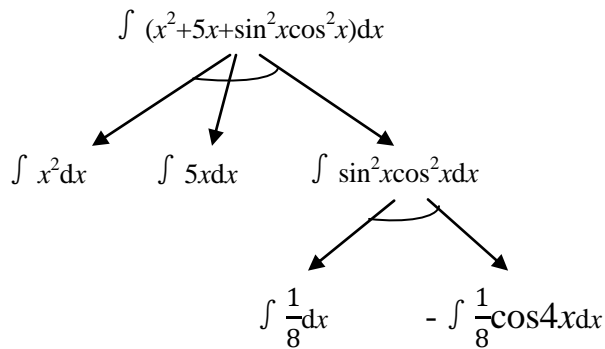
9. (略)

10. (略)

11. (略)

12.

解: 相应的与或树如下图所示:



13. (略)

14.

解：该与或树有两棵解树，其一由 S_0 、A、D、 t_1 、 t_2 、 t_3 组成；另一棵由 S_0 、B、E、 t_4 、 t_5 组成。

解树 1 的和代价为 18，最大代价为 14；

解树 2 的和代价为 12，最大代价为 10。

所以，最优解树为解树 2。

习题四

1. (略)

2.

解：遗传算法种的三种遗传操作为选择-复制，交叉和变异。举例如下：

选择-复制：设染色体 $S_1=11100$, $S_2=01001$, $S_3=11000$, $S_4=10011$,

其被选中次数分别为：2, 0, 1, 1

设这一轮的选择-复制结果为：

$$S_1'=11100, S_2'=11100, S_3'=11000, S_4'=10011$$

交叉： 设 $S_1=01001011$, $S_2=10010101$

交换其后 4 位基因，则得新串： $S_1'=01000101$, $S_2'=10011011$

S_1' , S_2' 可以看作是原染色体 S_1 和 S_2 的 2 代染色体，即为交叉结果。

变异： 设 $S_1=01001011$ ，如果 S_1 的第 4 位上的 0 变为 1，则得到新染色体

$S_1'=01011011$ ，即为变异结果。

3. (略)

4. (略)

习题五

1.

解：

(1) white(雪)

(2) greater_than(sum(a,b),c)

(3) $\forall x(a_member_of(x, 201 \text{ 班}) \rightarrow \exists y(PC(y) \wedge has(x, y)))$

或

$\forall x(\exists y PC(y) \wedge has(x, y))$

(4) fine(明天) \wedge free(我们) \rightarrow outing(我们)

(5) isosceles_triangle(x) $\leftrightarrow \exists y_1 a_angle_of(y_1, x) \wedge \exists y_2 a_angle_of(y_2, x) \wedge equal(y_1, y_2)$

2. (略)

3.

(1)

解：对原式消去存在量词，得

$$P(a, b) \wedge Q(a, b)$$

从而，原式的子句集为

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

(2)

解：

消去蕴涵词 \rightarrow ，得

$$\forall x \forall y (\neg P(x, y) \vee Q(x, y))$$

消全称量词，得

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

原式的子句集为

$$S = \{ \neg P(x, y) \vee Q(x, y) \}$$

(3)

解：

消去蕴涵词 \rightarrow ，得： $\forall x \exists y (\neg (P(x, y) \vee Q(x, y)) \vee R(x, y))$

缩小否定词作用范围，得： $\forall x \exists y (\neg P(x, y) \wedge \neg Q(x, y)) \vee R(x, y)$

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

消去全称量词，得： $(\neg P(x, f(x)) \wedge \neg Q(x, f(x))) \vee R(x, f(x))$

化公式为合取范式，得： $[\neg P(x, f(x)) \vee R(x, f(x))] \wedge [\neg Q(x, f(x)) \vee R(x, f(x))]$

改名，得： $[\neg P(x, f(x)) \vee R(x, f(x))] \wedge [\neg Q(y, f(y)) \vee R(y, f(y))]$

消去合取词，得： $\neg P(x, f(x)) \vee R(x, f(x)), \neg Q(y, f(y)) \vee R(y, f(y))$

从而，子句集 $S = \{ \neg P(x, f(x)) \vee R(x, f(x)), \neg Q(y, f(y)) \vee R(y, f(y)) \}$

(4)

解：

消去蕴含词，得： $\forall x(\neg P(x) \vee \exists y(P(y) \wedge R(x, y)))$

消去存在量词，得： $\forall x(\neg P(x) \vee (P(f(x)) \wedge R(x, f(x))))$

消去全称量词，得： $\neg P(x) \vee (P(f(x)) \wedge R(x, f(x)))$

化公式为合取范式，得： $[\neg P(x) \vee P(f(x))] \wedge [\neg P(x) \vee R(x, f(x))]$

改名，得： $[\neg P(x) \vee P(f(x))] \wedge [\neg P(y) \vee R(y, f(y))]$

消去合取词，得： $\neg P(x) \vee P(f(x)), \neg P(y) \vee R(y, f(y))$

从而，子句集 $S = \{\neg P(x) \vee P(f(x)), \neg P(y) \vee R(y, f(y))\}$

(5)

解：

消去蕴含词，得： $\exists x(P(x) \wedge \forall y(\neg P(y) \vee R(x, y)))$

消去存在量词，得： $P(a) \wedge \forall y(\neg P(y) \vee R(a, y))$

消去全称量词，得： $P(a) \wedge (\neg P(y) \vee R(a, y))$

消去合取词，得： $P(a), \neg P(y) \vee R(a, y)$

写成集合形式，得： $S = \{P(a), \neg P(y) \vee R(a, y)\}$

4.

