中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

人工智能基础

何　清
中国科学院大学
中国科学院计算技术研究所
中国科学院智能信息处理重点实验室
机器学习与数据挖掘课题组
heqing@ict.ac.cn

中国科学院计算技术研究所
Institute of Computing Technology,Chinese Academy of Sciences

CH16 Rational Decision Theory

中国科学院

Chinese Academy of Sciences

模糊控制的基本形式

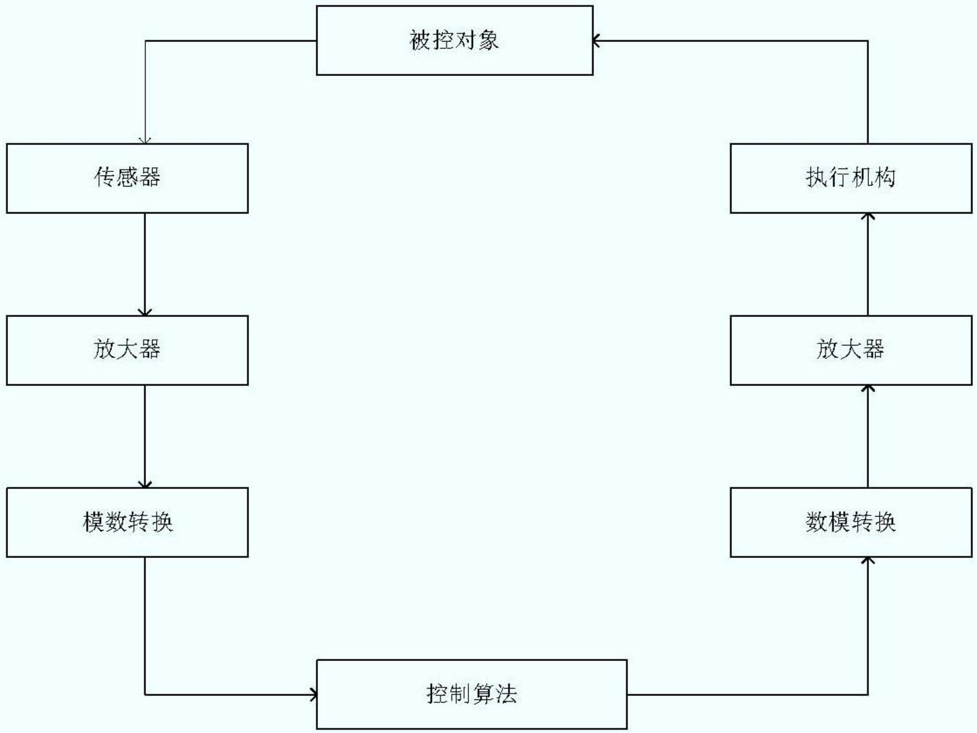

图12.1 微机自动控制框图

中国科学院

Chinese Academy of Sciences

传统控制的局限性

1. 系统相当复杂，难以建立数学模型
2. 能建的模型可能过分复杂，难以实现控制
3. 系统结构参数变化太大，太快，单一模型无法描述

CH16 Fuzzy Control

中國科學院

Chinese Academy of Sciences

建立模糊控制算法模型的步骤

Step1. 输入量和输出量的模糊量化与标定

以输入量之一的误差量为例。首先定出系统误差的上下限，从而做出误差的论域；其次给出误差的模糊量级，比如分成七级：正大(PB)，正中(PM),正小(PS)，零(ZO)，负小(NS)，负中(NM)，负大(NB)，他们都是论域U上的模糊集；最后建立这些模糊集的隶属函数。

