

## 智能控制系统 练习题

### 一、问答题：

#### 1. 描述智能控制的概念及其三元论构成。

概念：智能控制将控制理论的方法和人工智能技术灵活地结合起来，其控制方法适应对象的复杂性和不确定性。

$$IC=AC \cap AI \cap OR$$

人工智能（AI）是一个用来模拟人思维的知识处理系统，具有记忆、学习、信息处理、形式语言、启发推理等功能。自动控制（AC）描述系统的动力学特性，是一种动态反馈。运筹学（OR）是一种定量优化方法，如线性规划、网络规划、调度、管理、优化决策和多目标优化方法等。

#### 2. 描述智能控制的特点及其应用对象的特点。

（1）学习功能：智能控制器能通过从外界环境所获得的信息进行学习，不断积累知识，使系统的控制性能得到改善；

（2）适应功能：智能控制器具有从输入到输出的映射关系，可实现不依赖于模型的自适应控制，当系统某一部分出现故障时，也能进行控制；

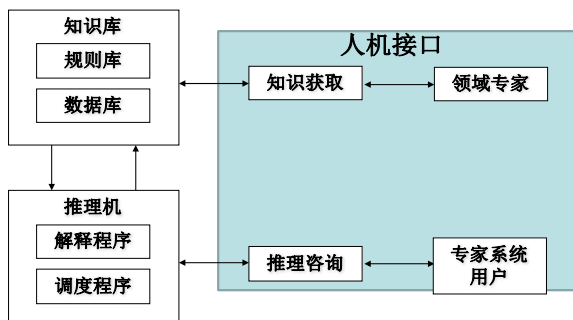
（3）自组织功能：智能控制器对复杂的分布式信息具有自组织和协调的功能，当出现多目标冲突时，它可以在任务要求的范围内自行决策，主动采取行动。

（4）优化能力：智能控制能够通过不断优化控制参数和寻找控制器的最佳结构形式，获得整体最优的控制性能。

应用对象特点：不确定性模型、高度非线性、复杂任务要求

#### 3. 描述专家系统的定义、主要构成及其建立步骤。

答：专家系统是一类包含知识和推理的智能计算机程序，其内部包含某领域专家水平的知识和经验，具有解决专门问题的能力。



专家系统主要由知识库和推理机（或包括人机接口）构成。

建立步骤：（1）知识库的设计

① 确定知识类型：叙述性知识，过程性知识，控制性知识；

② 确定知识表达方法；

③ 知识库管理系统的设计：实现规则的保存、编辑、删除、增加、搜索等功能。

2) 推理机的设计

① 选择推理方式；

② 选择推理算法：选择各种搜索算法，如深度优先搜索、广度优先搜索、

启发式优先搜索等。

(3) 人一机接口的设计

- ① 设计“用户—专家系统接口”：用于咨询理解和结论解释；
- ② 设计“专家—专家系统接口”：用于知识库扩充及系统维护。

4. 描述专家系统与专家控制的联系和区别。

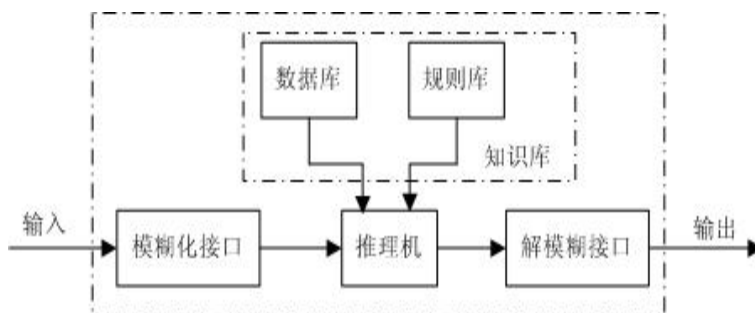
专家控制是将专家系统的理论和技术同控制理论、方法与技术相结合，在未知环境下，仿效专家的经验，实现对系统的控制。专家系统是一类包含知识和推理的智能计算机程序，其内部包含某领域专家水平的知识和经验，具有解决专门问题的能力。