(1)

解：

① $P(y) \vee \neg Q(y)$

② $\neg P(f(x)) \vee Q(y)$

③ $P(y) \vee \neg P(f(x))$ 由①②

④ $P(f(x)) \vee \neg P(f(x))$ 由③, $\{f(x)/y\}$

⑤ T 由④

可见，再不可能推得空子句□。所以，S 不是不可满足的。

(2)

解：

$$\textcircled{1} \neg P(x) \vee Q(x)$$

$$\textcircled{2} \neg Q(y) \vee R(y)$$

$$\textcircled{3} P(a)$$

$$\textcircled{4} \neg R(a)$$

$$\textcircled{5} Q(a) \quad \text{由} \textcircled{1}\textcircled{3} \{ a/x \}$$

$$\textcircled{6} R(a) \quad \text{由} \textcircled{2}\textcircled{5} \{ a/y \}$$

$$\textcircled{7} \square \quad \text{由} \textcircled{4}\textcircled{6}$$

所以，S 是不可满足的。

(3)

解：

$$\textcircled{1} \neg P(x) \vee \neg Q(y) \vee \neg L(x, y)$$

$$\textcircled{2} P(a)$$

$$\textcircled{3} \neg R(z) \vee L(a, z)$$

$$\textcircled{4} R(b)$$

$$\textcircled{5} Q(b)$$

$$\textcircled{6} \neg Q(y) \vee \neg L(a, y) \quad \text{由} \textcircled{1}\textcircled{2} \{ a/x \}$$

$$\textcircled{7} \neg R(z) \vee \neg Q(z) \quad \text{由} \textcircled{3}\textcircled{6} \{ z/y \}$$

$$\textcircled{8} \neg R(b) \quad \text{由} \textcircled{5}\textcircled{7} \{ b/z \}$$

$$\textcircled{9} \square \quad \text{由} \textcircled{4}\textcircled{8}$$

所以，S 是不可满足的。

(4)

解：

$$\textcircled{1} P(x) \vee Q(x) \vee R(x)$$

$$\textcircled{2} \neg P(y) \vee R(y)$$

$$\textcircled{3} \neg Q(a)$$

$$\textcircled{4} \neg R(b)$$

$$\textcircled{5} P(a) \vee R(a)$$

$$\textcircled{6} R(a) \quad \text{由} \textcircled{2} \textcircled{5} \{a/y\}$$

可以看出, 现在无法得到空子句 \square 。所以, 不能判定 S 是否不可满足。

(5)

解:

$$\textcircled{1} P(x) \vee Q(x)$$

$$\textcircled{2} \neg Q(y) \vee R(y)$$

$$\textcircled{3} \neg P(z) \vee Q(z)$$

$$\textcircled{4} \neg R(u)$$

$$\textcircled{5} P(y) \vee R(y) \quad \text{由} \textcircled{1} \textcircled{2} \{x/y\}$$

$$\textcircled{6} P(u) \quad \text{由} \textcircled{4} \textcircled{5} \{y/u\}$$

$$\textcircled{7} Q(u) \quad \text{由} \textcircled{3} \textcircled{6} \{z/u\}$$

$$\textcircled{8} R(u) \quad \text{由} \textcircled{7} \textcircled{2}$$

$$\textcircled{9} \square \quad \text{由} \textcircled{8} \textcircled{4}$$

所以, S 是不可满足的。

5.

(1)

证: 把 F 和 $\neg G$ 化为子句集:

$$\textcircled{1} \quad P \vee Q$$

$$\textcircled{2} \quad \neg P \vee R$$

$$\textcircled{3} \quad \neg Q \vee S$$

$$\textcircled{4} \quad \neg R$$

$$\textcircled{5} \neg S$$

归结，得

$$\textcircled{6} Q \vee R \quad \text{由} \textcircled{1}\textcircled{2}$$

$$\textcircled{7} S \vee R \quad \text{由} \textcircled{3}\textcircled{6}$$

$$\textcircled{8} S \quad \text{由} \textcircled{4}\textcircled{7}$$

$$\textcircled{9} \square \quad \text{由} \textcircled{5}\textcircled{8}$$

所以， G 是 F 的逻辑结果

(2)

证：把 $F_1, F_2, \neg G$ 化为子句集：

$$\left. \begin{array}{l} \textcircled{1} \quad \neg P(x) \vee \neg Q(y) \vee \neg L(x, y) \\ \textcircled{2} \quad P(a) \\ \textcircled{3} \quad \neg R(y) \vee L(a, z) \\ \textcircled{4} \quad R(b) \\ \textcircled{5} \quad Q(b) \end{array} \right\} \begin{array}{l} F_1 \\ F_2 \\ \neg G \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \end{array}} \right\} S$$

归结，得：

$$\textcircled{6} \neg Q(y) \vee \neg L(a, y) \quad \text{由} \textcircled{1}\textcircled{2} \text{归结}$$

$$\textcircled{7} \neg R(y) \vee \neg Q(y) \quad \text{由} \textcircled{3}\textcircled{6} \text{归结}$$

$$\textcircled{8} \neg Q(b) \quad \text{由} \textcircled{4}\textcircled{7} \text{归结}$$

$$\textcircled{10} \square \quad \text{由} \textcircled{5}\textcircled{8} \text{归结}$$

所以， G 是 F_1 和 F_2 的逻辑结论。

(3)

证：把 $F_1, F_2, \neg G$ 化为子句集：

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

$$\textcircled{2} \quad \neg P(y) \vee R(y)$$

$$\textcircled{3} \quad P(a)$$

$$\textcircled{4} \quad S(a)$$

$$\textcircled{5} \quad \neg S(z) \vee \neg R(z)$$

归结，得

$$\textcircled{6} \quad Q(a) \quad [\textcircled{1}\textcircled{3}]$$

$$\textcircled{7} \quad \neg P(y) \vee \neg S(y) \quad [\textcircled{2}\textcircled{5}]$$

$$\textcircled{8} \quad \neg S(a) \quad [\textcircled{3}\textcircled{7}]$$

$$\textcircled{9} \quad \text{NIL} \quad [\textcircled{4}\textcircled{8}]$$

所以， G 是 F_1 和 F_2 的逻辑结论。

6.