CH16 Fuzzy Control

建立模糊控制算法模型的步骤

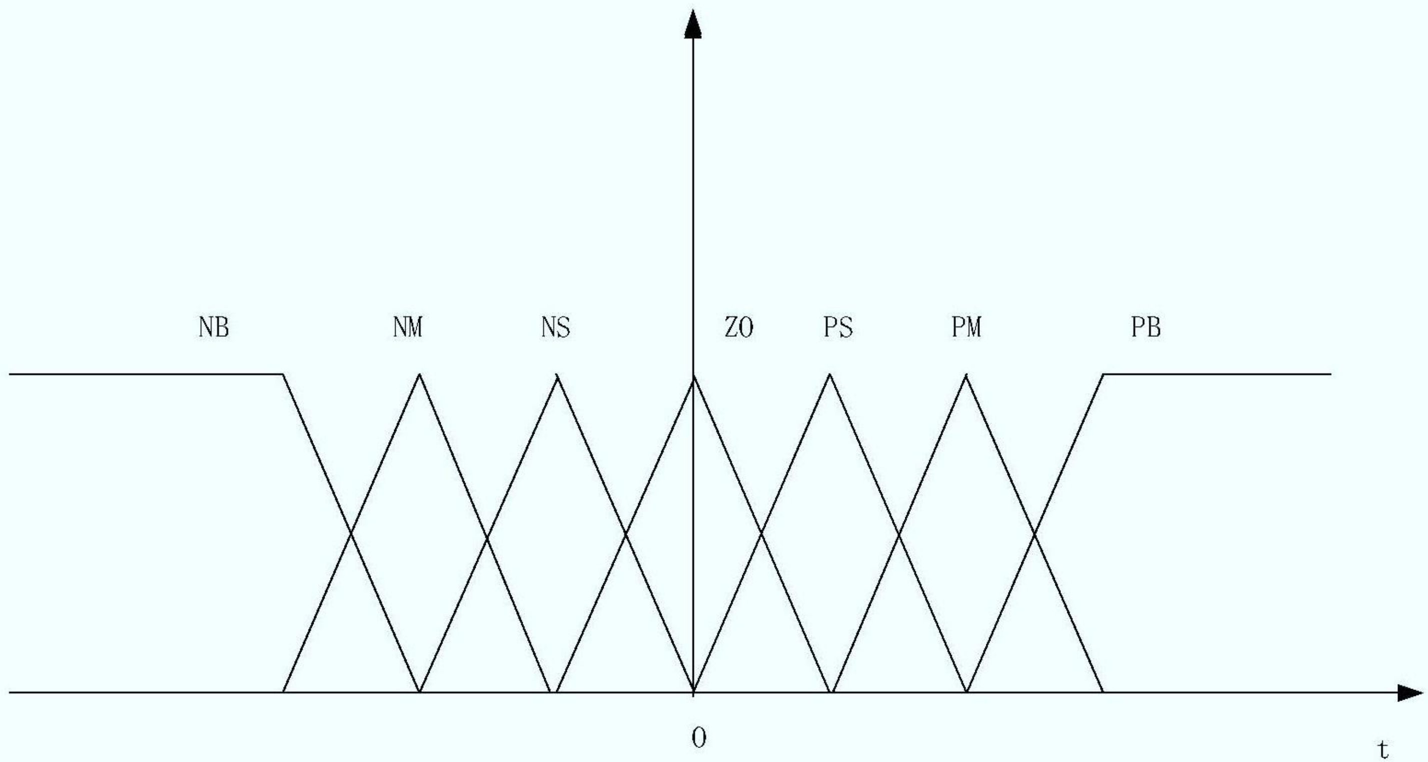

图12.2 三角形隶属函数

建立模糊控制算法模型的步骤

实际应用中要把论域离散化，每个隶属函数表示为13个点的隶属函数的向量的形式。

对于误差变化率和控制量也分别作类似处理。

构造出三组模糊集$\{\tilde{A}_i\},\{\tilde{B}_i\},\{\tilde{C}_i\}$,它们分别表示误差、误差变化率和控制量的模糊化等级。

建立模糊控制算法模型的步骤

Ai(u) u Ai	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
负 大 (NB)	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
负中 (NM)	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
负小 (NS)	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
零 (ZO)	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
正 小 (PS)	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
正中 (PM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
正大 (PB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

建立模糊控制算法模型的步骤

$Step2.$ 建立模糊控制规则表

若误差e是$\tilde{A}_i$且误差变化率$\dot{e}$是$\tilde{B}_j$,则控制量u是$\tilde{C}_k$.

如"若炉温偏高且温度上升速率较快，则多吹入冷风"

模糊量化为七级，则至多有49条规则。

CH16 Fuzzy Control

建立模糊控制算法模型的步骤

<table>
<tr><th>Ci / Ai / Bi</th><th>NB</th><th>NM</th><th>NS</th><th>0</th><th>PS</th><th>PM</th><th>PB</th></tr>
<tr><td>NB
NM</td><td colspan="4">PB</td><td>PM</td><td colspan="2">0</td></tr>
<tr><td>NS</td><td colspan="2" rowspan="2">PM</td><td colspan="2"></td><td>0</td><td colspan="2" rowspan="2">NM</td></tr>
<tr><td>ZO</td><td>PS</td><td>0</td><td>NS</td></tr>
<tr><td>PS</td><td colspan="2">PS</td><td>0</td><td colspan="4">NM</td></tr>
<tr><td>PM
PB</td><td colspan="2">0</td><td>NM</td><td colspan="4">NB</td></tr>
</table>

Chinese Academy of Sciences

建立模糊控制算法模型的步骤

*Step*3. 构造总的控制推理关系

每一条规则都是一条模糊条件句，所有规则恰好是一组多重复合模糊蕴涵。第i条规则对应于推理关系$\tilde{R}_i = \tilde{A}_i \times \tilde{B}_i \times \tilde{C}_i$，即对任意$x, y, u$,有$\tilde{R}_i(x, y, u) = \tilde{A}_i(x) \wedge \tilde{B}_i(y) \wedge \tilde{C}_i(u)$