专家控制引入了专家系统的思想，但与专家系统存在区别：

(1) 专家系统能完成专门领域的功能，辅助用户决策；专家控制能进行独立的、实时的自动决策。专家控制比专家系统对可靠性和抗干扰性有着更高的要求。

(2) 专家系统处于离线工作方式，而专家控制要求在线获取反馈信息，即要求在线工作方式。

5. 描述模糊控制器由哪几部分构成，各完成什么功能？模糊控制器的构建步骤。



模糊化接口的主要作用是将真实的确定量输入转换为一个模糊矢量。

知识库包含数据库和规则库：

(1) 数据库 (Data Base—DB) 数据库所存放的是所有输入、输出变量的全部模糊子集的隶属度矢量值，若论域为连续域则为隶属度函数。在规则推理的模糊关系方程求解过程中，向推理机提供数据。

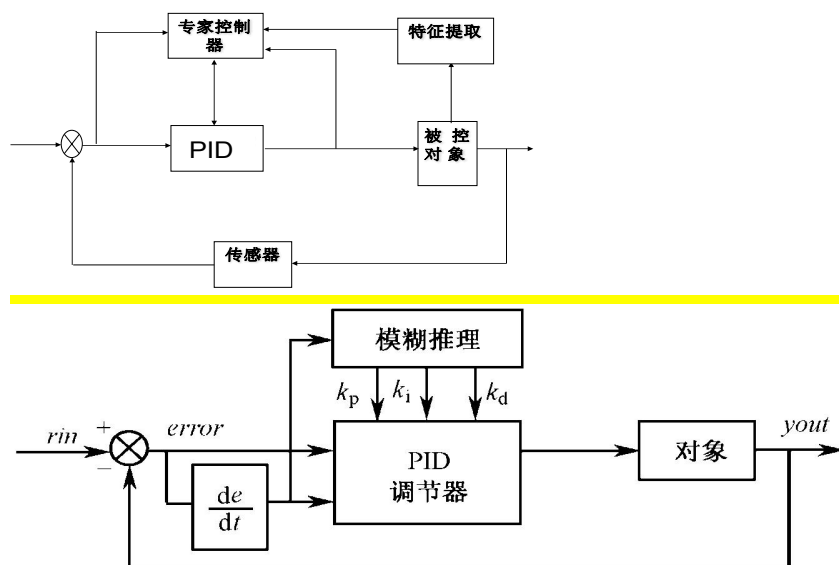
(2) 规则库 (Rule Base—RB) 模糊控制器的规则基于专家知识或手动操作人员长期积累的经验，它是按人的直觉推理的一种语言表示形式。  
推理机：根据输入模糊量，由模糊控制规则完成模糊推理来求解模糊关系方程，并获得模糊控制量的功能部分。

解模糊接口：将推理获得的模糊矢量转换成清晰的控制量输出，通常把输出端具有转换功能作用的部分称为解模糊接口。

构建步骤：

- 1 模糊控制器的结构
- 2 定义输入输出模糊集
- 3 定义输入输出隶属函数
- 4 建立模糊控制规则/模糊控制表 (规则库)
- 5 建立模糊控制表
- 6 模糊推理
- 7 反模糊化

6. 作出专家 PID 控制系统和模糊自适应 PID 控制系统框图，比较两者的差异，并描述下  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  三个参数对系统输出的影响规律。



一个利用专家经验直接设计 PID 参数，一个结合专家经验和模糊推理方法对 PID 参数进行调整。

比例系数  $K_p$  的作用是加快系统的响应速度，提高系统的调节精度。  $K_p$  越大，系统的响应速度越快，系统的调节精度越高，但易产生超调，甚至会导致系统不稳定。  $K_p$  取值过小，则会降低调节精度，使响应速度缓慢，从而延长调节时间，使系统静态、动态特性变坏。

积分作用系数  $K_i$  的作用是消除系统的稳态误差。  $K_i$  越大，系统的静态误差消除越快，但  $K_i$  过大，在响应过程的初期会产生积分饱和现象，从而引起响应过程的较大超调。若  $K_i$  过小，将使系统静态误差难以消除，影响系统的调节精度。微分作用系数  $K_d$  的作用是改善系统的动态特性，其作用主要是在响应过程中抑制偏差向任何方向的变化，对偏差变化进行提前预报。但  $K_d$  过大，会使响应过程提前制动，从而延长调节时间，而且会降低系统的抗干扰性能。