解：定义谓词：

$Q(x)$: x 是清洁的; $L(x, y)$: y 喜欢 x ; $H(x)$: x 是人; $C(x)$: x

是苍蝇

将上面的 (1)、(2) 和求证结论符号化为：

$$\textcircled{1} \quad \forall x(Q(x) \rightarrow \exists y(H(y) \wedge L(x, y)))$$

$$\textcircled{2} \quad \forall x \forall y(H(x) \wedge C(y) \rightarrow \neg L(y, x))$$

$$\textcircled{3} \quad \forall x(C(x) \rightarrow \neg Q(x))$$

进而分别求公式①、②的子句集和③的否定式的子句集可得如下总子句集：

$$\textcircled{1} \quad \neg Q(x) \vee H(f(x))$$

$$\textcircled{2} \quad \neg Q(y) \vee L(y, f(y))$$

$$\textcircled{3} \quad \neg H(z) \vee \neg C(u) \vee \neg L(u, z)$$

$$\textcircled{4} \quad C(a)$$

$$\textcircled{6} \quad Q(a)$$

然后，进行归结，得：

$$\textcircled{6} \quad \neg H(z) \vee \neg L(a, z) \quad \text{由 } \textcircled{4}, \textcircled{3}, \{a/x\}$$

$$\textcircled{7} \quad \neg Q(x) \vee \neg L(a, f(x)) \quad \text{由 } \textcircled{6}, \textcircled{1}, \{x/z\}$$

$$\textcircled{8} \quad \neg L(a, f(a)) \quad \text{由 } \textcircled{7}, \textcircled{5}, \{a/x\}$$

$$\textcircled{9} \quad \neg Q(a) \quad \text{由 } \textcircled{8}, \textcircled{2}, \{a/y\}$$

$$\textcircled{10} \quad \square \quad \text{由 } \textcircled{9}, \textcircled{5}$$

由此得结论：苍蝇是不清洁的。

7.

证明： 设 A, B, C 分别表示“录取 A ”、“录取 B ”、“录取 C ”，则题设中的命题(1)、(2)、(3)可表示为谓词公式：

$$\textcircled{1} \quad A \vee B \vee C$$

$$\textcircled{2} \quad (A \wedge \neg B) \rightarrow C$$

$$\textcircled{3} \quad B \rightarrow C$$

而欲证 $\textcircled{4} \quad C$

进而，有子句集 S 如下：

$$\textcircled{1} \quad A \vee B \vee C$$

$$\textcircled{2} \quad \neg A \vee B \vee C$$

$$\textcircled{3} \quad \neg B \vee C$$

$$\textcircled{4} \quad \neg C$$

归结之，得

⑦ $B \vee C$ 由 ①②

⑧ C 由 ③⑤

⑨ \square 由 ④⑥

所以 S 是不可满足的，从而公司一定录取 C 。

8.

解：依次用 Z, T, S, L 表示序号：赵作案、钱作案、孙作案、李作案。

由于五个侦察员的话都是可信的，所以有如下五个命题公式：

(1) $Z \vee T$

(2) $T \vee S$

(3) $S \vee L$

(4) $\neg Z \vee \neg S$

(5) $\neg T \vee \neg L$

当分别假设结论是 T 、 S 和 $\neg Z$ 时均可推出空子句，所以，该题的答案为：赵不是作案者，钱是作案者，孙是作案者，李不是作案者。

解二：

用 $D(x)$ 表示 x 是盗窃犯，则五个侦察员的话分别是：

(1) $D(Z) \vee D(T)$

(2) $D(T) \vee D(S)$

(3) $D(S) \vee D(L)$

(4) $\neg D(Z) \vee \neg D(S)$

(5) $\neg D(T) \vee \neg D(L)$

又假设先证明： $\exists x D(x)$ ，于是有

$$(6) \neg D(x)$$

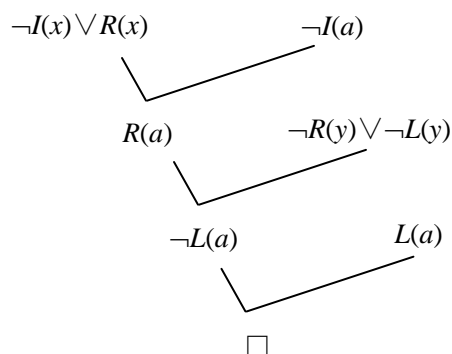
再配一辅助谓词 $ANS(x)$ 得,

$$(7) \neg D(x) \vee ANS(x)$$

然后进行归结, 便可求出 x 分别是 T, S 。

9.

解: 线性归结演绎树如下图所示



10. (略)

习题六

1. (略)

2. (略)

3.

提示: 若用 PROLOG 编程, 可参考第 3 章 3.4.2 节例 3-20 中的程序。

4. (略)

习题七

1.

解:

(1) (雪, 颜色, 白)

(2) (小张, 身高, 1.80)

2.

解: “学生框架”的简单描述如下:

框架名: <学生>

类 属: <受教育者>

任 务: 学习: 课程: (数学, 物理, 化学, 计算机, 英语, 音乐, ...)

缺省: 数学

性 别: <男, 女>

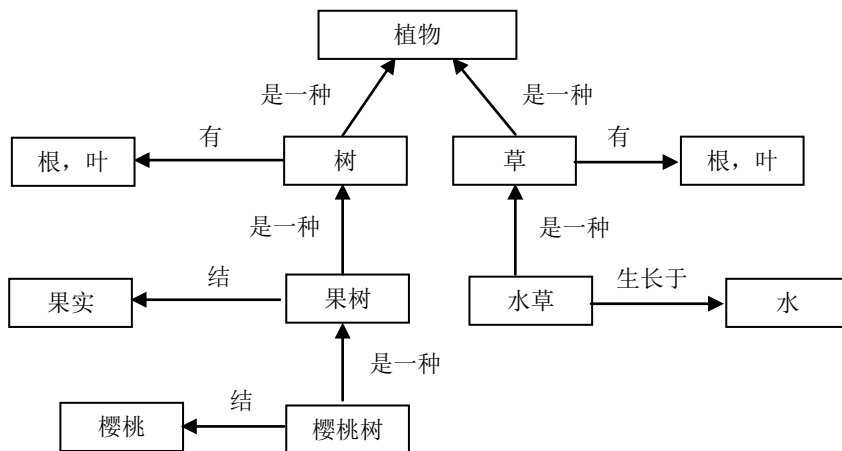
类 型: (<小学生>, <中学生>, <大学生>)

这个框架可用 PROLOG 语言实现如下:

```
frame (name ("学生"),
      kind_of ("<受教育者>"),
      task (learning(courses ("数学", "物理", "化学", "计算机", "英语",
                              "音乐", ...), default("数学"))),
      sex ("男", "女"),
      type ("<小学生>", "<中学生>", "<大学生>")).
```

3.

解: 所求语义网络如下图所示



该语义网络用 PROLOG 语言可表示如下：

a_kind_of(“树”, “植物”).

have(“树”, “根叶”).

a_kind_of(“果树”, “树”).

result(“果树”, “果实”).

a_kind_of(“樱桃树”, “果树”).

result(“樱桃树”, “樱桃”).

a_kind_of(“草”, “植物”).

have(“草”, “根叶”).

a_kind_of(“水草”, “草”).

growing_in(“水草”, “水”).