全部n条规则对应的模糊推理关系$\tilde{R}$:

$$\tilde{R} = \bigcup_{i=1}^{n} \tilde{R}_i = \bigcup_{i=1}^{n} (\tilde{A}_i \times \tilde{B}_i \times \tilde{C}_i)$$

$$\tilde{R}(x, y, u) = \bigvee_{i=1}^{n} (\tilde{A}_i(x) \wedge \tilde{B}_i(y) \wedge \tilde{C}_i(u))$$

建立模糊控制算法模型的步骤

*Step*4. 设计输入输出控制响应表

对于给定的一个输入，比如"误差e是$\tilde{A}^*$且误差变化率为$\dot{e}$是$\tilde{B}^*$",问控制动作$\tilde{C}^* = (\tilde{A}^* \times \tilde{B}^*) \circ \tilde{R}$,即$\forall u \in U$，有

$$\tilde{C}(u)^* = \vee(\tilde{A}^*(x) \wedge \tilde{B}^*(y) \wedge \tilde{R}(x,y,u))$$

$\tilde{C}^*$给出的是采取各个控制动作的隶属度，但最后应采用的控制动作是唯一的，究竟应从中选取那个控制量u^*?需要对模糊控制输出进行清晰化处理。

建立模糊控制算法模型的步骤

*Step*5. 去模糊、清晰化

方法1. 最大隶属度方法：选取$\tilde{C}^*$对应隶属度最大的点作为控制输出量。若这样的点不唯一，则取这些点的或几何平均值。

方法2. 选取$\tilde{C}^*$对应隶属函数所围图形的几何重心横坐标作为控制输出，即取

$$u^* = \frac{\sum_i u_i \cdot \tilde{C}^*(u_i)}{\sum_i \tilde{C}^*(u_i)}$$

模糊控制器的可响应性

λ可响应：对于取定的$\lambda \in [0,1]$,只要有隶属度高于λ的输入,就应有隶属度不低于λ的输出。

判定：给定一组规则：

若x是$\tilde{A}_i$,则u是$\tilde{B}_i, i = 1,2,3,\cdots,k$

如果满足条件:$(\forall x \in X)(\exists i, 1 \le i \le k)(\tilde{A}_i(x) > \lambda)$

则这组规则组成的模糊控制器必是λ可响应的。

当输入为误差X_1和误差变化X_2时，只要令$X = X_1 \times X_2$.此时$\tilde{A}_i = \tilde{A}_{1i} \times \tilde{A}_{2i}$,多重输入$\lambda$可响应性与此类似。

模糊控制规则的自调整

控制规则涉及三个论域：误差e, 误差变化率$\dot{e}$和控制量C.

假定这些论域均可用七个语言变量(负大、负中、负小、零、正小、正中、正大)来描述，并将其规定为

负大≙-3、负中≙-2、负小≙-1、

零≙0、正小≙1、正中≙2、正大≙3

模糊控制规则的自调整

控制量	误差变化率							
		-3	-2	-1	0	1	2	3
误差	-3	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-2	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-1	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	0	-2	-1	-1	0	1	1	2
	1	-1	-1	0	1	1	2	2
	2	-1	0	1	1	2	2	3
	3	0	1	1	2	2	3	3

CH16 Fuzzy Control

模糊控制规则的自调整

$C=\left\langle\frac{e+\dot{e}}{2}\right\rangle$，其中符号$\langle a\rangle$表示一个与$a$同号而绝对值是大于或等于$|a|$的最小整数。

例如$\langle 0\rangle=0,\langle -0.5\rangle=-1,\langle 0.5\rangle=1,$

$\langle 1\rangle=1,\langle -1\rangle=-1,\langle 1.5\rangle=2$

$C=\langle \alpha e+(1-\alpha)\dot{e}\rangle,$

模糊控制规则的自调整

控制量	误差变化率 $\dot{e}$							
		-3	-2	-1	0	1	2	3
误差 e	-3	-3	-2	-1	-1	0	1	2
	-2	-3	-2	-1	0	0	1	2
	-1	-3	-2	-1	0	1	1	2
	0	-2	-2	-1	0	1	2	2
	1	-2	-1	-1	0	1	2	3
	2	-2	-1	0	0	1	2	3
	3	-2	-1	0	1	1	2	3

$\alpha = 0.2$

模糊控制规则的自调整

控制量	误差变化率 $\dot{e}$							
		-3	-2	-1	0	1	2	3
误差 e	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1
	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1
	-1	-2	-1	-1	-1	0	0	0
	0	-1	-1	0	0	0	1	1
	1	0	0	0	1	1	1	2
	2	1	1	1	1	2	2	2
	3	1	2	2	2	2	3	3

$\alpha = 0.7$

CH16 Fuzzy Control

中國科學院

Chinese Academy of Sciences

模糊控制规则的交互影响

设有一组规则：

若$\tilde{A}_i$则$\tilde{B}_i, i=1,2,3,\cdots$可。这$k$条规则构成总的推理关系$\tilde{R}$。

当输入某一个$\tilde{A}_i$时，用近似推理得到的$\tilde{B}^*$一般不等于$\tilde{B}_i$.