7. 描述人工神经网络的定义、主要连接形式、主要特征和要素。

人工神经网络是以数学手段来模拟人脑神经网络的结构和特征的系统。主要连接形式有：前向网络（前馈型网络）、反馈网络、自组织网络。

神经网络具有以下几个特征：

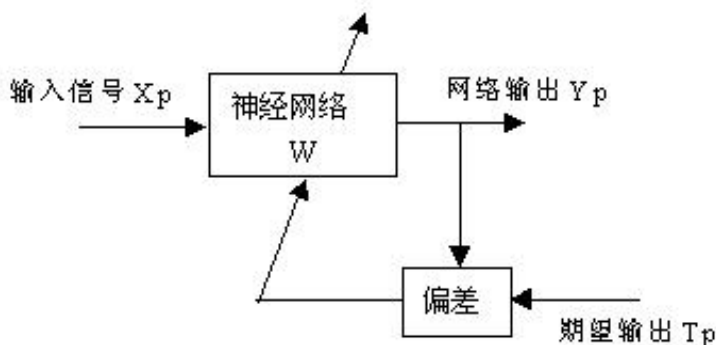
- (1) 能逼近任意非线性函数；
- (2) 信息的并行分布式处理与存储；
- (3) 可以多输入、多输出；
- (4) 便于用超大规模集成电路（VLSI）或光学集成电路系统实现，或用现有的计算机技术实现；
- (5) 能进行学习，以适应环境的变化。

决定神经网络模型性能的三大要素为：

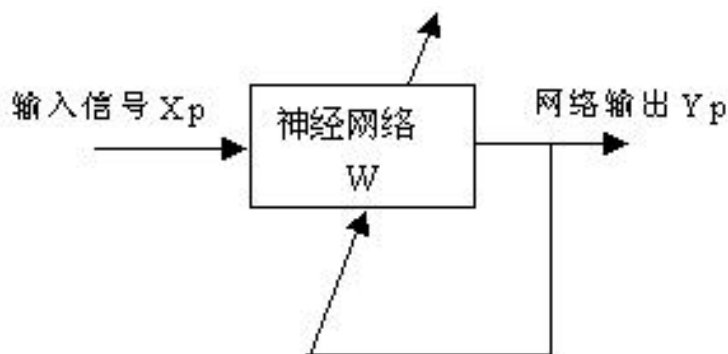
- (1) 神经元（信息处理单元）的特性；
- (2) 神经元之间相互连接的形式—拓扑结构；

(3) 为适应环境而改善性能的学习规则。

8. 结合神经网络框图，请分析说明有教师学习与无教师学习的区别是什么？



在有教师的学习方式中，网络的输出和期望的输出（即教师信号）进行比较，然后根据两者之间的差异调整网络的权值，最终使差异变小。



在无教师的学习方式中，输入模式进入网络后，网络按照一预先设定的规则（如竞争规则）自动调整权值，使网络最终具有模式分类等功能。

9. 分别描述 Hebb 学习规则和 Delta 学习规则。

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + I_i I_j$$

其中  $w_{ij}(k)$  为连接从神经元  $i$  到神经元  $j$  的当前权值， $I_i$  和  $I_j$  为神经元的激活水平。

Hebb学习规则是一种无教师的学习方法，它只根据神经元连接间的激活水平改变权值，因此，这种方法又称为相关学习或并联学习。

#### 6.4.2 Delta ( $\delta$ ) 学习规则（误差修正规则）

假设误差准则函数为：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P (d_p - y_p)^2 = \sum_{p=1}^P E_p$$

其中  $d_p$  代表期望的输出（教师信号）； $y_p$  为网络的实际输出  $y_p = f(W^T X_p)$ ； $W$  为网络所有权值组成的向量。

$$W = (w_0, w_1, \dots, w_n)^T$$

$X_p$  为输入模式：

$$X_p = (x_{p0}, x_{p1}, \dots, x_{pn})^T$$

其中训练样本数为  $p = 1, 2, \dots, P$ 。

神经网络学习的目的是通过调整权值  $W$ ，使误差准则函数最小。权值的调整采用梯度下降法来实现，其基本思想是沿着  $E$  的负梯度方向不断修正  $W$  值，直到  $E$  达到最小。数学表达式为：

$$\nabla W = \eta \left( -\frac{\partial E}{\partial W_i} \right)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_i} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial E_p}{\partial W_i}$$

$$\text{其中 } E_p = \frac{1}{2} (d_p - y_p)^2$$

10. 比较 BP 网络和 RBF 网络的优缺点。

BP 网络的优点为:

(1) 只要有足够多的隐层和隐层节点, BP 网络可以逼近任意的非线性映射关系;

(2) BP 网络的学习算法属于全局逼近算法, 具有较强的泛化能力。

(3) BP 网络输入输出之间的关联信息分布地存储在网络的连接权中, 个别神经元的损坏只对输入输出关系有较小的影响, 因而 BP 网络具有较好的容错性。

BP 网络的主要缺点为:

(1) 待寻优的参数多, 收敛速度慢;

(2) 目标函数存在多个极值点, 按梯度下降法进行学习, 很容易陷入局部极小值;

(3) 难以确定隐层及隐层节点的数目。目前, 如何根据特定的问题来确定具体的网络结构尚无很好的方法, 仍需根据经验来试凑。

(1) RBF 网络的作用函数为高斯函数, 是局部的, BP 网络的作用函数为 S 函数, 是全局的;

(2) 如何确定 RBF 网络隐层节点的中心及基宽度参数是一个困难的问题;

(3) 已证明 RBF 网络具有唯一最佳逼近的特性, 且无局部极小。

由于 RBF 网络只调节权值, 因此, RBF 网络较 BP 网络有算法简单、运行时间快的优点。但由于 RBF 网络中, 输入空间到输出空间是非线性的, 而隐含空间到输出空间是线性的, 因而其非线性能力不如 BP 网络。

11. 分别给出 2-3-1 结构的 BP 网络逼近和 RBF 网络逼近的结构图, 标出网络输入输出, 并学习过程。

参考教材 P130, 图 7-7; P137, 图 7-19 和 7-13.

12. 作出单神经元自适应控制、RBF 网络自校正控制的控制结构框图, 及其控制算法的表达式。

单神经元自适应控制结构框图参考教材 P182, 图 9-9;

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k)$$

RBF 网络自校正控制结构框图参考教材 P9-3,

$$u(k) = \frac{-g[\cdot]}{\phi[\cdot]} + \frac{r(k+1)}{\phi[\cdot]} g[\cdot] \quad \phi[\cdot] \text{ 分别表示 } g[y(k)] \quad \phi[y(k)]$$

13. 参照 RBF 网络直接模型参考自适应控制算法, 推导 BP 网络直接模型参考自适应控制的结构图和其控制算法。

参考教材 P188, 图 9-23. 将途中 RBF 更换为 BP。

控制算法推导中, 将 9.22 式更换为 BP 网络的输出, 后续网络学习过程和 BP 网络学习过程一致。

14. 简述对于一个优化问题, 构造遗传算法的 7 个步骤。

对于一个需要进行优化的实际问题，一般可按下述步骤构造遗传算法：

第一步：确定决策变量及各种约束条件，即确定出个体的表现型  $X$  和问题的解空间；

第二步：建立优化模型，即确定出目标函数的类型及数学描述形式或量化方法；

第三步：确定表示可行解的染色体编码方法，即确定出个体的基因型  $x$  及遗传算法的搜索空间；

第四步：确定个体适应度的量化评价方法，即确定出由目标函数值  $J(x)$  到个体适应度函数  $F(x)$  的转换规则；

第五步：设计遗传算子，即确定选择运算、交叉运算、变异运算等遗传算子的具体操作方法；

第六步：确定遗传算法的有关运行参数，即  $M, G, P_c, P_m$  等参数；

第七步：确定解码方法，即确定出由个体表现型  $X$  到个体基因型  $x$  的对应关系或转换方法。

## 二、计算题

1. 设模糊集合  $A = \frac{0.9}{u_1} + \frac{0.2}{u_2} + \frac{0.8}{u_3} + \frac{0.5}{u_4}$ ,  $B = \frac{0.3}{u_1} + \frac{0.1}{u_2} + \frac{0.4}{u_3} + \frac{0.6}{u_4}$ , 求解  $A \cup B$ ,  $A \cap B$

解:  $A \cup B = \frac{0.9}{u_1} + \frac{0.2}{u_2} + \frac{0.8}{u_3} + \frac{0.6}{u_4}$   $A \cap B = \frac{0.3}{u_1} + \frac{0.1}{u_2} + \frac{0.4}{u_3} + \frac{0.5}{u_4}$