4. (略)

5. (略)

6. (略)

7. (略)

8. (略)

习题八

1. (略)

2.

解:

例如:“如果乌云密布并且雷鸣电闪,则天将下暴雨”就是一个不确定性产生式规则。设其信度为 0.9,则用一阶谓词可表示为

乌云密布(天空) \wedge 雷鸣电闪(天空) \rightarrow 下暴雨(天气), (0.9)

进而 PROLOG 语言则可表示为

conc_is (weather_is(“暴雨”),0.9):- sky_is(“乌云密布”), sky_is (“雷鸣电闪”).

3.

解:

例如:“如果一个人天资聪明并且勤奋努力,则一定会取得好成绩”就是一个不确切性产生式规则。这里“天资聪明”、“勤奋努力”和“好成绩”都是软语言值。该规则用一阶谓词可表示为

天资聪明(某人) \wedge 勤奋努力(某人) \rightarrow 取得(某人,好成绩)

设 x, y, z 分别表示“天资聪明”、“勤奋努力”和“好成绩”的程度,则该规则可进一步表示为

天资聪明 _{x} (某人) \wedge 勤奋努力 _{y} (某人) \rightarrow 取得(某人,好成绩 _{z})

进一步,用 PROLOG 语言可简单地表示为

obtain(某人, (好成绩, z)):-person_is(天资聪明, x) \wedge person_is(勤奋努力, y).

4.

解:

(1) 程度化框架举例

框架名:〈书-1〉

类属: 〈图书〉

书名: 计算机导论

类别: 计算机

作者: 李某

出版社: 清华大学出版社

特色:

内容: (丰富而新颖, 0.95)

结构: (合理, 0.90)

逻辑: (通顺, 0.99)

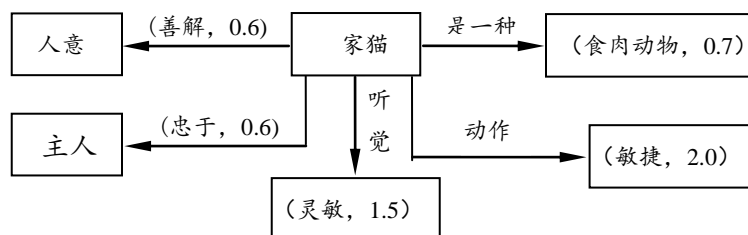
语言: (流畅, 0.95)

数据: (准确, 1.00)

图表: (规整, 0.90)

定价: 60 元

(2) 程度化语义网举例



5.

解: 取论域为温度区间 $[-40, 40]$, 设“热”、“温和”、“冷”为其上的三个相邻的软语言值。设“温和”的峰值点为 $20.5 (^{\circ}\text{C})$, 两个临界点分别为 $10 (^{\circ}\text{C})$ 和 $28 (^{\circ}\text{C})$, 两个核界点分别为 $18 (^{\circ}\text{C})$ 和 $23 (^{\circ}\text{C})$ 。则“温和”的相容函数就是

$$c_{\text{冷}}(x) = (18-x)/8, \quad -40 \leq x \leq 40$$

$$c_{\text{温和}}(x) = \begin{cases} (x-10)/8, & -40 \leq x \leq 20.5 \\ (28-x)/5, & 20.5 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

$$c_{\text{热}}(x) = (x-23)/5, \quad -40 \leq x \leq 40$$

其图像如下图所示。

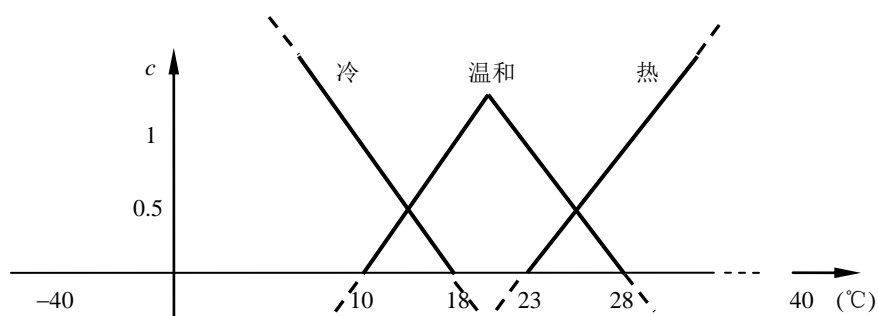


图 软语言值“热”、“温和”、“冷”的相容函数图像示例

6. (略)

7. (略)

8.

解:

$$\text{由 } r_1 \text{ 得: } CF(E_2) = 0.6 \times 0.5 = 0.3$$

$$\text{由 } r_2 \text{ 得: } CF(E_4) = 0.8 \times \min\{0.3, 0.6\} = 0.8 \times 0.3 = 0.24$$

$$\text{由 } r_3 \text{ 得: } CF(H)_1 = 0.7 \times 0.24 = 0.168$$

$$\text{由 } r_4 \text{ 得: } CF(H)_2 = 0.9 \times 0.4 = 0.36$$

$$\text{于是, } CF(H) = CF(H)_1 + CF(H)_2 - CF(H)_1 \times CF(H)_2$$

$$= 0.168 + 0.36 - 0.168 \times 0.36$$

$$= 0.46752$$

9.

提示:可参考 8.4.2 节和 8.4.3 节中的例子,表示相关知识并进行推理。

10.

解:

$$c_{\text{低}}(x) = 16 - 10x, \quad 1.2 \leq x \leq 2.2$$

$$c_{\text{高}}(x) = 10x - 17, \quad 1.2 \leq x \leq 2.2$$

11. (略)

习题九

1. (略)

2. (略)

3. (略)

4. (略)

5. (略)

6.