即$(\exists i: 1 \le i \le k)(\tilde{A}_i \circ \tilde{R} \ne \tilde{B}_i)$

一般情况下

$\tilde{B}_i \subseteq \tilde{A}_i \circ \tilde{R}$

模糊控制规则的交互影响的消除

条件1: 如果对任何$i \neq j, A_i \cap A_j = \phi$，且每个$\tilde{A}_i$均为正规（即（$\exists x$）（$\tilde{A}_i(x)=1$）），则

$\tilde{A}_i \circ \tilde{R} = \tilde{B}_i, 1 \leq i \leq k$,即这组规则无交互影响。

条件2. 设每个$\tilde{A}_i$是正规的，如果满足条件：

$$(\forall u \in U)(\forall i: 1 \leq i \leq k, i \neq j)(\sup_{x \in X} \tilde{A}_i(x) \wedge \tilde{A}_j(x)) \leq \tilde{B}_j(u) \text{ ，}$$

则这组规则无交互影响。

中国科学院

Chinese Academy of Sciences

模糊控制规则的交互影响的消除

一组控制规则交互影响过大和零都不好，应当适度。

如何度量一组规则的交互影响？

若$\tilde{A}_i$则$\tilde{B}_i, i=1,2,3,\cdots,k.$

总推理关系为$\tilde{R}^{(0)}=\bigcup_{i=1}^{k}(\tilde{A}_i\times\tilde{B}_i),$

$B_i^{(1)}=\tilde{A}_i\circ\tilde{R}^{(0)}$，$i=1,2,3,\cdots$，$k$。

规则重现闭包法：

1.原规则修改为：若$\tilde{A}_i$则$\tilde{B}^*{}_i$,$1\le i\le k$

使其具有规则重现性，即满足：

$\tilde{A}_j\circ(\bigcup_{i=1}^{k}\tilde{A}_i\times\tilde{B}_i^*)\ \tilde{R}=\tilde{B}_j^*,$

2. 它是满足该要求的最小修改，即任何满足前一条的修改$\tilde{B}_i'$都有$\tilde{B}_i^*\le\tilde{B}_i'$

CH16 Fuzzy Control

求规则重现闭包的操作步骤

(1)如果$\tilde{B}_i^{(1)} = \tilde{B}_i \ (i=1,2,3,\cdots,k)$,则$\tilde{R}^{(0)}$即为所求的$\tilde{R}^*$;否则，

$\tilde{B}_i \subseteq \tilde{B}_i^{(1)}$，构造

$\tilde{R}^{(1)} = \bigcup_{i=1}^{k}(\tilde{A}_i \times \tilde{B}_i^{(1)})$，记$\tilde{B}_i^{(2)} = \tilde{A}_i \circ \tilde{R}^{(1)}$，$i=1,2,3,\cdots$，$k$。

(2)如果$\tilde{B}_i^{(2)} = \tilde{B}_i^{(1)} \ (i=1,2,3,\cdots,k)$,即$\tilde{R}^{(1)}$即为所求的$\tilde{R}^*$；否则

$\tilde{B}_i^{(1)} \subseteq \tilde{B}_i^{(2)}$，构造$\tilde{R}^{(2)} = \bigcup_{i=1}^{k}(\tilde{A}_i \times \tilde{B}_i^{(2)})$，记$\tilde{B}_i^{(2)} = \tilde{A}_i \times \tilde{R}^{(2)}$，$i=1,2,3,\cdots$，$k$。

如此下去得到一个关系序列：

$\tilde{R}^{(0)}$，$\tilde{R}^{(1)},\cdots$，$\tilde{R}^{(n)}\cdots$，一定存在正整数r，使得

$\tilde{R}^{(r)} = \tilde{R}^{(r+1)}$,这时$\tilde{R}^{(r)}$为规则重现闭包。

对于修改后的规则:

若$\tilde{A}_i$则$\tilde{B}_i^{(r)}$，$i=1,2,3,\cdots k$，它们的交互影响为零。

注：并非交互影响越小越好。

欢迎批评指正！
谢谢！

heqing@ict.ac.cn