2. 已知模糊矩阵  $P$ 、 $Q$ 、 $R$ 、 $S$ ,  $P = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 \\ 0.4 & 0.2 \\ 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}$ ,  $Q = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.3 \\ 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}$ ,  $R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.6 & 0.2 & 0.7 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$ ,

求  $R^\circ(P \cup Q)$ ,  $R^\circ(P \cap Q)$

解:  $P \cup Q = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 \\ 0.8 & 0.3 \\ 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}$ ,  $P \cap Q = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}$

$R^\circ(P \cup Q) = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.6 & 0.2 & 0.7 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 \\ 0.8 & 0.3 \\ 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}$

R

=

$$\begin{vmatrix} (0.4 \wedge 0.2) \vee (0.6 \wedge 0.8) \vee (0.2 \wedge 0.6) & (0.2 \wedge 0.5) \vee (0.6 \wedge 0.3) \vee (0.2 \wedge 0.4) \\ (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.2 \wedge 0.8) \vee (0.7 \wedge 0.6) & (0.6 \wedge 0.5) \vee (0.2 \wedge 0.3) \vee (0.7 \wedge 0.4) \\ (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.5 \wedge 0.8) \vee (0.5 \wedge 0.6) & (0.6 \wedge 0.5) \vee (0.5 \wedge 0.3) \vee (0.5 \wedge 0.4) \end{vmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 \\ 0.6 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R^{\circ}(P \cap Q) = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.6 & 0.2 & 0.7 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (0.4 \wedge 0.1) \vee (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.2 \wedge 0.1) & (0.2 \wedge 0.4) \vee (0.6 \wedge 0.2) \vee (0.2 \wedge 0.2) \\ (0.6 \wedge 0.1) \vee (0.2 \wedge 0.4) \vee (0.7 \wedge 0.1) & (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.2 \wedge 0.2) \vee (0.7 \wedge 0.2) \\ (0.6 \wedge 0.1) \vee (0.5 \wedge 0.4) \vee (0.5 \wedge 0.1) & (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.5 \wedge 0.2) \vee (0.5 \wedge 0.2) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 \end{bmatrix}$$

3. 求解模糊关系方程

$$\begin{bmatrix} 0.8 & 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.8 & 0.5 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.6 \end{bmatrix}$$

解:

$$(0.8 \wedge r_1) \vee (0.5 \wedge r_2) \vee (0.6 \wedge r_3) = 0.5$$

$$(0.4 \wedge r_1) \vee (0.8 \wedge r_2) \vee (0.5 \wedge r_3) = 0.6$$

$$R^1 = (0.5, [0, 1], [0, 0.5]) \cup ([0, 0.5], [0.5, 1], [0, 0.5]) \cup ([0, 0.5], [0, 1], 0.5)$$

$$R^2 = ([0, 1], 0.6, [0, 1])$$

$$\therefore R = R^1 \cap R^2 = \{(0.5, [0, 1], [0, 0.5]) \cup ([0, 0.5], [0.5, 1], [0, 0.5]) \cup ([0, 0.5], [0, 1], 0.5)\} \cap ([0, 1], 0.6, [0, 1]) = ([0, 0.5], 0.6, [0, 0.5])$$

(这里可以不求出并集结果)

4. 假设某控制系统的输入语言规则为: 当误差  $e$  为  $E$  且误差变化率  $ec$  为  $EC$  时, 输出控制量  $u$  为  $U$ , 其中模糊语言变量  $E$ 、 $EC$ 、 $U$  的取值分别为:

$$E = \frac{0.8}{e_1} + \frac{0.2}{e_2}, EC = \frac{0.1}{ec_1} + \frac{0.6}{ec_2} + \frac{1.0}{ec_3}, U = \frac{0.3}{u_1} + \frac{0.7}{u_2} + \frac{1.0}{u_3}$$

$$E^* = E = \frac{0.7}{e_1} + \frac{0.4}{e_2}, EC^* = \frac{0.2}{ec_1} + \frac{0.6}{ec_2} + \frac{0.7}{ec_3}$$