解:按年龄段划分,实例 $S_{\text{男}}$ 被分为三个子类:

$$S_{\text{男大}} = \{(11, B), (12, B)\}$$

$$S_{\text{男中}} = \{(7, C), (8, B)\}$$

$$S_{\text{男小}} = \{(3, C), (4, B)\}$$

则,对子集 $S_{\text{男大}}$ 有: $P(A)=0/2=0$, $P(B)=2/2=1$, $P(C)=0/2=0$

对子集 $S_{\text{男中}}$ 有： $P(A)=0/2=0$, $P(B)=1/2$, $P(C)=1/2$

对子集 $S_{\text{男小}}$ 有： $P(A)=0/2=0$, $P(B)=1/2$, $P(C)=1/2$

由公式(9-1)有： $H(S_{\text{男大}}) = - (P(A)\log_2 p(A) + P(B)\log_2 p(B) + P(C)\log_2(C))$

$$= - \left(\frac{0}{2} \log_2(0/2) + \frac{2}{2} \log_2(2/2) + \frac{0}{2} \log_2(0/2) \right) \\ = 0$$

$H(S_{\text{男中}}) = - (P(A)\log_2 p(A) + P(B)\log_2 p(B) + P(C)\log_2(C))$

$$= - \left(\frac{0}{2} \log_2(0/2) + \frac{1}{2} \log_2(1/2) + \frac{1}{2} \log_2(1/2) \right) \\ = 1$$

$H(S_{\text{男小}}) = - (P(A)\log_2 p(A) + P(B)\log_2 p(B) + P(C)\log_2(C))$

$$= - \left(\frac{0}{2} \log_2(0/2) + \frac{1}{2} \log_2(1/2) + \frac{1}{2} \log_2(1/2) \right) \\ = 1$$

$$\text{又 } \frac{|S_{\text{男大}}|}{|S_{\text{男}}|} = \frac{|S_{\text{男中}}|}{|S_{\text{男}}|} = \frac{|S_{\text{男小}}|}{|S_{\text{男}}|} = \frac{2}{6}$$

将上面 4 个式子代入公式 9-2, 有:

$H(S_{\text{男}}|\text{年龄段}) = 2/6 \times H(S_{\text{男大}}) + 2/6 \times H(S_{\text{男中}}) + 2/6 \times H(S_{\text{男小}})$

$$= 2/6 \times 0 + 2/6 \times 1 + 2/6 \times 1$$

$$= 0.667$$

同理可得:

$H(S_{\text{男}}|\text{婚状}) = 1/2 \times H(S_{\text{男未}}) + 1/2 \times H(S_{\text{男已}}) = 0.4592$

$H(S_{\text{女}}|\text{年龄段}) = 2/6 \times H(S_{\text{女大}}) + 2/6 \times H(S_{\text{女中}}) + 2/6 \times H(S_{\text{女小}}) = 0$

$H(S_{\text{女}}|\text{婚状}) = 1/2 \times H(S_{\text{女未}}) + 1/2 \times H(S_{\text{女已}}) = 0.9183$

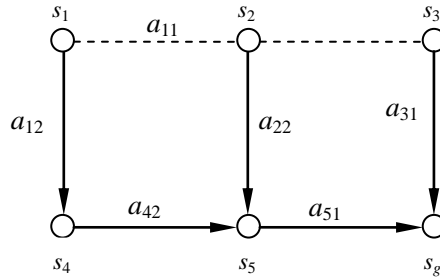
所以对 $S_{\text{男}}$ ，条件熵 $H(S_{\text{男}}|\text{婚状})$ 为最小；对 $S_{\text{女}}$ ，条件熵 $H(S_{\text{女}}|\text{年龄段})$ 为最小。

所以应取“婚状”这一属性对 $S_{\text{男}}$ 进行分类，取“年龄段”这一属性对 $S_{\text{女}}$ 进行分类。

因此，原所得决策树不是最简。

7.

解：如果存在一个状态 s ，其下至少有两个奖/惩值相同的动作 a_1 和 a_2 ，而且该奖/惩值还是最大奖/惩值，那么，动作 a_1 和 a_2 就都是状态 s 下的最优动作，从而就可至少有两个映射 π_1 和 π_2 。对于这个问题，如果状态 s_1 下的另一个动作 a_{12} 也是最优动作，则就有另一个映射 $\pi: (s_1, a_{12}), (s_2, a_{22}), (s_3, a_{31}), (s_4, a_{42}), (s_5, a_{51})$ ，如下图所示：



状态集合 S 到动作集合 A 的另一个映射 π 图示

8.

解：假设第二轮学习时，Agent 首先选取 s_{21} 为当前状态，并选向右的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{22} ，然后用下式更新状态 s_{21} 的 Q' 值

$$\begin{aligned}
 Q'(s_{21}, a_{right}) &= r + \gamma \max_{s_{22}} Q'(s', a') \\
 &= 0 + 0.9 \max\{0, 0, 90\} \quad (\gamma=0.9) \\
 &= 81
 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q' 值如图 9-13(c)-1 所示；然后，Agent 将 s_{22} 作为当前状态，选向上的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{12} ，接着用下式更

新状态 s_{22} 的 Q '值

$$\begin{aligned} Q'(s_{22}, a_{up}) &= r + \gamma \max_{s_{12}} Q'(s', a') \\ &= 0 + 0.9 \max\{0, 0, 100\} \\ &= 90 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-2 所示；然后，Agent 将 s_{12} 作为当前状态，选向右的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{13} 。由于已是目标状态，所以 Agent 不再更新状态 s_{12} 向右动作的 Q '值。于是，第二轮学习结束。这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-3 所示)：

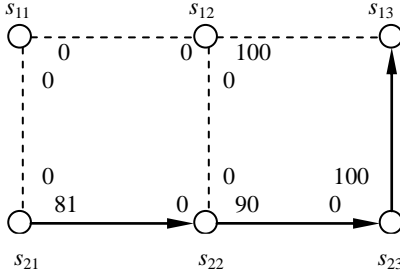


图 9-13 (c)-1

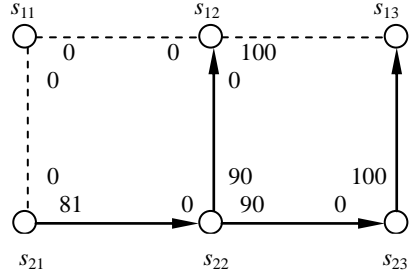


图 9-13 (c)-2

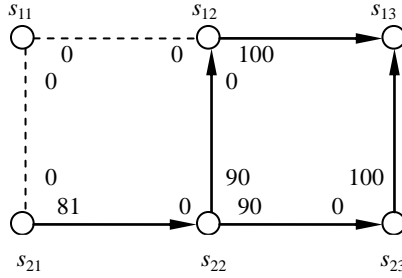


图 9-13 (c)-3

假设第三轮学习时，Agent 首先选取 s_{21} 为当前状态，并选向上的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{11} ，然后用下式更新状态 s_{21} 的 Q '值

$$Q'(s_{21}, a_{up}) = r + \gamma \max_{s_{11}} Q'(s', a')$$

$$\begin{aligned}
&= 0 + 0.9 \max\{0, 0\} \quad (\gamma=0.9) \\
&= 0
\end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-4 所示；然后，Agent 将 s_{11} 作为当前状态，选向右的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{12} ，接着用下式更新状态 s_{11} 的 Q '值

$$\begin{aligned}
Q'(s_{11}, a_{right}) &= r + \gamma \max_{s_{12}} Q'(s', a') \\
&= 0 + 0.9 \max\{0, 0, 100\} \\
&= 90
\end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-5 所示；然后，Agent 将 s_{12} 作为当前状态，选向右的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{13} 。由于已是目标状态，所以 Agent 不再更新状态 s_{12} 向右动作的 Q '值。于是，第三轮学习结束。这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-5 所示。

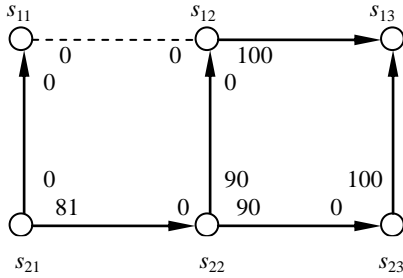


图 9-13 (c)-4

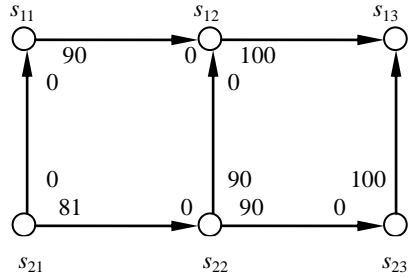


图 9-13 (c)-5

假设第四轮学习时，Agent 首先选取 s_{21} 为当前状态，并选向上的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{11} ，然后用下式更新状态 s_{21} 的 Q '值

$$\begin{aligned}
Q'(s_{21}, a_{up}) &= r + \gamma \max_{s_{11}} Q'(s', a') \\
&= 0 + 0.9 \max\{0, 90\} \quad (\gamma=0.9) \\
&= 81
\end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 8-13(c)-6 所示。现在状态 s_{21} 的 Q '值全部被更新。

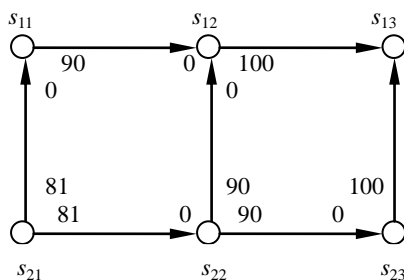


图 9-13 (c)-6

假设第五轮学习时，Agent 首先选取 s_{11} 为当前状态，并选向下的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{21} ，然后用下式更新状态 s_{11} 的 Q '值

$$\begin{aligned}
 Q'(s_{11}, a_{up}) &= r + \gamma \max_{s_{21}} Q'(s', a') \\
 &= 0 + 0.9 \max\{81, 81\} \quad (\gamma=0.9) \\
 &= 72.9
 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-7 所示。现在状态 s_{11} 的 Q '值全部被更新。

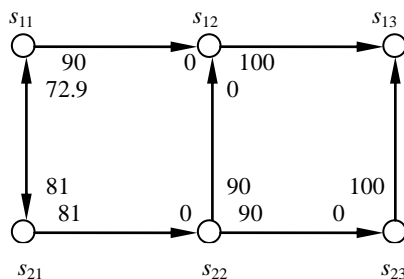


图 9-13 (c)-7

假设第六轮学习时，Agent 首先选取 s_{12} 为当前状态，并选向左的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{11} ，然后用下式更新状态 s_{12} 的 Q '值

$$\begin{aligned}
 Q'(s_{12}, a_{left}) &= r + \gamma \max_{s_{11}} Q'(s', a') \\
 &= 0 + 0.9 \max\{72.9, 90\} \quad (\gamma=0.9) \\
 &= 81
 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-8 所示。现在状态 s_{21} 的 Q '值全部

被更新。

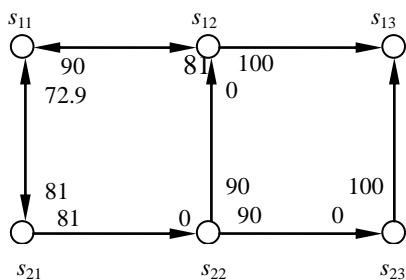


图 9-13 (c)-8

假设第七轮学习时，Agent 首先选取 s_{22} 为当前状态，并选向左的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{21} ，然后用下式更新状态 s_{22} 的 Q 值

$$\begin{aligned} Q'(s_{22}, a_{left}) &= r + \gamma \max_{s_{21}} Q'(s', a') \\ &= 0 + 0.9 \max\{81, 81\} \quad (\gamma=0.9) \\ &= 72.9 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q 值如图 9-13(c)-9 所示。现在状态 s_{22} 的 Q 值全部被更新。

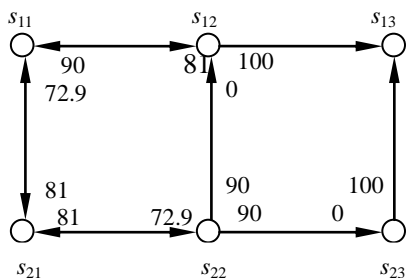


图 8-13 (c)-9

假设第八轮学习时，Agent 首先选取 s_{12} 为当前状态，并选向下的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{22} ，然后用下式更新状态 s_{12} 的 Q 值

$$\begin{aligned} Q'(s_{12}, a_{down}) &= r + \gamma \max_{s_{22}} Q'(s', a') \\ &= 0 + 0.9 \max\{72.9, 90, 90\} \quad (\gamma=0.9) \\ &= 81 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-10 所示。现在状态 s_{12} 的 Q '值全部被更新。