现已知

试求当误差  $e$  是  $E^*$  且误差变化率  $ec$  为  $EC^*$  时, 输出控制量  $u$  的模糊取值  $U^*$ 。

解：先计算模糊关系 $R$ ，其中模糊推理计算采用Mamdani推理法。令

$$R_1 = E \times EC = (0.8 \quad 0.2) \wedge (0.1 \quad 0.6 \quad 1.0) = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.6 & 0.8 \\ 0.1 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R = R_1^T \times U = \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.6 \\ 0.8 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.2 \end{bmatrix} \wedge [0.3 \quad 0.7 \quad 1.0] = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.6 & 0.6 \\ 0.3 & 0.7 & 0.8 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

则输出控制量 $u$ 的模糊取值 $U^*$ 可按下式求出：

$$U^* = (E^* \times EC^*) \circ R$$

$$\text{又令 } R_2 = E^* \times EC^* = (0.7 \quad 0.4) \wedge (0.2 \quad 0.6 \quad 0.7) = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.7 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 \end{bmatrix}$$

把 $R_2$ 写成行向量形式，并以 $R_2^T$ 表示，则

$$R_2^T = (0.2 \quad 0.6 \quad 0.7 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.4)$$

$$U^* = (E^* \times EC^*) \circ R = R_2^T \circ R = (0.2 \quad 0.6 \quad 0.7 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.4) \circ \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.6 & 0.6 \\ 0.3 & 0.7 & 0.8 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$= (0.3 \quad 0.7 \quad 0.7)$$

即模糊输出值 $U^*$ 为：

$$U^* = \frac{0.3}{u_1} + \frac{0.7}{u_2} + \frac{0.7}{u_3}$$

解：

4. 以模糊洗衣机的设计为例，其控制是一个开环的决策过程，模糊控制按以下步骤进行。

1 确定模糊控制器的结构

选用单变量二维模糊控制器。控制器的输入为衣物的污泥和油脂，输出为洗涤时间。

2 定义输入输出模糊集和隶属度函数

将污泥分为三个模糊集：SD（污泥少），MD（污泥中），LD（污泥多），取值范围为 $[0, 100]$ 。将油脂分为三个模糊集：NG（无油脂），MG（油脂中），LG（油脂多），取值范围为 $[0, 100]$ 。将洗涤时间分为五个模糊集：VS（很短），S（短），M（中等），L（长），VL（很长），取值范围为 $[0, 60]$ 。选用如下隶属函数：

$$\alpha_{\text{污泥}} = \begin{cases} \alpha_{SD}(x) = (50 - x) / 50 & 0 \leq x \leq 50 \\ \alpha_{MD}(x) = \begin{cases} x / 50 & 0 \leq x \leq 50 \\ (100 - x) / 50 & 50 < x \leq 100 \end{cases} \\ \alpha_{LD}(x) = (x - 50) / 50 & 50 < x \leq 100 \end{cases}$$



$$\alpha_{\text{油脂}} = \begin{cases} \alpha_{NG}(y) = (50 - y) / 50 & 0 \leq y \leq 50 \\ \alpha_{MG}(y) = \begin{cases} y / 50 & 0 \leq y \leq 50 \\ (100 - y) / 50 & 50 < y \leq 100 \end{cases} \\ \alpha_{LG}(y) = (y - 50) / 50 & 50 \leq y \leq 100 \end{cases}$$

$$\alpha_{\text{洗涤时间}} = \begin{cases} \alpha_{VS}(z) = (10 - z) / 10 & 0 \leq z \leq 10 \\ \alpha_S(z) = \begin{cases} z / 10 & 0 \leq z \leq 10 \\ (25 - z) / 15 & 10 < z \leq 25 \end{cases} \\ \alpha_M(z) = \begin{cases} (z - 10) / 15 & 10 \leq z \leq 25 \\ (40 - z) / 15 & 25 < z \leq 40 \end{cases} \\ \alpha_L(z) = \begin{cases} (z - 25) / 15 & 25 \leq z \leq 40 \\ (60 - z) / 20 & 40 < z \leq 60 \end{cases} \\ \alpha_{VL}(z) = (z - 40) / 20 & 40 \leq z \leq 60 \end{cases}$$

3. 模糊推理规则表如下：

洗 涤 时 间 z		污 泥 x		
		SD	MD	LD
油 脂 y	NG	VS*	M	L
	MG	S	M	L
	LG	M	L	VL

问：假定传感器测得数据为  $x_o(\text{污泥})=10$ ， $y_o(\text{油脂})=20$ ，试通过模糊推理和反模糊化确定洗涤时间？（写出推理过程，反模糊化采用最大隶属度法）