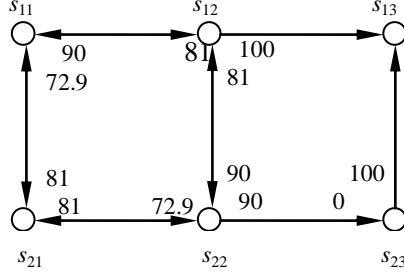


图 9-13 (c)-10

假设第九轮学习时，Agent 首先选取 s_{23} 为当前状态，并选向左的动作执行，于是，Agent 进入状态 s_{22} ，然后用下式更新状态 s_{23} 的 Q '值

$$\begin{aligned} Q'(s_{23}, a_{left}) &= r + \gamma \max_{s_{22}} Q'(s', a') \\ &= 0 + 0.9 \max\{72.9, 90, 90\} \quad (\gamma=0.9) \\ &= 81 \end{aligned}$$

这时，环境 E 各状态的 Q '值如图 9-13(c)-11 所示。现在状态 s_{23} 的 Q '值全部被更新。

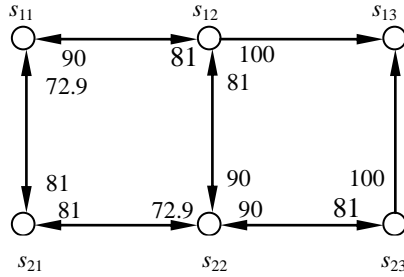


图 9-13 (c)-11

至此，除目标状态 s_{13} 外，环境 E 所有状态的 Q '值全部被更新。于是，由图 9-13(c)-11，我们便得到最优策略 π^* ：

$$(s_{21}, a_{right}), (s_{22}, a_{right}), (s_{23}, a_{up})。$$

或者

$$(s_{21}, a_{right}), (s_{22}, a_{up}), (s_{12}, a_{right}),$$

或者

$$(s_{21}, a_{up}), (s_{11}, a_{right}), (s_{12}, a_{right})$$

习题十

1. (略)
2. (略)
3. (略)
4. (略)
5. (略)
6. (略)

习题十一

1. (略)
2. (略)
- 3.

解：我们用下面表 1 所示的样例数据训练感知器。

表 1 样例数据

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

由样例数据知，所训练的感知器为一个二输入、单输出感知器。首先取阶跃函数为该网络的激活函数，并令 $x_0=-1$ ，于是所求函数的模型为 $y=\text{step}(w_1x_1+w_2x_2-w_0)$ ；然后置初值： $w_0=0.6, w_1=0.4, w_2=0.8$ ；取学习率 $\eta=0.4$ ；执行学习算法，该感知器的训练过程如表 2 所示。

表 2 感知器训练过程

训练 轮次	输入		期望 输出	当前权值			实际 输出	误差	改后权值		
	x_1	x_2	y	w_0	w_1	w_2	y'	e	w_0	w_1	w_2
1	0	0	0	0.6	0.4	0.8	0	0	0.6	0.4	0.8
	0	1	1	0.6	0.4	0.8	1	0	0.6	0.4	0.8
	1	0	1	0.6	0.4	0.8	0	1	0.2	0.8	0.8
	1	1	1	0.2	0.8	0.8	1	0	0.2	0.8	0.8
2	0	0	0	0.2	0.8	0.8	0	0	0.2	0.8	0.8
	0	1	1	0.2	0.8	0.8	1	0	0.2	0.8	0.8
	1	0	1	0.2	0.8	0.8	1	0	0.2	0.8	0.8
	1	1	1	0.2	0.8	0.8	1	0	0.2	0.8	0.8

可以看出，网络训练结束于第二轮，最终的权值为： $w_0=0.2, w_1=0.8, w_2=0.8$ 。于是，相应的激活函数表达式就是

$$y=\text{step}(0.8x_1+0.8x_2-0.2)$$

这个感知器就可以模拟逻辑 OR 运算。

4. （略）
5. （略）
6. （略）
7. （略）

习题十二

1. (略)

2.

解:

(1) 由频繁交易 $\{i_1, i_2\}$ 可得以下候选关联规则及它们的置信度:

$\{i_1\} \rightarrow \{i_2\}$; confidence=4/5=0.8

$\{i_2\} \rightarrow \{i_1\}$; confidence=4/6 \approx 0.67

现在, 如果设定置信度阈值 min-conf=0.6, 则以上 2 条规则皆为最终的强关联规则 (予以输出); 如果设定 min-conf=0.7 或 0.8, 则仅 $\{i_1\} \rightarrow \{i_2\}$ 一条规则为最终的强关联规则。

(2) 由频繁交易 $\{i_3, i_4\}$ 可得以下候选关联规则及它们的置信度:

$\{i_3\} \rightarrow \{i_4\}$; confidence=4/4=1

$\{i_4\} \rightarrow \{i_3\}$; confidence=4/5=0.8

现在, 如果设定置信度阈值 min-conf=0.8, 则以上 2 条规则皆为最终的强关联规则 (予以输出); 如果设定 min-conf=1, 则仅 $\{i_3\} \rightarrow \{i_4\}$ 一条规则为最终的强关联规则。

3.

解:

stature(X, 1.80) \rightarrow buys(X, large(衣服))

income(X, 8000) \wedge likes(X, 运动) \rightarrow buys(X, advanced (运动服),

high-quality(运动鞋))

4. (略)

5. (略)

6. (略)

习题十三

1. (略)

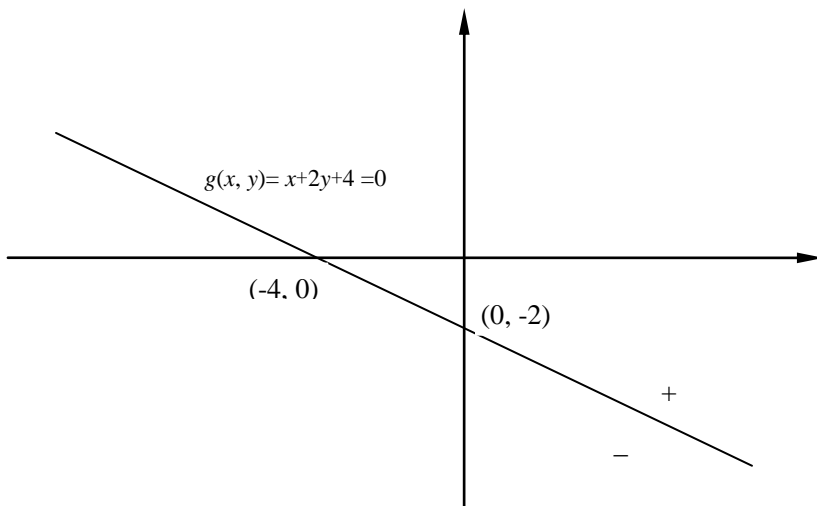
2. (略)

3. (略)

4.

解:

(1) 类别分界线为 $g(x, y) = x + 2y + 4 = 0$, 如下图所示。



(2) 设点(1, 2)和(-1, -3)为两个待识模式, 则由 $g(1, 2) = 9 > 0$, 知(1, 2)属于类别+; 而由 $g(-1, -3) = -3 < 0$, 知(-1, -3)属于类别-。

5.

解: 由朴素贝叶斯分类算法,

$$P(0) = 8/10 = 0.8,$$

$$P(1) = 2/10 = 0.2$$

$$P(x|0) = P(\text{有收}|0) P(\text{无发}|0) P(\text{SCI}|0) P(0)$$

$$= 3/8 \times 7/8 \times 2/8 \times 0.8$$

$$\approx 0.066$$

$$P(x|1) = P(\text{有收}|1)P(\text{无发}|1)P(\text{SCI}|1)P(1)$$

$$= 1/2 \times 0/2 \times 0/2 \times 0.2$$

$$= 0$$

显然, $P(x|0) > P(x|1)$ 。所以, 该邮件为垃圾邮件。

6.

提示: 例如可用某班学生某门课程的学习成绩作为样本数据。

习题十四

1.

解: 软语言值“低”、“中等”和“高”的相容函数依次为

$$\begin{aligned} c_{\text{低}}(x) &= 16 - 10x, & 1.2 \leq x \leq 2.2 \\ c_{\text{中等}}(x) &= \begin{cases} 10x - 15, & 1.2 \leq x \leq 1.65 \\ 18 - 10x, & 1.65 \leq x \leq 2.2 \end{cases} \\ c_{\text{高}}(x) &= 10x - 17, & 1.2 \leq x \leq 2.2 \end{aligned}$$

(1) 数量值到软语言值的转换

将 1.3 分别代入这三个相容函数, 得

$$c_{\text{低}}(1.3) = 16 - 10 \times 1.3 = 3$$

$$c_{\text{中等}}(1.3) = 10 \times 1.3 - 15 = -2$$

$$c_{\text{高}}(1.3) = 10 \times 1.3 - 17 = -4$$

显然, 相容函数值 $c_{\text{低}}(1.3)$ 最大, 所以, 1.3(m) 可转换为软语言值“低”。

将 1.52 分别代入这三个相容函数, 得

$$c_{\text{低}}(1.52) = 16 - 10 \times 1.52 = 0.8$$

$$c_{\text{中等}}(1.52) = 10 \times 1.52 - 15 = 0.2$$

$$c_{\text{高}}(1.52) = 10 \times 1.52 - 17 = -1.8$$

同理，由于 $c_{\text{低}}(1.52)$ 最大，故 1.52 (m) 可转换为软语言值“低”。

将 1.55 分别代入这三个相容函数，得

$$c_{\text{低}}(1.55) = 16 - 10 \times 1.55 = 0.5$$

$$c_{\text{中等}}(1.55) = 10 \times 1.55 - 15 = 0.5$$

$$c_{\text{高}}(1.55) = 10 \times 1.55 - 17 = -1.5$$

这里 $c_{\text{低}}(1.55) = c_{\text{中等}}(1.55) = 0.5$ ，故 1.55 (m) 可转换为软语言值“低”或者“中等”。

类似地，也可将其他数转换为相应的软语言值。

(2) 软语言值到数量值的转换

由相容函数不难求得软语言值“低”、“中等”和“高”的峰值点依次为：1.2、1.65、2.2；核分别为：[1.2, 1.5]、[1.6, 1.7]、[1.8, 2.2]；扩展核分别为：[1.2, 1.55]、[1.55, 1.75]、[1.75, 2.2]。所以，软语言值“低”、“中等”和“高”可依次转换为数值 1.2、1.65、2.2；或者依次转换为区间[1.2, 1.5]、[1.6, 1.7]、[1.8, 2.2]的任一个数，如 1.35、1.68、2.15；或者依次转换为区间[1.2, 1.55]、[1.55, 1.75]、[1.75, 2.2]中的任一个数，如 1.54、1.72、1.79。

2. (略)

3. (略)

4. (略)

习题十五

1. (略)

2. (略)

3.

提示:

最简单的做法就是仅扩充

$\langle \text{determiner} \rangle ::= \text{the} \mid \text{a} \mid \text{an}$

$\langle \text{noun} \rangle ::= \text{man} \mid \text{student} \mid \text{apple} \mid \text{computer}$

$\langle \text{verb} \rangle ::= \text{eats} \mid \text{operates}$

即增加规则右端的词汇，以便分析更多的句子。

4. (略)

5. (略)

习题十六

1. (略)

2. (略)

3. (略)

4. (略)

5. (略)

6. (略)

7. (略)

8. (略)

9. (略)

10. (略)

11. (略)

12. (略)

习题十七

1. (略)
2. (略)
3. (略)
4. (略)
5. (略)
6. (略)
7. (略)
8. (略)
9. (略)
10. (略)

习题十八

1. (略)
2. (略)
3. (略)
4. (略)
5. (略)
6. (略)
7. (略)

习题十九

1. (略)

2. (略)

3. (略)

4. (略)

5. (略)

6. (略)

7. (略)

8. (略)

9. (略)

10. (略)

11. (略)

12.

解:

采用欧氏距离, 则

$$\begin{aligned}d(U_1, U_1) &= \sqrt{(3-4)^2 + (4-4)^2 + (3-3)^2 + (5-3)^2 + (1-2)^2} \\&= \sqrt{6} \approx 2.45\end{aligned}$$

采用曼哈顿距离, 则

$$d(U_1, U_1) = (3-4) + (4-4) + (3-3) + (5-3) + (1-2) = 0$$

采用闵可夫斯基距离, 则

$$\begin{aligned}d(U_1, U_1) &= [(3-4)^r + (4-4)^r + (3-3)^r + (5-3)^r + (1-2)^r]^{1/r} \\&= [(3-4)^r + (5-3)^r + (1-2)^r]^{1/r} \\&= [(-1)^r + (2)^r + (-1)^r]^{1/r} \\&= [(2)^r + 2(-1)^r]^{1/r}\end{aligned}$$